

Download

Dirk Krämer

Sinnesorgane

Für Fächerverbund Physik, Chemie, Biologie

Downloadauszug
aus dem Originaltitel:

 **netzwerk
lernen** **Auer**



zur Vollversion

Sinnesorgane

Für Fächerverbund Physik, Chemie,
Biologie

VORSCHAU

Dieser Download ist ein Auszug aus dem Originaltitel
Naturwissenschaften integriert: Der menschliche Körper
Über diesen Link gelangen Sie zur entsprechenden Produktseite im Web.

<http://www.auer-verlag.de/go/dl6671>

2. Fächerübergreifendes, aktives Lernen im naturwissenschaftlichen Unterricht – ein Plädoyer

Warum Naturwissenschaften fächerübergreifend unterrichten?

Der naturwissenschaftliche Unterricht in der Schule hat sich verändert, die Fächer Biologie, Physik und Chemie rücken näher zusammen, vernetztes Wissen wird gefordert. Das macht besonders in den ersten naturwissenschaftlichen Lernjahren Sinn, da die Schüler die Welt noch nicht in den Schubladen der Fachwissenschaften denken. Der fächerübergreifende Zugang zu naturwissenschaftlichen Themen, sei es nun im Rahmen eines integrierten Faches Naturwissenschaften oder durch Kooperation der einzelnen Fächer und entsprechend abgestimmter Gestaltung des Schulcurriculums, entspricht der natürlichen Fragehaltung und Weltsicht der Schüler. Kaum ein Schüler wird sich beim Thema „Winterschlaf der Tiere“ zur Frage nach den Möglichkeiten, Temperaturen zu messen, mit der Antwort zufrieden geben: „Das gehört zur Physik und kommt erst nächstes Jahr dran. Frag dann noch mal!“

Die aus der universitären Lehre tradierte Spezialisierung und Kategorisierung ist im Anfangsunterricht nicht nur überflüssig, sondern geradezu hinderlich. Besonders in den ersten Jahren kommt neben der Vermittlung von Basiswissen der Erzeugung einer gewissen Faszination für die Phänomene der Naturwissenschaft, ein ‚Neugierig-Machen‘ auf mehr, eine bedeutende Rolle zu. Die Naturwissenschaften sollen nicht als trocken, langweilig und gar schwierig empfunden werden, sondern als faszinierendes, den Geist anregendes ‚Welträtsel‘.

Folgende Vorteile des fächerübergreifenden naturwissenschaftlichen Unterrichts können differenziert werden:

- Naturphänomene sind im Allgemeinen komplex und in bestimmte Rahmenkontexte eingebettet, die selten in die Schublade eines Einzelfachs passen. Die natürliche Neugier der Lernenden stoppt nicht an den Fächergrenzen. Ein Abblocken des sich entwickelnden Interesses an bestimmten Sachfragen wirkt sich kontraproduktiv auf die Motivation der Schüler aus.
- Schlüsselprobleme der Menschheit, wie globale Erwärmung, Ressourcenknappheit oder Überbevölkerung, sind nur als fächerübergreifende Themen vermittelbar, wie auch deren mögliche Lösungen interdisziplinäre Forschungen erfordern. Gerade die häufig in Schulen praktizierte Praxis, in nahezu jedem Fach an geeigneter Stelle auf einen Teilaspekt dieser Probleme einzugehen, führt bei den Schülern schnell zu einer gewissen Desensibilisierung. Nur eine fächerübergreifende, konzertierte Bearbeitung wird der Bedeutung dieser Themenkomplexe gerecht. Es werden andere überfachliche Schlüsselqualifikationen wie Reflexionsfähigkeit oder Nachhaltigkeitskompetenz gezielt gefördert.
- Interdisziplinarität und das flexible Springen zwischen den Vorstellungen, Methoden und Anwendungen verschiedenster Forschungsrichtungen wird heute von vielen Berufsanfängern eingefordert und sollte daher schon früh praktiziert werden.
- Mädchenförderung in den Naturwissenschaften stellt sich oft als schwierig heraus. Gerade die Herauslösung von Einzelheiten aus dem Kontext, sodass der Bezug zu realen Phänomenen und Alltagsbezügen verloren geht, wie es besonders im Physikunterricht oft der Fall ist, führt speziell bei Mädchen schnell zu einer Ablehnung des ganzen Fachs. Der vernetzte Unterricht bietet hier die Chance, auch die weiblichen Schüler im vermehrten Maße anzusprechen.

Welche Vorteile bietet die Selbsttätigkeit der Schüler?

Die Eigentätigkeit im Unterricht fördert den Lernprozess der Schüler auf vielfältige Weise.

- ➔ So ist es in der Pädagogik seit Langem bekannt, dass Lernstoffe, die nicht bloß rezipiert, sondern eigenaktiv umgesetzt wurden, wesentlich länger im Gedächtnis haften. Das Gelernte bleibt nicht abstrakt, sondern wird durch die Einbeziehung verschiedener Lernwege (visuell, haptisch, akustisch usw.) konkret, was zu einer stärkeren und vielschichtigeren Vernetzung des neuen Stoffs mit Altbekanntem führt.
- ➔ Dazu kommt der reine Zeitfaktor: Durch die eigene, aktive Untersuchung befassen sich die Schüler länger und intensiver mit dem Lernstoff, was wiederum der Nachhaltigkeit des Lernerfolgs dient.
- ➔ Ein auf diese Weise handlungsorientiert aufgebauter Unterricht mit vielen praktischen Aufgaben fördert zudem das vernetzte Denken in den verschiedenen Kontexten der einzelnen Natur- und auch Geisteswissenschaften, sowie die Notwendigkeit, zwischen diesen Kontexten zu wechseln und neue Verbindungen zwischen ihnen herzustellen. Gerade diese Fähigkeit ist für echtes problemlösendes Denken eine wichtige Voraussetzung.
- ➔ Ein weiterer bedeutender Vorteil dieser Form des Lernens ist die Förderung der Selbstverantwortung für den Lernprozess. Durch die Übertragung von Verantwortung wird den Schülern zugleich auch Vertrauen entgegengebracht. Diese Wertschätzung fällt den Schülern positiv auf.
- ➔ Die Rolle des Lehrers ändert sich in diesen Phasen des Unterrichts weg von einer Zentralfigur, die den Takt des Lernens angibt, hin zu einem Lernbegleiter, dessen Aufgabe die individuelle Betreuung einzelner oder kleiner Gruppen auf ihrem eigenen Lernweg ist. Das kann, nachdem sich die Schüler an eine solche Form des Lernens gewöhnt haben, eine Entlastung für den Lehrer bedeuten.
- ➔ Nicht zuletzt ist das selbsttätige Arbeiten ideal für Gruppen- und Partnerarbeit. Die in diesen Arbeitsformen eingeforderte überfachliche Kooperationskompetenz, die Rücksichtnahme, Verantwortung, Arbeitsteilung und Kommunikationsfähigkeit einschließt, kann gezielt über einen längeren Zeitraum trainiert werden.

Zusammenfassend kann man sagen, dass die Selbsttätigkeit der Schüler viele der für einen modernen, schülerorientierten Unterricht geforderten Eigenschaften beinhaltet. Die auf diese Weise erzeugte intrinsische Motivation der Schüler fördert ein konstruktives Lernklima, welches für Lehrende und Lernende äußerst angenehm und anregend ist.

3. Allgemeine Hinweise zur Benutzung dieser Materialsammlung

Zum Aufbau des Buches

Die Materialien sind vier Themenbereichen zugeordnet:

- Ernährung und Verdauung
- Bewegungssystem
- Atmung und Blutkreislauf
- Sinnesorgane

Zu jeder Gruppe gibt es am Anfang eine kurze didaktische Einführung, die die Schwerpunkte der jeweiligen Materialien kommentiert, sowie eine mögliche Einordnung für den Einsatz in einer entsprechenden Unterrichtsreihe. In dieser Sammlung werden nur die Materialien angeboten, die sich zur selbstständigen Erarbeitung durch die Schüler eignen, da alle anderen in einer solchen Unterrichtsreihe benötigten Materialien in den vorhandenen Lehrbüchern zu Genüge zu finden sind. Eine Lernlandkarte visualisiert jeweils die Verzahnung der Themen und Begriffe und kann helfen, eigene fächerübergreifende Planungen zu realisieren.

Danach werden die einzelnen Materialien in verkleinerter, schwarz-weißer Form abgebildet sowie jeweils spezifische Hinweise und Tipps zu ihrer Verwendung und Herstellung gegeben. Die Materialien in Farbe liegen zum Ausdruck auf der CD-Rom vor. Auch mögliche Erweiterungen und Verknüpfungen mit anderen Themen werden vorgestellt.

Die Beschreibungen der Aufgaben für die Schüler sind immer mit einem grünen Rand versehen. Am besten laminieren Sie die farbigen Bögen, um ihre Haltbarkeit zu erhöhen. Es ist nicht notwendig, dass alle Schüler eine Kopie der Anleitung besitzen, da es sich nicht um Arbeitsblätter handelt, in die etwas eingetragen werden muss.

Die übrigen Materialien, die zur Durchführung der einzelnen Versuche notwendig sind, sind jeweils auf jedem Bogen genau aufgelistet und können der Klasse z.B. in einer Holzbox oder einem stabilen Karton zur Verfügung gestellt werden. Die nötigen Gegenstände sind entweder preiswert zu besorgen oder man findet sie im Haushalt oder in den naturwissenschaftlichen Sammlungen der Schule. Zum Teil müssen vorher auch einfache Kartenvorlagen von der CD-Rom ausgedruckt und zusammengeklebt werden. Auch hier ist eine Laminierung sinnvoll. Vor Beginn der Versuche sollten sich die Schüler anhand der Liste von der Vollständigkeit der Materialien überzeugen.

Methodenkarten

Der Sammlung vorangestellt befinden sich die sogenannten Methodenkarten, auf die in den Anleitungen verschiedentlich Bezug genommen wird. Bei ihnen handelt es sich um eine kurze Memorierhilfe, auf der die Schüler bestimmte, immer wieder vorkommende fachspezifische Methoden nachlesen können, um sie im Zuge ihrer Bearbeitungen durchführen zu können.

Es liegen Methodenkarten zu folgenden Themen vor:

- | | |
|----------------------|------------------|
| ➤ Prinzipskizze | ➤ Säulendiagramm |
| ➤ Diagramme zeichnen | ➤ Mittelwerte |
| ➤ Diagramme lesen | ➤ Vortrag |
| ➤ Tabellen | ➤ Prozente |
| ➤ Versuchsprotokoll | |

Natürlich können diese Fertigkeiten nicht über diese knappen Anleitungen erlernt werden. Die Anwendung der Karten setzt voraus, dass die entsprechenden Methoden bereits im Klassenverband eingeführt wurden. Sind die Schüler anschließend bei der Umsetzung unsicher, so braucht der Lehrer nur auf die entsprechende Karte zu verweisen und übergibt so die Verantwortung für das Lernen zurück in die Hände des Schülers. Zweckmäßiger Weise befinden sich die Karten in laminierter Form gesammelt an einem für die Schüler frei zugänglichen Platz im Klassenraum. Dabei reichen im Allgemeinen zwei Ausführungen der Karten, die nach der Benutzung zurückgebracht werden müssen.

Auf die Karte 8 „Wie bereite ich einen Vortrag vor?“ wird in den Arbeitsaufgaben nicht Bezug genommen. Trotzdem ist sie der Vollständigkeit halber mit aufgenommen worden, da auch die kurze mündliche Präsentation von vorher erarbeiteten oder recherchierten naturwissenschaftlichen Sachverhalten vor der Klasse zum unumgänglichen Repertoire der Schüler gehört.

Wie gelingt eine Binnendifferenzierung?

Eine Individualisierung der Lernwege und damit verbunden eine Binnendifferenzierung, die dem jeweiligen Leistungsprofil des Schülers angemessen ist, aber trotzdem jedem Schüler ein Mindestmaß an Wissen vermittelt, ergibt sich im Rahmen der selbsttätigen Bearbeitung dieser Materialien auf dreifache Weise:

- ➔ Zunächst einmal sorgen die häufig zum Einsatz kommenden Sozialformen der Partner- und Gruppenarbeit für ein Mitlernen der schwächeren Schüler, während die höher Begabten meist die Führung der Gruppe oder des Teams übernehmen. Gerade die enge Zusammenarbeit auf Augenhöhe im schülertypischen Sprachlevel sichert den schwächeren Schülern ihren Lernerfolg. Auch für die stärker Begabten ist diese Zusammenarbeit lohnend. Zum einen werden sie gezwungen, ihre Erkenntnisse für ihre Kameraden zu verbalisieren und Schlüsse nochmals zu durchdenken, zum anderen werden soziale Kompetenzen wie Rücksichtnahme und gegenseitige Wertschätzung eingeübt.
- ➔ Eine zweite Differenzierung ergibt sich bei der Auswahl der Aufgaben auf den Vorlagen. Häufig ist zu den Basisaufgaben am Schluss eine Extraaufgabe, die mit folgendem Symbol gekennzeichnet ist, ergänzt worden, deren Beantwortung einen größeren Wissensschatz, einen Transfer des erarbeiteten Wissens auf neue Zusammenhänge oder eine zusätzliche Recherche von Nöten machen. Diese Aufgaben sollen den Forscherdrang der höher begabten Schüler wecken und sie neugierig machen auf erweiterte, selbstständige Studien. Aber auch die übrigen Teilnehmer der Gruppe profitieren von diesen weiterführenden Aufgaben, wenn sie im Rahmen echter Teamarbeit gelöst werden.
- ➔ Als dritte Komponente ist die Materialenauswahl selbst zu nennen. Während einige Vorlagen, wie „Wie funktioniert die Lunge?“ allgemeines Grundwissen thematisieren, gibt es zum selben Themenkomplex andere Materialien wie „Die Luft, die wir atmen“ oder „Der LEGO-Molekül-Baukasten“, die über den curricularen Lernstoff hinausgehen, Verbindungen und fruchtbare Querverweise zu weiteren Phänomenen und Gebieten schaffen und dadurch geeignet sind, interessierte und begabte Schüler zusätzlich zu fördern.



Freiarbeit

Eine mögliche Form der Arbeit mit den vorgestellten Materialien, die gerade die im letzten Punkt angesprochene Differenzierung berücksichtigt, ist eine Freiarbeitsphase. Die Schüler bekommen ein Pensum der zu bearbeitenden Themen an die Hand, welches sie in einem vorgegebenen Zeitrahmen, etwa 2 Wochen, zu bewältigen haben. Dabei steht es ihnen frei, die Reihenfolge und die Lernpartner zu wählen. Das Pensum enthält nebeneinander Aufträge aus dem Lehrbuch, Rechercheaufgaben und die Schülerexperimente aus dieser Sammlung. Durch Markierung werden solche Aufgaben kenntlich gemacht, die alle Schüler obligatorisch bearbeiten müssen. Dies dient der Sicherung des jeweilig angestrebten Lernziels. Darüber hinaus finden die Schüler etliche Materi-

3. Allgemeine Hinweise zur Benutzung dieser Materialsammlung

en und Aufgaben auf dem Pensenblatt, die nach persönlicher Neigung und Interesse selbstständig bewältigt werden können. Alle Arbeitsergebnisse werden verschriftlicht und in individuellen Mappen gesammelt, was neben der Beobachtung während der Erarbeitungsphase zur Benotung herangezogen werden kann.

Ein Vorteil dieser Verwendung der Materialsammlung ist, dass jedes Experiment oder Material nur einmal oder höchstens doppelt im Klassenraum vorhanden sein muss, da nicht alle Schüler synchron an der gleichen Aufgabe arbeiten. Natürlich erfordert diese Form mehr Planungskompetenz und Selbstständigkeit seitens der Schüler, was aber ein implizites Lernziel an sich darstellt.

Bitte beachten Sie: Die unterschiedlichen beschriebenen Sozialformen und vor allem die Freiarbeit, funktionieren nicht von heute auf morgen perfekt. Man muss sie einüben, immer wieder Stunden gleich oder ähnlich aufbauen, sodass sich die Schüler an den entsprechenden Ablauf gewöhnen können.

Im Rahmen der Entwicklung und Erprobung der in dieser Sammlung vorgestellten Materialien wurde den Schülern stets das hier beschriebene Freiarbeitsangebot gemacht, was auf großes positives Echo der Schüler und auch der Eltern stieß.

Muster zur Ansicht

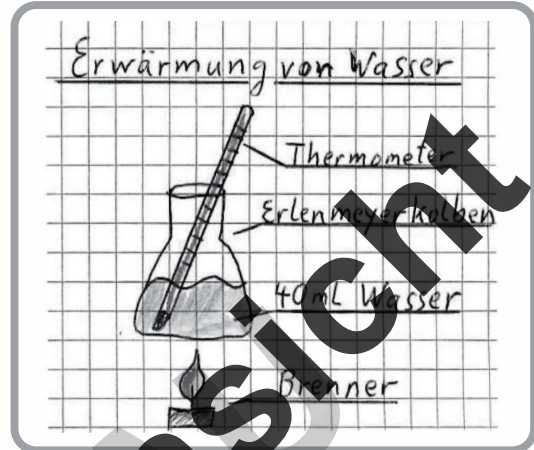
Methodenkarte 1

Was gehört in eine Prinzipskizze?

Eine Prinzipskizze illustriert den Aufbau und die Durchführung eines Experiments.

Beachte:

- Zeichne nur das Wichtigste.
- Stelle die Geräte vereinfacht dar.
- Verwende Symbole, z. B. Pfeile.
- Verdeutliche durch Farben.
- Beschrifte sinnvoll.
- Vergiss nicht die Überschrift.

Beispiel:

Methodenkarte 2

Diagramme zeichnen

Diagramme veranschaulichen den Verlauf von Veränderungen, z. B. von Daten in einer Tabelle.

Beachte:

- Zeichne mit Blei- oder Buntstift.
- Verwende Lineal und Kästchenpapier.
- Stelle die Achsen als Pfeile nach rechts und oben dar.
- Welche Werte kommen vor?
- Welche Werte kommen auf die Achse nach oben, welche nach rechts?
- Wie viel cm Platz brauchst du?
- Beschrifte die Achsen: „Was?“
- Unterteile die Achsen: „Wie viel?“
- Zeichne die Punkte als Kreuze (+).
- Finde die richtige Stelle:
Erst rechts, dann hoch.
- Verbinde die Punkte eventuell mit einer Linie.
- Trage weitere Messungen mit einer anderen Farbe ein.
- Vergiss nicht Überschrift.

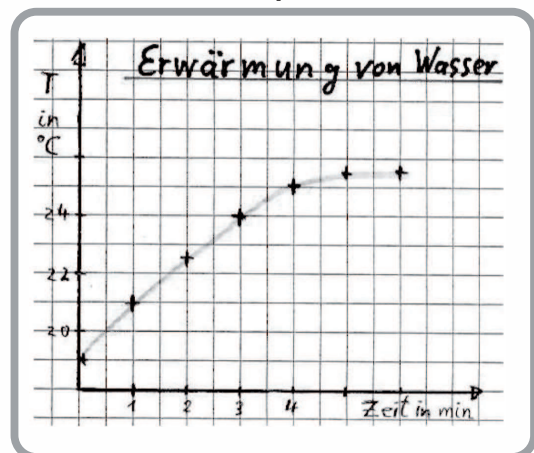
Beispiel:

Diagramme lesen

Mithilfe von Diagrammen kannst du Details erfahren, die man aus einer Tabelle nur schwer ersehen kann. Zum Beispiel kannst du Daten ermitteln, die du gar nicht gemessen hast. Hier einige Möglichkeiten anhand eines Beispiels:

1. Wie hoch war die Temperatur nach 2,5 min?

- Suche auf der Zeit-Achse zwei und eine halbe Minute.
- Gehe senkrecht nach oben, bis du auf die Linie triffst.
- Gehe nun waagrecht nach links bis zur Temperatur-Achse.
- Lies dort die Temperatur (etwa 23°C) ab.

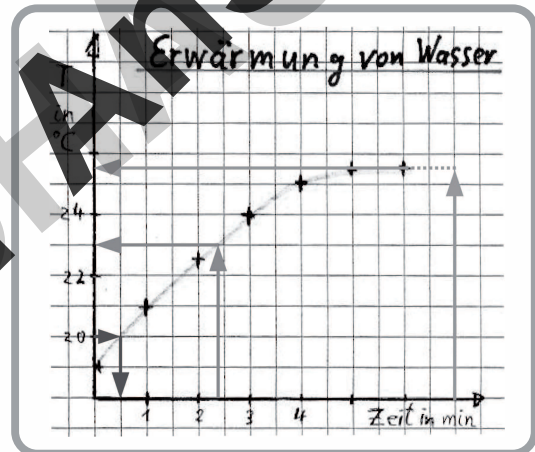
2. Wann war es genau 20°C warm?

- Suche auf der T-Achse die 20° und gehe nach rechts.
- Gehe an der Linie nach unten bis zur Zeit-Achse.
- Lies die Zeit (etwa eine halbe Minute) ab.

3. Wie warm wird es nach 7 min sein?

- Suche auf der Zeit-Achse 7 min und gehe nach oben.
- Verlängere die blaue Linie in ihrer letzten Richtung.
- Gehe vom Schnittpunkt nach links zur T-Achse.
- Lies dort ab, dass die Temperatur vermutlich nicht über $25,5^{\circ}\text{C}$ steigt.

Beispiel:



Methodenkarte 4

Wie lege ich eine Tabelle an?

Eine Tabelle ist eine gute Möglichkeit, Messergebnisse übersichtlich aufzuschreiben.

Beachte:

- Welche Größen sollen gemessen werden?
- Wie oft willst du messen?
- Benutze ein Lineal für die Linien.
- Die Größe, die du vorgibst (z. B. Zeit), kommt in die 1. Zeile.
- Die Größe, die du abliest, kommt in die 2. Zeile.
- Wird der Versuch wiederholt, kommen Zeilen hinzu.
- In der 1. Spalte stehen die Messgrößen (Was?/Einheit).
- Benutze Abkürzungen (z. B. T für Temperatur).
- In den Spalten steht nur die Zahl, nicht die Einheit.
- Wähle eine erklärende Überschrift.

Beispiel:

Messwerttabelle:

Erwärmung von Wasser

Zeit in min	1	2	3	4	5
T, °C	21	22,5	24	25	25,5

Methodenkarte 5

Was ist ein Versuchsprotokoll?

Ein Versuchsprotokoll beschreibt knapp das Ziel, den Aufbau, die Durchführung und das Ergebnis eines Experiments.

Gehe folgendermaßen vor:

- Wähle eine exakte **Überschrift**, z. B. „Messung der Wassererwärmung mit der Zeit“.
- Verdeutliche den Versuchsaufbau durch eine beschriftete **Prinzipiskizze** (Karte 1).
- Beschreibe kurz die **Durchführung** des Experiments: Was hast du getan?
- Wenn du nur etwas anschauen solltest: Schreibe deine **Beobachtungen** sorgfältig auf.
- Wenn du etwas gemessen hast, schreibe die Werte auf, z.B. in einer **Tabelle** (Karte 4).
- Wird der Versuch mehrfach wiederholt, bilde den Mittelwert der **Messungen** (Karte 7).
- Zur Veranschaulichung kannst du die Messergebnisse in ein **Diagramm** einzeichnen (Karte 2).
- Fragen zur **Auswertung** musst du mit ganzen Sätzen beantworten.
- Manchmal kannst du einen **allgemeinen Zusammenhang** vermuten. Schreibe ihn auf.



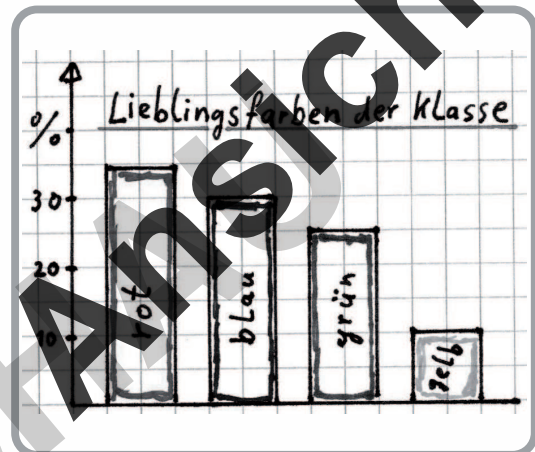
Säulendiagramme zeichnen

Säulendiagramme zeigen auf einen Blick die Zusammensetzung von Dingen und die jeweiligen Mengen.

Beachte:

- ➔ Zeichne mit Blei- oder Buntstift.
- ➔ Verwenden Lineal und Kästchenpapier.
- ➔ Auf die Achse nach rechts kommen die Merkmale.
- ➔ Auf die Achse nach oben zeichnest du die Menge.
- ➔ Gib die Menge in Prozent (%) oder absolut an.
- ➔ Wähle einen günstigen Maßstab, z. B. 1cm = 10 %.
- ➔ Wie viel cm Platz brauchst du?
- ➔ Die Summe aller Säulen ergibt 100 %.
- ➔ Beschrifte dein Diagramm sorgfältig.
- ➔ Vergiss nicht die Überschrift.
- ➔ Unterteile die Hochachse: „Wie viel?“.
- ➔ Verdeutliche mit Farben und zeichne eventuell eine Legende ein.

Beispiel:



Mittelwerte berechnen

Mittelwerte von Messdaten zeigen viel genauer den wahren Wert als die ungenau gemessenen Einzeldaten.

Hat man einen Wert z. B. vier Mal gemessen, so addiert man alle Messungen und teilt die Summe durch die Anzahl der Messungen, also 4.

Das Ergebnis heißt Mittelwert und wird mit $\bar{x}$ abgekürzt: $\bar{x} = \frac{a + b + c + d}{4}$

Beispiel:

Die Größe von Kai wurde vier Mal gemessen: a = 152 cm

b = 151 cm

c = 151 cm

+ d = 153 cm

607 cm

Die Summe wird durch die Anzahl 4 geteilt: $\bar{x} = 604 : 4 = 151,75$ cm

Sinnvoll gerundet: $\bar{x} = 151,8$ cm

Beachte:

- ➔ $\bar{x}$ ist genauer als die Messungen.
- ➔ Die Einheit von $\bar{x}$ bleibt gleich (z. B. cm).
- ➔ Je mehr Daten du addierst, desto genauer ist das Ergebnis.
- ➔ $\bar{x}$ ist nur sinnvoll bei gleichen Messungen.
- ➔ Die Bedingungen dürfen sich nicht ändern.
- ➔ Runde auf so viele Kommastellen, wie es sinnvoll ist.

Wie bereite ich einen Vortrag vor?

Einen Vortrag vor der Klasse zu halten ist etwas ganz anderes als einen Aufsatz vorzulesen. Bei einem Vortrag kommt es darauf an, dass die Zuhörer, also deine Mitschüler, möglichst viel von dem Gesagten verstehen und behalten können.

Die acht wichtigsten Tricks und Tipps:

1. **Lass dir Zeit!** Das normale Lesetempo ist viel zu hoch, um alles zu verstehen. Zwing dich, langsam zu reden und nach jedem Satz eine kurze Pause zu machen.
2. **Schau die Zuhörer an!** Je öfter du ins Publikum schaust, desto besser erreichst du deine Zuhörer. Du bekommst dann mit, ob etwas nicht verstanden wurde und näher erklärt werden muss.
3. **Versuche, frei zu sprechen!** Die geschriebene Sprache ist deutlich anders als die gesprochene. Benutze Karten mit wenigen Stichworten und formuliere die Sätze dazu spontan.
4. **Gib Veranschaulichungen!** Vermeide unbekannte Fremdwörter oder zu viele Zahlen und bringe statt dessen Vergleiche. Benutze eine lebendige Sprache mit vielen Adjektiven.
5. **Mache den Vortrag interessant!** Zeige Bilder und Diagramme auf dem Overhead-Projektor oder der Tafel, bastle Modelle oder bringe Anschauungsstücke mit.
6. **Übe das freie Vortragen mit einem Freund!** Das Referat wird um so flüssiger, je öfter du es vorher laut ausprobiert hast. Dein Freund kann dir nach dem Probevortrag rückmelden, was du besser machen könntest.
7. **Gib am Anfang einen Überblick!** Sage den Zuhörern in einem Satz, was sie erwartet. Falls du später einen längeren Vortrag halten musst, kannst du auch eine Gliederung auflegen.
8. **Frage zum Schluss, ob es Unklarheiten gibt!** Damit gibst du bekannt, dass der Vortrag nun zu Ende ist und Fragen gestellt werden können. Bei Fragen während des Vortrags solltest du auf den Schluss verweisen, außer wenn es sich um sehr einfach zu beantwortende Verständnisfragen handelt.

Was bedeutet die Angabe Prozent?

Oft findest du in Texten, die Zahlen enthalten, Angaben wie „25 %“. Das Zeichen % steht dabei für Prozent.

Beachte:

- ➔ Wir verwenden %, um einen Anteil darzustellen.
- ➔ Dabei stellen wir uns vor, es gäbe insgesamt genau 100 Stück oder Anteile.
- ➔ Die Prozentzahl gibt dann an, wie viele Stück von dieser Sorte du hättest.
- ➔ Die Summe aller Prozentzahlen muss immer 100 ergeben.
- ➔ Durch Prozente sind Zahlen leichter vergleichbar.
- ➔ Wenn du Prozente als Säulendiagramm darstellen sollst, ist 1 % gleich 1 mm eine gute Wahl.

Beispiel:

In einer Klasse sind 15 Mädchen und 10 Jungen, also insgesamt 25 Schüler. Wenn es 100 Schüler wären, die Anteile aber gleich blieben, müssten wir jede Zahl mit 4 multiplizieren:

$$\begin{array}{lcl} 25 \cdot 4 = 100 & \rightarrow & 100 \% \text{ Schüler} \\ 15 \cdot 4 = 60 & \rightarrow & 60 \% \text{ Mädchen} \\ 10 \cdot 4 = 40 & \rightarrow & 40 \% \text{ Jungen} \end{array}$$

Muster zur Ansicht

5.4 Sinnesorgane



Didaktische Hinweise zu den Materialien zu den Sinnesorganen

Dem Themenschwerpunkt Sinnesleistungen kommt im Inhaltsfeld Bau und Leistungen des menschlichen Körpers eine besondere Bedeutung zu. Die Sinne als unser Fenster zur Außenwelt bilden die Schnittstelle zwischen dem Ich und der Umwelt. Die Auseinandersetzung mit diesem spannenden Thema sollte nicht auf die anatomischen Fakten, Baupläne und Zusammenhänge reduziert bleiben. Vielmehr kann gerade die Hinterfragung der durch die Sinne vermittelten Weltsicht zur besseren Einschätzung und vorsichtigeren Interpretation scheinbar objektiver Wahrheiten beitragen. In diesem Sinne stellen die Untersuchungen zu diesem Thema, besonders die am eigenen Körper gemachten, eine Grundlage der Erkenntnistheorie dar, die nicht nur für das spätere exakte naturwissenschaftliche Arbeiten, sondern auch im Alltag höchst nützlich sein können.

Dieses Thema ist wie kein anderes dazu geeignet, selbst Experimente durchzuführen, die die z. T. erstaunlichen Qualitäten unserer Sinne aufspüren und erfassen können. Dabei sind sowohl quantitative als auch rein qualitative Experimente möglich. Dominierend, weil am leichtesten im Schülerexperiment durchzuführen und für den Menschen als Augentier am relevantesten sind dabei die Versuche zum Sehsinn. Auf die Aufnahme von Beispielen zu optischen Täuschungen wurde verzichtet, da sie in großer Zahl in der einschlägigen Literatur und zunehmend – interaktiv – im Netz zu finden sind.

Neben Materialien zu den eigentlichen Grundsinnen des Menschen wurden auch Experimente zur Reizleitung, zum Tast- und Temperatursinn sowie zur Bildverarbeitung im Gehirn mit aufgenommen. Hingegen fanden Versuche zur Zungenkarte und zum Riechen hier keine Berücksichtigung.

Gerade die einfachen Experimente zum Tast- und Temperatursinn zeigen Resultate, die die Schüler in Erstaunen versetzen, stellt es sich doch heraus, dass man weder die Temperatur an jeder Stelle unseres Körpers fühlen noch den Ort einer Berührung beliebig genau lokalisieren kann.

Im Sinne eines fächerverbindenden Arbeitens sind Materialien in diese Sammlung aufgenommen worden, die eine Brücke schlagen zwischen den physikalischen Phänomenen der Optik und Akustik auf der einen und ihrer Verarbeitung durch die Sinne auf der anderen Seite. Gerade die Spiegelversuche, die mit dem Konterfei der Schüler selbst als Spiegelobjekt arbeiten, zeigen diese Verschränkung von physikalisch-objektiven Gesetzen der Optik mit der Registrierung und Analyse durch den Sinnesapparat. Interessant daran ist weiterhin der methodologische Hintergrund, nämlich dass hier einer der seltenen Fälle auftritt, bei dem der Ausgang des Experiments der vorher formulierten Hypothese genau entgegengesetzt ist und so zu einer Revision führen muss. Ausgehend von unserer Alltagserfahrung wird jeder im Voraus vermuten, dass ein doppelt so weit entfernter Spiegel sein Spiegelbild auch nur halb so groß auf der Spiegeloberfläche zeigen wird. Die objektive Messung zeigt den Schülern jedoch, dass das Gegenteil der Fall ist.

Da der exakten Beobachtung bei naturwissenschaftlichen Untersuchungen die größte Bedeutung beikommt, werden die Schüler stets angehalten, ihre Erkenntnisse so weit wie möglich mit eigenen Worten zu formulieren. Bei der weiteren Interpretation der Daten, die aus sich selbst heraus durch die Schüler nicht leistbar ist, sind zusätzliche Informationstexte gegeben, deren Inhalte im Kontext der neuen Erfahrungen verarbeitet und wiedergegeben werden sollen.

Für die Dokumentation der Versuchsumstände wird häufig eine sogenannte Prinzipskizze eingefordert, eine knappe Zeichnung, die die wesentlichen Teile des Versuchsaufbaus in beschrifteter Form zeigt. Eine Anleitung zur Anfertigung gibt die entsprechende Methodenkarte 1.



Einbettung der Materialien zu den Sinnen in eine Unterrichtssequenz

Bau und physiologische Leistungen der menschlichen Sinne sind wegen ihrer Relevanz und Komplexität an mehreren Stellen des Curriculums verankert. Im naturwissenschaftlichen Anfangsunterricht kann es nicht um letzte Details gehen, vielmehr sollten die Schüler einen Überblick über ihre Sinnesleistungen bekommen und darüber hinaus durch Vergleich mit der Tierwelt auch einen Vergleichsstandard, der es ihnen ermöglicht, ihre Fähigkeiten einzuordnen.

Eine mögliche Reihenfolge der Sinnesmaterialien gibt folgende Übersicht. Es sei jedoch nochmals darauf verwiesen, dass man auch alle Materialien in Form einer Sinneswerkstatt, eines Stationenlernens oder eines Freiarbeitspensums zusammen anbieten und die Schüler frei wählen lassen kann.

Unsere Sinne – Fenster zur Umwelt

Übersicht

- Sinne beim Menschen
- Sinne bei Tieren (Beispiele Fledermaus, Hund, Katze, Biene, Taube)

Das Sehen

- Bau des Auges
- Strahlengang im Auge
- Exkurs: Was bedeutet Sehen? – Alte und neue Vorstellungen
- Leistungen und Grenzen des Auges
- Exkurs: Augenformen im Tierreich
- **Experiment „Wir suchen unseren blinden Fleck“**
- Wozu hat der Mensch zwei Augen? – Stereoskopisches Sehen
- Brillen und Augenschwächen
- Exkurs: Augenstellung von Jäger und Beute im Tierreich
- **Experiment „Das Loch in der Hand“**
- **Experiment „Sehen wir mit dem Auge oder mit dem Gehirn?“**
- Optische Täuschungen
- Licht und Schatten – Grundlagen der Optik
- **Experiment „Wo liegt das Spiegelbild?“**
- **Experiment „Wie groß ist mein Spiegelbild?“**
- **Experiment „Der sparsame Schotte“**
- Exkurs: Sehen und gesehen werden im Straßenverkehr

Das Hören

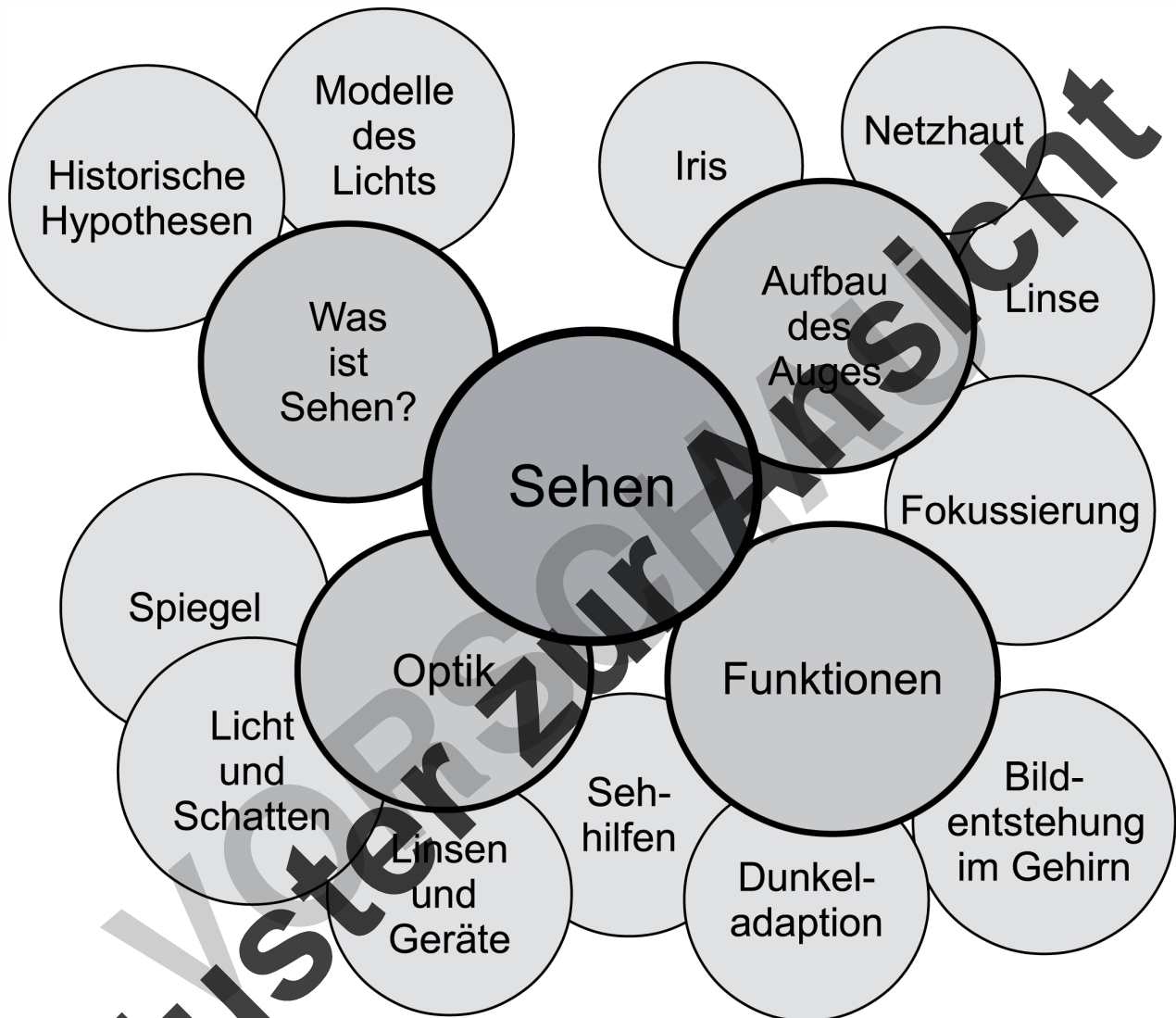
- Der Bau des Ohres
- Schwingungen und Schallwellen – Grundlagen der Akustik und der Musik
- **Experiment „Untersuchungen zur Schallerzeugung“**
- Exkurs: Die Schallgeschwindigkeit
- **Experiment „Wie können wir Richtungen hören?“**
- **Experiment „Meeresrauschen ohne Meer“**
- Lautstärke und Gesundheit: Wie laut ist mein mp3-Player?

Weitere Sinne

- Der Geschmackssinn und die Zungenkarte
- Der Geruchssinn beim Menschen
- Exkurs: Pheromone im Tierreich
- Der Tastsinn
- **Experiment „Überraschungen beim Tastsinn“**
- Exkurs: Die Tasthaare der Katzen
- Der Temperatursinn
- **Experiment „Wie wir Wärme fühlen“**
- Wie schütze ich mich vor Sonnenbrand?
- Nervenbahnen als Reizleitung zum Gehirn
- **Experiment „Das Reaktionsvermögen“**
- Exkurs: Reaktion und Abstand im Straßenverkehr

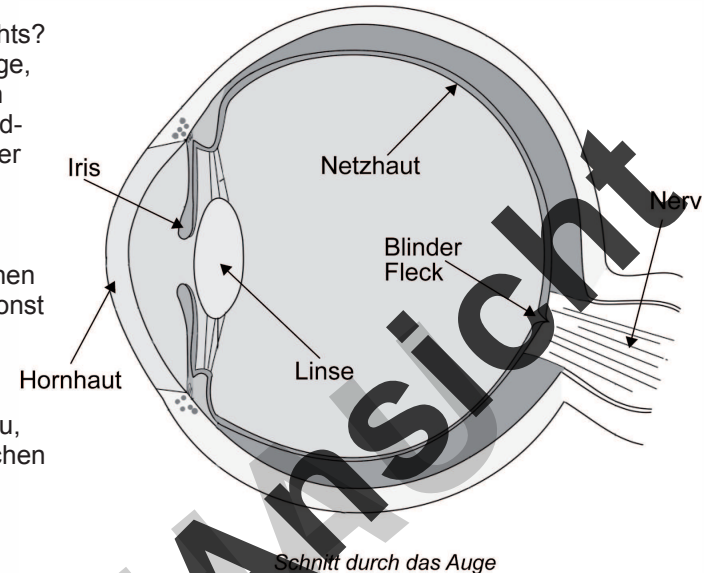
Sehen

Lernlandkarte und fächerübergreifende Themenkomplexe zum Sehsinn



A – Wir suchen unseren blinden Fleck oder Das Auge ist nicht perfekt

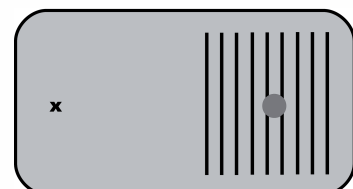
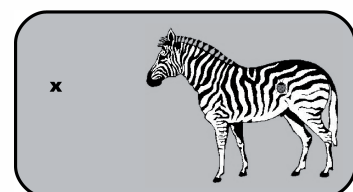
Info: Warum sieht man am blinden Fleck nichts?
Der blinde Fleck ist die Stelle in unserem Auge, an der der Nerv, der die Bildinformationen an unser Gehirn überträgt, durch die lichtempfindliche Netzhaut hindurch tritt. Deshalb ist dieser Fleck frei von Sinneszellen. Dieser Teil des Bildes, das auf die Netzhaut fällt, fehlt somit. Unser Gehirn ist jedoch schlau und füllt normalerweise den fehlenden Teil mit ähnlichen Bildinformationen aus der Umgebung aus. Sonst hätten wir immer ein Loch im Bild, das wir gerade sehen. Wenn sich aber genau nur an dieser Stelle ein anderes Objekt befindet, so können wir es nicht sehen. Hier erfährst du, wie du deinen blinden Fleck mit einem einfachen Experiment aufspüren kannst.

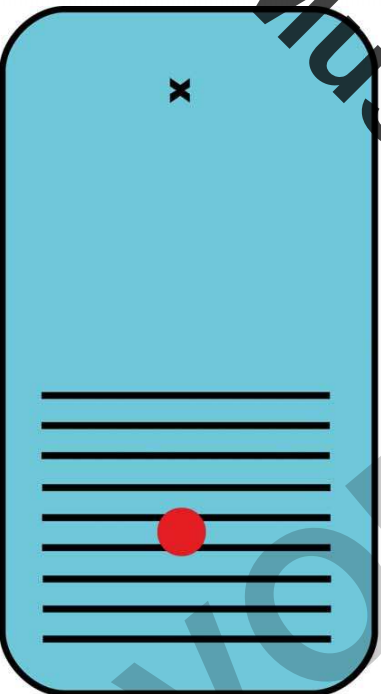
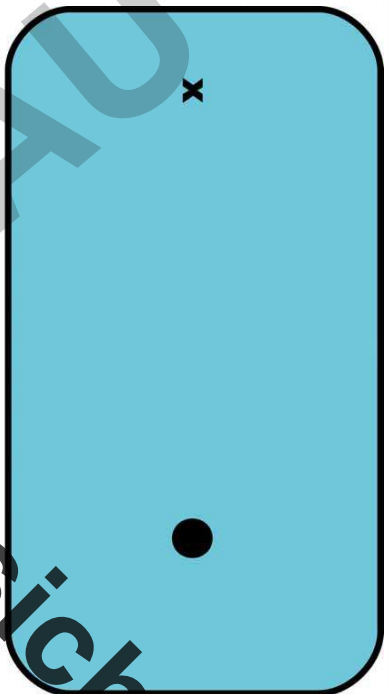


Material: Je eine Karte mit Kreuz und Punkt, eine mit Kreuz, Zebra und Käfer und eine mit Kreuz, rotem Punkt und Linienmuster.

Anleitung und Aufgaben

1. Nimm die Karte mit Kreuz und Punkt in die Hand und halte sie mit dem schwarzen Punkt nach rechts mit ausgestrecktem Arm vor dein Gesicht.
2. Halte dir das linke Auge zu und richte den Blick deines rechten Auges auf das Kreuz am linken Bildrand.
3. Ändere langsam den Abstand der Karte zu deinem Gesicht, ohne das Kreuz aus dem Auge zu lassen. Plötzlich verschwindet der Punkt. Du hast deinen blinden Fleck gefunden!
4. Wiederhole das Experiment mit der Zebrakarte. Auch der Marienkäfer verschwindet beim richtigen Abstand. Nicht einmal die rote Farbe kann man noch erkennen. Doch beobachte genau: Das Zebra hat an dieser Stelle kein Loch. Dieses Rätsel können wir mit der nächsten Karte genauer untersuchen.
5. Nimm nun die dritte Karte und führe das Experiment wie gehabt durch. Beobachte, was du an der Stelle des roten Punkts siehst.
6. Zeichne den Schnitt durch das Auge sorgfältig ab und beschrifte die Einzelteile.
7. Schau noch einmal in der Info nach, warum du am blinden Fleck nichts sehen kannst und beschreibe den Sachverhalt mit eigenen Worten in vollständigen Sätzen.
8. Beantworte auch die Frage, wieso die Streifen kein Loch aufweisen, sondern sichtbar bleiben.







Hinweise zum Versuch A „Wir suchen unseren blinden Fleck“

Zur Durchführung der Versuche benötigt man die drei türkisfarbenen Tafeln, die als Material von der beiliegenden CD auf einem Farbdrucker ausgedruckt werden können. Zweckmäßigerweise laminiert man diese Tafeln. Hat man nur einen Schwarz-weiß-Drucker zur Verfügung, muss man den roten Punkt nachträglich hinzufügen.

Primäres Ziel der Versuche ist es, den vielen Schülern bereits bekannten blinden Fleck tatsächlich an der eigenen Sinneswahrnehmung zu erfahren. Dazu dient zunächst, gemäß dem klassischen Versuch, die erste Karte mit dem Kreuz und dem Punkt. Das Kreuz dient bei allen drei Karten als Fixierpunkt und muss nach links gehalten werden, da der blinde Fleck des rechten Auges asymmetrisch auf der linken Seite der Netzhaut liegt. Die Projektion der konvexen Augenlinse bildet einen Punkt auf der rechten Seite des Blickfelds auf die linke Seite ab. Dieser Sachverhalt ist aber nicht Gegenstand des Versuchs, da er voraussetzt, dass die Schüler vorher die entsprechenden optischen Versuche durchgeführt haben.

Um den richtigen Winkel zwischen Fixpunkt und blindem Fleck einzustellen, muss der Schüler den Abstand zur Karte systematisch ändern, bis der Punkt unsichtbar wird, d.h. die Projektion des Punktes genau auf den von Sehzellen freien Bereich fällt, an dem die Nervenverbindungen der Netzhaut zum Gehirn angeknüpft sind. Dabei ist es wichtig, den Blick bewusst auf das Kreuz zu fixieren. Eine kleine Augenbewegung lässt den Punkt sofort wieder erscheinen. Bei dieser nicht ganz einfachen Übung ist es sinnvoll, das linke Auge mit der Hand zuzuhalten.

Die beiden weiteren Karten dienen dazu, eine andere physiologische Tatsache des optischen Systems zu erfahren. Befindet sich im Bereich des blinden Flecks ein einfaches Muster oder z. B. eine farbige Fläche, so erscheint nicht plötzlich an der entsprechenden Stelle ein schwarzes Loch im wahrgenommenen Bild. Die Bildverarbeitung des Gehirns sorgt vielmehr dafür, dass der fehlende Bereich mit der entsprechenden Bildinformation der Umgebung retuschiert wird.

Um diesen Effekt sichtbar zu machen, kann man einen lokalen Punkt mit einem großflächigen Muster kombinieren. Trifft die Bildinformation des Punktes auf den blinden Fleck, so verschwindet dieser und wird stattdessen mit dem umstehenden Muster überlagert. Um den Effekt zunächst spielerisch einzuführen, betrachten die Schüler das Bild eines roten Marienkäfers auf dem Streifenmuster eines Zebras. Im richtigen Abstand ist nur das schwarze Zebromuster zu sehen und der Käfer verschwindet. Es wird deutlich, dass selbst die Farbwahrnehmung (hier rot) im blinden Fleck nicht funktioniert.

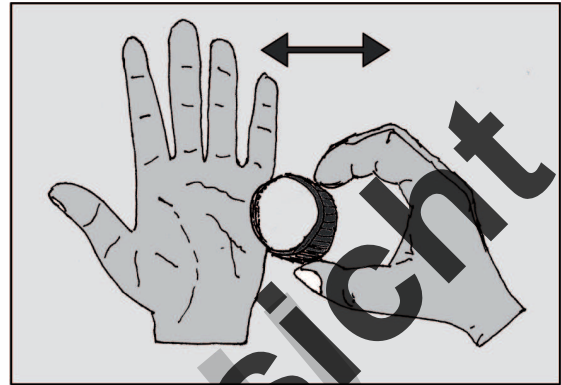
Die letzte Karte zeigt hinsichtlich des zu erforschenden Effekts keine Erweiterung mehr, sondern dient nur der Wiederholung an einem stärker abstrahierten Beispiel. Der Käfer wird durch einen roten Punkt ersetzt und das Fellmuster des Zebras durch eine einfache Schraffur.

In der Auswertung der Versuche sollen die Schüler die am eigenen Körper erfahrenen Effekte durch den entsprechenden Sachtext verstehen und die Erklärung mit eigenen Worten wiedergeben. Eine Prinzipskizze des Augenschnittes macht nebenbei die wesentlichen Bestandteile des Auges deutlich.

B – Das Loch in der Hand oder Zwei Augen im Dilemma

Info: Warum sieht man ein Loch in der Hand?

Bei diesem Versuch wollen wir unseren Sehsinn aufs Glatteis führen. Wir zeigen unserem rechten und unserem linken Auge gleichzeitig zwei unterschiedliche Bilder. Damit hat unser Gehirn das Problem, aus zwei sehr verschiedenen Bildern eines zu machen, wie es das normalerweise tut, um aus den kleinen Unterschieden zwischen linker und rechter Ansicht ein räumliches Bild zu erstellen. In diesem Falle können die beiden Bilder jedoch nichts Sinnvolles ergeben, und das Gehirn produziert so etwas wie ein Mischbild aus beiden Informationen.



Material: Papprohr

Anleitung

1. Halte das Papprohr mit der rechten Hand vor dein rechtes Auge und schaue hindurch.
2. Halte deine linke Hand vor dein linkes Auge. Der Abstand von deiner Hand zum Auge soll in etwa der Länge des Papprohrs entsprechen.
3. Beide Augen sind geöffnet. Nun schwenkst du das Papprohr langsam auf deine linke Hand zu, aber ohne sie vor das Rohr zu halten. Nähere dich dem Rohr nur so weit, dass kein Teil deiner linken Hand durch das Rohr zu sehen ist.
4. Du siehst die linke Hand nicht durch das Papprohr bzw. es sieht so aus, als hättest du ein Loch in der Hand.
5. Der Effekt ist übrigens verschieden stark, je nachdem, vor welches Auge man die Röhre hält. Probiere es auch einmal umgekehrt und entscheide, bei welcher Anordnung das Loch am deutlichsten in der Handfläche erscheint.

Aufgaben

1. Zeichne den Anblick deiner Hand durch das Rohr.
2. Beschreibe mit eigenen Worten, wie der Effekt zustande kommt.
3. Der letzte Versuchsteil zeigt, dass es immer ein stärkeres Auge gibt, das die Führung bei der Erstellung des Gesamtbildes übernimmt. Du kannst leicht herausfinden, welches dein führendes Auge ist. Strecke deinen Arm ganz aus und halte deinen Zeigefinger über einen weit entfernten Gegenstand, etwa einem Baum, während du mit beiden Augen schaust. Schließe und abwechselnd das linke und das rechte Auge. Das Auge, bei dem der Finger beim Baum bleibt, ist dein führendes. Schreibe auf, welches dein führendes Auge ist und beschreibe mit eigenen Worten, wie du es herausgefunden hast.
4. Tipp: Wenn du einmal zielen musst, z. B. mit Pfeil und Bogen, dann benutze stets dein führendes Auge.



Hinweise zum Versuch B „Das Loch in der Hand“

Bei diesem simplen und ohne großen Material- und Zeitaufwand durchzuführenden Versuch geht es um die physiologische Verarbeitung unserer Sinnesdaten im Gehirn. Der Nachweis, dass jedes Auge eine verschiedene Bildinformation liefert, kann im Vorfeld über die Betrachtung des sogenannten Daumensprungs thematisiert werden, also der leicht zu beobachtenden Tatsache, dass ein in das Gesichtsfeld gehaltener Daumen scheinbar hin und her springt, wenn man wechselseitig mit jeweils einem Auge schaut. Die Überlagerung zweier verschiedener Bildinformationen vom linken bzw. vom rechten Auge führt zur Erzeugung eines Synthesebildes mit Teilen beider Bilder.

Wegen der meist höheren Helligkeit im Zentrum des Bildes, welches durch das Rohr gesehen wird, kann sich dieser Teil als relevant im Synthesebild durchsetzen, während für die dunklere Umgebung des Rohrbildes die Information der Handoberfläche vom anderen Auge Verwendung findet. Die Überlagerung resultiert in dem Bild einer Hand mit einem kreisrunden Loch in der Mitte.

Das verwendete Papprohr dient der Fixierung eines genügenden Abstands und der Ausblendung irritierender Randinformation im Gesichtsfeld und sollte daher nicht zu kurz gewählt werden. Eine Klopapierrolle ist daher und auch wegen ihrer mangelnden Robustheit nicht geeignet, besser wird eine stabile Innenrolle von Haushalts- oder Alufolie verwendet.

Nach der ausführlichen Anleitung zur Erzielung des Effekts wird auch die Asymmetrie in der Wirksamkeit bei der Verwendung des rechten oder linken Auges thematisiert. Im Auswertungsteil erfährt der Schüler darüber hinaus weitere Informationen über die Hintergründe und wie er mit einem kleinen Versuch sein führendes Auge herausfinden kann.

Neben einer Beschreibung des Sinneseindrucks verlangt die Auswertung ein sinnentnehmendes Lesen der Erklärung des Effekts sowie eine Wiedergabe mit eigenen Worten.

Der verblüffende Anblick der eigenen, durchlöcherter Handfläche kann die Schüler dazu anhalten, über die Objektivität der Wahrnehmung der äußeren Welt nachzudenken. So kann ein Einstieg in eine spätere erkenntnistheoretische Diskussion vorbereitet werden.

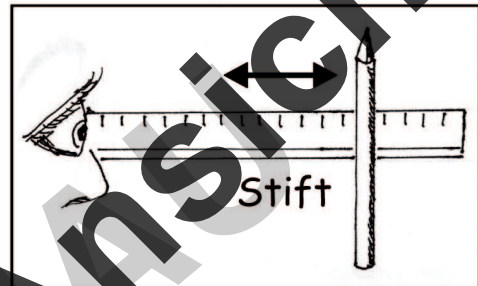
C – Wo liegt das Spiegelbild?

Info: Mit diesem Experiment wollen wir untersuchen, wo genau das Spiegelbild eines Spiegels liegt. Dazu musst du in einem Vorexperiment zunächst einmal ermitteln, wie nah du Gegenstände scharf sehen kannst. Dann wiederholen wir das Experiment mit einem Spiegel. Die Kombination beider Ergebnisse wird uns zur Erkenntnis führen, wo das Spiegelbild liegt.

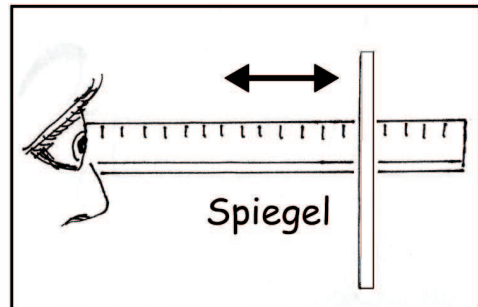
Material: Spiegelkachel (Vorsicht zerbrechlich!), Lineal, Stift

Durchführung

1. Im Vorexperiment bestimmst du deine eigene *minimale Sehschärfe*. Darunter versteht man die kleinstmögliche Entfernung zum Auge, bei der du einen Gegenstand noch scharf siehst. Dazu hältst du dir das Lineal ans Auge und führst einen Stift langsam an dem Lineal entlang auf das Auge zu, bis du den Stift gerade noch scharf siehst. Um den Abstand zu ermitteln, bittest du entweder einen Mitschüler, auf dem Lineal den Abstand zum Auge abzulesen, oder du hältst den Stift in dieser Position auf das Lineal gedrückt und nimmst beides dann vom Auge fort. Achte darauf, dass du die Skala auf dem Lineal richtig herum benutzt. Berücksichtige auch, dass einige Lineale mit ihrer Skala nicht am Rand beginnen. Wiederhole das Experiment einige Male, um den Wert sicherer zu bestimmen und notiere deine minimale Sehschärfe.



2. Im Hauptexperiment wiederholst du die Messung mit dem Spiegel. Wie weit kannst du den Spiegel auf die gleiche Weise an das Auge heranzuführen, bis du das eigene Auge gerade noch scharf im Spiegel siehst? Dieses Experiment ist schwierig, sodass du es mehrmals wiederholen und jedes Mal den Abstand des Spiegels aufschreiben solltest. Wenn du mehrere, voneinander abweichende Werte herausbekommen hast, sollst du mit einem Taschenrechner den Mittelwert berechnen, wie du das auch z. B. bei deiner Durchschnittsnote machst (Hilfe: Methodenkarte 7). Runde dein Ergebnis sinnvoll und schreibe den Mittelwert als minimalen Spiegelabstand auf.



Auswertung

1. Beschreibe die Durchführung und die Resultate der beiden Versuche mit eigenen Sätzen.
2. Zeichne auch jeweils eine Prinzipskizze (Hilfe: Methodenkarte 1) dazu.
3. Vergleiche die beiden Resultate. Damit kannst du jetzt die Frage beantworten: Wo befindet sich das Spiegelbild? Ist es einfach wie ein Foto auf dem Spiegel?



Auf welche Entfernung musst du einen Fotoapparat einstellen, wenn du dich selbst in einem 1,5 m entfernten Spiegel fotografieren willst?



Hinweise zum Versuch C „Wo liegt das Spiegelbild?“

Mit diesem zweiteiligen Experiment können die Schüler erfahren, dass der scheinbare Ort ihres Spiegelbilds nicht auf dem Spiegel, sondern hinter dem Spiegel liegt. Dieses scheinbare Paradoxon liegt in der physiologischen Tatsache begründet, dass der Sehapparat und der abgeschlossene Verarbeitungsvorgang im Sehzentrum des Menschen intern nur eine geradlinige Lichtausbreitung rekonstruiert, die in den meisten Fällen ja auch tatsächlich vorliegt. Eine Verbiegung der ankommenden Lichtstrahlen oder gar ein Knick, wie das Licht es an einer spiegelnden Oberfläche erfährt, ist in der Rekonstruktion der geometrischen Ursprünge der empfangenen Strahlen nicht vorgesehen.

Da die Nahakkommodation des Auges von Mensch zu Mensch und auch mit dem Alter variiert, ist es notwendig, dass jeder Schüler für sich in einem Vorversuch seine scharfe Sehweite erkundet, indem er einen Stift soweit an sein Auge heranhält, bis er ihn gerade noch deutlich sehen kann. Der Abstand kann dann an einem vor das Gesicht gehaltenen Lineal abgelesen werden. Hierzu bietet sich eine Teamarbeit an. Da dieser Nahpunkt unsicher zu bestimmen ist, sollte durch wiederholte Messung und anschließende Mittelwertbildung eine höhere Genauigkeit erzielt werden. Die gängige experimentelle Methode der Versuchswiederholung mit anschließender Mittelwertbildung kann an dieser Stelle thematisiert werden. Für ungeübte Schüler bietet sich der Verweis auf die entsprechende Methodenkarte 7 an.

Zur Durchführung des zweiten Versuchsteils wird ein kleiner, ebener Spiegel benötigt. Günstig sind zu diesem Zweck quadratische Spiegelkacheln, die in größeren Gebäuden im Baumarkt angeboten werden und auch für die anderen Versuche zur Spiegelung verwendet werden können. Die Wiederholung des ersten Versuchs mit einem Spiegel statt mit einem Stift und mit dem eigenen Auge als scharf zu erkennendes Objekt führt zur Erkenntnis, dass nun der Spiegel in etwa auf die Hälfte der vorher ermittelten Distanz gehalten werden muss. In Kombination beider Ergebnisse schließt der Schüler, dass das Spiegelbild des Auges aus einer Entfernung zu kommen scheint, die doppelt so groß ist wie der Abstand des Spiegels.

Der logische Schluss, dass das Spiegelbild hinter dem Spiegel liegen muss, widerspricht der Alltagserfahrung der Schüler, die wissen, dass Spiegel nicht durchsichtig sind, also keine Bildinformation aus dem Bereich hinter dem Spiegel stammen kann. Dieser Wissenskonflikt ist ein guter Aufhänger für die Einführung des Konzepts des virtuellen Bildes, mit dessen Hilfe viele optische Brechungsvorgänge einfach geometrisch erklärt werden können. So kann der Lichtweg eines gespiegelten Gegenstandes am einfachsten durch eine Achsenspiegelung an der Spiegelachse konstruiert werden. Von dem so erzeugten virtuellen Bild geben geradlinige Lichtstrahlen in das Auge des Beobachters den Lichtweg ab der Spiegeloberfläche wieder. Es muss nur noch der Lichtweg vom Gegenstand bis zu diesem Punkt auf dem Spiegel ergänzt werden.

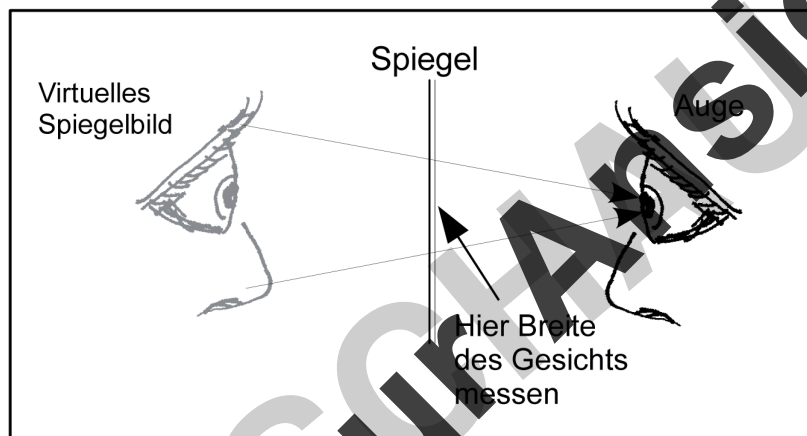
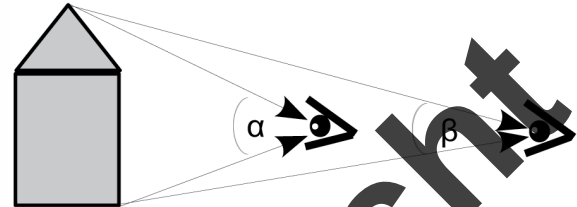
Im Anschluss an die Protokollierung und Auswertung der Ergebnisse führt eine letzte Aufgabe zu einer Anwendung und Überprüfung der soeben erworbenen Kenntnisse am Beispiel eines Fotos, das in einem Spiegel hinein fotografiert wird.

D – Wie groß ist mein Spiegelbild?



Info: Wenn man sich von einem Gegenstand weiter entfernt, so wird er (scheinbar) kleiner – jedes Kind kennt diese Erfahrung. Scheinbar ist diese Verkleinerung, weil die Dinge natürlich nicht wirklich schrumpfen, sondern der Winkel, unter dem der Gegenstand erscheint, kleiner wird, wie es in dem Bild rechts gezeigt wird: Der Winkel α ist wesentlich größer als der Winkel β .

Wie sieht es aber bei unserem Spiegelbild aus? Dabei müssen wir unterscheiden zwischen der Größe des virtuellen Bildes hinter dem Spiegel und der scheinbaren Größe des Spiegelbildes auf dem Spiegel. Die zweite Größe können wir leicht messen, wie es auf der Skizze unten dargestellt wird:



Material: Spiegelkachel (Vorsicht zerbrechlich!), Maßband, wasserlöslicher Stift

Durchführung

1. Schreibe eine Vermutung auf, wie sich die Größe deines Spiegelbildes auf der Spiegeloberfläche verändert, wenn du den Spiegel weiter weg hältst.
2. Lege die Spiegelkachel vor dich auf den Tisch und schaue dich im senkrechten Abstand von 30 cm an. Benutze das Maßband, um den richtigen Abstand zu finden. Markiere den Abstand deiner Augen auf der Spiegeloberfläche.
3. Miss anschließend den Abstand der Markierungen auf dem Spiegel mithilfe des Maßbands und schreibe den Wert auf.
4. Miss zum Vergleich den wahren Abstand deiner Augen und notiere ihn ebenfalls. Lass dir dabei von einem Mitschüler helfen.
5. Stelle dich nun vor den Tisch und verdopple den Abstand zum Spiegel auf 60 cm. Verwende dazu das Maßband. Wiederhole die Messung deines Augenabstands auf dem Spiegel und schreibe auch dieses Ergebnis auf. Da die Messung etwas ungenau ist, solltest du beide Messungen (2) und (3) mehrmals wiederholen und den Mittelwert bilden. (Hilfe: Methodenkarte 7).

Auswertung (Stets in ganzen Sätzen antworten.)

1. Wie groß ist dein Bild auf dem Spiegel verglichen mit der Wirklichkeit?
2. Vergleiche deine Ergebnisse mit deiner ursprünglichen Vermutung. Ist sie durch das Experiment bestätigt oder umgestoßen worden? Schreibe deine neuen Erkenntnisse zur Frage „Wie groß ist das Spiegelbild auf dem Spiegel?“ auf.
3. Beantworte mit deinen neuen Einsichten die Frage: „Wie groß muss ein Taschenspiegel sein, damit er den ganzen Kopf zeigt?“



Hinweise zum Versuch D „Wie groß ist mein Spiegelbild?“

Dieser Versuch zum Spiegelbild ist etwas anspruchsvoller als der vorangehende und sollte daher in der vorgegebenen Reihenfolge bearbeitet werden. Eine Voraussetzung für das Verständnis und die Einordnung des experimentell Erarbeiteten ist das Konzept des virtuellen Bildes, also die Erkenntnis, dass der scheinbare Entstehungsort eines Spiegelbildes im gleichen Abstand hinter der Spiegelfläche liegt wie der gespiegelte Gegenstand davor.

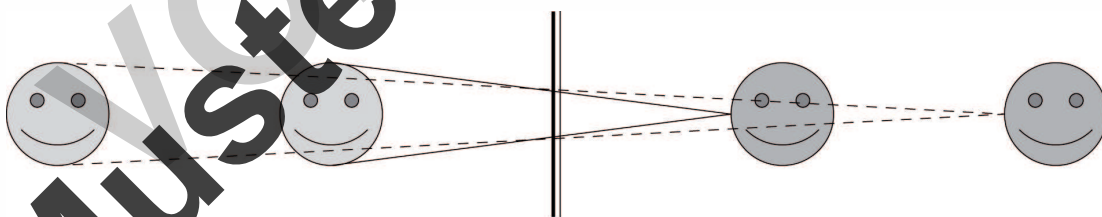
Ausgangspunkt der Untersuchungen ist die Alltagserfahrung, dass ein Körper umso kleiner erscheint, je weiter er entfernt ist. Dass sich diese Betrachtung auf den Raumwinkel bezieht, den dieser Körper einnimmt, wird im anfänglichen Informationstext erläutert. Dies setzt allerdings voraus, dass die Schüler den Begriff des Winkels bereits kennen. In der ersten Aufgabe sind die Schüler aufgefordert, ihre Alltagserfahrung bezüglich der Größe von Gegenständen auf das konkrete Beispiel des Spiegelbildes am Ort der Spiegeloberfläche zu übertragen und sie als Vermutung zu formulieren. Die einzig logische Übertragung ist die, dass auch die Spiegelbildgröße sich so verhält wie gewohnt, nämlich dass sie mit der Entfernung schrumpft.

Im Folgenden vermessen die Schüler die Größe ihres Spiegelbildes auf der Spiegeloberfläche. Hierzu eignen sich wiederum Spiegelkacheln, die zur Messung einfach auf den Tisch gelegt werden. Die nicht ganz einfache Markierung der Gesichtsgröße anhand des Augenabstands kann mit abwischbaren Filzstiften direkt auf der Spiegelkachel vorgenommen werden. Es bietet sich an, diesen Versuch in Partnerarbeit durchzuführen. Da sich hier eine gewisse Ungenauigkeit einstellen kann, bietet sich diese Messung erneut zur Einübung der Mittelwertbildung an (Hilfe: Methodenkarte 7). Die alten Markierungen sollten stets weggewischt werden.

Das gleiche Experiment wird anschließend mit doppeltem Abstand vom Spiegel wiederholt. Zur Einhaltung des Abstandes haben sich kostenlose Papier-Maßbänder aus dem Baumarkt bewährt.

Bei der Auswertung wird zunächst der Vergleich der Spiegelbildgröße mit dem tatsächlichen Augenabstand erfragt. Dieser wurde vorher, unter Zuhilfenahme eines Partners, am eigenen Gesicht ermittelt. Es stellt sich heraus, dass der Augenabstand gerade halb so groß ist wie der tatsächliche. Dies gilt im Übrigen für beide Messungen bei den um den Faktor zwei verschiedenen Abständen. Die Durchdringung dieser Erkenntnis wird mit der Frage nach der nötigen Größe eines Taschenspiegels wieder aufgegriffen.

Die eigentlich größte Überraschung erfährt der Schüler beim Vergleich der beiden Messungen in den verschiedenen Abständen: Egal wie weit er vom Spiegel entfernt ist, erscheint sein Spiegelbild auf der Spiegeloberfläche gleich groß (Natürlich gilt dieser Zusammenhang nur im Nahbereich des Spiegels). Dies ist aber durch die folgende Zeichnung leicht einzusehen:



Die Abnahme des Raumwinkels durch die Verdopplung des Abstands wird durch die gleichzeitige Verlängerung des relevanten Dreiecks in erster Näherung kompensiert, sodass sich die Schenkel der beiden Dreiecke genau in der Mitte, d. h. auf der Spiegeloberfläche, kreuzen. Dies führt zu einer identischen Größe des Spiegelbildes auf der Glasoberfläche. Um diese Erklärung zu verstehen, benötigen die Schüler einiges geometrisches Wissen und eine Einführung in die Strahlenoptik. Daher kann der Unterrichtsgang je nach Erfahrungslevel der Klasse dorthin fortgeführt werden, muss er aber nicht, da die primäre Intention des Versuchs in der Konfrontation neuer Erkenntnisse mit der Alltagserfahrung liegt. Interessant ist der Versuch für die Schüler schon deshalb, weil es ein prägnantes Beispiel dafür ist, dass die Extrapolation von Erfahrungswissen in neue, unbekannte Bereiche durchaus zu falschen Schlüssen führen kann. Es ist nur menschlich, dass sich der Verstand zunächst gegen die logische Schlussfolgerung aus den Messungen wehrt. So gibt es bei diesem Versuch immer einige Schüler, die als Konklusion genau ihre alte Erwartung formulieren und nicht deren Überwindung. Hier bietet sich eine gute Gelegenheit, in der Klassengemeinschaft über die Aussagekraft und Verallgemeinerung von Experimenten sowie über die Probleme bei der Akzeptanz von Neuem zu diskutieren.

E – Der sparsame Schotte

Info: Über die Schotten gibt es viele Witze, weil sie so sparsam sind. Hier kannst du ausprobieren, wie ein Schotte Geburtstag feiert. Dazu benutzen wir einen Klappspiegel, bei dem zwei Spiegelkacheln beweglich zusammengeklebt wurden, sodass man die beiden Hälften in verschiedene Winkel zueinander stellen kann. Gleichzeitig ermöglicht dieser Aufbau es auch, dass der Doppelspiegel ohne Hilfe steht.

Material: Klappspiegel, Kerze im Halter, Bauklotz mit Zahlen, Grad-Skala



Kerze im Winkelspiegel

Schottengeburtstage

1. Klappe die Spiegelhälften soweit auf, dass die spiegelnden Flächen einen Winkel von 90° zueinander einnehmen. Nimm dabei die Grad-Skala mit 5° -Unterteilung zur Hilfe. Stelle die Kerze vor den Doppelspiegel und schaue hinein. Ist der Winkel korrekt, sollte die Kerze mit dem Original genau vierfach zu sehen sein: Der 4. Geburtstag des Schotten.
2. Untersuche systematisch, bei welchen Winkeln welcher Geburtstag gefeiert wird. Achte darauf, dass die Tortenstücke auf dem Boden dabei immer gleich groß sind.
3. Trage deine Ergebnisse in einer Tabelle wie unten ein.

Geburtstag	2	3	4	5	6	8	10
Winkel							

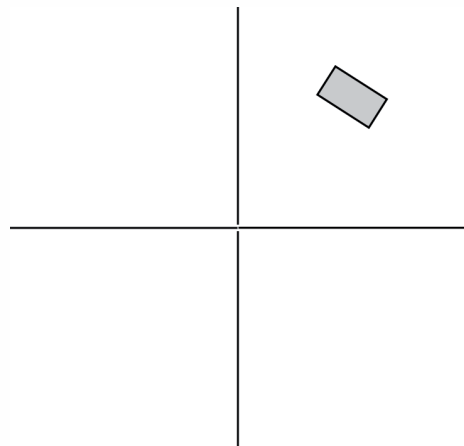
4. Überlege, nach welcher Regel man den Winkel berechnen kann. (Tipp: Multipliziere den Geburtstag mit dem jeweiligen Winkel.) Probiere die Regel an weiteren Beispielen und kontrolliere auch mit dem Winkelspiegel. Formuliere zuletzt eine Regel als Merksatz.

Das Bild vom Bild vom Bild

1. Stelle die Spiegel auf genau 90° , sodass unten gerade durchgehende Linien zu sehen sind. Schaue dein Gesicht hinten im Winkelspiegel an. Was ist anders als üblich? (Tipp: Blinze einmal mit dem rechten Auge.) Schreibe die Unterschiede zum normalen Spiegelbild auf.
2. Lege den Bauklotz zwischen die Spiegel. Du siehst neben dem Original drei Spiegelbilder (auch *virtuelle Bilder* genannt). Beachte die Zahlen auf dem Quader. Versuche zu erklären, wie das 3. Abbild hinten entsteht.
3. Konstruiere die drei Spiegelbilder in der Aufsicht rechts. Zeichne dazu die Vorlage ab und spiegle die Figur, wie du es in der Mathematik gelernt hast.



Mit welcher Symmetrie-Konstruktion könnte man direkt vom Original zum dritten Bild gelangen?



4. Etwas Merkwürdiges zum Schluss: Halte den Winkelspiegel mit beiden Händen bei 90° vor dein Gesicht und drehe ihn dann wie ein Lenkrad um eine waagerechte Achse. Was passiert mit deinem Spiegelbild? Drehe bis 90° .





Hinweise zum Versuch E „Der sparsame Schotte“

Dieser Versuch hat seinen Reiz durch die sicher von vielen bereits im Alltag beobachtete Vervielfältigung von Spiegelbildern bei gleichzeitiger Betrachtung in zwei gegeneinander gerichteten Spiegelflächen. Um diesen Effekt systematisch untersuchen zu können, muss ein einfacher Klappspiegel hergestellt werden. Dabei hat es sich bewährt, zwei Spiegelkacheln aus dem Baumarkt mit einem stabilen Textil-Klebeband von 4 cm Breite locker zu verbinden. Der Winkel zwischen den Spiegeln kann prinzipiell mit einem Geodreieck gemessen werden, was aber vielen Schülern Probleme beim Anlegen und Ablesen bereitet. Einfacher ist es, die große Gradskala, die sich als Material zu diesem Versuch auf der beiliegenden CD befindet, auszudrucken und zu laminieren. Nun kann der Winkelspiegel einfach mit seiner Scharnierachse auf den Nullpunkt der Skala gestellt und der Winkel abgelesen werden.

Im ersten Teil der Versuche können die Schüler auf spielerische Art herausfinden, wie die Anzahl der Spiegelbilder mit dem Winkel zwischen den Spiegelflächen variiert. Die Leitfrage nach dem zu feiernden Geburtstag des Schotten impliziert, dass dabei das Originalbild mitgezählt werden muss und nicht nur die echten Spiegelbilder. Dies ist vorteilhaft für die später zu bildende Regel, die die Abhängigkeit der Gesamtzahl vom eingestellten Winkel beschreiben soll: Inklusive des Originals ergibt das Produkt aus Winkel x und Anzahl y immer 360° , also einen Vollkreis. Dies ist auch beim Betrachten der Spiegelbilder evident.

Die daraus abzuleitende antiproportionale Beziehung $y(x) = \frac{360^\circ}{x}$ ist für junge Schüler sehr abstrakt und

schwer nachvollziehbar, sodass es genügen sollte, wenn die Schüler die Produktversion $x \cdot y = 360^\circ$ in einem Satz formulieren können. Im idealen Fall sollte das Ergebnis wie auf der unten stehenden Tabelle aussehen:

Geburtstag	2	3	4	5	6	8	10
Winkel	180°	120°	90°	72°	60°	45°	36°

Je weiter der Spiegel zugeklappt werden muss, desto ungenauer wird allerdings die Ablesung des Winkels, sodass bei den höheren Geburtstagen durchaus Abweichungen von bis zu 2° auftreten können. Diese Komplikation, nämlich die Fehlerhaftigkeit von Messergebnissen, bietet eine gute Gelegenheit, diese für naturwissenschaftliche Messprozesse typische Eigenschaft zu thematisieren. Wird die Regel an den ersten drei Einstellungen erkannt, kann sie im Umkehrschluss an den übrigen überprüft und als sinnhaft erfahren werden.

Da die Anzahl der entstehenden Spiegelbilder beim immer weiteren Zuklappen der Spiegelhälften schnell ansteigt, drängt sich bei vielen Schülern die Frage auf, wie groß die Anzahl bei Parallelstellung wäre. Dies ermöglicht einen ersten Kontakt der Schüler mit der Imagination des Unendlichen. Die Vorstellung einer theoretisch unendlichen Anzahl von Abbildern kann eine Faszination hervorrufen und weitere fruchtbare Diskussionen anregen.

Im zweiten Teil der Versuche soll das System mit drei Spiegelbildern, also die 90° -Konfiguration, genauer untersucht werden. Einen ersten Eindruck von der Struktur bekommen die Schüler beim Betrachten des 3. Spiegelbilds ihres eigenen Gesichts. Zwar sieht das Bild wegen der Achsensymmetrie des Körpers auf den ersten Blick richtig aus, beim Versuch, sich zuzublinzeln, wird aber die Vertauschung der Gesichtshälften sofort deutlich. Dieser Anblick ist für die meisten Schüler sehr befremdlich. Der genaue Grund für dieses Verhalten des Winkelspiegels kann im Folgenden untersucht werden. Dafür benötigt man einen Quader, der auf jeder Seite mit Zahlen beschrieben wurde. Ein Würfel ist nicht geeignet, da die zu entdeckenden Eigenschaften einer Spiegelung von einer Spiegelung durch die verschiedenen Kantenlängen deutlicher hervor treten. Ein quaderförmiger Bauklotz aus Holz tut hier gute Dienste. Die Beschriftung auf den Seitenflächen sollte mit Ziffern und nicht als Punkte, wie beim Würfel üblich, sein, da auch die Wahrnehmung der Spiegelschriftlichkeit von Bedeutung ist.

Die Verknüpfung der detaillierten Betrachtung der Spiegelbilder mit der den Schülern aus der Mathematik bekannten Achsenspiegelung lässt sie zu dem Schluss kommen, dass das 3. Spiegelbild als Spiegelung der Spiegelung aufgefasst werden kann. Die entsprechenden Symmetrieeigenschaften können daher auch direkt durch eine Punktspiegelung vom Original erzeugt werden.

In einem letzten Handversuch wird diese Eigenschaft auf verblüffende Weise aufgegriffen. Indem die Schüler die Spiegelachse gegen die Körperachse drehen, zerstören sie die vorherige Übereinstimmung der Symmetrie, sodass das 3. Bild kippt und sich schließlich auf den Kopf stellt. Dies kann Anlass dazu geben, den symmetrischen Aufbau der verschiedenen Tierklassen zu thematisieren und die jeweils zugrundeliegende Symmetrie der Baupläne zu untersuchen.

F – Sehen wir mit dem Auge oder dem Gehirn?

Info: Der untenstehende Text aus lauter Farbwörtern, die selbst in verschiedenen Farben gedruckt sind, kann uns in einem Experiment einen Hinweis darauf geben, wie das Gehirn beim Sehvorgang funktioniert.

Durchführung

1. Lies die Worte auf der Karte unten nacheinander laut vor.
2. Wiederhole das Experiment, doch sage dieses Mal nur die Farben, in der die Worte gedruckt sind, in der geschriebenen Reihenfolge. Was stellst du fest?

ROT BLAU GRÜN SCHWARZ GELB
 ORANGE BRAUN ROT GRÜN BLAU
 GELB SCHWARZ LILA GELB ORANGE
 GRÜN ROT BLAU VIOLETT SCHWARZ
 WEISS LILA BLAU GRÜN GELB ROT
 ORANGE SCHWARZ BRAUN LILA
 BRAUN ROT GELB BLAU GRÜN WEISS
 VIOLETT GELB BLAU ROT BRAUN
 GRÜN VIOLETT LILA SCHWARZ WEISS

Erklärung

Durch von den Gegenständen, die uns umgeben, reflektierende Lichtstrahlen entsteht auf der Rückseite unseres Auges ein Bild aus Licht, das dort von lichtempfindlichen Sehzellen in Nervenimpulse verwandelt wird. Die optischen Informationen, die unsere Augen aus unserer Umwelt aufnehmen, werden also in Form von Nervenimpulsen weiter zum Gehirn gesandt. Erst das Gehirn kann aus den Impulsen wieder einen Sinn konstruieren, indem es z. B. Strukturen, Umrisse, Farben usw. erkennt. Dabei vergleicht es die neuen Informationen ständig mit alten, früher gespeicherten, und lernt dabei stets dazu.

Bei der Verarbeitung der Bildinformation werden verschiedene Areale des Gehirns durchlaufen, die z. B. für Muster zuständig sind. Nun ist es so, dass das Lesen, wenn es einmal erlernt ist, in einem Teil des Gehirns stattfindet, der sehr schnell funktioniert. Farben zu unterscheiden, dauert hingegen länger. Man kann sich nicht dazu zwingen, ein Wort, wenn man es sieht, nicht zu lesen. Wenn man versucht, die Farben der Wörter zu nennen, kommen daher am Sprachzentrum, welches die Begriffe für die Farben und für die Worte gespeichert hat, zwei widersprüchliche Informationen an. Es ist, als würde dir jedes Mal jemand falsch vorsagen. Dadurch ergeben sich die Schwierigkeiten beim Vorlesen der Farben.

Aufgabe

Beschreibe deine Erfahrung bei dem Experiment und gib die Erklärung dafür mit eigenen Worten wieder.

ROT BLAU GRÜN SCHWARZ GELB
ORANGE BRAUN ROT GRÜN BLAU
GELB SCHWARZ LILA GELB ORANGE
GRÜN ROT BLAU VIOLETT SCHWARZ
WEISS LILA BLAU GRÜN GELB ROT
ORANGE SCHWARZ BRAUN GRAU LILA
BRAUN ROT GELB BLAU GRÜN WEISS
VIOLETT GELB BLAU ROT BRAUN
GRÜN VIOLETT LILA SCHWARZ WEISS





Hinweise zum Versuch F „Sehen wir mit dem Auge oder dem Gehirn?“

Dieser schnell und ohne großen Aufwand durchführbare Versuch zeigt den Schülern in verblüffender Weise, dass wir unsere Umwelt nicht unvoreingenommen und quasi objektiv wie ein Fotoapparat aufnehmen, sondern dass Sehen offenbar ein höchst komplexer Prozess ist. Der Titel des Versuchs wirft bereits ein erstes Licht auf die Problematik. Natürlich ist auch schon jungen Schülern bewusst, dass die Bildinformation vom Auge über den Sehnerv ins Gehirn weitergeleitet wird. Die dabei suggerierte Vorstellung eines Anschlusskabels in Analogie zu einer Kamera ist so falsch nicht. Was dieser Versuch aber deutlich macht ist, dass die wahrgenommene Bildinformation offensichtlich nicht eins zu eins als Bedeutungsinformation in unserem Bewusstsein ankommt.

Der erste Teilversuch, das Lesen der Farbwörter, funktioniert bei jedem Schüler flüssig und schnell. Beim Aufsagen der jeweiligen Farbe jedoch kommt fast jeder ins Zögern und strauchelt. Der Schüler erfährt am eigenen Leib, wie der Sprachapparat sich förmlich weigert, die jeweilige Farbe zu nennen. Stets liegt ihm ein anderes Wort, nämlich das Farbwort, auf der Zunge. Dieses Unvermögen wird im Allgemeinen mit Gelächter und großer Anteilnahme der Mitschüler registriert, führt aber über diese unerwartete Erfahrung bei fast allen Schülern zum Wunsch, die dahinter liegenden Zusammenhänge zu ergründen und gibt so einen guten Einstieg in die Thematik sowohl der Sinnesverarbeitung im Gehirn als auch, bei älteren Schülern, in die Erkenntnistheorie.

Die Auswertung des Versuchs beschränkt sich im Wesentlichen zunächst auf die genaue Wiedergabe des soeben Erlebten mit eigenen Worten. Dem folgt eine Auseinandersetzung mit dem kurzen Sachtext auf der Vorlage, in dem die wichtigsten Fakten zum Sehprozess und zur Deutung dieses Effekts zusammengestellt sind.

Weitere qualitative Versuche zur Verarbeitung und Interpretation der Bildinformation durch unser Gehirn bieten optische Täuschungen, die verschiedene Teile unserer Bildverarbeitung in die Irre führen können. Materialien hierzu gibt es zuhauf in Büchern und im Internet.

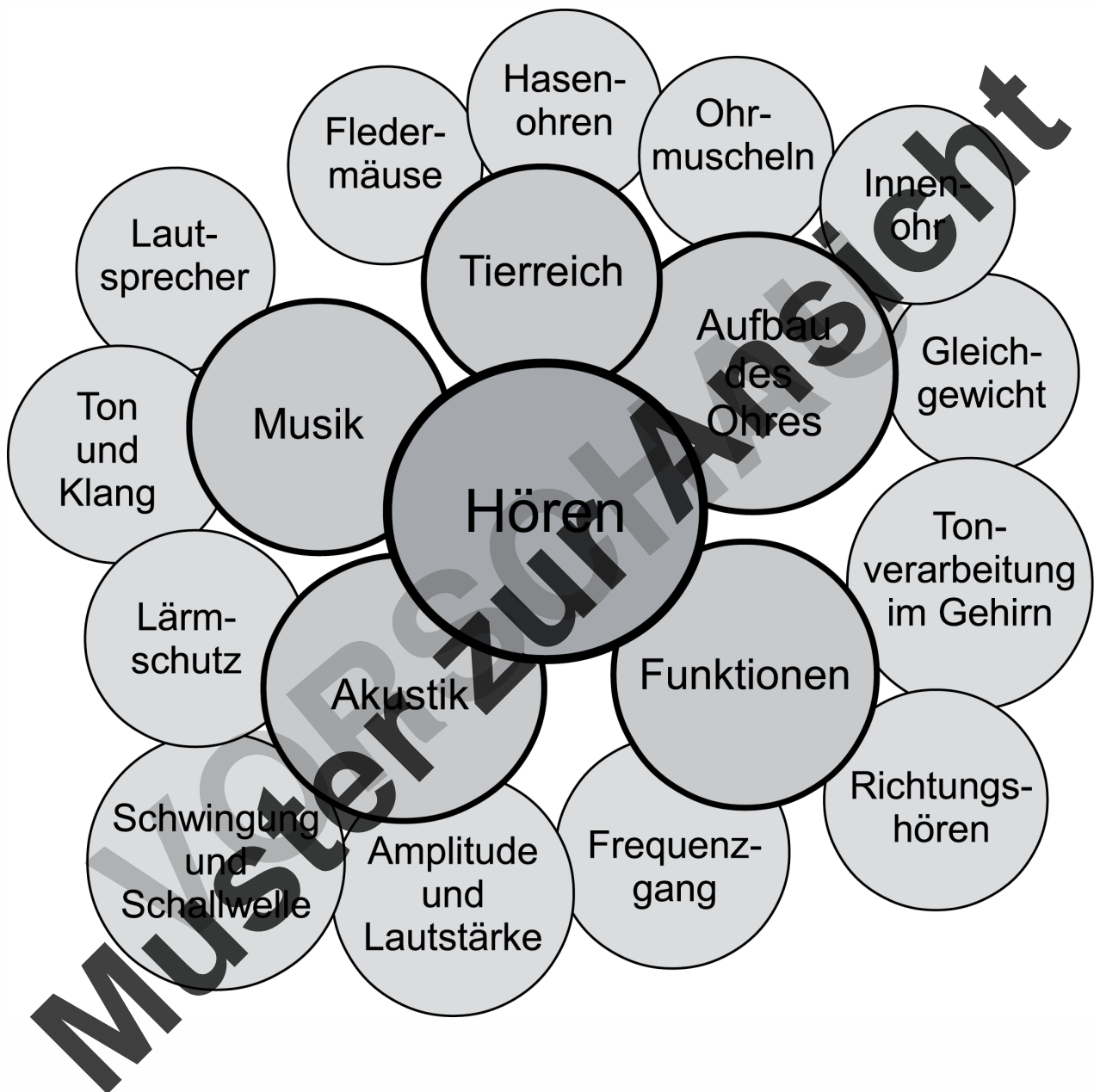
Um zu verstehen, warum eine Wortinformation offenbar viel schneller erkannt wird als eine Farbinformation, muss erstere auf die Mustererkennung, zweitere auf die Farbwahrnehmung zurückgeführt werden. Beide Prozesse sind allerdings so komplex, dass sich für die Schule nur vereinfachte Modelle anbieten. Zum Verständnis ist hier ein evolutionsbiologisches Argument hilfreich. Zur Orientierung und zur möglichen Gefahrenabwehr musste sich beim Mensch die Mustererkennung (Tiger) als möglichst schneller Prozess herausbilden, die jeweilige Farbuordnung ist dagegen sekundär. Die Artikulation als Wort schließlich ist wiederum ein dritter Prozess, der den beiden anderen zeitlich nachgestellt ist. Genau an dieser Stelle entsteht der Konflikt im zweiten Versuchsteil, da die Wortinformation über die Mustererkennung schon präsent ist und nun gleichzeitig von einem zweiten Wort, der Farbbenennung, überlagert wird.

Natürlich eröffnet sich hier auch die Möglichkeit, das interessante Thema des verschiedenen Farbsehens bei Tier und Mensch aufzugreifen. Die unterschiedliche Anzahl von Farbrezeptoren, drei bei Primaten, dagegen nur zwei bei den meisten übrigen Säugetieren und gar vier bei Vögeln, führt zu sehr unterschiedlich großen Farbräumen bis hin zu ‚unsichtbaren‘ Farbmischungen aus dem UV-Bereich. Ein Vergleich mit der Wahrnehmung eines Menschen bei Rot-grün-Blindheit ist dabei sehr aufschlussreich.

Schließlich bietet sich das Thema des Versuchs auch als Einstieg in die Frage an, wie der Sehvorgang aus physikalischer Sicht überhaupt funktioniert. Dabei sind nicht die physiologischen Details gemeint, sondern die Adressierung des in vielen Schülerköpfen (und bei so machen Erwachsenen) falsch verstandenen Prinzips des Sehens. Unser Auge sieht nicht das, wo es aktiv hinschaut, sondern registriert passiv das Licht von Gegenständen, das in unser Auge fällt. Ein Exkurs zu den historischen Vorstellungen des Sehens belegt, dass die umgekehrte Sichtweise über viele Jahrhunderte Gültigkeit hatte.

Hören

Lernlandkarte und fächerübergreifende Themenkomplexe zum Hörsinn



G – Wie können wir Richtungen hören?

Info: Wenn jemand im Klassenraum spricht, wissen wir auch ohne hinzusehen, wo sich der Sprecher befindet. Offensichtlich kann das Gehirn die Richtung einer Schallquelle orten. Wichtig ist hierbei, dass beide Ohren den Ton gehört haben. Jeder kennt den Effekt auch beim Musikhören mit einem Kopfhörer. Deutlich sind verschiedene Instrumente in unterschiedlichen Richtungen zu hören, obwohl hier die Musik nur von links oder rechts aus den Ohrlautsprechern kommt.



Material: Schlauch mit 2 Trichtern,
Markierstift (abwischbar),
Lineal, Taschenrechner

Aufgaben zur Durchführung

1. Halte den Schlauch mit den beiden Trichtern an deine Ohren und lass ihn hinter deinem Rücken hängen.
2. Dein Partner klopft an verschiedenen Stellen mit dem Stift auf den Schlauch. Was hörst du? Kannst du erraten, wo dein Partner auf den Schlauch geklopft hat?
3. Wechselt ab, sodass auch der andere Partner das Experiment ausprobiert.
4. Sucht den Punkt auf dem Schlauch, bei dem der hörende Partner den Ton genau von hinten hört und markiert ihn mit dem Stift.
5. Klopft nun zunehmend weiter von diesem Punkt entfernt, bis der hörende Partner eindeutig bestimmen kann, ob der Ton von rechts oder links kommt.
6. Markiert auch diesen Punkt auf dem Schlauch und misst den Abstand in Millimetern.
7. Da dieser Versuch sehr ungenau ist, wiederholt das letzte Experiment noch vier Mal und schreibt jedes Mal den Abstandswert auf.
8. Wechselt euch nun in der Rolle des Hörers und des Klopfers noch einmal ab, sodass zum Schluss jeder seine eigenen fünf Abstandswerte bestimmt hat.



Experiment zum Richtungshören

Aufgaben zur Auswertung

1. Fertigt eine Prinzipskizze und eine Kurzbeschreibung des Versuchs an (Methodenkarte 1).
2. Beschreibt, was man hört, wenn seitlich geklopft wird. Es kommen dann zwei Töne durch die beiden Schlauchenden zu zwei verschiedenen Zeiten an. Hört man daher auch zwei Töne nacheinander?
3. Bildet jeweils den Mittelwert eurer gemessenen Abstände von der Mittellage. Falls ihr nicht wisst, wie man den Mittelwert ausrechnet, hilft euch die Methodenkarte 7 weiter. Ihr könnt einen Taschenrechner zur Hilfe nehmen.
4. Der Schall bewegt sich sehr schnell, er legt in der Sekunde etwa 340 Meter zurück. Das bedeutet, dass er für jeden Millimeter, den er im Schlauch zurücklegt, etwa 3 Mikrosekunden benötigt. Das ist eine unvorstellbar kurze Zeitspanne, denn eine Mikrosekunde ist der tausendste Teil einer Tausendstel Sekunde, also ein Millionstel einer Sekunde. Nimm deinen Mittelwert mal zwei und rechne ihn von Millimetern in Mikrosekunden der Laufzeit um. Diese kurze Zeitspanne kann dein Ohr unterscheiden. Aus diesem winzigen Zeitunterschied berechnet dein Gehirn unter anderem die Richtung des ankommenden Tons.



Kannst du erklären, wieso die gemessene Strecke verdoppelt werden muss?
(Tipp: Überlege, wie die beiden Töne zu den beiden Ohren gelangen.)



Hinweise zum Versuch G „Wie können wir Richtungen hören?“

Bei diesem Versuch geht es um eine qualitative und quantitative Untersuchung des menschlichen Hörvermögens bezüglich seiner Fähigkeit, die Richtung eines Geräusches im Raum zu orten. Die Versuche sind nur in Partnerarbeit durchführbar, wobei die beiden Schüler abwechselnd die Rolle des Hörenden und des Agierenden einnehmen.

Zur Vorbereitung benötigt man einen handelsüblichen PVC-Schlauch von gut einem Meter Länge und einem Innendurchmesser von 12 bis 15 mm. Hinzu kommen zwei kleine Trichter, die in die beiden Enden des Schlauchs hineingedrückt werden. Zwar funktioniert die Schallübertragung ins Ohr besser, wenn man die Schlauchenden direkt an das Ohr hält, jedoch sind die Trichter aus hygienischen Gründen vorteilhafter.

Während sich der eine Partner die Trichter an beide Ohren hält und der Schlauch für ihn unsichtbar hinter seinem Rücken hängt, schlägt der andere Partner mit einem Stift gegen den Schlauch. Der qualitative Teil des Versuchs besteht im Wesentlichen aus der Erfahrung, dass ein nicht mittig angeschlagener Schlauch einen Ton erzeugt, der deutlich von rechts oder links zu kommen scheint. Die Richtung weist umso deutlicher zu einer Seite, je weiter sich der Schlagort von der Mitte des Schlauchs entfernt befindet. Schlägt man genau mittig auf den Schlauch, so hört der Schüler den Ton genau von hinten. Im diesbezüglichen Teil der Auswertung wird erläutert, dass sich vom Entstehungsort des Klopfens zwei Töne in je eine Hälfte des Schlauchs fortpflanzen. Je weiter aus der Mitte entfernt der Ausgangspunkt liegt, desto größer ist der Laufzeitunterschied zwischen den Tönen. Das Ohr registriert also genau genommen zwei gleich klingende Töne in kurzem zeitlichen Abstand. Der Proband vernimmt jedoch immer nur einen Ton, der je nach Abweichung von der Mittellage mehr oder weniger eindeutig aus einer Richtung zu kommen scheint. Hier wird der Mechanismus evident, mit dessen Hilfe die Tonverarbeitung unseres Gehirns eine Richtungszuweisung vornimmt. Der Laufzeitunterschied eines ansonsten identischen Signals wird in eine Richtungsinformation umgewandelt. Die beiden Empfänger, unsere Ohren, sind liegen eine Kopfesbreite voneinander entfernt, sodass normale Raumsignale genau von links und rechts den größtmöglichen Zeitunterschied von etwa einer Millisekunde aufweisen. Hinzu kommt noch eine Änderung der Phasenlage der Schwingung an beiden Ohren, auf die unser Ohr ebenfalls sensitiv ist und die zur Bestimmung der Raumrichtung mit herangezogen wird, die aber in diesem Versuch nicht thematisiert werden soll. Bei Verkürzung des Laufzeitunterschieds wird eine entsprechende Richtung schräg zur Körperachse ermittelt, wobei die Form des Außenohrs die Unterscheidung zwischen vorne rechts und hinten rechts ermöglicht.

Im zweiten, quantitativen Teil des Versuchs soll die präzise zeitliche Trennschärfe unserer Ohren mithilfe desselben Effekts analysiert werden. Nachdem die Schüler in einem Vorversuch die genaue akustische Mitte mit einem abwischbaren Stift markiert haben, finden sie durch sukzessives Verschieben des Klopforts von der Mitte die Position heraus, bei der der hörende Schüler zum ersten Mal eine deutliche Verschiebung der Tonrichtung nach rechts oder links vernimmt. Diese Position wird markiert und der Abstand von der Nulllage gemessen. Da die Entscheidung ein subjektives Element enthält, muss das Experiment mehrmals durchgeführt und der Mittelwert gebildet werden. Eine Hilfe für ungeübte Schüler hierzu findet sich auf der Methodenkarte 7. Ist der gemittelte Abstand gefunden, kann er unter Zuhilfenahme der Schallgeschwindigkeit in Zeit umgewandelt werden. Da der Zusammenhang von Geschwindigkeit, Weg und Zeit vielen jüngeren Schülern nicht geläufig ist und zudem sehr kleine Werte dividiert werden müssten, wird die Umrechnung pauschal durch die Angabe der Laufzeit von Schall pro Millimeter erleichtert. Ein Abstand von 5 cm zwischen Mittellage und erstem Registrieren einer Richtungsverschiebung auf dem Schlauch würde somit in einer zeitlichen Auflösung von etwa 300 Mikrosekunden resultieren, wobei zu berücksichtigen ist, dass der gemessene Wert noch mit dem Faktor 2 multipliziert werden muss, da sich ja die Laufzeit des einen Tons um 5 cm verlängert, während sich die des anderen um die gleiche Strecke verkürzt. Das Erkennen dieses Umstands ist Inhalt des letzten Auswertungspunkts.

Auch bei diesem Experiment gelangen die Schüler, ähnlich wie beim Versuch F „Sehen wir mit dem Auge oder mit dem Gehirn?“, wiederum zur Erkenntnis, dass zwischen der wirklichen Außenwelt und unserer Wahrnehmung mittels der Sinnesorgane der Filter einer unwillkürlichen Interpretation geschaltet ist, sodass uns ein wahrer, unverfälschter Eindruck der Außenwelt versagt ist.

H – Untersuchungen zur Schallerzeugung

Info: Bei einem Ton können wir zwei Eigenschaften immer feststellen: Die *Lautstärke* und die *Tonhöhe*. Als drittes Merkmal kommt noch die *Klangfarbe* hinzu. Damit ist gemeint, dass derselbe Ton auf dem Klavier anders klingt als z. B. auf der Flöte. Hier wollen wir untersuchen, was die einzelnen Eigenschaften prinzipiell bedingt und verändert.

Material: Gummiringe, Dreiecksleiste, langes Plastiklineal

Aufgaben (Beantworte die Fragen in vollständigen Sätzen.)

1. Drücke das Lineal mit einer Hand so auf die Tischplatte, dass der längere Teil über die Kante ragt.
2. Schlage das überstehende Linealende mit der freien Hand an und lass es sich frei bewegen. Beachte den Ton, der dabei erzeugt wird.



Holzbox als Schallerzeuger

Info: Diese Auf- und Abbewegung heißt *Schwingung*.

3. Inwiefern ändert sich der Ton, wenn du das Lineal weniger stark oder stärker (Vorsicht, nicht zerbrechen!) anschlägst?

Info: Die Höhe des Ausschlags nennt man *Auslenkung* oder als Fachwort *Amplitude*.

4. Wie ändert sich der Ton, wenn du den überstehenden Teil des Lineals verkürzt? Beobachte genau, ob die Schwingungen dabei schneller oder langsamer werden.

Info: Die Tonhöhe kann entweder als Note angegeben werden oder durch die Anzahl der Schwingungen pro Sekunde. Diese Größe nennt man *Frequenz*, sie wird in *Hertz* angegeben. Ein höherer Ton entspricht dabei einer größeren Frequenz.

5. Spanne wie auf dem Foto einen der großen Gummiringe längs über den Holzkasten. Klemme die Dreiecksleiste ein.
6. Überprüfe, welche Töne du erzeugen kannst. Ergibt sich hierbei genau der gleiche Zusammenhang zwischen Auslenkung und Lautstärke sowie zwischen Tonhöhe und Länge des schwingenden Teils wie bei dem Versuch mit dem Lineal?
7. Mit dem Gummiring, der hier wie eine Saite wirkt, kann die Tonhöhe auch noch durch eine andere Methode verändert werden. Teste, wie die Spannung des Gummis sich auf die Frequenz auswirkt, indem du mit der anderen Hand an dem Gummi ziehst. Beschreibe.
8. Verschiebe die Leiste in die Mitte. Zupfe sacht an jeder Hälfte der Saite und vergleiche die Töne. Versuche durch vorsichtiges Verschieben der Leiste die Tonhöhen so zu verändern, dass links und rechts der gleiche Ton entsteht. Wenn es dir gelungen ist, verschiebe die Leiste um wenige Millimeter und schlage beide Saitenteile gleichzeitig an: Du wirst einen Ton hören, der abwechselnd laut und leise wird. Das ist ein Zeichen dafür, dass die Töne nun verschieden sind.

Info: Das An- und Abschwellen von zwei gemeinsam erklingenden Töne nennt man *Schwebung*. Gitarrenspieler verwenden diesen Trick, um ihre Saiten zu stimmen.



Hinweise zum Versuch H „Untersuchungen zur Schallerzeugung“

Bei diesen einfachen Versuchen zur Akustik geht es um ein Basisverständnis der physikalischen Vorgänge, die der Erzeugung von Tönen zugrundeliegen. Die Schüler erfahren an verschiedenen Beispielen, dass in jedem Falle eine periodische Schwingung auftritt, die eine Schallwelle produziert, deren Tonhöhe und Lautstärke von den genauen Umständen der Schwingung abhängt. Gleichzeitig wird den Schülern die Verknüpfung ihres Alltagswissens zu Schall und Tönen, nämlich dass ein Ton eine *Lautstärke* und eine *Tonhöhe* besitzt, mit den naturwissenschaftlichen Fachbegriffen *Amplitude* und *Frequenz* ermöglicht.

Zur Herstellung der akustischen Versuche ist kein großer Aufwand erforderlich. Am einfachsten benutzt man eine quaderförmige Holzbox, die es in vielen Baumärkten zu kaufen gibt, als Resonanzkörper für die Saitenversuche. Gleichzeitig kann diese Box auch als praktische Aufbewahrungsbox dienen. Als Saiten können handelsübliche Gummiringe verschiedener Länge angeboten werden. Da diese Gummis leicht reißen und verschwinden, empfiehlt es sich, einen kleinen Vorrat davon parat zu haben. Als zusätzliches Hilfsmittel benötigt man ein kurzes Stück einer Dreiecksleiste von der Länge der Boxbreite, die als Steg unter die Saiten geklemmt werden kann (siehe Foto).



Holzleiste als Schallerzeuger

Weiterhin findet ein langes (ca. 30–40 cm) Plastiklineal Verwendung. Dieses hat den Vorteil, dass der elementare Vorgang des Schwingens besonders deutlich beobachtet werden kann, sodass sowohl der Zusammenhang Schwingungsgeschwindigkeit – Tonhöhe als auch die Korrelation Schwingungsauslenkung – Lautstärke elementar erfahrbar sind. Auch die äußere Bedingung zwischen Tonhöhe und der Länge des schwingenden Lineals wird sofort evident, wenn der zur Schwingung angeregte Teil des Lineals, der dazu über den Tischrand gehalten wird, sukzessive verkürzt wird.

Die anschließende Wiederholung der Versuche mit den über die Box gespannten Gummis reproduziert einerseits die Ergebnisse der elementaren Schwingungsversuche, zeigt aber, dass die Tonerzeugung noch von weiteren Parametern – hier der Spannung der Saite – abhängen kann. Der Dreieckssteg ermöglicht dabei durch Verschiebung die einfache Veränderung der schwingenden Saitenlänge.

Schließlich können in einem weiteren Versuch durch mittige Anordnung des Stegs zwei fast gleich lange Saiten zum Schwingen gebracht werden, was zum Phänomen der *Schwebung* führt, also der konstruktiven und destruktiven Überlagerung der beiden Teilwellen, was als charakteristisches An- und Abschwellen der Lautstärke zu hören ist. Die Schwebungsfrequenz des Laut- und Leisewerdens entspricht dabei genau der Differenz zwischen den angeschlagenen Tönen und kann zum Stimmen von Saiteninstrumenten genutzt werden.

In dieser elementaren Einführung kann es noch nicht um das vertiefte Verständnis und die mathematische Beschreibung der Schwingungsparameter gehen, daher wird in der Auswertung z. B. von Frequenzberechnungen o. Ä. abgesehen. Vielmehr werden die Schüler zur genauen Beobachtung und anschließenden schriftlichen Fixierung des Wahrgenommenen angehalten.

Die Klangboxversuche eignen sich auch gut als begleitendes Material bei der Klärung der anatomischen Vorgänge im Mittelohr, die zu unserer Hörwahrnehmung führen.

I – Meeresrauschen ohne Meer oder Auch Ohren können sich täuschen

Info: Wie entsteht das Rauschen im Ohr? Wenn du eine Muschel an dein Ohr hältst, kannst du deutlich ein leises Rauschen hören. Deshalb sagt man oft, in der Muschel sei das Rauschen des Meeres eingefangen und man könne es immer noch hören.

Eine weitere Hypothese, wie das Rauschen entsteht, findet man in vielen Büchern und auch im Internet. Danach stammt das Geräusch, das man hört, von deinem eigenen Körper. Es sei eine Art Echo des Rauschens deines Blutes, das in den Adern des Ohres fließt. Es werde von dem Gefäß eingefangen, innen mehrfach reflektiert und verstärkt und schließlich wieder vom Ohr empfangen.

Eine dritte Hypothese besagt, dass das Ohr nichts mit dem Rauschen zu tun habe, vielmehr würden in einem Gefäß einige Geräusche, die ständig im Hintergrund vorhanden sind, durch Resonanz verstärkt, ähnlich wie in einer Gitarre die Saitenschwingungen verstärkt würden.



Meeresrauschen aus der Muschel

Material: Muschel, Kunststoffdöschen, Becher

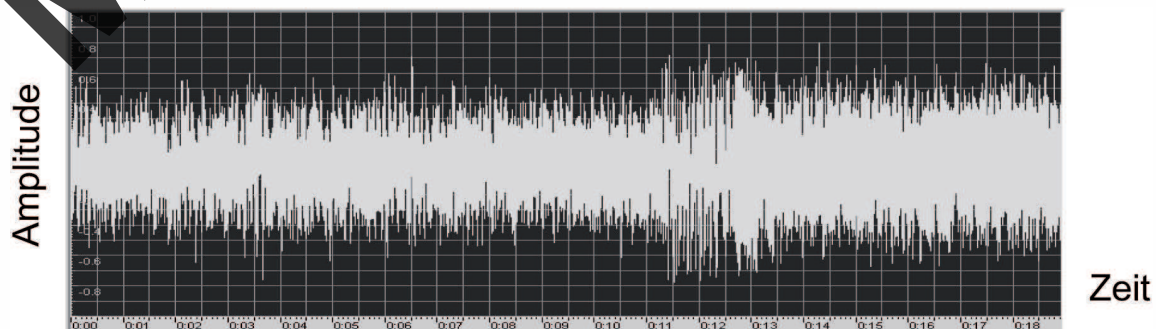
Aufgaben (Die Beantwortung der Fragen soll in vollständigen Sätzen erfolgen.)

1. Halte die Muschel an dein Ohr. Deutlich hörst du ein Rauschen wie das Murmeln von Wellen am Strand. Es könnte also eingefangenes Meeresrauschen sein.
2. Versuche auch die anderen Gefäße. Hörst du auch ein Rauschen? Wenn ja, welche der drei Hypothesen scheidet aus?
3. Vergleiche den Klang, den die verschiedenen Gefäße verursachen. Wenn er verschieden ist, was könnte ihn beeinflussen?
4. Um zwischen den beiden verbliebenen Hypothesen zu entscheiden, überlege dir, wie das Blut durch die Adern fließt. Welche Art von Geräusch könnte davon erzeugt werden?



Um letztlich eine Entscheidung zu treffen, müsste man ein weiteres Experiment durchführen, das du hier nicht machen kannst. Man müsste ein empfindliches Mikrofon in eine Muschel halten und messen, ob das Rauschen, welches man aufnimmt, innerhalb der Muschel lauter ist als außerhalb. Im Diagramm unten siehst du eine solche Mikrofon-Aufnahme, bei der auf der waagerechten Achse für 19 s die Zeit und auf der senkrechten Achse die Lautstärke (Amplitude) aufgezeichnet ist. Etwa ab der elften Sekunde ist das Mikrofon in eine Muschel gehalten worden.

Beurteile anhand dieses Diagramms, welche der beiden Hypothesen wahrscheinlich zutrifft.





Hinweise zum Versuch I „Meeresrauschen ohne Meer“

Diese Versuche befassen sich erneut mit einem Phänomen an der Schnittstelle zwischen physikalischer und physiologischer Fragestellung. Das allseits bekannte Rauschen einer an das Ohr gehaltenen Muschel beflügelt schon seit Jahrhunderten die Fantasie des Menschen. Selbst heute glauben nicht wenige Erwachsene, dass sie auf geheimnisvolle Weise das entfernte Murmeln der Meereswellen am Strand hören. Daneben geistern zahlreiche weitere Theorien zum Ursprung dieses Rauschens durch populärwissenschaftliche Bücher oder werden kontrovers in einschlägigen Internetforen diskutiert.

Gleichzeitig ist dieses Phänomen ein gutes Exempel in die Einführung naturwissenschaftlichen Denkens, durch das man bei der Kombination von genauer Untersuchung der Sachlage und einfachen logischen Schlüssen leicht falsche Theorien zur Entstehung dieses Rauschens ausschließen kann. Dabei wird die Methode des Ausschließens durch Falsifikation benutzt. Dass keine Verifikation der letztlich übrig bleibenden Hypothese erfolgt, entspricht seit Karl Popper der allgemeinen Methodologie der Naturwissenschaften.

Für die Versuche ist es unverzichtbar, tatsächlich eine große Muschel bereitzustellen, um den Schülern einen Eindruck des Meeresrauschens zu ermöglichen. Entsprechende Exemplare finden sich manchmal in Lehrsammlungen der Biologie, ansonsten kann man günstige Funde auf Flohmärkten ergattern.

Der Kontrollversuch mit einem Kunststoffbecher liefert ein ähnliches, wenn auch nicht identisches Rauschen. Hieraus kann der Schüler nur den logischen Schluss ziehen, dass das Meer keinen Einfluss auf die Entstehung des Rauschens haben kann, und kann somit die erste, verbreitetste Hypothese ausschließen.

Werden daraufhin weitere Hohlkörper an das Ohr gehalten, vernimmt man stets ein Rauschen, das sich in Lautstärke, Tonhöhe und Klang unterscheidet. Die Schüler sind hier aufgefordert, genau hinzuhören, die Unterschiede in vollständigen Sätzen zu benennen und eventuell Vermutungen über den Zusammenhang zwischen Klang und Art des Gefäßes zu äußern. Generell führen kleinere Gefäße zu einem höheren Rauschspektrum, sodass der Zusammenhang zwischen Gefäßgröße und Tonhöhe relativ leicht zu ermitteln ist.

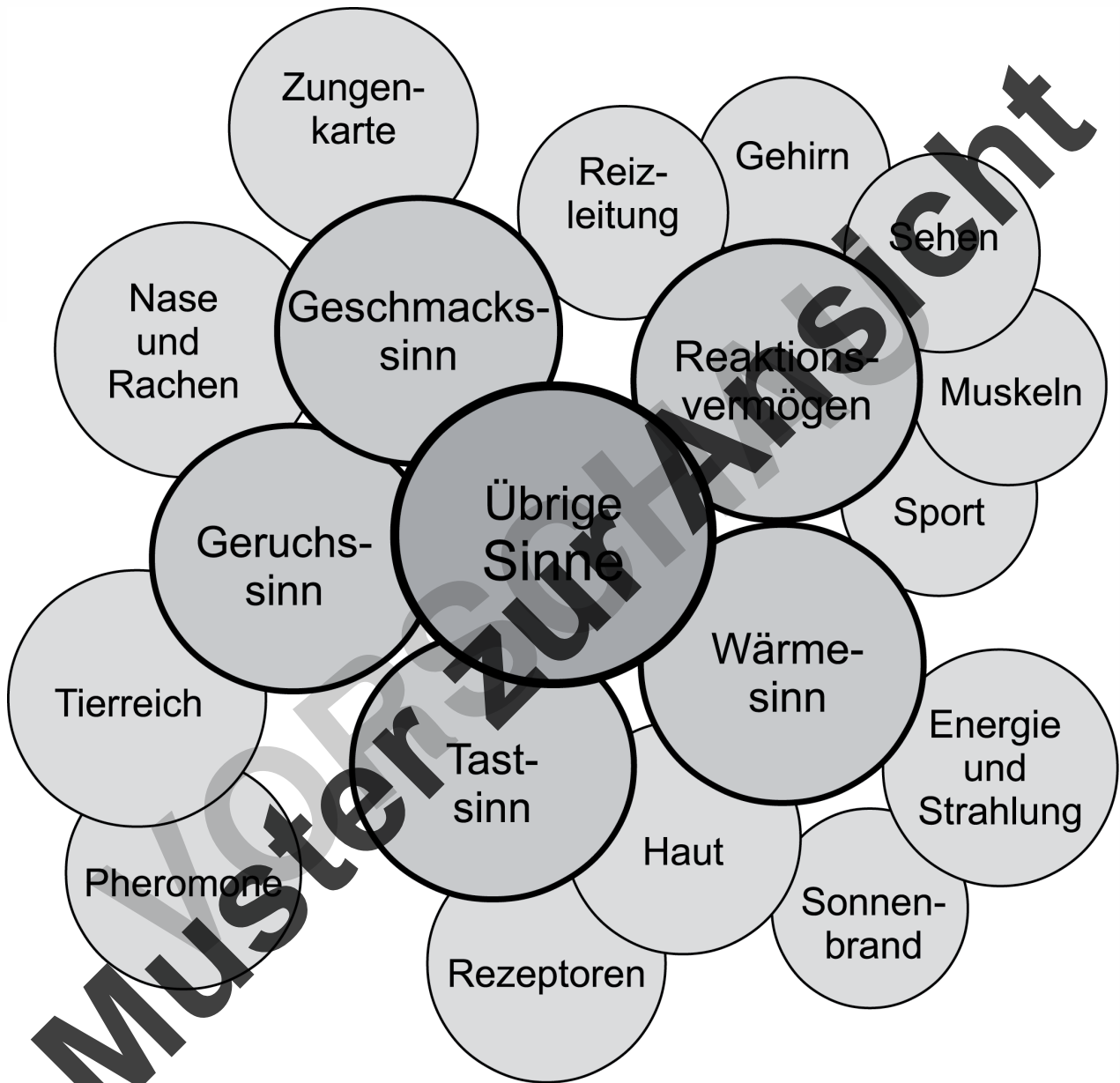
Die letzten beiden verbleibenden Theorien zur Entstehung, einerseits, dass das Rauschen das Fließgeräusch des Blutes im Ohr ist, welches durch die Muschel nur verstärkt wird, und andererseits, dass die stets im Raum vorhandenen Hintergrundgeräusche eine resonante Verstärkung erfahren, können von den Schülern nicht ohne weiteres getrennt werden. Der Hinweis auf das vom strömenden Blut zu erwartende Geräusch könnte Schüler, die vorher die Details des Blutkreislaufs erarbeitet haben, auf die These bringen, der Herzschlag müsste eigentlich zu einem periodischen Geräusch mit der Frequenz des Herzschlags führen, was tatsächlich unter besonderen Umständen wahrzunehmen ist.

Obwohl der entscheidende Versuch mit dem Mikrofon, der letztlich auch die Ohrgeräusch-Hypothese ad acta legt, relativ einfach und dank kostenloser Aufnahmesoftware für jedermann durchführbar ist, kann er im Rahmen eines Klassenexperiments wegen der stets zu hohen Hintergrundlautstärke nicht ausgeführt werden. Hier böte sich an, ein Forscherteam von interessierten Schülern mit einer solchen Aufgabe zu betrauen.

Das Ergebnis eines solchen Mikrofon-Experiments ist als Graph abgebildet. Er zeigt in üblicher Darstellungsweise die aufgenommene Amplitude (Lautstärke) als Funktion der Zeit. Deutlich ist eine Erhöhung des Rauschpegels um etwa 50 % innerhalb der Muschel zu erkennen. Das Entnehmen dieser Information aus der abstrakten grafischen Darstellung und der Bezug auf die Fragestellung sind sicherlich für jüngere Schüler schwierig und im Sinne der Binnendifferenzierung nur für begabte Schüler leistbar. Eventuell kann die Interpretation des Diagramms nochmals im Klassenverband von solchen Schülern für den Rest der Klasse demonstriert werden.

Weitere Sinne

Lernlandkarte und fächerübergreifende Themenkomplexe zu den übrigen Sinnen



J – Wie wir Wärme fühlen

Info: Dass wir heiß und kalt mit unserer Hautoberfläche unterscheiden können, ist selbstverständlich. Dabei nehmen wir an, dass diese Eigenschaft, die Temperatur zu fühlen, mit jeder Stelle unserer Haut funktioniert. Dieser Temperatursinn der Haut soll mit den folgenden Versuchen näher erforscht werden.

Material: Kugelschreiber, Lineal, Taschenrechner

Aufgaben

(Beantworte die Fragen in vollständigen Sätzen.)

A Aufspüren der Hautsensoren

1. Nimm einen Stift mit Metallspitze, z. B. einen Kugelschreiber, und streiche damit leicht über deinen Handrücken, ohne einen Strich zu ziehen. Wenn du die Empfindung hast, dass es sich kalt anfühlt, hast du einen Hautsensor, also ein winziges Thermometer in der Haut, gefunden.
2. Mache dort einen Punkt auf deinen Handrücken.
3. Zeichne eine beschriftete Prinzipskizze der Hand und des Stiftes (Hilfe: Methodenkarte 1).
4. Schreib den Merksatz unten ab und markiere mit einem roten Pfeil, wie die Wärmeenergie in diesem Falle strömt.
5. Kommentiere die Aussage: „Da kriecht die Kälte in meine Hand.“
6. Warum funktioniert der Versuch am besten mit einer Metallspitze?

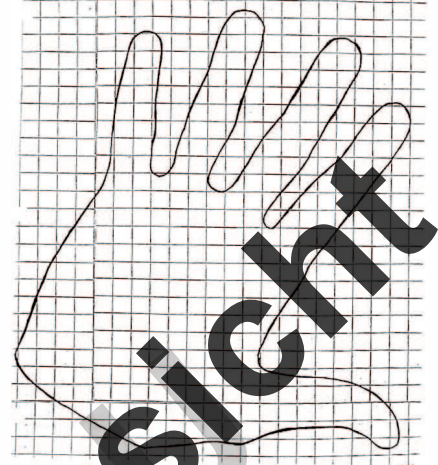
B Ausmessen der Hautsensoren

1. Suche mit dem Stift alle weiteren Hautsensoren, die sich um den ersten herum befinden, und markiere jeden ebenfalls mit einem Punkt.
2. Miss mit dem Lineal jeweils den Abstand der neuen Punkte vom alten und schreibe sie auf.
3. Bilde nun den Mittelwert dieser Abstände (Hilfe: Methodenkarte 7). Du kannst dafür einen Taschenrechner benutzen.
4. Schreibe das Ergebnis als vollständigen Antwortsatz auf.

C Vergleich mit anderen Hautpartien

1. Wiederhole die Versuche B an anderen Stellen deines Körpers, z. B. am Bein oder am Unterarm und bilde auch hier den Mittelwert, um herauszubekommen, ob die Hautsensoren überall gleich häufig vorkommen.
2. Fasse deine Ergebnisse vergleichend zusammen. Was könnte der Sinn dieser Unterschiede sein? Wieso gibt es überhaupt Hautsensoren?

Michael Jordans Hand



Wichtiger Merksatz:

Wärmeenergie fließt
immer von warm
zu kalt





Hinweise zum Versuch J „Wie wir Wärme fühlen“

In diesen leicht zu realisierenden Versuchen geht es um die für die Schüler überraschende Erkenntnis, dass der Körper nicht an allen Stellen seiner Hautoberfläche ein Temperaturempfinden hat. Die Schüler (und die meisten Erwachsenen) gehen davon aus, dass sie die Temperatur genau wie Berührung an jeder beliebigen Stelle der Haut spüren können. Dagegen ist eines der Hauptresultate dieser Versuche, dass die Temperaturrezeptoren nicht gleichmäßig auf der ganzen Haut verbreitet sind, sondern dass es sogar richtige Lücken gibt, sodass an einigen Stellen kein Wärme- oder Kälteeindruck entsteht.

Dabei macht es für diese Einführung in das Thema keinen Sinn, die Spezifizierung in Warm-, Kalt- und Hitze-rezeptoren zu thematisieren, da bei diesen Versuchen lediglich die Kälterezeptoren nachgewiesen werden können, die in der Haut etwa zehn Mal so häufig vorkommen wie die Wärmesensoren. Es handelt sich dabei um freie Nervenenden, die Änderungen von einigen $\frac{1}{10}^{\circ}\text{C}$ erfassen können. Man rechnet für die Handflächen von Menschen 1 bis 5 Kälterezeptoren pro cm^2 , aber nur 0,4 Wärmepunkte.

Im ersten Teil der Versuche geht es zunächst einmal um die Methode des Aufspürens der Kälterezeptoren. Obwohl im Kühlschrank vorgekühlte Nägel optimal wären, funktioniert der Versuch auch zufriedenstellend mit der Metallspitze eines Kugelschreibers. Wenn dieser Raumtemperatur hat und somit mehr als 10°C unter der Hauttemperatur liegt, schlägt ein Kälterezeptor an, wenn die Kugelschreiberspitze genau über ihm geführt wird. Man spürt plötzlich an diesem einen Punkt neben der Berührung deutlich eine Abkühlung. Das Metall der Spitze sorgt dabei wegen seiner hohen Wärmeleitfähigkeit für einen raschen Abtransport der Wärmeenergie, sodass ein nennenswerter Wärmestrom aus der Haut in den Kugelschreiber in Gang kommt. Ein weiterer Vorteil des Kugelschreibers ist die Möglichkeit, den gefundenen Hautsensor sofort mit einem Punkt markieren zu können. Um den Vorgang physikalisch korrekt einordnen zu können, muss das Konzept der fließenden Wärmeenergie bekannt sein. Dazu werden die Schüler mit einer einfachen Konsequenz aus dem 2. Hauptsatz der Thermodynamik konfrontiert: Wärmeenergie fließt immer von warm zu kalt. Auf das Experiment übertragen bedeutet dies, dass nicht die Kälte in die Hand kriecht, wie man alltagssprachlich sagt, sondern vielmehr, dass die Wärmeenergie die Hand über die Kugelschreiberspitze verlässt und das Fehlen dieser Wärme den Kältereiz auslöst. Das Verständnis dieses Sachverhalts soll durch die Einzeichnung des roten Pfeils für die Flussrichtung in die Prinzipskizze kenntlich gemacht werden.

Im zweiten Teil der Versuche soll die Dichte der Kältesensoren der Haut quantitativ am Beispiel des Handrückens untersucht werden. Hier erweist sich die Verwendung des Kugelschreibers als großer Vorteil. Einen annähernden Überblick über den mittleren Abstand der Sensorpunkte ergibt sich, wenn rund um einen zentralen Punkt alle übrigen Rezeptoren aufgespürt und markiert werden. Anschließend kann mit einem Lineal der Abstand jedes umliegenden Punktes von dem in der Mitte liegenden gemessen werden. Eine Mittelwertbildung dieser Abstände liefert den mittleren Abstand, wobei ein Taschenrechner zum Einsatz kommen kann. Eine Hilfe für die Mittelwertbildung liefert die Methodenkarte 7. Auf die Überführung des mittleren Abstands in eine Flächendichte, d. h. Anzahl pro Quadratzentimeter, kann in diesem Zusammenhang verzichtet werden, da sich damit einige mathematische Schwierigkeiten verbinden und der mittlere Abstand für die vergleichende qualitative Analyse den gleichen Informationsgehalt bietet.

Desweiteren ist es für die Schüler interessant, die verschiedene Dichte der Kältesensoren je nach Körperregion zu untersuchen und über den biologischen Sinn dieser Tatsache nachzusinnen. Der dritte Teil der Experimente befasst sich mit dieser Fragestellung, indem nach dem gleichen Muster nun auch Unterarm und Bein untersucht werden. Erneut kommt hier die Mittelwertbildung zum Einsatz und wird als Methode eingeübt. Die durchaus deutlichen Unterschiede – von Hand über Arm zu Bein nimmt die Dichte der Rezeptoren ab – kann durch die häufigere Benutzung der Arme beim Umgang mit Dingen begründet werden, wobei sich sofort auch der Sinn der Rezeptoren als Warninstrumente gegen thermische Gefahren, Hitze und Kälte, aufdrängt.

Die weitere Untersuchung der Thermorezeptoren, z. B. die Subjektivität des Wärmeeindrucks je nach thermischer Vorgeschichte der jeweiligen Hautpartie, kann z. B. mit dem bekannten 3-Schalen-Versuch durchgeführt werden, der in jedem Physikbuch erklärt wird.

K – Überraschungen beim Tastsinn



Info: Anders als die Temperatur kannst du eine Berührung an jeder Stelle des Körpers spüren. Die Druck- bzw. Tastsensoren müssen also in der Haut viel dichter beieinanderliegen.

Hier soll untersucht werden, wie zuverlässig diese Tastsensoren und den Ort der Berührung melden können, und andererseits, inwieweit zwei gleichzeitige Berührungen unterschieden werden können.

Material: Zwei Zahnstocher, Lineal

A Treffsicherheit

1. Ein Schüler legt die Hand mit dem Handrücken nach oben auf den Tisch und schließt die Augen.
2. Der Partner nimmt einen Zahnstocher und berührt damit leicht einen Punkt auf dem Handrücken. Es ist wichtig, dass er sich diese Stelle genau merkt, wenn er seinen Zahnstocher wegnimmt.
3. Der erste Schüler versucht nun mit geöffneten Augen, diesen Ort so genau wie möglich mit seinem Zahnstocher zu lokalisieren. Der Partner darf dabei natürlich nicht helfen.
4. Der Zweite misst nun mit dem Lineal den Abstand zum wahren Berührungspunkt und notiert ihn.
5. Führt die Punkte 1 bis 4 an insgesamt 5 verschiedenen Stellen des Handrückens durch und dokumentiert die Ergebnisse in einer beschrifteten Tabelle (Hilfe: Methodenkarte 4).
6. Wechselt anschließend die Rollen.
7. Wiederholt diese Messung der Positionsgenauigkeit bei beiden Partnern je 5 Mal am Unterarm.



Untersuchung des Tastsinns

Auswertung zu A

1. Beschreibt den Versuch mit eigenen Worten und macht eine Prinzipskizze (Hilfe: Methodenkarte 1).
2. Bildet aus den Messungen an einem Körperteil für jeden Schüler den Mittelwert der gemessenen Abweichungen (Hilfe: Methodenkarte 7).
3. Beschreibt die Unterschiede in der Treffsicherheit zwischen den verschiedenen Körperteilen. Formuliert eine Vermutung, wieso es diese Unterschiede gibt.

B Trennschärfe

1. Ein Schüler legt die Hand mit dem Rücken nach oben auf den Tisch und schließt die Augen.
2. Der Partner nimmt je einen Zahnstocher in jede Hand und berührt gleichzeitig mit den Spitzen leicht einen gemeinsamen Punkt auf dem Handrücken. Nun rückt er mit den beiden Spitzen zunehmend auseinander und berührt erneut den Handrücken, wobei der andere Schüler jedes Mal ohne hinzusehen sagen soll, ob er die gleichzeitige Berührung beider Spitzen als eine oder als zwei getrennte Berührungspunkte wahrnimmt.
3. Sobald die Testperson beide Spitzen getrennt spürt, misst ihr deren Abstand.
4. Der Versuch wird insgesamt 5 Mal durchgeführt und aufgeschrieben.
5. Wechseln anschließend die Rollen.
6. Misst in gleicher Weise die Trennschärfe an den Unterarmen beider Partner mit je 5 Punkten.

Auswertung zu B

1. Beschreibt auch diesen Versuch mit eigenen Worten und fertigt eine Prinzipskizze dazu an.
2. Bildet aus den Messungen an einem Körperteil für jeden Schüler wieder den Mittelwert der gemessenen Distanzen.
3. Beschreibt die Unterschiede in der Trennschärfe zwischen den Körperteilen.



Hinweise zum Versuch K „Überraschungen beim Tastsinn“

In diesen einfach zu realisierenden Versuchen, die als Material lediglich einige Zahnstocher und ein Lineal erfordern, können die Schüler interessante Untersuchungen ihres Tast- und Berührungsvermögens durchführen und über eine quantitative Analyse Aussagen über die unterschiedliche Ausprägung dieser Sinnesleistung in verschiedenen Bereichen der Hautoberfläche gewinnen.

Der durchschnittliche Abstand der Tastkörperchen in der Haut (Meissner-Körperchen und Merkel-Zellen, zwischen denen hier nicht unterschieden werden soll) variiert von etwa 1 mm in den Fingerspitzen bis zu ungefähr einen halben Zentimeter in peripheren Bereichen wie dem Bein. Dabei muss gesagt werden, dass mit der Zahnstocher-Methode, bei der die Hautoberfläche leicht berührt wird, nicht die tatsächlichen Orte dieser Tastkörperchen aufgefunden werden können, wie es bei den Thermorezeptoren der Fall ist. Vielmehr feuern bei einer leichten Eindellung der Hautoberfläche alle umliegenden Tastkörperchen in dem Maße, wie sie angeregt werden. Durch die Kombination dieser Nervensignale errechnet unser Gehirn den wahrscheinlichsten Ort der Berührung.

Dass dies gerade bei geringerer Flächendichte der Tastkörperchen erstaunlich weit neben dem tatsächlichen Berührungsort liegen kann, erfahren die Schüler im ersten Teil der Experimente. Da die Ortung des Berührungspunktes vom Sehen der Berührung entscheidend beeinflusst wird, können diese Versuche nur in Partnerarbeit durchgeführt werden, bei denen sich der Proband ohne hinzusehen auf den Sinneseindruck konzentrieren muss, den der andere Schüler durch die Berührung mit dem Zahnstocher liefert. Dieser entfernt daraufhin den Zahnstocher, muss sich aber die berührte Stelle genau merken. Der Vergleich mit dem vom Probanden am besten seinerseits mit einem Zahnstocher angezeigten Ort liefert die Treffgenauigkeit, die nun leicht mittels Lineal ausgemessen werden kann. Wie immer bei solchen Versuchen, die einem gewissen Maß an Subjektivität ausgesetzt sind, empfiehlt sich die wiederholte Durchführung der Messung, sodass schließlich der Mittelwert eine Aussage über die Treffsicherheit und damit über die Dichte der Tastkörperchen treffen lässt. Zur Mittelwertbildung kann die Benutzung eines Taschenrechners als Hilfsmittel gestattet werden.

Zur Einordnung des gefundenen Wertes für die Treffsicherheit ist einerseits der Vergleich zwischen den beiden Partnern interessant, andererseits aber auch die Variation dieser Werte von einer Hautpartie zu einer anderen. Daher sollen die Versuche am Unterarm wiederholt werden, die eine deutlich schlechtere Positionsgenauigkeit liefern werden. Falls die Schüler zügig arbeiten und entsprechendes Interesse entwickeln, können natürlich noch weitere Hautregionen, etwa das Bein, auf analoge Weise untersucht werden.

In der anschließenden Auswertung steht zunächst einmal die Dokumentation des Vorgehens und der Ergebnisse im Vordergrund. Abschließend stellt sich aber den Schülern die Frage nach dem biologischen Sinn der verschiedenen Dichten an Hand und Arm. Hier werden die Schüler auf die allgemeine, in der Biologie immer wiederkehrende Fragestellung fixiert, wie die verschiedenen anatomischen Strukturen durch ihre Optimierung für eine bestimmte Funktion zu erklären sind.

Der zweite Teil der Versuche geht der Fragestellung zur Flächendichte der Tastkörperchen auf einem alternativen Wege nach. Zwei Zahnstocher berühren zunächst an einem Punkt des Handrückens gemeinsam die Hautoberfläche und werden dann vom Partner sukzessive voneinander entfernt. Der Schüler, der diese Aktion mit geschlossenen Augen verfolgt, meldet sich, wenn er die beiden Spitzen zum ersten Mal als zwei getrennte Berührungspunkte wahrnimmt. Der so ermittelte Abstand wird wiederum mittels Lineal gemessen und notiert. Auch hier muss wie im ersten Teil der Versuche die Mittelwertbildung eine größere Sicherheit der zu ermittelnden Trennschärfe liefern.

Nach dem Wechsel der Partnerrollen soll auch hier ein weiterer Körperteil untersucht werden. Gerade am Unterarm kann der Trennabstand deutlich größer als ein Zentimeter sein und so die Schüler in Erstaunen versetzen.

L – Das Reaktionsvermögen oder Vom Auge zur Hand



Info: In dieser Übung solle es darum gehen, euer Reaktionsvermögen zu testen. Dazu sollt ihr eine fallengelassene Testkarte auffangen. Das ist gar nicht so einfach, wie es klingt, je nachdem, wer die Karte fallen lässt. Durch einen raffinierten Trick können wir sogar ohne Uhr die Reaktionszeit stoppen.

Material: Blaue Reaktionskarte

Durchführung

1. Dein Partner fasst die Reaktionskarte am oberen Ende und hält sie genau über deine Finger.
2. Du hältst unter der Pfeilspitze Daumen und Zeigefinger zum Zugriff bereit.
3. Plötzlich und ohne Vorwarnung lässt dein Partner die Reaktionskarte fallen.
4. Versuche den Streifen zwischen den Fingern zu schnappen.
5. Lies an der Stelle, wo deine Finger sind, die Fallstrecke und auf der anderen Seite die Reaktionszeit in Hundertstel Sekunden ab.
6. Führt den Test noch vier Mal durch und notiert alle Ergebnisse in einer Tabelle (Hilfe: Methodenkarte 4).
7. Tauscht anschließend die Rollen und wiederholt den Versuch fünf Mal. Wer von euch beiden ist schneller?
8. Untersucht, wie lang eure Reaktionszeiten sind, wenn ihr den Streifen selbst loslasst und mit der anderen Hand fangt, und notiert auch diese Zeiten. Probiert, ob ihr den Streifen auch mit geschlossenen Augen fangen könnt.



Reaktionszeit messen
ohne Uhr

Auswertung

1. Wählt eine passende Überschrift und zeichnet eine beschriftete Prinzipskizze des Versuchs (Hilfe: Methodenkarte 1).
2. Berechnet die Mittelwerte der gemessenen Werte (Hilfe: Methodenkarte 7).
3. Lest die Erklärungen und gebt mit eigenen Worten wieder, warum es so schwierig ist, die Reaktionskarte zu fangen.
4. Aus welchem Grund sind die Reaktionszeiten für den letzten Test (8.) viel kürzer?

Warum dauert es so lange, bis man den Streifen schnappt?

Wenn dein Partner den Streifen loslässt, kannst du dies zwar sofort sehen, aber es dauert stets einige Zeit, bis du zuschnappst. Zunächst einmal muss das Bild, das deine Augen sehen, über den Sehnerv in dein Gehirn gelangen. Anschließend muss dein Gehirn verstehen, was es da sieht und den Befehl, zuzugreifen, an die Hand senden. Dieser Befehl wandert vom Gehirn über das Rückenmark in die Muskeln der Hand, die sich daraufhin schließt. Wenn man das alles bedenkt, ist es eigentlich erstaunlich, dass man den Streifen trotzdem meistens fängt.

Wie funktioniert die Reaktionskarte?

Auf einer Seite der Karte kann man gleich die Reaktionszeit ablesen, obwohl nur Strecken gezeichnet sind. Schon Galilei hat das physikalische Gesetz, nach dem Dinge zu Boden fallen, entdeckt. Wir können also ausrechnen, nach welcher Zeit ein Gegenstand wie weit gefallen ist.

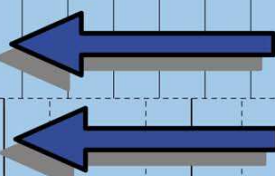
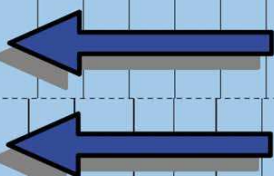
Wahrscheinlich ist dir aufgefallen, dass die Zeitmarken nicht gleichmäßig verteilt sind, sondern zu höheren Zeiten hin weiter auseinander stehen. Das liegt daran, dass Dinge immer schneller fallen, je länger sie unterwegs sind, und das muss auf der Karte entsprechend berücksichtigt werden. Man erzielt eine erstaunliche Genauigkeit mit dieser Methode, die jeder Stoppuhr mindestens ebenbürtig ist.

Material zu L – Das Reaktionsvermögen

26	23
25	22,5
24	22
23	21,5
22	21
21	20,5
20	20
19	19
18	18
17	17
16	16
15	15
14	14
13	13
12	12
11	11
10	10
9	9
8	8
7	7
6	6
5	5
4	4
3	3
2	2
1	1

Fallstrecke in Zentimetern

Reaktionszeit in Hundertstel Sekunden





Hinweise zum Versuch L „Das Reaktionsvermögen“

Bei diesen ohne großen Aufwand durchführbaren Versuchen geht es um die Messung der Reaktionszeit beim Ergreifen eines fallenden Gegenstands. Dazu muss lediglich die Reaktionskarte aus dem Materialteil der beiliegenden CD ausgedruckt, entlang der gestrichelten Linie gefaltet und zusammengeklebt werden. Wegen der höheren Stabilität ist es ratsam, etwas dickeres Papier von 120 bzw. 150 g/cm² Stärke zu verwenden (nicht etwa, weil dünneres Papier langsamer fallen würde, in den verwendeten Bereichen fallen alle Dinge gleich schnell, da die Aerodynamik hier noch keine Rolle spielt). Falls man die Fallkarte vorgibt, ist die Laminierung sinnvoll. Andernfalls kann auch jedem Schüler ein Ausschneidebogen für seine persönliche Fallkarte zur Verfügung gestellt werden, was den Vorteil hätte, dass er sie für weitere Versuche mit nach Hause nehmen könnte.

Wird die mit dem Pfeil nach unten fallende Karte zwischen Daumen und Zeigefinger aufgefangen, kann an dieser Stelle neben der Fallstrecke in Zentimetern auf der anderen Seite zugleich die Reaktionszeit in Hundertstel Sekunden abgelesen werden, wenn der Fall direkt über den zuschnappenden Fingern begonnen hat. Dem liegt das galileische Fallgesetz zugrunde, nach dem die zurückgelegte Fallstrecke quadratisch mit der verstrichenen Fallzeit zunimmt, unabhängig von der Masse des fallenden Gegenstands und proportional zur Schwerebeschleunigung (Ortsfaktor) des Himmelskörpers, auf dem man sich befindet. Demgemäß nehmen die Abstände der Zeitmarken auf der Fallkarte nach oben hin zu. Die so erzielbare Genauigkeit bei der Messung der Reaktionszeit liegt im Bereich von $\frac{1}{100}$ Sekunde, was mit einer Stoppuhr kaum realisierbar wäre.

Die Hauptintention der Versuche liegt aber nicht im physikalischen Verständnis des Fallgesetzes, sondern vielmehr in der Erforschung des körpereigenen Reaktionssystems. Zunächst wird die Reaktionszeit im Partnerversuch bestimmt. Hier gilt es, den Start der Messung durch das Loslassen der Karte durch den Partner zu sehen, den Vorgang zu verarbeiten und schließlich die Fingermuskeln zum Zugreifen zu veranlassen. Jede dieser Aktivitäten benötigt etwas Zeit, sodass Reaktionszeiten von 0,1 bis 0,2 Sekunden typisch sind. Sollte die Karte bei keinem Versuch von einem Schüler gefangen werden können, liegt eventuell eine physiologische Störung vor, der auf den Grund gegangen werden sollte.

Da die individuelle Reaktionszeit schwankt und auch die Anfangsbedingungen, z. B. der Abstand der Karte von den schnappenden Fingern, nicht exakt reproduziert werden können, ist es auch hier sinnvoll, den Versuch mehrere Male zu wiederholen und den Mittelwert der Messwerte zu bilden. Eine Hilfe zur Durchführung gibt die Methodenkarte 7 „Mittelwerte berechnen“, während ein Taschenrechner dabei die mühsame Kalkulation erleichtert.

Im zweiten Teil soll der Versuch so abgewandelt werden, dass jeder Schüler selbst die Karte fallen lässt und sie mit der anderen Hand wieder auffängt. Natürlich verkürzt sich dadurch die gemessene Reaktionszeit, da der Vorsatz des Fallenlassens bereits als internes Startsignal fungiert und die Zeit für die Bildverarbeitung eingespart wird. Dies kann man daran erkennen, dass das Fangen selbst mit geschlossenen Augen funktioniert. Trotzdem ist es erstaunlich, dass die Reaktionszeiten nach wie vor im Bereich von 5 bis 10 Hundertstel Sekunden liegen.

In der Auswertung soll der Versuch mit eigenen Worten genau beschrieben und die Ergebnisse dokumentiert werden. Weiterhin geht es um das Leseverständnis der beiliegenden Erklärung, die ebenfalls in einen eigenen Text umgesetzt werden soll.

Diese Experimente können aufschlussreiche Erkenntnisse über die Kette von optischer Signalverarbeitung, Nervenleitung und Muskelreaktion liefern und so das komplizierte Zusammenspiel des Körpers in Interaktion mit seiner Umgebung als Gesamtsystem erhellen.

Ein interessanter Nebenaspekt, der eventuell von interessierten Schülergruppen zusätzlich untersucht werden könnte, wäre die Fragestellung, ob sportliche Betätigung in Reaktionssportarten wie Tischtennis oder Squash die Reaktionszeiten signifikant verkleinern.