

Die Musik erklingt erst im Kopf

– Zur Konzeption einer Einführung in die Akustik

D. Plappert

1 Einleitung

Im Alltag und oft auch im Physikunterricht werden „Sinnes-Reiz“ und „Sinnes-Empfindung“ nicht unterschieden sondern gleichgesetzt: „Der Ton kommt aus der Stimmgabel ...“, „das Licht ist weiß“, „der Koffer ist schwer“, „die Zeit vergeht oft zu schnell“, ... Wird im Physikunterricht die Unterscheidung von „Sinnes-Reiz“ und „Sinnes-Empfindung“ thematisiert, dann wird oft nur dem äußeren, physikalischen „Reiz“ eine objektive Realität zugeordnet. Die innere „Sinnes-Empfindung“ wird als subjektiv, im Sinne von Täuschung oder Einbildung abgewertet. In einer Zeit, in der die Hirnforschung durch bildgebende Verfahren Spuren der inneren Sinnes-Empfindungen in Gehirn äußerlich sichtbar macht, in der bei Computeranwendungen „Texterkennungsprogramme“ zu unserem Alltag gehören, in der Schmerztherapien besonders auch für Schmerzen entwickelt werden, die keine äußere Ursache haben, sollte einerseits auch im Physikunterricht klar zwischen Reiz und Empfindung unterschieden werden und andererseits ihre spezifische Bedeutung bei der Sinneswahrnehmung verdeutlicht werden. Im Folgenden soll nach einigen grundsätzlichen Bemerkungen ganz konkret eine Einführung in die Akustik skizziert werden, in dem die Unterscheidung von „physikalischem Reiz“ und „innerer Sinnes-Empfindung“ ein zentrales Konzept ist, auf das im weiterführenden Unterricht an den entsprechenden Stellen immer wieder zurückgegriffen werden kann, sodass die Schülerinnen und Schüler sich kumulatives Wissen aneignen können. Durch diesen Unterricht sollen die Schülerinnen und Schüler außerdem angeregt werden, ihre Sinne zu schulen, genauer wahrnehmen zu lernen. Sie können auf diese Weise ein größeres Vertrauen bekommen in das, was sie selber empfinden. Sie können erleben, dass es im subjektiven Empfinden auch objektive Gesetzmäßigkeiten gibt. Dies scheint mir gerade in der heutigen Zeit, in der die Heranwachsenden immer weniger eigene primäre Erfahrungen machen, besonders notwendig zu sein.

2 Zur „Subjektivität“ der Sinnes-Empfindung

Der in Abb. 1 dargestellte Versuch, der häufig als Einstieg in die Wärmelehre benutzt wird, macht deutlich, dass die begriffliche Beschreibung der Sinnes-Empfindung im naturwissenschaftlichen Unterricht nicht klar genug erfolgt: „Wenn jemand die linke Hand in heißes Wasser, die rechte in kaltes taucht und daraufhin beide in lauwarmes, so hat er nicht in beiden Händen dasselbe Wärmegefühl, d. h., für ein und dieselbe Temperatur haben wir manchmal zwei verschiedene Wärmeempfindungen. Unser Wärmesinn ist unzuverlässig, er lässt sich leicht täuschen. Deshalb benutzen wir in der Physik Messgeräte, die vom Sinneseindruck

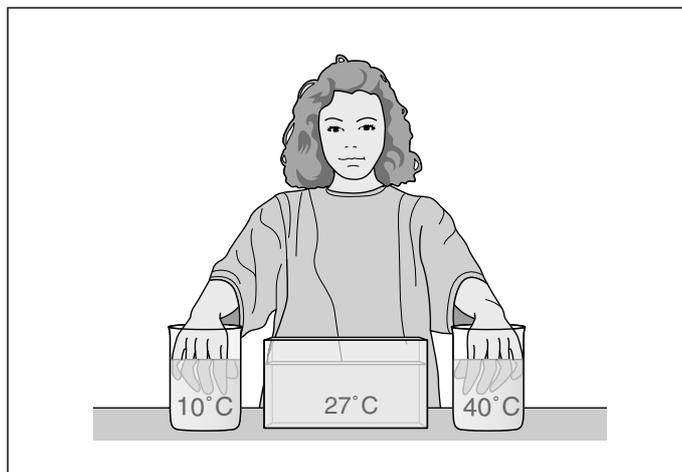


Abb. 1: Zur Temperaturmessung (Quelle: Impulse Physik 2, Klett)

des Menschen unabhängig sind. Thermometer stellen den Wärmezustand eindeutig fest.“

Die unterschwellige Botschaft, die hierbei vermittelt wird, können wir folgendermaßen formulieren:

„Die Sinne des Menschen täuschen sich bzw. lassen sich täuschen. Sie gaukeln uns eine nicht wirklich vorhandene, sondern nur subjektiv empfundene Welt vor. Wir dürfen ihnen nicht trauen, sondern nur den mit rationalem Verstand entwickelten Messgeräten. Nur auf diese Weise können wir die Welt objektiv erfahren.“

Durch diese Art der Betrachtungsweise wird unsere eigene innere Erfahrung abgewertet. Viel reizvoller und vermutlich viel zeitgemäßer ist es, das oben beschriebene Phänomen ernst zu nehmen, es zu problematisieren.

3 „Reiz“ und „Empfindung“

Die Untersuchung dieser Fragestellung setzt voraus, dass der „äußere Reiz“, den wir mit p bezeichnen wollen, und die „innere Empfindung“, die wir mit E bezeichnen wollen, als zwei unterschiedliche Variablen begrifflich klar unterschieden werden, dass Temperatur nicht mit Wärmeempfindung, Frequenz nicht mit Farbe bzw. Tonhöhe, Amplitude nicht mit Helligkeit bzw. Lautstärke, Gewichtskraft nicht mit Schwereempfindung, Zeit nicht mit Zeitempfindung, ... gleichgesetzt werden. In Abb. 2 erscheint die Wirklichkeit schematisch in zwei Bereiche getrennt: in die Welt der *äußeren, physikalischen Reize* p und in die Welt der *inneren Empfindungen* E . Beide Welten stehen durch unsere Sinnesorgane S in Verbindung. Die Stärke des Reizes p können wir äußerlich mit einem physikalischen Messinstrument bestimmen, die „Stärke“ E der Empfindung kann der jeweilige Beobachter nur selbst innerlich feststellen. Wie dies möglich ist und wie diese beiden Größenarten miteinander zusammenhängen, wird seit den Unter-

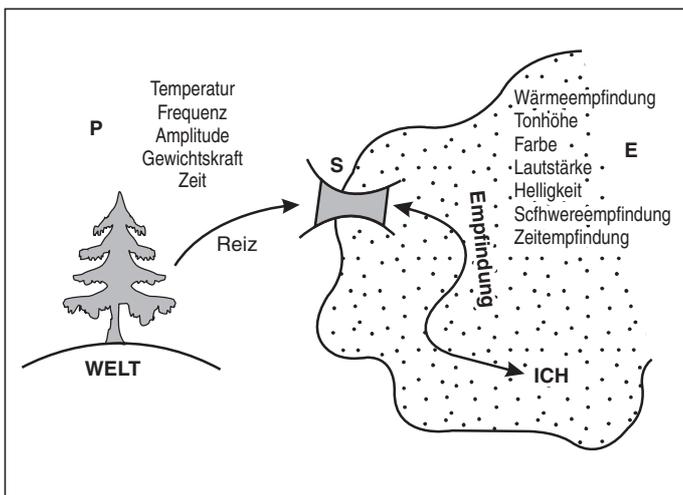


Abb. 2: Durch unsere Sinne (S) steht die Welt der äußeren Reize p mit der Welt unserer inneren Empfindungen E in Verbindung.



Abb. 3: Auch „stumme Töne“ können gehört werden [7]

suchungen von *Weber* und *Fechner* vor etwa 150 Jahren in der „Psychophysik“ untersucht [1]. Wichtig ist hierbei, dass die Verfolgung der physikalischen Reize im Sinnesorgan und in den daran anschließenden Bahnen, auch im Gehirn, zunächst immer äußerlich bleibt, und ohne die Kenntnis der gleichzeitig wahrgenommenen inneren Empfindungen nichts wesentlich Neues zu der hier angesprochenen Fragestellung beiträgt. Es müssen also zwei grundsätzlich verschiedene Größenarten miteinander in Beziehung gebracht werden, eine *äußerlich messbare physikalische Größe* und eine nur *innerlich bestimmbare psychische Größe*, die ohne einen empfindenden Menschen keinen Sinn hat. Diese Aufteilung in zwei Welten kann Anlass zu tief greifenden erkenntnistheoretischen und philosophischen Überlegungen sein („Leib-Seele-Problem“), die wir hier nicht weiter vertiefen wollen. Stattdessen weisen wir auf eine sehr anregende Quelle [2] hin. Es gibt verständlicherweise Zweifel, ob diese Fragestellung überhaupt sinnvoll ist. Die reproduzierbaren Ergebnisse, die durch diese Art der Fragestellung gefunden wurden, rechtfertigen nachträglich dieses Vorgehen. Es werden reproduzierbare Verfahren entwickelt, die innere Empfindung zu bewerten [1, 5]. Auch zeigen neuere Ergebnisse der Hirnforschung [6, 7], wie fruchtbar diese Unterscheidung für tiefer liegende Erkenntnisse sein kann. In [1, 4] wird beschrieben, wie im Mathematik- bzw. Physikunterricht diese Art der Fragestellung handlungsorientiert behandelt werden kann.

Abb. 4: „Musik kommt nicht von außen ...“ [6]

Musik und Gehirn

Hoffnung auf ein besseres Verständnis, was Musik zu leisten vermag und wie sie ihre Wirkung entfaltet, kommt vor allem aus der Hirnforschung. Die von ihr ermittelten harten Fakten zu verstehen, ist mitunter mühsam, aber wesentlich, weil das Hirn der eigentliche Konzertsaal ist, in dem sich Musik ereignet. „Musik entsteht im Grunde erst im Kopf, sagt der Musikphysiologe und Neurologe *Eckart Altenmüller* von der Hochschule für Musik und Theater in Hannover. Wenn Musik letztlich nicht von außen, sondern von innen kommt, ist es naiv zu glauben, sie sei nichts weiter als ein Bündel physikalischer Impulse, die von den Ohren dem Gehirn zugeleitet werden vom Hören wird das Hirn allenfalls besonders angeregt.“

4 Die Unterscheidung von Reiz und Empfindung, ein zentrales Konzept im Physikunterricht

Im neu entwickelten Bildungsplan Baden-Württemberg für Physik am Gymnasium erscheint die Unterscheidung von Reiz und Empfindung als eines der zentralen Konzepte, auf das in allen Klassenstufen immer wieder zurückgegriffen wird. Die Formulierung für die Klassenstufe 7 und 8 ist in Abb. 5 exemplarisch dargestellt.

5 Grundversuch zur Unterscheidung von „Reiz“ und „Empfindung“

Der im Folgenden beschriebene Versuch [9] kann dazu dienen, die Schülerinnen und Schüler erleben zu lassen, in welchem Verhältnis der „äußere Reiz“, die „innere Empfindung“ und ihr eigenes „Denken“ stehen. Dieser Versuch ist eine Art Grundversuch, der den Schülerinnen und Schüler in nachhaltiger Erinnerung bleibt, auf den im weiteren Unterricht immer wieder aufgebaut werden kann.

Versuchsaufbau

Der Physiksaal muss so vorbereitet sein, dass er nach dem Erlöschen der Beleuchtung absolut dunkel ist. Alle Kontrollleuchten und Ritzen, durch die Tageslicht in den Saal

Abb. 5: Aus dem Bildungsplan 2004 Baden-Württemberg für Gymnasien

Wahrnehmung und Messung

Die Schülerinnen und Schüler kennen u.a. den Zusammenhang und den Unterschied zwischen der Wahrnehmung bzw. Sinnesempfindung und ihrer physikalischen Beschreibung bei folgenden Themenstellungen:

Inhalte

Wahrnehmung: Lautstärke, Tonhöhe, Hören – Messung: Amplitude, Frequenz

Wahrnehmung: Schwere – Messung: Schwerkraft

Wahrnehmung: Helligkeit und Schatten, Farben, Sehen – physikalische Beschreibung: Streuung, Reflexion, Brechung

Wahrnehmung: warm, kalt, Wärmeempfindung – Messung: Temperatur

gelangen könnte, müssen abgedeckt sein. Auf einem Tisch sind eine an einem regelbaren Netzgerät angeschlossene 200 W-Lampe und verschiedene Objekte, die von einem Tuch verdeckt sind, aufgebaut (Abb. 6).

Leitfrage

„Wir wollen uns damit beschäftigen, was beim Sehen geschieht. Da das Sehen für uns sehr alltäglich ist, können wir das Sehen nur schwer bewusst untersuchen. Deshalb wollen wir in einem Versuch den Raum zunächst vollständig verdunkeln, sodass wir nichts sehen können. Dann soll es langsam heller werden, sodass wir langsam zu sehen beginnen. Dabei wollen wir unser „Sehen“ genauer beobachten.“

Versuchsdurchführung Teil 1

Der Raum wird vollständig verdunkelt. Das Tuch wird entfernt. Das Netzgerät wird so gesteuert, dass die Lampe sehr langsam zu leuchten beginnt und anschließend immer heller wird.

Die Schülerinnen und Schüler sollen achten,

- auf das, was sie in jedem Augenblick sehen und
- auf das, was in ihnen dabei vorgeht.

Die Schülerinnen und Schüler dürfen während des Versuchs nicht sprechen.

Versuchsbeschreibung eines Schülers Teil 1

„In dem vollkommen abgedunkelten Raum fühle ich mich vollkommen orientierungslos, da ich mit meinen Augen keinen Punkt zum Fixieren habe. Sobald ich den ersten rötlich glimmenden Punkt der Glühbirne sehe, fühle ich mich erleichtert, weil ich nun einen Punkt habe, den ich fixieren kann. Mit zunehmender Helligkeit stelle ich fest, dass sich neben der Glühbirne Gegenstände befinden und sofort beginne ich zu überlegen, was diese Dinge sind. Das rötliche Licht wird immer heller und nimmt die Farbe orange an. Ich sehe schwache Lichtreflexe von der Lampe auf dem Tisch, die groben Konturen der Gegenstände und ihre verschwommenen Schatten an der Wand. Wenig später ist es hell genug, um zu erkennen, dass es sich um Blumen in einer Vase handelt. Wieder fühle ich Erleichterung, versuche jedoch sofort festzustellen, um was für Blumen es sich handelt. Die anderen Dinge kann ich noch nicht erkennen. Das Licht wird weiter heller und nimmt nun schon einen gelblichen Farbton an. Die Konturen der Gegenstände gewinnen weiter an Schärfe und auch die Schatten werden immer schärfer. Jetzt kann ich auch die kleine Vase und die Flasche erkennen. Mein Blick verlagert sich von der Glühbirne auf die Gegenstände. Außerdem stelle ich fest, dass die Blumen Sonnenblumen sind und sofort meine ich das Gelb der Blätter zu sehen, obwohl ich noch nicht erkennen kann, welche Farbe die Flasche hat. Die Farbe der Lampe geht nun in ein weißliches Gelb über und sie beginnt schon, leicht zu blenden. Jetzt erst sehe ich Farben. Ich erkenne die gelben Blätter der Sonnenblume und die grüne Flasche und die Farbe der kleinen Vase. Jetzt fühle ich mich vollkommen erleichtert, da ich nun über alle Gegenstände genau Bescheid weiß. Das Licht der Glühbirne ist nun weißlich und blendet so sehr, dass ich nicht mehr hineinsehen kann.“

Nachdem die Schülerinnen und Schüler ihre Beobachtungen und Empfindungen ausgetauscht haben, wird der 2. Teil des Versuchs durchgeführt:

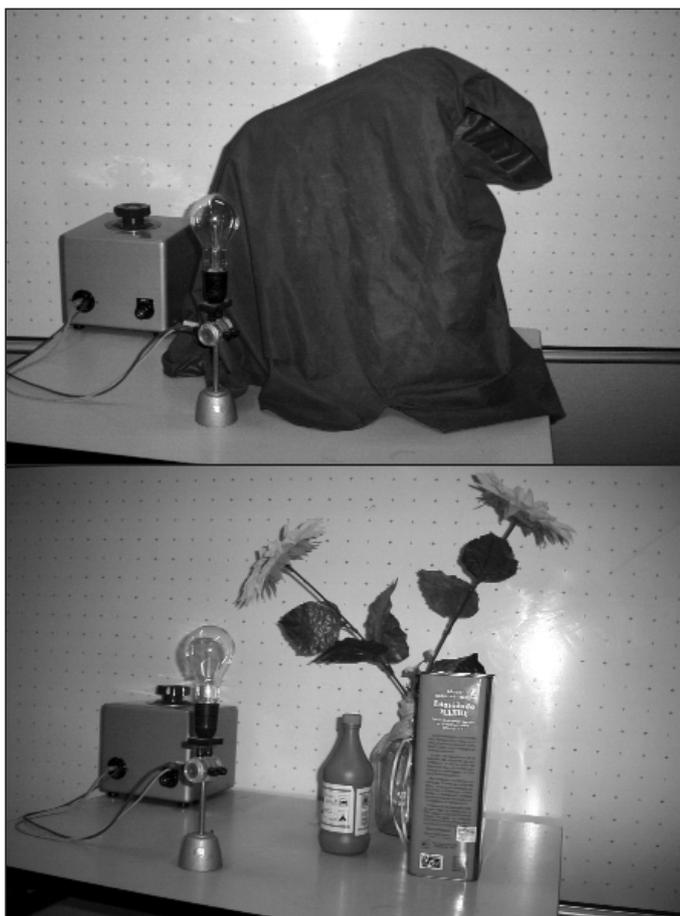


Abb. 6: Versuchsaufbau. Der Versuch befindet sich auch als Video auf der CD PH 38.3 [10]

Versuchsdurchführung Teil 2

Die Lampe wird langsam wieder bis zur vollständigen Dunkelheit verdunkelt. Die meisten Schülerinnen und Schüler erwarten, dass sich dasselbe wie in Teil 1 ergeben wird, jedoch nur in umgekehrter Reihenfolge.

Versuchsbeschreibung eines Schülers Teil 2

„Eigentlich erwarte ich, dass sich alle Ereignisse aus dem ersten Teil des Versuches in umgekehrter Reihenfolge wiederholen, aber ich werde vollkommen überrascht. Ich weiß ja von Anfang an Bescheid über die Gegenstände und ihre Farben und kann sie daher viel länger genau erkennen und sogar ihre Farbe sehen. Noch bis zu einem sehr dunklen Stadium kann ich die verschiedenen Vasen und die Flasche genau erkennen und sogar ihre Farbe feststellen. Als es dann so dunkel ist, dass ich die Gegenstände kaum noch erkennen kann, fixiere ich wieder die schwach glimmende Glühlampe. Als diese dann vollkommen verloschen ist, habe ich noch für kurze Zeit ein Nachbild der Lampe gesehen. In der vollkommenen Dunkelheit fühle ich mich längst nicht so unsicher wie beim ersten Versuch, da ich ja genau weiß, was vor mir auf dem Tisch steht.“

Meine Schlussfolgerungen: Anhand dieses Versuches stelle ich fest, dass am Sehen immer zwei Teile beteiligt sind. Auf der einen Seite das Objekt, das wir sehen und dessen Bild im Auge ankommt und auf der anderen Seite unser Geist, der den Gegenstand, den wir sehen, zuordnet und mit einem Namen in Verbindung bringt. Haben wir dann einen Gegenstand einmal gesehen und ihm ein Aussehen und eine Farbe zugeordnet, so wird dies im Gehirn „abgespeichert“.



Abb. 7: Bei gleichem „Sinnes-Reiz“ kann die Wahrnehmung verschieden sein sein. Quelle: www.hvolz.de/kipp.htm

So lässt sich erklären, dass ich beim zweiten Teil des Versuches sehr viel länger noch Farben erkennen konnte, als beim ersten Versuch.

Um dies noch zu verdeutlichen, noch ein weiteres Beispiel: In diesem Bild (Abb. 7) lassen sich zwei verschieden Gestalten erkennen. Einmal eine alte Dame und einmal eine junge Frau. Haben wir einmal eine der beiden Personen erkannt, so fällt es uns sehr schwer, die zweite zu sehen. Wir haben die erste Person schon in unserem Gehirn „abgespeichert“. Wenn wir dann auch die zweite Person sehen, können wir zwischen den beiden hin und her springen; wir können jedoch nie beide gleichzeitig fixieren. Obwohl der äußere Reiz derselbe ist, ist das, was wir sehen, verschieden.

Sehen ist also ein hochkomplexer Vorgang an dem sowohl unsere Augen, als auch unser Gehirn beteiligt ist. Es ist außerdem abhängig von dem Wissen über die Objekte, die wir sehen.“

Der hier beschriebene Grundversuch verdeutlicht eine wesentliche Eigenschaft aller Sinneswahrnehmungen: etwas Äußeres, ein physikalischer Reiz, hier Licht, kommt mit einem Inneren, einer Empfindung, in Zusammenhang, die wesentlich von unserer Vorerfahrung und unserem Wissen beeinflusst ist. Obwohl durch diesen Grundversuch wesentliche Gesichtspunkte der Sinneswahrnehmung sehr eindrucksvoll verdeutlicht werden können, haben wir uns bei dem hier beschriebenen Unterricht für einen „akustischen Grundversuch“ entschieden.

6 Didaktische Gesichtspunkte zur Konzeption des Akustikunterrichts

„Fakten sollten stets mit Blick auf das Ganze erarbeitet werden und das Ganze im Licht der Details. Das Hirn versteht und lernt, wie es scheint, umso besser, je mehr Beziehungen es zu einem Thema herstellen kann. Heinz Schirp, stellvertretender Direktor des Landesinstituts für Schule in Soest, folgert daraus für den Schulalltag: „Lehr-

und Lerninhalte sollten vielfältige Zugänge aufweisen und mehrkanalige, kognitive und emotive Verarbeitungsformen miteinander kombinieren.“ Statt also Sachinformationen wie das „Fallgesetz“ in kleinen Schritten und bewusst nur im physikalischen Kontext zu präsentieren, können sie mit eigenen und fremden Erfahrungen, dem forschungshistorischen Hintergrund oder sogar *Rilkes* Herbstgedicht „Die Blätter fallen, fallen wie von weit“ verbunden werden. Die didaktische Konsequenz scheint klar: Infotainment hinterlässt kaum dauerhafte Spuren. Es ist die aufmerksame Beschäftigung, welche nachhaltiges Lernen ermöglicht. Neurobiologische Erkenntnisse führen in Variationen stets zu den gleichen Schlussfolgerungen: Das Gehirn ist kein Computer, in dem man Beliebiges speichern kann. Menschliches Lernen ist geleitet von Interesse, von der Suche nach Einsicht und Sinn. Aktives Handeln und Forschen, Erfahrung mit allen Sinnen und intellektuellen Fähigkeiten erleichtern diese Suche, ebenso vielfältige Vernetzung sowie eine unterstützende emotionale und mitmenschliche Atmosphäre.“ Wenden wir diese Aussagen [7] auf die Konzeption des Akustikunterrichts an, so muss zunächst die Frage geklärt werden, welches „Ganze“ sich hierfür als Ausgangspunkt eignet. Für die skizzierte Einführung in die Akustik haben wir die verbale Kommunikation zwischen Menschen gewählt.

7 Bemerkungen zu den akustischen Präkonzepten der Schülerinnen und Schüler

Ein zeitgemäßer Physikunterricht nimmt seinen Ausgang von den Präkonzepten der Schülerinnen und Schüler, da sie nur auf diese Weise schrittweise zu den physikalischen Begriffen weiterentwickelt werden können. *Manfred Euler* [11] beschreibt, dass für Kinder im Anfangsunterricht der hörbare Ton nicht Ergebnis eines Prozesses, sondern ein quasimaterielles Objekt ist. Diese objektartige Vorstellung bestimmt, wie die Kinder akustische Experimente interpretieren. Der Ton als unsichtbares Objekt ist zunächst im Schallerzeuger lokalisiert. Er ist dort potenziell schon vorhanden. Anzupfen oder anschlagen treibt den Ton heraus. Der Ton hat eine innere Aktivität und geht überall hin. Die Schwingung wird keinesfalls als Ursache des Tons interpretiert, vielmehr ist sie eine Begleiterscheinung, ein Epiphänomen. Der Ton macht die Schwingung und nicht die Schwingung den Ton.

Die Schüler beobachten sehr genau und beschreiben sogar, dass man mit dem Auge die schnellen Schwingungen z. B. eines Lineals nicht verfolgen kann und begründen so, weshalb diese verschwimmen. Dennoch vollziehen sie nicht den Schritt, mit dieser schnellen Schwingung einen hörbaren Ton zu verbinden, so sehr sind sie einer objektartigen Vorstellung vom Schall verhaftet. Die Schlüsse der Kinder sind in sich weitgehend konsistent. Mögliche Brüche in dem Bild werden nicht gesehen. Demonstriert man, dass der Ton aufhört, wenn man das Lineal anfasst, so wird argumentiert, der Ton sei nunmehr in die Schallquelle zurückgekehrt. Es gibt eine Art Erhaltungsdenken: Das Objekt „Ton“ kann in der Vorstellungswelt der Schüler nicht vernichtet werden. Die mentalen Modelle der Kinder sind alles andere als „primitiv“; sie sind sehr ausgefeilt und werden in sich schlüssig benutzt. Weitere Experimente (etwa das Anblasen einer Flasche, das einen hörbaren Ton erzeugt) werden auf der Basis der bestehenden Vorstellung

Frau W. erzählt aus ihrer Kindheit – vor 1914 – von einem Familienausflug, als sie vier oder fünf Jahre alt war: Im Matrosenkleid, mit heißem Kopf unter dem „Florentinerhut“ marschiert sie mit den Erwachsenen über die sonnigen Felder. Die Mutter ist besorgt, aber die Tante sagt: Es geht ihr noch gut, sie spielt ja noch Mundharmonika! Das Kind weiß es anders: Die Harmonika hat in der Kleidertasche so schwer gezogen. Nun lässt das Kind ein paar Melodien heraus, damit es leichter wird. – Das ist so, als wenn man einen Käfig mit Küken aufmacht und ein paar entwischt. Ebenso leicht lösen sich die Töne aus dem Instrument. Dann ist der Käfig nachher leichter. Nicht also tut das Kind die Melodien hinein in die Harmonika. Sonst könnte man ja jede herausholen! Das kann man aber nicht. Es sitzen welche drin, und man lässt sie heraus. Manchmal wollen sie nicht recht. Aber man kann sie locken.

Abb. 8: Beim Musizieren werden die schon vorher vorhandenen Töne aus dem Instrument herausgelockt [12].

gedeutet. Der Ton ist in der Flasche eingeschlossen und das Pusten treibt ihn heraus. Auch hier sind die mit der Hand gefühlten Schwingungen der Flasche wiederum nur Nebeneffekte. Sinnvolles Lernen kann nur dann einsetzen, wenn die Vorstellungswelt der Kinder ausreichend berücksichtigt wird. Die mentalen Modelle bestimmen, was sie im Experiment sehen.

8 Skizze des Unterrichtsgangs

8.1 Einstiegsversuch

Eine Schülerin liest der Klasse einen möglichst bildhaften Text, z. B. aus „das Erdbeben in Chile“ von *Kleist* laut vor. Wenn der Lehrer „Stopp“ sagt, hört sie plötzlich unvermittelt auf zu lesen.

Die Schülerinnen und Schüler sollen während des Vorlesens achten,

- auf das, was sie hören und sehen und
- auf das, was in ihnen dabei vorgeht.

Die Schülerinnen und Schüler bekommen nach der Versuchsdurchführung, den folgenden Arbeitsauftrag, den sie bis zur nächsten Stunde zu Hause bearbeiten sollen.

- Beschreibe den „Aufbau“ des durchgeführten Versuchs.
- Beschreibe möglichst genau, was hintereinander geschehen ist.
- Beschreibe möglichst genau, was du dabei „innerlich erlebt“ hast!
- Welche Teile deiner Beobachtungen betreffen die Physik, welche nicht?
- Versuche Fragen zu formulieren, auf die wir im folgenden Physikunterricht Antworten suchen sollten.

Zu Beginn der nächsten Stunde lesen verschiedene Schülerinnen und Schüler, vom Lehrer zunächst unkommentiert, ihre Beschreibungen vor. Das „äußere Geschehen“ beschreiben die meisten recht kurz und knapp. Viel Raum nimmt dagegen das innerlich Erlebte ein: wie sie sich die beschriebene Situation bildlich vorgestellt haben, wie sie innerlich mitgelebt und mitgelitten haben, wie sie durch das plötzliche „Stopp“ des Lehrers aus dieser Welt herausgerissen wurden und wie sie sich dann unvermittelt wieder in der „äußeren Welt“ befunden haben, im Physikunterricht, im Physiksaal. Im anschließenden Klassengespräch wurde dann u. a. erarbeitet:

„Jeronimo, der inzwischen auch in ein Gefängnis gesetzt worden war, wollte die Besinnung verlieren als er diese ungeheure Wendung der Dinge erfuhr. Vergebens sann er auf Rettung: überall, wohin ihn auch der Fittig der vermessensten Gedanken trug, stieß er auf Riegel und Mauern, und ein Versuch, die Gitterfenster zu durchfeilen, zog ihm, da er entdeckt ward, eine nur noch engere Einsperrung zu. Er warf sich vor dem Bildnisse der heiligen Mutter Gottes nieder, und betete mit unendlicher Inbrunst zu ihr, als der einzigen, von der ihm jetzt noch Rettung kommen könnte.

Doch der gefürchtete Tag erschien, und mit ihm in seiner Brust die Überzeugung von der völligen Hoffnungslosigkeit seiner Lage. Die Glocken, welche Josephen zum Richtplatze begleiteten, ertönten, und Verzweiflung bemächtigte sich seiner Seele. Das Leben schien ihm verhaßt, und er beschloss, sich durch einen Strick, den ihm der Zufall gelassen hatte, den Tod zu geben. Eben stand er, wie schon gesagt, an einem Wandpfeiler, und befestigte den Strick, der ihn dieser jammervollen Welt entreißen sollte, an eine Eisenklammer, die an dem Gesimse derselben eingefügt war; als plötzlich der größte Teil der Stadt, mit einem Gekrache, als ob das Firmament einstürzte, versank, und alles, was Leben atmete, unter seinen Trümmern begrub. Jeronimo Rugera war starr vor Entsetzen; und gleich als ob sein ganzes Bewusstsein zerschmettert worden wäre, hielt er sich jetzt an dem Pfeiler, an welchem er hatte sterben wollen, um nicht umzufallen. Der Boden wankte unter seinen Füßen, alle Wände des Gefängnisses rissen, der ganze Bau neigte sich, nach der Straße zu einzustürzen, und nur der, seinem langsamen Fall begegnende, Fall des gegenüberstehenden Gebäudes verhinderte, durch eine zufällige Wölbung, die gänzliche Zubodenstreckung desselben. Zitternd, mit sträubenden Haaren, und Knien, die unter ihm brechen wollten, glitt Jeronimo über den schiefgesenkten Fußboden hinweg, der Öffnung zu, die der Zusammenschlag beider Häuser in die vordere Wand des Gefängnisses eingerissen hatte.

Kaum befand er sich im Freien, als die ganze, schon erschütterte Straße auf eine zweite Bewegung der Erde völlig zusammenfiel. Besinnungslos, wie er sich aus diesem allgemeinen Verderben retten würde, eilte er, über Schutt und Gebälk hinweg, indessen der Tod von allen Seiten Angriffe auf ihn machte, nach einem der nächsten Tore der Stadt. Hier stürzte noch ein Haus zusammen, und jagte ihn, die Trümmer weit umherschleudernd, in eine Nebenstraße; hier leckte die Flamme schon, in Dampfwolken blitzend, aus allen Giebeln, und trieb ihn schreckenvoll in eine andere; hier wälzte sich, aus seinem Gestade gehoben, der Mapochofluß auf ihn heran, und riss ihn brüllend in eine dritte. Hier lag ein Haufen Erschlagener, hier ächzte noch eine Stimme unter dem Schutte, hier schrieten Leute von brennenden Dächern herab, hier kämpften Menschen und Tiere mit den Wellen, hier war ein mutiger Retter bemüht, zu helfen; hier stand ein anderer, bleich wie der Tod, und streckte sprachlos zitternde Hände zum Himmel. Als Jeronimo das Tor erreicht, und einen Hügel jenseits desselben bestiegen hatte, sank er ohnmächtig auf demselben nieder.“

Abb. 9: aus „Das Erdbeben von Chile“ von Heinrich Kleist

- Versuche werden im Heft durch die folgenden drei Schritten beschrieben:

A: Versuchsaufbau (z. B. mit Skizze ...)

B: Versuchsdurchführung und Beobachtungen

C: Ergebnisse, Gedanken, neue Fragen ...

Hierbei werden die Schülerinnen und Schüler darauf hingewiesen, dass es für den Naturforscher besonders wichtig ist zu unterscheiden zwischen dem, was beobachtet und dem was gedacht wird.

- Die von den meisten Schülerinnen und Schülern sehr bildhaft erlebte Geschichte spielte sich nicht im Physiksaal ab, sondern in ihrer innerlichen Vorstellungswelt.

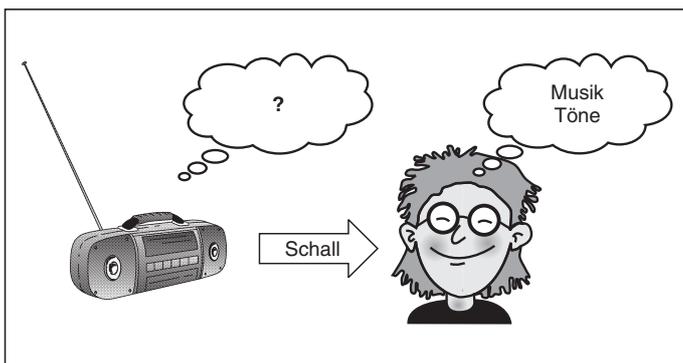
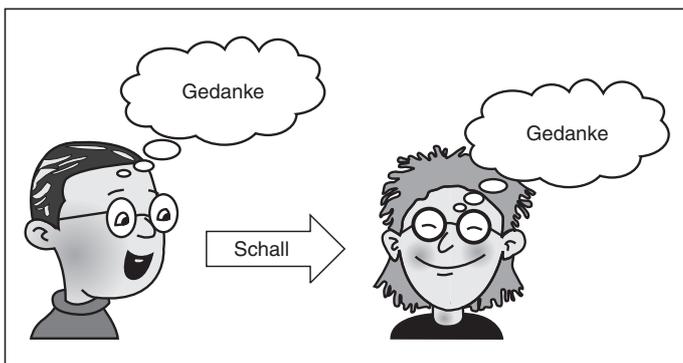


Abb. 10 (oben): In der Physik beschäftigen wir uns in erster Linie mit dem Untersuchen von Schall

Abb. 11 (Mitte): Macht der CD-Player die Musik?

Abb. 12 (unten): Alle Materialien liegen auf *einem* Tisch!

Das Unterrichtsgespräch führte dann dazu, dass zwischen „innerer Empfindung“ und „äußeren Geschehen“ unterschieden werden muss, dass sich die Physik weniger mit dem inneren Erlebten, sondern eher mit dem äußeren Beobachteten beschäftigt, dass also im Gebiet der Akustik primär „Schall“ untersucht wird. In Abb. 10 ist das Ergebnis zusammenfassend dargestellt: Ein Gedanke wird in Worte gefasst und ausgesprochen, „Schall“ wird übertragen, empfangen. Der „Empfänger“ „versteht“ die Worte, d.h., er „erkennt“, bei einem geglückten Gespräch, die „richtigen“ Gedanken. Dies gelingt natürlich nur, wenn bestimmte Bedingungen erfüllt sind, z.B., wenn „Sender“ und „Empfänger“ dieselbe Sprache beherrschen, ... „Verstehen“ ist also ein aktiver, innerlicher Prozess. Vergleichen wir dieses Erkennen mit dem „Texterkennungsprogramm“ eines Computers, so bemerken wir, dass hier die Worte zwar *äußerlich* erkannt jedoch nicht *innerlich* verstanden werden. Im Physikunterricht beschäftigen wir uns in erster Linie mit „Schallsendern“, mit „Schallempfängern“, mit „Schallübertragung“, mit „Schallaufzeichnung“, damit, wie

„Schall“ physikalisch beschrieben werden kann und welchen Zusammenhang der „äußere Schall“ mit dem „inneren Empfinden“ von Tönen, Lautstärke und Tonhöhe hat.

Weiterführender Versuch

Eine „Musik-CD“ wird wiedergegeben. Die Schülerinnen und Schüler sollen hierfür ein der Abb. 10 entsprechendes Schema skizzieren (Abb. 11). Dabei wird deutlich, dass Töne wie Gedanken und Vorstellungen „innere Empfindungen“ sind. Von den Schülerinnen und Schülern kam in diesem Zusammenhang die Bemerkung, dass der Musiker beim Musizieren, innerlich Musik erlebt, auch der Komponist beim Komponieren. Weiterhin wurde klar, dass ein Notenblatt, eine Schallplatte, eine CD die Musik selbst nicht enthalten, sondern dass dort nur „Spuren der Musik“ „konserviert“ sind.

8.2 Erste physikalische Untersuchungen im Lernzirkel

Die Vielzahl der im Akustikunterricht möglichen Versuche muss auf diejenigen eingeschränkt werden, aus denen die zentralen physikalischen Konzepte herausgeschält werden können. Viele können als Schülerexperimente eingesetzt werden. Nach zwei einführenden Versuchen (vergleiche 8.6) wurde der im Folgenden überblicksartig skizzierte Lernzirkel, den *Horst Petrich* [13] konzipiert hat, in dem vier zentrale Bereiche unterschieden werden, verwendet.

Bereich A: Der Zusammenhang von Lautstärke und Tonhöhe mit Amplitude und Frequenz

Station 1: Oszilloskop, Tonspuren werden sichtbar.
Station 2: Der „tönende“ Metallstreifen,
Station 3: die Rußspur von Tönen

Bereich B: Die physikalischen Größen Amplitude und Frequenz

Station 4 und 5: Fadenpendel
Station 6: Federpendel

Bereich C: Schallübertragung

Station 7: Resonanz
Station 8 und 9: Tamburinversuch mit Kerze

Bereich D: Schallerzeugung und Tonempfindung

Station 10: die menschliche Stimme,
Station 11: das menschliche Ohr

Einige Bemerkungen

Es wurde in Dreiergruppen gearbeitet. Für die Klasse mit 30 Schülerinnen und Schülern war es notwendig einzeln Stationen doppelt vorzugeben. Jede Schülergruppe musste innerhalb der vorgesehenen drei Unterrichtsstunden mindestens einen Versuch aus jedem Bereich durchführen und dokumentieren. Alle Versuchsmaterialien liegen vor und nach der Stunde auf einem Tisch (Abb. 12): Die erste Schülergruppe baut den jeweiligen Versuch auf, die letzte baut ihn wieder ab und legt die Versuchsmaterialien auf den Tisch zurück. Den Tamburinversuch werde ich das nächste Mal durch einen Lautsprecherversuch ersetzen, um dem Präkonzept, dass durch den Schlag der Ton aus dem Tamburin herausgeschlagen wird, besser begegnen zu können. Station 10 und 11 waren reine „Textarbeitsstationen“.

8.3 Zur Vernetzung der im Lernzirkel gemachten Erfahrungen

Es ist für einen auf Schülerexperimente aufgebauten Unterricht eine zentrale Frage, wie das im handlungsorientierten Unterricht durch die Schülerinnen und Schüler selbst Erarbeitete fruchtbar in den weiteren Unterrichtsablauf eingebettet werden kann. In dem hier beschriebenen Lernzirkel war jedem Team von vornherein ein Versuch zugeordnet, den es in der ersten Stunde nach dem Lernzirkel der Klasse vorstellen sollte. (Nicht alle haben alle Versuche durchgeführt!). Das Ziel dabei war, die einzelnen Erfahrungen der verschiedenen Stationen miteinander zu vernetzen, Unklarheiten zu besprechen und zu helfen, Wesentliches von Unwesentlichen zu trennen. Als Hausaufgabe wurde anschließend das in Abb. 13 dargestellte Aufgabenblatt bearbeitet.

8.4 Die zentralen Inhalte

Durch das in Abb. 14 dargestellte Übungsblatt sollen die Schülerinnen und Schüler dazu angeregt werden noch deutlicher die zentralen Ideen der behandelten Inhalte selbst herauszuarbeiten.

8.5 Zusammenfassung für das Physikheft

Die folgende Zusammenfassung, die mit den Schülerinnen und Schülern zusammen erarbeitet worden ist, wurde dann in die Hefte übernommen.

Physikalische Begriffe

„In der Physik wird die „*physikalische Fachsprache*“ benutzt, um die Sachverhalte möglichst präzise beschreiben zu können. Oft werden dabei auch Worte unserer Umgangssprache verwendet, die meist aber einen etwas anderen Sinn haben. Diese *physikalische Fachsprache* wollen wir im Unterricht üben.

Beispiel

Alltagssprache: „Die Stimmgabel bewegt sich schneller, wenn wir stärker draufhauen. Der Ton der Stimmgabel wird lauter, aber nicht höher.“

Fachsprache: „Durch das stärkere „Draufhauen“ wird die Amplitude der Schwingung der Stimmgabel vergrößert. Die Frequenz der Schwingung bleibt dabei gleich. Natürlich ist die Geschwindigkeit der Zinken größer, da die Zinken in derselben Zeit, wegen der größeren Amplitude eine größere Strecke zurücklegen müssen. Die Lautstärke des Tons, den wir hören (die Stimmgabel hat keinen Ton ...) wird größer, die Tonhöhe bleibt gleich.“

Zum Messen

„Zum Ermitteln der Frequenz wurden möglichste viele Schwingungen über einen bestimmten Zeitraum gemessen, z. B. 50 Schwingungen in 23 Sekunden. Da beim Messen immer „Fehler“ gemacht werden, wird das Ergebnis genauer, wenn mehrere Messungen durchgeführt werden und dann der Durchschnittswert („Mittelwert“) genommen wird.

Beispielrechnung:

Die Zeit für 50 Schwingungen wird zu 23 s bestimmt.

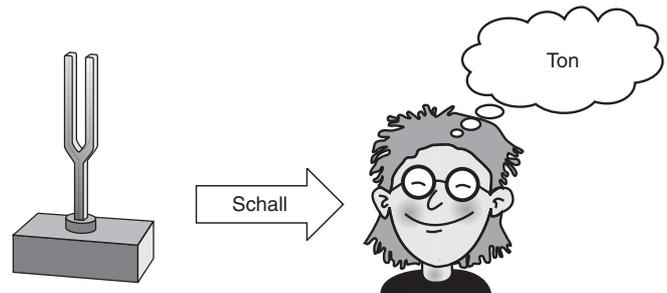
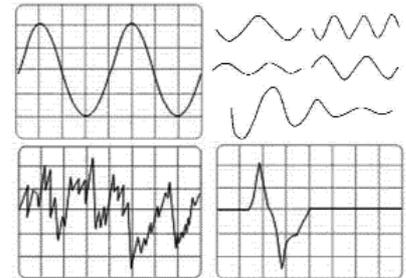
$$\begin{aligned} \text{Frequenz} &= \text{Zahl der Schwingungen} / \text{Zeit} \\ &= 50 / 23 \text{ s} = 2,2 \text{ Hz.} \end{aligned}$$

Wir haben Schall physikalisch untersucht und können nun erste Aussagen machen, wie Schall und Tonempfindung zusammenhängen.

- Erläutere die Begriffe Frequenz und Amplitude an einem Beispiel und gib die entsprechenden Maßeinheiten an.
- Wie kann man zeigen, dass eine Stimmgabel schwingt, wenn wir sie tönen hören.
- Schreibe die Begriffe „Amplitude“, „Tonhöhe“, „Frequenz“ und „Lautstärke“ in das abgebildete Schema mit der Stimmgabel an die richtige Stelle und beschreibe, wie diese Begriffe miteinander zusammenhängen.
- „Wenn wir die Stimmgabel hören, schwingt das Trommelfell unseres Ohrs entsprechend“.

Erläutere diesen Satz.

- In der Abbildung sind verschiedene Schwingungsformen dargestellt, die während des Hörens mithilfe eines Mikrophons und eines Oszilloskops aufgezeichnet worden sind. Beschreibe den dabei empfundenen Höreindruck möglichst genau.



- Erläutere, warum auf einer CD keine Musik sein kann.
- „Legt man eine Flöte nach dem Musizieren auf eine Waage, so wird man erkennen, dass sie durch das Spielen leichter geworden ist.“ Erläutere die falsche Vorstellung, die diesem Satz zugrunde liegt.

Abb. 13: Aufgabenblatt zur Vernetzung der behandelten Inhalte

Was sind die wichtigsten Inhalte, die ins Physikheft sollen?

- Bearbeitet diese Frage in Eurer Gruppe.
- Schreibt Eure Vorschläge möglichst kurz und gut formuliert auf dieses Blatt und überlegt Euch, wie Ihr Eure Ergebnisse in etwa 10 Minuten vorstellen könnt.

Abb. 14: Übungsblatt

„Innen und Außen“

„Ton, Tonhöhe und Lautstärke sind Bezeichnungen von „inneren Empfindungen“. *Schwingung*, *Frequenz* und *Amplitude* sind Bezeichnungen des Schalls, den wir äußerlich mit physikalischen Mitteln untersuchen können.

Wir haben durch unsere Versuche festgestellt, dass je größer die Frequenz (Amplitude) der Schwingung ist, desto höher (lauter) der Ton ist, den wir empfinden (Abb. 16).

Achtung: Der genaue Zusammenhang von physikalischen Größen und Empfindungsgrößen ist recht kompliziert. Wir haben erlebt, dass der Ton, den wir beim Tongenerator gehört haben, bei 1000 Hz lauter ist als bei 100 Hz, obwohl die Amplitude der Lautsprecherschwingung immer gleich

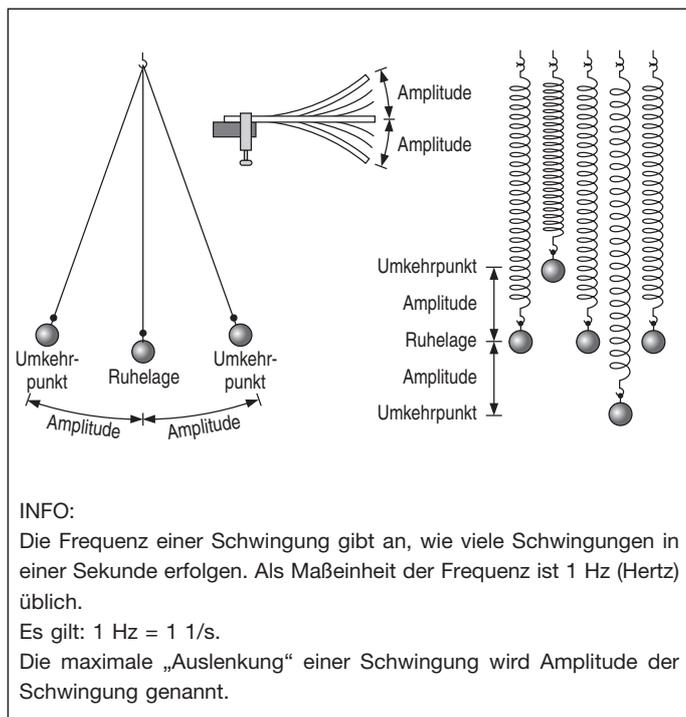


Abb. 15: Hefteintrag

war. Das liegt daran, dass das Gehör bei 1000 Hz besonders empfindlich ist.“

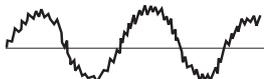
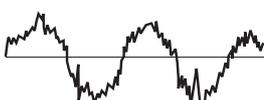
8.6 Schematischer Überblick über den Unterrichtsgang

Im Folgenden ist übersichtsartig der Unterrichtsverlauf dargestellt. Es wurden 13 Unterrichtsstunden dafür benö-

tigt. Wichtig war dabei, die Schülerinnen und Schüler beim Herausarbeiten der wesentlichen Inhalte und beim Vernetzen des Wissens zu beteiligen.

1. Einführungsstunde („innen und außen“):
 - Fragebogen: Was wisst Ihr über Akustik? Was interessiert euch in diesem Gebiet?
 - Erdbeben von Chile
2. Schall und Bewegung
 - „Innen und außen“: Schall ist außen!
 - Stimmgabelversuch (Schülerpraktikum)
3. Schall und Bewegung
 - Tongenerator: Frequenz und Amplitude propädeutisch
4. – 6. Lernzirkel
(Sender, Empfänger, physikalische Begriffe, Übertragung)
7. Vernetzung der Erfahrungen
 - Aufgabenblatt und Gespräch
8. Formulierung der Ergebnisse
 - Hefteintrag
9. technische Anwendungen
 - Referate zu Ultraschall in der Medizin und Ortung der Delfine
10. Schallübertragung in Luft
 - Vakuumversuch
 - Schallgeschwindigkeit
 - Wasserwellenbild
11. Vernetzung aller Inhalte
12. Klassenarbeit
13. Abschluss
 - Besprechung der Arbeit (weitere Vernetzung der Inhalte)
 - Schallspeicherung mithilfe einer Schallplatte

Abb. 16: Der Zusammenhang von Schwingungsbildern und Tonempfindung

Schallquelle	Schwingungsbild	Empfinden
 lange Stimmgabel		leiser tiefer Ton
 kurze Stimmgabel		lauter tiefer Ton
 Rascheln mit Papier		leiser hoher Ton
 Rasseln mit Schlüsselbund		lauter hoher Ton
 Schuss, platzende Papiertüte, Peitsche		Geräusch
 Geige		Knall
 Stimme		Klang
		

Nicht alles Aufgeführte wurde hier ausführlich dargestellt; vieles spricht für sich selbst. Auf die Schallspeicherung soll jedoch noch kurz eingegangen werden.

8.7 Schallspeicherung mithilfe einer Schallplatte

Gruppenarbeit:

- Bearbeitet in Gruppen den folgenden Text.
- Beschreibt die Funktionsweise eines „Plattenspielers“!
- Beschreibt, wie der Plattenspieler aus Abb. 18 funktioniert!

„Lange Zeit gab es nur die (meist) schwarze Schallplatte aus Kunststoff, bis Philips und Sony etwa 1983 die Compact Disc (CD) auf den Markt brachten. Bei der Schallplatte sind die Musikinformationen in spiralförmig verlaufenden Rillen als seitliche Auslenkungen aufgezeichnet. Betrachte dazu die Abb. 17 (oben). Man sieht auf dem Bild ganz deutlich, dass die Rille nicht gerade verläuft, sondern seitliche Schwankungen besitzt. Wenn nun die Scheibe rotiert, kann die Schallinformation mit einem Tonabnehmer (Teil des Plattenspielers) abgetastet werden. Dieser Tonabnehmer trägt meistens eine Nadel aus Saphir oder Diamant. Die Nadel fährt über die Rille und wird dadurch leicht ausgelenkt. Diese Bewegungen werden auf einen Kristall (piezoelektrischer Effekt) übertragen, der dann daraus elektrische Wechselspannungen produziert. Und diese elektrischen Spannungen lassen sich, nach einer Verstärkung, mit einem Lautsprecher anhören. In der Abb. 17 (unten) sieht man, wie ein Stereoton gespeichert ist. Auf der einen Seite der Rille verläuft die Auslenkung der rechten Aufnahme und auf der anderen Seite diejenige der linken Aufnahme. Diese Rille kann mit einem Stereotonabnehmer abgetastet werden.

Der in Abb. 18 dargestellte Versuch [14] wird zum Ende der Akustikeinheit vorgeführt. Es wird darauf hingewiesen, dass wenn die Elektrizitätslehre weit genug behandelt sein wird, die „elektromagnetische Abtastung und Verstärkung“ im Physikunterricht genauer erklärt werden wird.

9 Abschließende Betrachtungen

Obwohl im beschriebenen Unterrichtsgang die Unterscheidung von „physikalischem Reiz“ und „innerer Empfindung“ als zusätzliches Ziel hinzukam, konnte diese handlungsorientierte Einführung in die Akustik einschließlich der Klassenarbeit und ihrer Besprechung in 13 Unterrichtsstunden erfolgen. Die Schülerinnen und Schüler waren an der Unterscheidung von „Reiz“ und „Empfindung“ sehr interessiert und stellten von sich aus weiterführende Fragen, die mit ihrer alltäglichen Lebenswelt zusammenhängen. Im Anfangsunterricht stehen natürlich nicht alle zur Beschreibung der unterschiedlichen Sinneswahrnehmungen benötigten physikalischen Größen zur Verfügung, sodass der Zusammenhang und der Unterschied zwischen der Wahrnehmung bzw. Sinnesempfindung und ihrer physikalischen Beschreibung noch nicht vollständig erfolgen können. Trotzdem kann an passenden Stellen schon frühzeitig klargestellt werden, dass Schwere, Farbe, Helligkeit, Dunkelheit, warm und kalt ebenso wie Tonhöhe und Lautstärke Sinnes-Empfindungen sind, die von den zugehörigen physikalischen Größen unterschieden werden müssen.

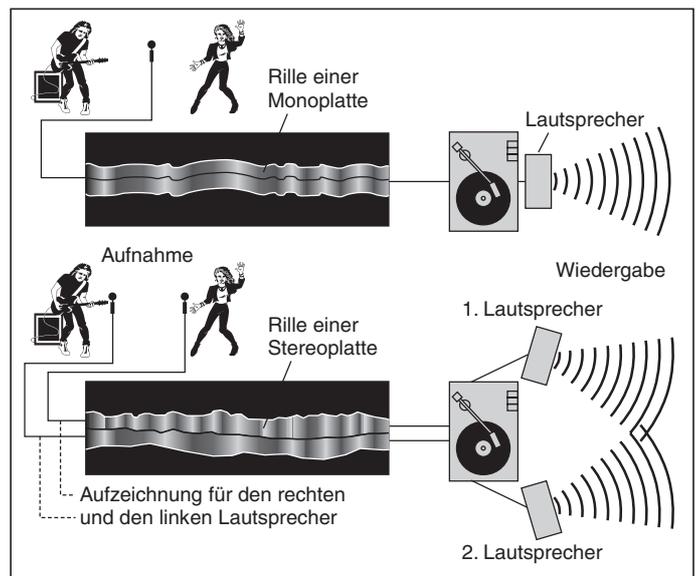


Abb. 17 (oben): Rille bei einer Schallplatte (oben): Monoaufnahme unter: Stereoaufnahme [14]

Abb. 18 (unten): Selbstgebauter Plattenspieler mit Schalltrichter aus Papier mit Nadel. [14]

Literatur

- [1] Dieter Plappert: Logarithmieren unsere Sinne?, www.plappert-freiburg.de/physik
- [2] Wilhelm Maximilian Wundt, Zeitgenosse von Weber und Fechner beschreibt in „Erlebtes und Erkanntes“ sehr anschaulich zeitgenössische philosophische Fragestellungen. <http://gutenberg.spiegel.de/wundt/erlebtes/inhalt.hat> Zim
- [3] Test 3/2003 Stiftung Warentest.
- [4] Eine ergänzende Fragestellung ist das „Klangröhrenprojekt“, das in „Leitideen zu offeneren Fragestellungen“, Impulse Physik, Ernst Klett Verlag Stuttgart, 2003 dargestellt ist.
- [5] Heinwig Lang: Farbmessung und Farbfernsehen, Oldenbourg, München, 1978
- [6] Broschart und Tentrup: Der Klang der Sinne, Geo, November 2003
- [7] Franz Mechsner, Ronald Frommann: „Was das Gehirn neugierig macht.“, Geo, Oktober 2004.
- [8] Robert Jourdain: Das wohltemperierte Gehirn, Spektrum Akademischer Verlag Heidelberg, 2001.
- [9] Diesen Versuch habe ich durch Manfred von Mackensen, Kassel kennen gelernt.
- [10] Dieter Plappert: Umsetzungsbeispiele zu den Bildungsstandards Physik, Leuheft Ph 38.2, Stuttgart 2004. Zu beziehen unter www.leu.bw.schule.de/allg/publikationen
- [11] Manfred Euler: Lehren und Lernen im Physikunterricht – eine Bestandsaufnahme, DPG-Frühjahrstagung, Regensburg 2002,
- [12] M. Wagenschein, S. Thiel: Kinder auf dem Weg zur Physik, Klett-Verlag, Stuttgart
- [13] Horst Petrich: Lernzirkel – Umsetzungsbeispiele zu den Bildungsstandards Physik, Leuheft Ph 40, Stuttgart 2006. Zu beziehen unter www.leu.bw.schule.de/allg/publikationen
- [14] Quelle: <http://www.educeth.ch/physik/musik/posten23/p23.html>

Anschrift des Verfassers:

StD Dieter Plappert, Staatliches Seminar für Didaktik und Lehrerbildung, Kunzweg 21, 79117 Freiburg