Schülerversuch zur auditiven Wahrnehmung der elektrischen Leitfähigkeit

–

Ein Unterrichtsversuch in einer fünften Klasse am Gymnasium

Schriftliche Arbeit nach APVO-Lehr
für das Lehramt an Gymnasien

von
Lars Tietje, Studienreferendar
Studienseminar Stade für das Lehramt an Gymnasien
Stade, den 19.01.2016

Abkürzungsverzeichnis

AB, AB1, AB2:	Arbeitsblatt, Arbeitsblatt 1, Arbeitsblatt 2
AFB:	Anforderungsbereich
DE:	Demonstrationsexperiment
DS, DS 1, DS 2, …:	Didaktischer Schritt, Didaktischer Schritt 1, Didaktischer Schritt 2, …
GA:	Gruppenarbeit
KC:	Kerncurriculum
KoUZ:	kompetenzorientiertes Unterrichtsziel
LH:	Lernhilfe
LS:	Lernschwierigkeit
LSG:	Lehrer-Schüler-Gespräch
LV:	Lernvoraussetzungen
NKM:	Niedersächsisches Kultusministerium
SC:	Schuleigenes Curriculum
SE:	Schülerexperiment (auch: Schülerversuch). Der Titel der Arbeit beinhaltet den Begriff Schülerversuch. Mir ist keine Unterscheidung der Begriffe (Schüler)Versuch und (Schüler)Experiment bekannt, weswegen ich beide Begriffe synonym verwende.
SuS:	Schülerinnen und Schüler
SV:	Schülervortrag
TA:	Tafelanschrieb
UE:	Unterrichtseinheit
UieV:	Unterricht in eigener Verantwortung

Inhaltsverzeichnis

Einleitung 1

A Grundlegung und Planung des Unterrichtsversuches 1

A.1 Grundlegung 1

A.1.1 Fachliche Darstellung der elektrischen Leitfähigkeit 1

A.1.2 Schulbuchanalyse: Typische SE zur Untersuchung der elektrischen Leitfähigkeit 2

A.1.3 Auditive Wahrnehmung des elektrischen Stroms 3

A.1.4 Schülerexperiment zur auditiven Wahrnehmung der elektrischen Leitfähigkeit 4

A.1.5 Leitende Fragestellungen 4

A.2 Planung des Unterrichtsversuchs 5

A.2.1 Voraussetzungen der Stunde 5

A.2.2 Formulierung und Begründung des kompetenzorientierten Unterrichtsziels 6

A.2.3 Didaktische Erläuterungen 6

A.2.4 Methodische Erläuterungen 8

B. Auswertung des Unterrichtsversuches 9

B.1 Systematische Auswertung 9

B.1.1 Beantwortung der ersten Leitfrage 9

B.1.2 Beantwortung der zweiten Leitfrage 11

B.1.3 Beantwortung der dritten Leitfrage 12

B.1.4 Reflexion der Planung und Durchführung mit Blick auf die KoUZ-Erreichung 13

B.2 Optimierungsmöglichkeiten 14

B.2.1 Stundenfrage und Arbeitsblattgestaltung 14

B.2.2 Wahl des Lehrverfahrens 15

B.3 Schluss 15

Literaturverzeichnis 16

Anhang 19

Anhang 1: Abbildungen zur Grundlegung des Unterrichtsversuches 19

Anhang 2: Die Unterrichtseinheit „Einfache Stromkreise“ 30

Anhang 3: Kurzentwurf mit zugehörigen Arbeitsblättern 31

Anhang 4: Ergebnisse der Gruppen zu AB1 37

Anhang 5: Ergebnisse der Gruppen zu AB2 39

Anhang 6: Foto des Tafelbildes 47

Versicherung 48

Einleitung

Experimente spielen eine zentrale Rolle im Physikunterricht. Dabei wird Schülerexperimenten gegenüber Demonstrationsexperimenten aufgrund der Selbstständigkeit und Aktivität der SuS eine höhere Lernwirksamkeit zugeschrieben. Allerdings führt experimenteller Unterricht nicht per se zu positiven Auswirkungen (vgl. Nawrath & Peters 2014, S. 4ff.). Diese Arbeit analysiert die Auswirkungen eines SE zum Stunden-Thema „Untersuchung der elektrischen Leitfähigkeit“. Die Stunde gehört zur UE „Einfache Stromkreise“ (Anhang 2) in einer fünften Klasse am Gymnasium Athenaeum Stade. Das relevante SE ist eine Weiterführung bzw. Abwandlung des folgenden Versuches, der in der vorherigen Stunde stattfand: Werden verschiedene Metalle (bspw. Zink und Kupfer) in eine Kartoffel gesteckt und diese Metalle mit handelsüblichen Smartphone- oder MP3-Player-Kopfhörern zu einem geschlossenen Stromkreis verbunden, so ist beim Schließen des Stromkreises in den Kopfhörern ein Knistern (Einschaltknacken) hörbar (vgl. Leifiphysik o.J.b). Dieser Versuch wird als „Kartoffelbatterie“ oder „Kartoffelradio“ (ebd.; Augsburger Allgemeine 2007) bezeichnet.

A Grundlegung und Planung des Unterrichtsversuches

Zunächst entwickle ich leitende Fragestellungen für den Unterrichtsversuch (A.1), bevor ich im Anschluss detaillierte Planungen zur Realisierung des Unterrichtsversuches darlege (A.2).

A.1 Grundlegung

Die leitenden Fragestellungen (A.1.5) ergeben sich aus einer fachlichen Themendarstellung der elektrischen Leitfähigkeit (A.1.1), aus einer kurzen Analyse entsprechender Schulbuchliteratur (A.1.2) sowie einer Analyse des angestrebten Experiments (A.1.3 und A.1.4).

A.1.1 Fachliche Darstellung der elektrischen Leitfähigkeit

Verschiedene Gegenstände hemmen den elektrischen Strom unterschiedlich stark. Diese Eigenschaft wird durch den elektrischen Widerstand R beschrieben (vgl. Boysen u.a. 2007, S. 156). Wird an einen Gegenstand eine Spannung U angelegt und liegt eine Stromstärke I_S[1] vor, so gilt: $R = \frac{U}{I_S}$ (vgl. Demtröder 2009, S. 50). Bei gleicher Spannung ist die Stromstärke in Gegenständen mit großem Widerstand also kleiner als in Gegenständen mit kleinem Widerstand. Für einen homogenen Leiter der Länge L mit dem Querschnitt A gilt zudem: $R = \rho \cdot \frac{L}{A}$. Dabei steht ρ für den spezifischen Widerstand. Es ist eine materialspezifische und von der Geometrie des Gegenstandes unabhängige Größe. Werte beziehen sich auf Würfel der Kantenlänge 1 m oder auf Drähte der Länge $1\,m$ mit dem Querschnitt $1\,mm^2$. Der Kehrwert $\sigma = \frac{1}{\rho}$ heißt elektrische Leitfähigkeit (vgl. ebd., S. 47ff.)[2]. Aus den obigen Gleichungen folgt: $\frac{L}{A} \cdot \frac{I_S}{U} = \sigma$ bzw. $I_S = \sigma \cdot U \cdot \frac{A}{L}$. Wird also an verschiedene Materialien, die die gleichen geometrischen Maße aufweisen, die gleiche Spannung angelegt, dann ist die Stromstärke I_S ein Indikator für die Leitfähigkeit σ: Eine große Stromstärke I_S bedeutet eine große Leitfähigkeit σ. Genau darum geht es in dem im Fokus

[1] Da im weiteren Verlauf noch die Intensität I eine Rolle spielt, verwende ich hier die Abkürzung I_s statt I.
[2] Detailliertere Darstellungen zur elektrischen Leitfähigkeit (Leitungsvorgänge, Temperatureinfluss, …) sind für diese Arbeit nicht zielführend. Für weitere (mikroskopische) Betrachtungen verweise ich beispielsweise auf das zweite Kapitel bei Demtröder (2009) oder die Seiten 970ff. und 1435ff. bei Tipler & Mosca (2009).

der Arbeit stehenden SE: Anhand der Stromstärke sollen die SuS erkennen, welche Materialien den Strom wie gut leiten.

Für elektrische Leiter liegt σ (bei 20°C) in der Größenordnung bei $10^8\ (\Omega m)^{-1}$ (z.B. Silber). Isolatoren beginnen bei etwa $10^{-9}\ (\Omega m)^{-1}$ (z.B. Neopren). Dabei sind noch deutlich kleinere Werte möglich. Zudem gibt es auch Materialien, die aufgrund ihres σ-Wertes weder klar als Leiter noch klar als Isolator zu klassifizieren sind (vgl. Tipler & Mosca 2009, S. 973).

A.1.2 Schulbuchanalyse: Typische SE zur Untersuchung der elektrischen Leitfähigkeit

Im Schulbuch „Fokus Physik Chemie 5|6“ sind zur Untersuchung von σ zwei SE dargestellt, die im Kern identisch sind: Zum einen wird ein selbstgebautes Prüfgerät verwendet, welches eine LED beinhaltet. Zum anderen wird ein Stromkreis aus Flachbatterie, Glühlampe mit Fassung und Kabeln mit Krokodilklemmen verwendet. In beiden SE wird untersucht, ob die LED bzw. Lampe leuchtet oder nicht. Daraus wird geschlossen, ob es sich um einen elektrischen Leiter handelt oder nicht. Zur Untersuchung von Flüssigkeiten wird das Prüfgerät oder ein Amperemeter eingesetzt, welches ebenfalls zur Untersuchung der Leitfähigkeit des Menschen verwendet wird (Abb. 1 bis 3 in Anhang 1) (vgl. Arnold u.a. 2015, S. 37f.). Das zusammenfassende Ergebnis lautet: „Metalle und Kohlenstoff sind elektrische Leiter. Auch Salzwasser leitet. Glas […] und Spiritus sind Beispiele für Nichtleiter. […]“ (ebd., S. 38). Wenngleich an anderen Stellen des Buches zwar noch die Leitfähigkeit von Salzwasser weiter untersucht wird (vgl. ebd., S. 43) und dieses als „recht guter“ (ebd., S. 38) Leiter beschrieben wird, so wird deutlich, dass das Ergebnis aus den Kategorien „Lampe leuchtet (Leiter)“ und „Lampe leuchtet nicht (Nichtleiter)“ besteht.

Das Physikportal *www.leifiphysik.de* präsentiert ebenfalls den Versuch mit Glühlampe zur Untersuchung der Leitfähigkeit von Feststoffen (Abb. 4 in Anhang 1), verweist aber auf folgendes Problem: „Dieser Versuch erlaubt nur eine sehr grobe Einteilung in Leiter und Nichtleiter. Es könnte z.B. sein, dass bei diesem Versuch das Lämpchen nicht aufleuchtet und das Material den Nichtleitern zugeordnet wird. Beim Einbau eines empfindlicheren Glühlämpchens und der Verwendung einer ‚stärkeren‘ Spannungsquelle könnte es aber sein, dass das empfindlichere Lämpchen ein klein wenig leuchtet und so das Material als (schlechter) Leiter eingestuft wird“ (Leifiphysik o.J.a).

Dieses Problem wird im Schulbuch „Impulse Physik 5|6“ aufgegriffen, indem die Versuche mit Glühlampe und LED als „gestuftes Experiment“ eingesetzt werden (Abb. 5 in Anhang 1), wie der Informationstext zeigt: „Bei einem Kunststofffaden leuchtet die Glühlampe nicht, er ist ein Nichtleiter (Isolator). Bei Eisendraht leuchtet die Lampe schwächer als bei Kupferdraht. Eisen ist ein schlechterer Leiter als Kupfer. Bei z.B. feuchter Erde leuchtet die Lampe nicht, wohl aber eine LED. So erkennt man, dass feuchte Erde ein Leiter ist, aber ein noch schlechterer als Eisen. Verschiedene Leiter führen bei gleicher Quelle zu unterschiedlichen starken Strömen im Stromkreis.“ Aus der Helligkeit des Leuchtens und der Art der Lampe wird also auf ein Ergebnis geschlossen, dass differenzierter ist als „Lampe leuchtet (Leiter)“ und „Lampe leuchtet nicht (Isolator)“. Die in rot geschriebene Kurzfassung des Kapitels fokussiert aber lediglich die Kategorien „guter Leiter“ und „Isolator“ (vgl. Bredthauer u.a. 2015, S. 30f.).

Im Schulbuch „Universum Physik Chemie 5|6“ werden zur Untersuchung der Leitfähigkeit von Feststoffen, Flüssigkeiten und dem Menschen die gleichen SE vorgeschlagen wie im „Fokus Physik Chemie 5|6“ (Abb. 6 bis 8 in Anhang 1). Die Auswertung erfolgt hier jedoch differenzierter.

Im SE wird auch schwaches Leuchten der Lampe berücksichtigt[3]. Zusammenfassend heißt es nach Untersuchung der Festkörper: „Metalle leiten sehr gut, Graphit leitet gut. Holz und Kunststoff leiten praktisch nicht“ (Bengelsdorff u.a. 2015, S. 45). Die Auswertung aller Versuche mündet in einer differenzierenden zusammenfassenden Abbildung[4] (Abb. 9 in Anhang 1).

Eine ähnliche Abbildung findet sich im „alten“ „Impulse Physik Chemie 5|6“ Schulbuch. Die Entwicklung der Abbildung (Untersuchungen mit LEDs und Glühlampen) wird im Informationstext jedoch nur angerissen (vgl. Bredthauer u.a. 2008, S.25).

Fazit: 1. Alle SE beruhen auf visuellen Wahrnehmungen. 2. „In der Regel wird das Thema ‚elektrische Leitung‘ mit der begrifflichen Unterscheidung elektrischer Leiter und Isolatoren eingeführt. Dazu untersuchen Schülerinnen und Schüler […], ob z.B. eine Glühlampe in einem Stromkreis leuchtet, wenn man Probematerialien […] in den Stromkreis integriert“ (Henke & Höttecke 2013, S. 17). Ergebnis der SE ist also häufig lediglich die grobe Unterscheidung zwischen „Leiter“ und „Nichtleiter (Isolator)“. 3. Differenziertere Ergebnisse als „Leiter“ und „Nichtleiter“ beruhen auf „gestuften Experimenten“ (erst Glühlampe, dann LED). Deren Einsatz wird meist nur im Informationstext beschrieben. Er wird aber nicht explizit als SE vorgeschlagen, bei dem die SuS bspw. bei vorgegebener Materialliste eine differenziertere Einteilung selbst entwickeln. 4. Die Leitfähigkeit von Flüssigkeiten und Feststoffen wird oft mit zwei unterschiedlichen SE (bspw. Glühlampe und LED) untersucht.

A.1.3 Auditive Wahrnehmung des elektrischen Stroms

Im menschlichen Ohr wird Schall in Nervenimpulse übertragen (vgl. Ackermann u.a. 2014, S. 224). Wie genau dies geschieht, ist für den Unterrichtsversuch nicht relevant. Wichtiger ist die Betrachtung der Umwandlung von Strom in Schall(wellen). Dafür muss klar sein, dass Schallwellen in Gasen (z.B. Luft) Longitudinalwellen von Druckschwankungen sind (vgl. ebd., S. 222). Mit Lautsprechern kann elektrische Leistung in mechanische Bewegungen einer schwingenden Membran umgewandelt werden, wodurch (Luft)Druckschwankungen entstehen. Hierfür gibt es eine Vielzahl verschiedener Verfahren. Am häufigsten verbreitet ist der elektrodynamische Wandler (vgl. Goertz 2008, S. 423f.): Eine vom Strom der Stärke I_S durchflossene Spule befindet sich in einem konstanten Magnetfeld der Stärke B. Auf stromdurchflossene Leiter der Länge L wirkt in einem Magnetfeld die Kraft $F = B \cdot I_S \cdot L$ (vgl. Ackermann u.a. 2014, S. 134). Ändert sich die Stromrichtung, ändert sich auch die Richtung der wirkenden Kraft, wodurch die Membran hin- und her bewegt wird. Damit wird die Luft in Schwingungen versetzt (Abb. 10 und 11 in Anhang 1) (vgl. Leifiphysik o.J.c).

Die Intensität I einer (Schall)Welle gibt an, wie viel Energie E in einer Zeit t durch eine Fläche A tritt: $I = \frac{E}{A \cdot t} = \frac{P_{Welle}}{A}$. Dabei ist $P_{Welle} = \frac{E}{t}$ die Leistung der (Schall)Welle. Die Intensität ist relevant für die subjektiv empfundene Lautstärke $L_S \sim \lg \frac{I}{I_0}$ ($I_0 = 10^{-12}\,\frac{W}{m^2}$). Eine Änderung der Intensität bewirkt also eine Änderung von L_S bzw. des Schallintensitätsspiegels $L = 10 \lg \frac{I}{I_0} db$ (Einheit

[3] Ich habe selbst versucht, die im „Impulse Physik 5|6“ und „Universum Physik Chemie 5|6“ beschriebenen Unterschiede in der Helligkeit des Lampenleuchtens mit dem am Athenaeum typischen Material für SE (u.a. 4,5-V-Batterie) zu realisieren. Meiner Meinung nach ist es nicht einfach, Unterschiede wahrzunehmen, wenn Kupfer, Eisen und Graphit in den Stromkreis eingebaut werden (Abb. 12, 13 & 14 in Anhang 1)

[4] Dabei wird darauf eingegangen, dass eine Glühlampe im Stromkreis mit Flüssigkeiten nicht leuchtet, weswegen eine LED verwendet wird. Daraus wird geschlossen, dass Flüssigkeiten den Strom überwiegend schlechter leiten als Feststoffe.

Dezibel (dB)) (vgl. Ackermann u.a. 2014, S. 224f.). Die Leistung $P_{Stromkreis}$ im Stromkreis ist das Produkt aus Spannung U und Stromstärke I_S (vgl. ebd., S. 168). Angenommen, der Lautsprecher wandelt die elektrische Energie in Schallenergie, sodass der Ansatz $P_{Stromkreis} = P_{Welle}$ gewährleistet ist, dann folgt: $L = 10 \lg \frac{U \cdot I_S}{A \cdot I_0} db$. Hier zeigt sich, dass (bei konstanter Spannung U und konstanter Fläche A) eine größerer Stromstärke I_S zu einem größeren Schallintensitätsspiegel führt[5].

A.1.4 Schülerexperiment zur auditiven Wahrnehmung der elektrischen Leitfähigkeit

Die SuS führen in der Stunde für die Examensarbeit folgendes SE durch[6]: Eine 4,5-V-Batterie dient als elektrische Quelle für einen Stromkreis (Skizze im Kurzentwurf in Anhang 3; Abb. 15 in Anhang 1). In diesen Stromkreis werden als Lautsprecher handelsübliche Smartphone- oder MP3-Player-In-Ear-Kopfhörer mit verschiedenen Materialien nacheinander in Reihe geschaltet. Wie in A.1.1 dargelegt, führen die materialspezifischen Leitfähigkeiten zu unterschiedlichen Stromstärken und gemäß A.1.3 damit zu unterschiedlich lauten Knister/Knack-Geräuschen in den Kopfhörern. Große Stromstärken (große Leitfähigkeit) bewirken ein sehr lautes Knistern, bei kleinen Stromstärken (geringe Leitfähigkeit) knistert es nur sehr wenig. Somit ist die elektrische Leitfähigkeit auditiv wahrnehmbar[7]. Da sich die Stromrichtung bei diesem Versuchsaufbau nicht ändert, knistert es in den Kopfhörern nur einmal beim Schließen des Stromkreises. Bereits kleinere Bewegungen der Kabel an den Kontaktstellen des Kopfhörer-Kabels führen aber zu weiteren Knister-Geräuschen. Eine kurze Testreihe mit zehn Personen hat ergeben, dass mit einer 4,5-V-Batterie selbst bei Widerständen im Bereich von 670 bis 940 $k\Omega$ noch ein Knacken in den Kopfhörern wahrnehmbar ist (Abb. 16 in Anhang 1). Ich nehme auch ein Knacken wahr, wenn in den Stromkreis Wasser oder menschliche Haut integriert wird. Die am Athenaeum verwendeten Glühlampen für SE (6 V; 0,6 W bzw. 4,8 V; 0,3 A) leuchten dann nicht (Abb. 17, 18 & 19 in Anhang 1). Zum Erkennen der Leitfähigkeit des Menschen wird – wie Kapitel A.1.2 zeigt – in gängigen Schulbüchern deshalb sogar das Amperemeter herangezogen. Der Vorteil des SE zur auditiven Wahrnehmung liegt damit (scheinbar) in der größeren Empfindlichkeit: Das Ohr kann auch sehr kleine Energieströme wahrnehmen und Wellen unterschiedlicher Intensitäten verarbeiten (vgl. Ackermann u.a. 2014, S. 224).

A.1.5 Leitende Fragestellungen

Aus den bisherigen Ausführungen ergibt sich – insbesondere mit Blick auf den ersten Punkt des Fazits in A.1.2 – zunächst folgende recht offene Frage: Zu welchen Ergebnissen gelangen die SuS, wenn sie das SE zur auditiven Wahrnehmung der elektrischen Leitfähigkeit durchführen? Im Erkenntnisinteresse steht die Frage, ob dieses SE „mehr leisten“ kann als die unter A.1.2 beschriebenen „typischen SE“. Eine Ausschärfung beider Fragen liefert drei Leitfragen:

Nehmen die SuS die materialabhängige Lautstärkeänderung des Knackens wahr?

[5] Denn: Die Logarithmus-Funktion zur Basis 10 ist streng monoton wachsend.

[6] Eine weitere Möglichkeit zum Hören der Leitfähigkeit bietet die Arbeit von Deborah Hoffmann (2010) beim „Regionalwettbewerb Jugend forscht“. Sie untersucht das „Messen der elektrischen Leitfähigkeit mit Hilfe eines Tongenerators“ (ebd.). Der Einsatz eines wie in ihrer Arbeit beschriebenen Tongenerators eignet sich aber aus Gründen des Materialbedarfs und der Lautstärke nicht für ein SE in der fünften Klasse.

[7] Wie in Kapitel A.1.1 erwähnt, sollten die Materialien idealerweise die gleichen geometrischen Abmessungen haben. Zum einen ist dies nicht realisierbar (Wasser (!)) und für eine fünfte Klasse nicht notwendig. Zum anderen habe ich darauf geachtet, dass die Maße der Materialien in etwa in der gleichen Größenordnung liegen. Das heißt, wenn die SuS die Materialien nach ihrer Leitfähigkeit sortieren, werden sie keine falschen Ergebnisse erhalten, weil die Abmessungen einen zu großen Einfluss auf die Lautstärke des Knackens nehmen.

Unter Rückgriff auf die Punkte 2. und 3. des Fazits von Kapitel A.1.2 resultiert daraus die nächste Frage:

Befähigt dieses eine[8] SE die SuS zu einer differenzierteren Einteilung der Materialien als in „Leiter“ und „Nichtleiter“?

Zudem stellt sich vor dem Hintergrund des 4. Punktes von Kapitel A.1.2 folgende Frage:

Ist der Versuch geeignet, um sowohl die Leitfähigkeit von Feststoffen als auch die Leitfähigkeit von Flüssigkeiten (Leitungswasser, Salzlösungen, ggf. destilliertes Wasser) zu untersuchen?

Ziel des Unterrichtsversuches ist es, die drei Leitfragen zu beantworten und zu überprüfen, ob das unter A.2.2 genannte KoUZ für die SuS erreichbar ist[9]. Die Leitfragen 1 und 3 sind mit JA zu beantworten, wenn die SuS für die Feststoffe und Flüssigkeiten, die auf AB1 (Kurzentwurf inklusive AB1 und AB2 in Anhang 3) eingetragen sind, passende Lautstärkebeschreibungen verwenden, die genauer sind als „knackt“ und „knackt nicht“. Leitfrage 2 ist mit JA zu beantworten, wenn die Materialien auf AB2 begründet[10] nicht nur in die Kategorien „Leiter“ und „Nichtleiter“ eingeteilt werden. Dabei wird darauf geachtet, die Ergebnisse der SuS in Form eines Fotos zu sichern, BEVOR es im Unterricht zur Sicherungsphase kommt.

A.2 Planung des Unterrichtsversuchs

Es folgt die konkrete Planung der Doppelstunde, die dieser Arbeit zugrunde liegt.

A.2.1 Voraussetzungen der Stunde

Besonderheiten der Lerngruppe: Ich unterrichte die Klasse seit Schuljahresbeginn im UieV mit einer Doppelstunde pro Woche. Die Klasse wurde langsam an SV und das Experimentieren in GA herangeführt. Dabei hat es sich stets bewährt, die SuS die Gruppen selbstständig bilden zu lassen. Meist kommen alle Gruppen zu den angestrebten Ergebnissen. Aktuell zeigt sich, dass die Mädchengruppen konzentrierter, zielstrebiger und ausdauernder arbeiten als die Jungen.

Fachlich-thematische Einbettung, Themen und Kompetenzen der UE**:** Ein fachlicher Schwerpunkt der UE liegt darin, dass der Betrieb elektrischer Geräte einen geschlossenen Stromkreis verlangt. Das Erkennen dieser Stromkreise (bspw. auch bei drei Stunden zur Reihen- und Parallelschaltung sowie UND- und ODER-Schaltung) taucht immer wieder auf. In vielen Stunden stand bzw. steht die Schulung wichtiger prozessbezogener Kompetenzen im Fokus: Verwendung einfacher Schaltbilder (physikalisch argumentieren), Nutzung von Fachkenntnis zum Problemlösen, Planen, Experimentieren, Auswerten (Schwerpunkte im Unterrichtsversuch), Übersetzung zwischen Schaltungen und symbolischen Darstellungen (mit Modellen arbeiten), Arbeit in Gruppen, Präsentation von Ergebnissen (Kommunikation) (vgl. NKM 2015, S. 18 ff.). Die oben erwähnten drei Stunden stellen keine fachlichen Lernvoraussetzungen für den Unterrichtsversuch bereit (vgl. Carmesin 2012b, S. 12) wurden aber vorgeschaltet, um das selbstständige Experimentieren innerhalb der UE zu festigen.

Relevante abrufbare Lernvoraussetzungen: Inhaltlich: Die SuS erläutern und „erkennen einfache elektrische Stromkreise und beschreiben deren Aufbau und Bestandteile“ (NKM 2015, S. 31). Die meisten (aber nicht alle (!)) SuS kennen und *beschreiben (nicht: erklären oder erläutern (!))* das

[8] Also keine „gestuften Experimente“ mit Glühlampe und LED oder beispielsweise Glühlampe und Kopfhörern.
[9] Die Zielsetzung des Unterrichtsvorhabens bezieht sich damit auf den Kompetenzbereich Unterrichten (vgl. NKM 2010, S. 21).
[10] Die Begründungen können sich bspw. in Aufgabe 1 von AB2 zeigen oder darin, dass die erstelle Reihenfolge in Aufgabe 2 mit den Lautstärkebeschreibungen von AB1 übereinstimmt.

Knistern/Knacken in den Kopfhörern aus dem SE zum Bau einer Kartoffelbatterie. Prozessbezogen: Die SuS bauen einfache elektrische Stromkreise (nach vorgegebenem Schaltplan) auf. Fast (!) alle SuS haben erfolgreich die Kartoffelbatterie gebaut. Sie „dokumentieren die Ergebnisse ihrer Arbeit“ (ebd.).

A.2.2 Formulierung und Begründung des kompetenzorientierten Unterrichtsziels

Die SuS führen das Experiment zur auditiven Wahrnehmung der elektrischen Leitfähigkeit durch (KoUZ Teil I) und werten dieses aus (KoUZ Teil II) (AFB III). Dabei schulen sie ihre prozessbezogene Erkenntnisgewinnungskompetenz vor allem im Bereich „(Planen,) Experimentieren, Auswerten“. Außerdem schulen sie ihre inhaltsbezogene Kompetenz hinsichtlich der elektrischen Leitfähigkeit (elektrische Leiter, Isolatoren).

Gemäß KC gilt: Die SuS „unterscheiden zwischen elektrischen Leitern und Isolatoren und benennen Beispiele dafür (Fachwissen), planen einfache Experimente zur Untersuchung der Leitfähigkeit, führen sie durch und dokumentieren ihre Ergebnisse (Erkenntnisgewinnung), tauschen sich über die Erkenntnisse zur Leitfähigkeit aus (Kommunikation)“ (NKM 2015, S. 31). Das KoUZ ist somit in vielfältiger Weise über rechtliche Vorgaben begründet[11]. Bekräftigt wird dies durch das SC, in dem „Leitfähigkeit“ und „Isolator“ als „zentrale Fachbegriffe“ dargestellt sind (vgl. Gymnasium Athenaeum Stade o.J., S. 3). Anhand der beispielhaften Untersuchung ausgewählter Materialien lernen die SuS, dass verschiedene Materialien den Strom unterschiedlich gut leiten (exemplarische Bedeutung (vgl. Huwendiek 2014, S. 44)). Dies hat eine unmittelbare Bedeutung im Alltag der SuS: Viele Kabel – bspw. das Smartphone-Ladekabel – bestehen aus einem Leiter, damit das Gerät mit Strom „versorgt“ werden kann und aus einem Isolator, um den unkontrollierten Stromfluss (in Richtung des Menschen (Leiter)) zu verhindern. Dies ist nur eines von vielen möglichen Beispielen (Gegenwartsbedeutung (vgl. ebd.)). Der Begriff der Leitfähigkeit wird zudem bspw. wieder im Doppeljahrgang 9/10 aufgegriffen (Zukunftsbedeutung (vgl. ebd.)) (vgl. NKM 2015, S. 40).

A.2.3 Didaktische Erläuterungen

Didaktische Progression[12]: Der Operator „auswerten“ beschreibt das Zusammenführen von Daten, Einzelergebnissen und anderen Elementen in einen Zusammenhang bzw. eine Gesamtaussage (vgl. NKM 2015, S. 103). Die „Einzelergebnisse und andere Elemente“ sind in diesem Fall die materialspezifischen Lautstärkeempfindungen von Knackgeräuschen. Dabei muss den SuS die Bedeutung des Knackens klar sein. Mit Blick auf die LV wird deutlich, dass dies nicht gewährleistet ist, denn bisher haben die SuS das Knacken nur beschrieben.

DS 1: Die SuS erläutern den Stromkreis beim Verbinden einer Batterie mit Kopfhörern (AFB II).

Erreichen DS 1: Die SuS zeigen in einer Skizze den vorliegenden Stromkreis, insbesondere beschreiben sie den „Weg des Stromes“ durch die Kopfhörer. Sie gehen darauf ein, dass ein Kabel ganz vorne an den Kopfhörer-Stecker gehalten werden muss und das andere weiter hinten.
LS: Die Skizze beinhaltet nur einen Kopfhörer, zu dem zwei Kabel führen. In Wirklichkeit sind aber zwei Kopfhörer mit je einem Kabel zu sehen.

[11] Das Planen steht aufgrund der LV nicht auch noch im Fokus der Kompetenzschulung (A.2.4). Im Kerncurriculum finden sich weitere Begründungen des KoUZ: „führen Experimente nach angemessener schriftlicher Anleitung durch“ (NKM 2015, S. 20), „beschreiben Zusammenhänge in Je-desto-Form“ (ebd., S. 21), „teilen sich über physikalische Zusammenhänge und Beobachtungen in der Umgangssprache verständlich mit“ (ebd., S. 23), … .
[12] Wenn nicht explizit LS genannt werden, gehe ich davon aus, dass es keine gibt.

DS 2: Die SuS erklären das Überprüfungsexperiment (AFB II). Erreichen DS 2: Die SuS beziehen sich auf die Gesetzmäßigkeit, dass der Stromfluss einen geschlossenen Stromkreis verlangt. Sie erläutern, dass der Stromkreis geschlossen wird, wenn das untersuchte Material den Strom leitet und geben an, dass das Knacken den geschlossenen Stromkreis anzeigt.

DS 3: Die SuS führen das Überprüfungsexperiment durch (AFB II). Der Operator „durchführen" meint gemäß KC: „an einer Experimentieranordnung zielgerichtete Messungen und Änderungen vornehmen oder eine Experimentieranleitung umsetzten" (NKM 2015, S. 103). Erreichen DS3: Im Sinne des Operators „durchführen" ändern die SuS das zu untersuchende Material und notieren materialabhängige Lautstärke-Wahrnehmungen (bspw. „Kupfer – sehr laut, Holz – kein Knistern, Wasser – leises Knistern"). Hier ergibt sich die Möglichkeit zur Binnendifferenzierung: Arbeitet eine Gruppe schnell und gründlich, untersucht sie weitere Materialien.

DS 4: Die SuS werten das Experiment aus (AFB III). Erreichen DS: Sie formulieren (auf dem AB2, im SV oder im LSG) einen Zusammenhang bzw. eine Gesamtaussage, die sinngemäß beinhaltet, dass die Lautstärke ein Indikator für die Leitfähigkeit ist: „Je lauter es knackt, desto besser leitet das Material den Strom." Außerdem nennen sie begründet Beispiele für sehr gute elektrische Leiter (z.B. „Bei Kupfer und Eisen hat es sehr laut geknackt.") und sehr schlechte (z.B. „Bei Luft und Gummi hat es gar nicht geknackt."). Sie geben Beispiele für Stoffe, die den Strom „mittelmäßig" (bspw. Leitungswasser) oder „ein bisschen" (bspw. feuchtes Papier) leiten.

Analyse des Lernmaterials: In der Stunde zur Kartoffelbatterie durften alle SuS mit ihren eigenen Kopfhörern arbeiten. Diesen Freiraum gibt es nicht, um unterschiedliche Lautstärke-Empfindungen, die durch das Kopfhörer-Modell bedingt sind, zu verhindern. Daher arbeitet jede Gruppe mit einem Kopfhörer-Modell. Die auf AB1 gelisteten Materialien sind so gewählt, dass (meiner Empfindung nach) deutliche Lautstärkeunterschiede wahrnehmbar sind[13]:

Silberdraht, Eisendraht, Kupferdraht, Messingschraube	sehr lautes Knacken
Salzwasser, Bleistiftmine	lautes Knacken
Leitungswasser	mittellautes Knacken
feuchte Haut, feuchtes Papier	leise
trockene Haut, nasses Holz, destilliertes Wasser	sehr leise
trockenes Papier, Gummiband, Styropor, Luft, Holz, Glas	kein Knacken

Dass die SuS genau diese Lautstärkeunterschiede wahrnehmen, wird nicht erwartet. Durch Untersuchung von Salzwasser, Leitungswasser, feuchter Haut und feuchtem Papier sowie trockener Haut sollen die SuS herausfinden, dass es nicht nur die Extreme „sehr lautes Knacken" und „kein Knacken" gibt. Dieser fachliche Kompetenzerwerb kann insbesondere durch die ersten Materialien der Bonusmaterialliste (destilliertes Wasser, nasses Holz) konsolidiert werden. Eine weitere mögliche Binnendifferenzierung wäre die unter A.1.2 beschriebene Untersuchung mit unterschiedlichen Versuchsaufbauten (bspw. Einsatz von LEDs). Aufgrund der Zielsetzungen des Unterrichtsversuches (A.1.5) entfallen solche Maßnahmen aber. Der TA dient als lernunterstützendes Material zur Visualisierung des Lernprozesses, die ABs sollen den

[13] Meine Lautstärkeempfindungen passen gut zu der in Abbildung 9 in Anhang 1 dargestellten fachlich richtigen Reihenfolge. Dass bei den Materialien der letzten Zeile kein Knacken zu hören ist, zeigt auch folgende beispielhafte Überlegung: ρ liegt für Gummi in der Größenordnung von 10^{13} Ωm. Selbst mit $A = 1\ m^2$ und $L = 0{,}01\ m$ folgt $R = 10^{11}\ \Omega$. Von den zehn Personen, die an der Erhebung teilgenommen haben, hat „schon" bei 1 MΩ niemand mehr ein Knacken wahrgenommen.

Arbeitsablauf steuern sowie die Dokumentation und Auswertung anregen (vgl. Carmesin 2012c, S. 6).

A.2.4 Methodische Erläuterungen

Begründung des Lehrverfahrens: In der vorherigen Stunde zum Bau der Kartoffelbatterie[14] schafften es nicht alle SuS, die Kopfhörer zum Knacken zu bringen. Außerdem wurde (aufgrund einer mangelhaften Didaktisierung meinerseits) das Knacken im Wesentlichen nur beschrieben, aber nicht anhand des zugrunde liegenden Stromkreises erläutert. Die Lernbarriere zur KoUZ-Erreichung ist also hoch, weswegen ich das aufgebend-erarbeitende Lehrverfahren wähle: Einstieg (Nachtrag zur Kartoffelbatterie) – Hinführung – Erarbeitung I (Durchführung SE) – Erarbeitung II (Auswertung SE) – Sicherung – Konsolidierung I – ggf. Konsolidierung II (ohne Sicherung) – vertiefende Ergänzung (Hochspannungstransformator) und Ausstieg.

Ausgewählte methodische Kommentare: Der Einstieg soll die Defizite der vorherigen Stunde auffangen. Dazu liegen unter der Kamera (und damit am ActivBoard für alle sichtbar) eine Flachbatterie, an der bereits Krokodilklemmen und Kabel angeschlossen sind, sowie ein Paar Kopfhörer bereit. Nach einer kurzen Beschreibung des Materials, bringen zwei SuS die Kopfhörer für alle (!) hörbar zum Knacken. Der Versuchsaufbau steht nahezu fertig bereit, um die Zeit effizient zu nutzen. Während der Versuchsdurchführung durch die zwei SuS skizziere ich (!) den Versuchsaufbau an der Tafel, um auch hier die Zeit effizient zu nutzen und gleichzeitig wesentliche Aspekte (z.B. Skizze des Kopfhörer-Steckers) hervorzuheben. Im Anschluss an folgenden Impuls erfolgt dann der erste DS: „Ihr kennt es ja bspw. schon von der Reihen- und Parallelschaltung: Wir überlegen uns den Weg des Stromes von der Batterie aus.“ Der unter A.2.3 beschriebenen LS wird mit folgender LH begegnet: Ich zeige ein aufgeschnittenes Kopfhörerkabel, in dem mehrere Kabel zu sehen sind. Es folgt ein DE womit die Hinführung und Erarbeitung I beginnt: Eine Messingschraube wird in den Stromkreis des Einstiegsversuches integriert. Das hörbare Knacken und ein Impuls („Erklärt das Knacken. Das kennen wir doch nur vom geschlossenen Stromkreis. Das ist gar kein Kabel, sondern nur eine Schraube.“) regen Schülerantworten an, die sinngemäß besagen, dass die Schraube den Strom leitet. Als weiterer Impuls stehen Schalen mit verschiedenen Materialien bereit, sodass nachvollziehbar die Leitfrage „Welche Materialien leiten den Strom, welche nicht?“ entsteht. Im Sinne der lernwirksamen Gestaltung von Experimenten (vgl. Carmesin 2012a, S. 3) äußern die SuS nun Vermutungen. Um möglichst alle SuS zu befähigen, die anschließende Experimentierphase erfolgreich zu bewältigen, gebe ich folgenden Impuls noch VOR Beginn der GA: „Erklärt, wie wir überprüfen können, ob die anderen Materialien den Strom leiten.“ Bis hierhin findet der Unterricht recht lange (ca. 25 Minuten) und stark gelenkt im LSG statt. Dies hat zwei Gründe: Einerseits sollen – wie bereits angedeutet – effizient die fachlich relevanten Kompetenzen seitens der SuS sichergestellt werden, ohne einen Lehrervortrag zu halten, der angesichts der Lernbarriere nicht angebracht wäre. Dadurch sollen die SuS das Schülerexperiment verstehen und nicht zu sehr Anweisungen ausführen (typischer Fehler beim Experimentieren (vgl. ebd., S. 11)). Andererseits fokussiert diese Stunde die Schulung des Durchführens und Auswertens von Experimenten und nicht das

[14] Aufgrund eines Feueralarms standen deutlich weniger als 45 Minuten zur Verfügung.

Planen[15]. Daher sollte für die Phasen möglichst viel Zeit zur Verfügung stehen. Die *Durchführung* des Schülerexperiments erfolgt als GA, damit die SuS sich bei Problemen gegenseitig helfen können und gleichzeitig kontrollieren, ob der Versuch korrekt durchgeführt wird. Außerdem wird somit der gemäß KC geforderte Austausch zu Erkenntnissen zur Leitfähigkeit (vgl. NKM 2015, S. 31) geschult. Zur Förderung der Kommunikation erhält jede Gruppe genau ein Exemplar von AB1. Die Gruppenzusammensetzung überlasse ich den SuS (Begrenzung auf vier SuS), dies hat sich in allen vorherigen Stunden bewährt (A.2.1). Da die SuS auch sehr leises Knacken wahrnehmen sollen, muss es im Raum möglichst ruhig sein. Deswegen sind die zu untersuchenden Materialien bereits in Petrischalen zurecht gelegt[16]. Nach einer kurzen Pause erhält jede Gruppe für die *Auswertung* ein Exemplar von AB2. Die Phase der Sicherung beginnt für die SuS wie gewohnt mit einem SV. Die weitere Sicherung erfolgt im LSG anstatt in Form weiterer SV, um die wesentlichen Ergebnisse aller SuS effizient an der Tafel zusammenzufassen und zu sichern. Es schließt sich eine kurze Phase der Konsolidierung an, in der die SuS im LSG Leiter und Isolatoren im Alltag identifizieren und deren Einsatz begründen, sodass eine Vernetzung zu ihrer Lebenswelt stattfindet[17].

B. Auswertung des Unterrichtsversuches

Es folgt die Auswertung: Inwieweit wurden die Zielsetzungen (Beantwortung der drei Leitfragen und Untersuchung der Erreichbarkeit des KoUZ) erreicht (B.1)? Außerdem zeige ich Optimierungsmöglichkeiten hinsichtlich der Gestaltung des Unterrichtsversuches auf (B.2).

B.1 Systematische Auswertung

Zunächst werte ich AB1 und AB2 aus[18] und beantworte damit die drei gestellten Leitfragen (B.1.1, B.1.2 und B.1.3). Im Anschluss reflektiere ich die Planung und Durchführung der Stunde mit Blick auf die KoUZ-Erreichung. Dabei greife ich Ergebnisse der Kapitel B.1.1, B.1.2 und B.1.3 auf.

B.1.1 Beantwortung der ersten Leitfrage

Die Ergebnisse der SuS zu AB1 sind in Anhang 4 kompakt zusammengestellt. Hierbei ist zu erwähnen, dass ich vor dem Bearbeiten von AB1 nicht sehr deutlich darauf hingewiesen habe, dass die SuS auf unterschiedliche Lautstärken des Knackens achten sollen. Dies steht auch nicht auf dem AB1. Dort ist lediglich eine Spalte mit „Lautstärke des Knackens im Kopfhörer“ überschrieben. Zudem habe ich die Begriffe „sehr laut, laut, mittellaut, leise“ und „sehr leise“ zur Lautstärkebeschreibung nicht explizit vorgegeben. Während der GA gab ich lediglich bei einigen Gruppen den Impuls, die Lautstärke bei den Materialien miteinander zu vergleichen.

Gruppe 1: Zur Lautstärkebeschreibung benutzt die Gruppe die Begriffe *„nicht, sehr leise, leise, laut, sehr laut“*. Sie ordnet nahezu allen 17 untersuchten Materialien eine Lautstärkebeschreibung zu, die aufgrund der Leitfähigkeit angemessen ist. Auffällig ist lediglich eine unpassende

[15] Eine möglichst selbstständige Planung des Experiments ist natürlich wünschenswert (Qualitätskriterium für Experimente im Physikunterricht (vgl. ebd., S. 11)), brächte aber aufgrund des Verlaufes der Stunde zur Kartoffelbatterie die Gefahr der Überforderung der SuS. Diese sollen sich aber als möglichst kompetent wahrnehmen.
[16] In einer anderen fünften Klasse, in der ich den Versuch eine Woche zuvor erprobte, lagen die Materialien einzeln aus, was zu erheblicher Unruhe führte, da die SuS immer wieder durch den Raum zur Abholung der Materialien liefen.
[17] Auf die Begründung weiterer methodischer Entscheidungen verzichte ich an dieser Stelle, da die für die Examensarbeit relevanten Phasen der Doppelstunde an dieser Stelle vollständig dargelegt sind. Weitere Bemerkungen mit stichpunktartigen Notizen sind dem Kurzentwurf in Anhang 3 zu entnehmen.
[18] Auf dem digitalen Speichermedium finden sich Fotos der Gruppenergebnisse zu AB1 und AB2.

Beschreibung: Das Knacken bei destilliertem Wasser wird als laut beschrieben, bei Leitungswasser dagegen als sehr leise.

Gruppe 2: Die Gruppe verwendet die Begrifflichkeiten *„gar nicht/knackt nicht, knackt schwach“* und *„knackt laut“*. Sie hat 11 Materialien untersucht, deren Lautstärke sie oft passend beschreibt. Einzige Unstimmigkeiten: Während bei Styropor ein schwaches Knacken beschrieben wird, wird bei trockener und feuchter Haut gar kein Knacken wahrgenommen.

Gruppe 3: Diese Gruppe unterscheidet bei der Untersuchung von 14 Materialien zwischen den beiden Kategorien *„leitet (knackt)“* und *„leitet nicht (kein Knacken)“*. Die erste Hälfte der Materialliste beschreibt die Gruppe mithilfe dieser Begriffe einigermaßen passend. Jedoch ordnet die Gruppe trockene Haut, feuchte Haut, Leitungswasser, destilliertes Wasser und nasses Holz in die Kategorie „leitet nicht (kein Knacken)“ ein, während Styropor in die Kategorie „leitet (knackt)“ fällt.

Gruppe 4: Insgesamt wird die Materialliste (17 untersuchte Materialien) anhand des Rasters *„gar nicht, leise, mittel (laut), sehr laut“* sehr gut beschrieben. Die Gruppe nimmt auch geringe Lautstärken (nasses Holz – sehr leise) wahr. Sie beschreibt sogar einen Lautstärkeunterschied zwischen trockener und feuchter Haut sowie zwischen trockenem und feuchtem Papier. Umso mehr fällt der einzige Fehler auf: Kupfer – leise.

Gruppe 5: Diese Gruppe verwendet die Begriffe *„gar nicht, leise, mittel, laut“*. Sie hat 14 Materialien untersucht. Wenn ein sehr leises Knacken zu hören sein sollte (z.B. destilliertes Wasser, trockene Haut und nasses Holz) gibt die Gruppe an, kein Knistern gehört zu haben, was aber nicht als falsch zu bewerten ist. Das Raster wird gut verwendet. Ins Auge fällt nur eine Beschreibung, die fachlich unpassend ist: Gummiband – leise.

Gruppe 6: *„Nein – leitet nicht – gar nicht geknackt* bzw. *knackt nicht, Ja – leitet – knackt ein bisschen, Ja – leitet – knackt mittel laut, Ja – leitet – knackt doll“ und „Ja – leitet – knackt sehr doll“* sind die Beschreibungen von Gruppe 6 (13 untersuchte Materialien). Insgesamt verwendet die Gruppe die Begriffe passend zur Beschreibung der Lautstärke. Interessant ist, dass sie weder zwischen trockener und feuchter Haut noch zwischen Leitungswasser und Salzwasser einen Lautstärkeunterschied beschreibt, wohl aber zum destillierten Wasser. Es finden sich keine Beschreibungen, die als falsch zu bewerten sind.

Gruppe 7: Die Materialliste (12 untersuchte Materialien) wird im Großen und Ganzen auf Grundlage der Begriffe *„nein – gar nicht/geht nicht*[19]*, ja geht, ja – nicht laut, ja – etwas leise“ und „ja – sehr laut“* passend beschrieben.

Gruppe 8: Die Gruppe verwendet zur Beschreibung zunächst die Kategorien „knistert nicht (leitet nicht/leitet keinen Strom)“ und „knistert (leitet)“, wobei die zweite Kategorie ab dem vierten Material noch differenzierter verwendet wird: *„knistert sehr gut (leitet)“, „knistert ein bisschen (leitet ein bisschen)“, „knistert ganz leise (leitet leise)“, „knistert normal (leitet Strom)“*. Abgesehen davon, dass die Gruppe beim Leitungswasser kein Knistern feststellt, verwendet sie diese Kategorien absolut passend.

Beantwortung der Leitfrage: Von acht Gruppen verwenden sieben eine Beschreibung, die – inwiefern auch immer – differenzierter ist als „Knacken“ und „kein Knacken“. Abgesehen von kleineren Unstimmigkeiten, verwenden die Gruppen ihr Beschreibungsraster passend. Dies

[19] Außerdem wird einmalig die Beschreibung „nein – nicht laut“ verwendet, die aber nicht schlüssig erscheint.

deute ich so, dass sie eine materialabhängige Lautstärkeänderung wahrgenommen haben. Die erste gestellte Leitfrage ist damit mit JA zu beantworten.

B.1.2 Beantwortung der zweiten Leitfrage

Die folgende Auswertung ist mit Blick auf Anhang 5 zu lesen.

Gruppe 1: Bei Aufgabe 1 geht die Gruppe nicht auf das Knacken ein. Aufgabe 2 ist deutlich aufschlussreicher. Passend zu den Lautstärkebeschreibungen von AB1 sind die Materialien in drei Absätzen angeordnet, die ich folgendermaßen deute: Nichtleiter („nicht"), mittelmäßige/schlechte Leiter („(sehr) leise") und sehr gute Leiter („(sehr) laut"). Zwar steht destilliertes Wasser fälschlicherweise bei den sehr guten Leitern, trotzdem hat die Gruppe ein sehr gutes Ergebnis erarbeitet, das über die Kategorien „Leiter" und „Nichtleiter" hinausgeht.

Gruppe 2: Sie stellt in Aufgabe 1 sinngemäß die Zusammenhänge „lautes Knacken – viel Strom" und „leises Knacken – wenig Strom" her. Bei Aufgabe 2 sind nur sieben Materialien eingetragen[20]. Drei stehen bei „leitet sehr gut", vier bei „leitet nicht". Aufgabe 1 und 2 lassen zusammen den Schluss zu, dass die Gruppe sich die drei Kategorien „leitet viel Strom", „leitet wenig Strom" und „leitet kein Strom" erarbeitet hat.

Gruppe 3: Bei Aufgabe 1 versucht die Gruppe eine Verbindung zum Magnetismus herzustellen. Obwohl die Gruppe bei der Beschreibung der Lautstärke nur zwischen „leitet (knackt)" und „leitet nicht (kein Knacken)" unterschieden hat, zeigt sich deutlich, dass den SuS klar ist, dass es eine feinere Einteilung gibt. Bei Aufgabe 2 verwenden sie die Begrifflichkeiten „leiten sehr gut", „leitet gut" und „leitet ein bisschen", die aber nicht zu ihren Beobachtungen von AB1 passen (feuchtes Papier!). Das Gummiband ist zudem direkt an die Umrandung von „leitet nicht" geschrieben. Insgesamt deute ich Aufgabe 2 deshalb so, dass die Gruppe sich vier Kategorien zur Einteilung des Materials erarbeitet hat.

Gruppe 4: Die Gruppe beschreibt den Zusammenhang zwischen Knacklautstärke und Leitfähigkeit gut: lautes Knacken – „Leitfähigkeit sehr stark", leises Knacken – „Leitfähigkeit sehr schwach", kein Knacken – „gar keine Leitfähigkeit". Sie scheint über die Grundlage zu verfügen, die Materialien in drei Gruppen einzuteilen und damit differenzierter als in „Leiter" und „Nichtleiter". Dies zeigt die Gruppe bei Aufgabe 2 nicht. Sie hat lediglich Materialien eingetragen, bei denen sie das Knacken mit „gar nicht" oder „sehr laut" beschreiben, obwohl sie auf AB1 auch andere Lautstärken beschrieben hat. Dabei ist zu überlegen, ob dies nicht der Aufgabengestaltung geschuldet ist. Die Begriffe „leitet sehr gut" und „leitet nicht" sind durch die Umrandung hervorgehoben, sodass man ggf. denken könnte, dass es lediglich darum geht, diesen Begriffen entsprechende Materialien zuzuordnen. Unterstützt wird dies durch die Stundenfrage „Welche Materialien leiten den Strom, welche nicht?".

Gruppe 5: Aufgabe 1 wird hervorragend gelöst: „Des so mehr das Material leitet, des so mehr hört man". Diese Aussage wird genutzt, um in Aufgabe 2 eine Rangliste der Leitfähigkeit aus 14 Materialien zu erstellen. Die vergebenen Plätze entsprechen den notierten Lautstärkewahrnehmungen von AB1. Obwohl die Reihenfolge zwar fachlich nicht ganz korrekt ist (Gummiband!), haben die SuS selbstständig auf Grundlage des SE eine deutlich differenziertere Einteilung als „Leiter" und „Nichtleiter" vorgenommen.

[20] Wahrscheinlich ist die Gruppe nicht fertig geworden. Schon während der Bearbeitung kam die Gruppe sehr langsam voran und wirkte sehr unkonzentriert.

Gruppe 6: Lautes Knacken wird guten Leitern zugeordnet und leises Knacken schlechten Leitern, wobei die Gruppe von „guten“ und „schlechten“ Stromkreisen spricht. Die blockartige Anordnung der Materialien in Aufgabe 2 lässt auf den ersten Blick den Schluss zu, dass die Gruppe zwischen sehr guten Leitern, mittelmäßigen Leitern und Nichtleitern unterscheidet. Die mittelmäßigen Leiter sind aber noch genauer aufgeteilt, denn Leitungswasser und Salzwasser stehen passend zur Lautstärkebeschreibung über den anderen drei Materialien dieser Kategorie. Mit Ausnahme des feuchten Papiers, ist die erstellte Reihenfolge stimmig zu den auf AB1 genannten Lautstärkeempfindungen. Es zeigt sich also, dass die Gruppe vier unterschiedliche Kategorien erarbeitet hat.

Gruppe 7: Die Gruppe stellt zum einen den Zusammenhang „Material leitet → Knacken“ bzw. „Material leitet nicht → kein Knacken“ her. Sie zeigt auch, dass sie über die Grundlage für eine sehr differenzierte Einteilung besitzt: „Desto besser es leitet des so lauter knackt es“. In Aufgabe 2 bestätigt sich dies aber nicht. In der Liste tauchen Materialien auf, die gar nicht untersucht wurden (Bleistiftmine, Glas). Den Querstrich in der Mitte deute ich so, dass das Zwei-Kategorien-Denken sehr dominant ist: Oberhalb des Striches sollen die Leiter stehen (fälschlicherweise: Holz), unterhalb die Nichtleiter. Ich denke, dass die zweite Aufgabe dieser Gruppe nicht überbewertet werden sollte. Erfahrungsgemäß hat diese Gruppe bei schriftlichen Aufgaben häufig Probleme, sich zu konzentrieren und ihre Gedanken schriftlich festzuhalten.

Gruppe 8: Die Gruppe beschreibt den Zusammenhang sehr gut: „Um so lauter es knackt, so besser leitet es“. Dies setzt die Gruppe in Aufgabe 2 in herausragender Art und Weise um. Sie erstellt die geforderte Reihenfolge. Dabei schreibt sie Materialien mit gleicher Lautstärkebeschreibung nebeneinander, mit unterschiedlicher Lautstärke untereinander. Die Reihenfolge ist passend zu den Lautstärkeempfindungen von AB1. In der Rangliste fehlt feuchtes Papier. Unabhängig davon, dass diese Rangliste nicht ganz korrekt ist (Leitungswasser!), kommt diese Gruppe begründet zu einer sehr differenzierten Einteilung der untersuchten Materialien.

Beantwortung der Leitfrage: Gruppe 1,2 und 4 scheinen zur Einteilung der Materialien drei Kategorien gebildet zu haben. Zu einer noch differenzierteren Einteilung scheinen die Gruppen 3,6 und 7 fähig zu sein. Die Ergebnisse der Gruppen 5 und 8 sind herausragend und sehr ähnlich zu der Abbildung 9 in Anhang 1. Alle Gruppen haben sich mit Hilfe von nur einem SE eine begründete Einteilung der Materialien selbst erarbeitet[21], die differenzierter als „Leiter“ und „Nichtleiter“ ist. Damit ist die Leitfrage mit JA zu beantworten.

B.1.3 Beantwortung der dritten Leitfrage

An dieser Stelle analysiere ich die Lautstärkebeschreibungen beim Untersuchen der Flüssigkeiten anhand von AB1 (Anhang 4). Sehr gelungen ist die Darstellung von Gruppe 4: Salzwasser – „sehr laut“, Leitungswasser – „mittel“, destilliertes Wasser – „gar nicht“. Ähnliche Ergebnisse präsentiert Gruppe 5: Salzwasser – „laut“, Leitungswasser – „mittel“, destilliertes Wasser – „gar nicht“. Adäquat ist auch die Beschreibung von Gruppe 7: Leitungswasser – „ja etwas leise“, Salzwasser – „ja sehr laut“. Gruppe 1 beschreibt das Knacken bei Leitungswasser als „sehr leise“, bei Salzwasser als „laut“. Zudem beschreibt sie das Knacken bei destilliertem Wasser (leider unpassend) mit „laut“. Zwar beschreibt Gruppe 6 keinen Unterschied zwischen

[21] Das selbstständige Erarbeiten betone ich hier noch einmal. Die SuS haben die Einteilung nicht etwa durch Lesen eines Informationstextes und einer Beschreibung möglicher Experimente lediglich nachvollzogen.

Leitungs- und Salzwasser (beides: „Ja, leitet, knackt mittel laut“), dafür aber einen Unterschied zu destilliertem Wasser („Ja, leitet, knackt ein bisschen“). Auffällig bei Gruppe 8 ist, dass sie das Knistern bei feuchtem Papier („knistert“) und feuchter Haut („knistert ganz leise“) wahrnimmt, bei Leitungswasser aber nicht („knistert nicht“). Den Unterschied zum Salzwasser („knistert normal“) bemerkt die Gruppe aber. Leitungswasser und destilliertes Wasser werden von Gruppe 3 als nicht-leitend beschrieben, Salzwasser als leitend. Auch diese Gruppe registriert also Unterschiede bei der Untersuchung der Flüssigkeiten. Gruppe 2 hat nur Salzwasser („laut“) untersucht.

Beantwortung der Leitfrage: Kapitel B.1.1 zeigt, dass die Gruppen die Laustärkeunterschiede insgesamt – und damit insbesondere bei den Feststoffen – passend beschreiben. Obige Ausführungen betonen noch einmal, dass sieben Gruppen die Lautstärkeunterschiede bei den zu untersuchenden Flüssigkeiten wahrgenommen haben. Insgesamt ist damit auch die dritte Leitfrage mit JA zu beantworten.

B.1.4 Reflexion der Planung und Durchführung mit Blick auf die KoUZ-Erreichung

Dass die Kartoffelbatterie in der vorherigen Stunde einerseits unter Zeitdruck und gleichzeitig nur auf einer beschreibenden Ebene behandelt wurde, hat sich deutlich gezeigt: Im Einstieg fiel es den SuS schwer, den zu Grunde liegenden Stromkreis beim Anschluss der Kopfhörer an eine Batterie zu erläutern. Auch die korrekte Position der Kabel an der Kontaktstelle zu den Kopfhörern war nicht allen SuS bewusst. Dies zeigt, dass ich die LV im Wesentlichen korrekt eingeschätzt habe und dass der Einstieg in dieser Form wichtig war. Während der späteren GA konnten mir die Gruppen den Stromkreis dann erläutern. Der weitere Verlauf der Stunde wäre ein reines Ausführen von Anweisungen, wenn der Stromkreis hier nicht geklärt worden wäre. Trotzdem verlief diese Phase in meinen Augen ein wenig „holprig“. Ich denke, dies hat verschiedene Gründe: Die Skizze an der Tafel hätte deutlicher sein können (Anhang 6). Außerdem habe ich massive inhaltliche LH verwendet, da ich LS nicht antizipiert habe und entsprechend keine gestuften LH geplant habe. Dies zeigt auch die Planung (A.2.3). Beispielsweise wies ich darauf hin, dass der Strom durch den Kopfhörer fließen muss, wenn es dort knackt. Hier hätte ich stattdessen erst einmal auf die Windungen der Glühlampe verweisen können, durch die der Strom fließen muss, damit es dort leuchtet. Aus Zeitgründen habe ich folgende Lernkontrolle entfallen lassen: „Erklärt, warum es nicht knackt, wenn beide Kabel vorne an den Stecker gehalten werden.“ Wenn die SuS den Stromkreis aber wirklich erläutern können, hätte die Lernkontrolle kaum Zeit gekostet. Der Verlauf des Einstiegs zeigt mir, dass auch die Entscheidung richtig war, neben dem Durchführen und Auswerten nicht auch noch das Planen in den Fokus zu rücken, da die SuS erst nach dem Einstieg über entsprechende fachliche Grundlagen verfügten. Dieser hat aber so schon sehr lange gedauert. Bis zum Beginn der GA vergingen 29 (statt geplanten 25) Minuten. Das Planen hätte noch mehr Zeit in Anspruch genommen.

Während der Durchführung des SE fielen mir drei Dinge auf: Einige wenige SuS hörten kein Knacken in den Kopfhörern, weil sie die Kabel bewegungslos an die Kopfhörer-Kontaktstelle hielten. Andere hörten anfangs beispielsweise bei trockenem Papier ein lautes Knacken. Die Kabel berührten sich, sodass der Strom nicht durch das Papier floss. Ein anderer Schüler hörte bei Eisen kein Knacken, weil die Kabel sich am Kopfhörerstecker berührten. Alle drei Fehlerquellen hätten noch vor der Experimentierphase während der Erarbeitung im LSG geklärt

werden müssen, teilweise hätten sie sogar als Lernkontrollen genutzt werden können: Das Erklären der Vermeidung des direkten Kabelkontaktes am Kopfhörerstecker böte sich als Lernkontrolle nach Bewältigen des zweiten DS an. Diese Problematik ist auch in der Planung erkennbar: Bei DS 3 habe ich fälschlicherweise keine Lernschwierigkeit antizipiert. Insgesamt arbeiten die SuS während dieser 20minütigen Phase sehr gut und konzentriert, was die Auswertung von AB1 (B.1.1) bestätigt, sodass ich den Teil I des KoUZ als erfüllt ansehe.
Während der GA zur Auswertung arbeiten die SuS im Großen und Ganzen gut. Im nachfolgenden SV wurde lautes Knacken guten Leitern und ausbleibendes Knacken sehr schlechten Leitern zugeordnet. Im LSG gab ich den Impuls einen Je-Desto-Zusammenhang zu formulieren, woraufhin sich viele SuS meldeten. Der TA (Anhang 6) zeigt die wesentlichen Ergebnisse aus dem SV und dem anschließenden LSG. Zusammen mit den Ergebnissen aus den Kapitel B.1.1 bis B.1.3 wird deutlich, dass auch Teil II des KoUZ erreicht wurde.

Fazit: Die methodischen und didaktischen Planungen der Stunde haben sich im Großen und Ganzen bewährt. Unter den gegebenen Voraussetzungen bietet die Stunde vor allem hinsichtlich der Antizipation von LS und der damit verbundenen Entwicklung von gestuften LH Verbesserungsmöglichkeiten. So hätte ich bspw. im Einstieg nicht direkt mit inhaltlichen LH (re)agieren müssen und die Durchführung des SE wäre noch „glatter gelaufen".

B.2 Optimierungsmöglichkeiten

Zunächst zeige in Optimierungsmöglichkeiten hinsichtlich der Beantwortung der Leitfragen auf (B.2.1). Im Anschluss skizziere ich eine optimierte Stundengestaltung unter anderen LV (B.2.2).

B.2.1 Stundenfrage und Arbeitsblattgestaltung

Gruppe 3 arbeitet auf AB1 lediglich mit den Kategorien „leitet (knackt)" und „leitet nicht (kein Knacken)". Drei Gruppen (6,7,8) verwenden bei der Lautstärke-Beschreibung eine Mischform: Einerseits beschreiben sie in Ja/Nein- bzw. leitet/leitet nicht-Kategorien. Anderseits verwenden sie aber auch genauere Beschreibungen der Lautstärke. Ursache hierfür kann die Stundenfrage „Welche Materialien leiten den elektrischen Strom, welche nicht?" sein. Die Fragestellung arbeitet eindeutig mit zwei Kategorien, was die SuS möglicherweise beeinflusst hat. Stattdessen könnte die Frage lauten: „Welche Materialien leiten den Strom wie gut?", „Bei welchen Materialien knackt es wie laut?", „Welche Materialien leiten den Strom gleich gut?" oder „Bei welchen Materialien knackt es gleich laut?". Außerdem wäre noch zu überlegen, ob man beispielsweise ein Raster wie „sehr laut – laut – mittel – leise – sehr leise" zur Beschreibung der Lautstärke vorgibt, um das AB1 eindeutiger zu gestalten. Auch bei der Beantwortung der zweiten Leitfrage deutet sich bei einer Gruppe eine unglückliche Beeinflussung der SuS an: Gruppe 4 bearbeitet AB1 und Aufgabe 1 auf AB2 sehr gut. Bei Aufgabe 2 auf AB2 arbeitet sie aber nur mit den Kategorien „leitet sehr gut" und „leitet nicht". Ursache kann auch hier die Stundenfrage oder die Gestaltung von Aufgabe 2 auf AB2 sein. Möglicherweise hätte ich bei dieser Aufgabe die umrandeten Begriffe weglassen können und stattdessen lediglich eine Liste mit Plätzen von 1 bis 12 vorgeben sollen. Zudem war die erste Aufgabe 1 von AB2 für einige SuS zu offen gestaltet. Die Antwort von Gruppe 1 lässt dies vermuten. Während sie AB1 und Aufgabe 2 von AB2 sehr gut bearbeitet, schafft sie es nicht, einen passenden Zusammenhang zu formulieren. Alternativ hätte man Satzanfänge vorgeben

können, die die SuS sinnvoll mit vorgegebenen Lösungen ergänzen. Auch eine Art Lückentext wäre möglich.

B.2.2 Wahl des Lehrverfahrens

In Zukunft werde ich die Doppelstunde zur Untersuchung der elektrischen Leitfähigkeit innerhalb der UE früher ansetzten. Dadurch soll der fachliche Kern der UE (geschlossene Stromkreise) nicht nur über Glühlampen, sondern auch am Alltagsgegenstand Kopfhörer für alle SuS als Grundlage für die weiteren Stunden gesichert werden. Die UE könnte beispielsweise mit folgenden Doppelstunden beginnen: 1. Bau und Analyse des einfachen Stromkreises, 2. Bau und Analyse der Kartoffelbatterie, 3. Auditive Untersuchung der elektrischen Leitfähigkeit. Zu Beginn der dritten Doppelstunde sollten damit folgende LV vorhanden sein: Die SuS bauen, erkennen und erläutern einfache geschlossene Stromkreise. Sie erläutern insbesondere den Weg des Stromes durch die Glühwendel einer Glühlampe. Außerdem bauen Sie einen Stromkreis aus Kartoffelbatterie, Kabeln und Smartphone-Kopfhörern und erläutern den zugrunde liegenden Stromkreis. Damit begründen sie, wie die Kabel an den Kopfhörerstecker gehalten werden müssen, damit es im Kopfhörer knackt. Sie geben an, dass die Kabel am Kopfhörerstecker bewegt werden müssen, damit es knackt. Mit diesen LV existiert kein „Ballast“ aus vorherigen Stunden, der im Einstieg nachgeholt werden muss. Dadurch kann dieser offener gestaltet und statt des aufgebend-erarbeitenden Lehrverfahrens das entdecken-lassende oder problemlösende Lehrverfahren gewählt werden. Die SuS können in der Planung selbstständiger agieren, was für Experimente im Physikunterricht wünschenswert ist (vgl. Carmesin 2012a, S. 11). Durch die „besseren LV“ steht mehr Zeit zur Verfügung, sodass die Leitfähigkeit des Menschen deutlicher thematisiert werden könnte (Bedeutsamkeit des Themas).

B.3 Schluss

Bei diesem SE untersuchen die SuS die elektrische Leitfähigkeit mit ihrem eigenen Kopfhörer-Set anstatt mit Glühlampen oder LEDs aus der Physiksammlung. Im Rahmen dessen wird der Stromkreis in ihrem eigenen Kopfhörer-Set erläutert. Schon aufgrund dieser Vernetzung zur Lebenswelt ist das SE sehr interessant. Trotz kleinerer Defizite in Planung und Durchführung, die Raum für Optimierungen (B.2) geben, war der Unterrichtsversuch hinsichtlich der Zielsetzung erfolgreich. Das KoUZ wurde erreicht (Schülerebene), die Leitfragen beantwortet (Lehrerebene). Die Auswertung (B.1) macht deutlich, dass dieses SE sogar mehr leisten kann als die typischen SE zur Untersuchung der Leitfähigkeit: **Auf Grundlage dieses einen Versuches zur auditiven Untersuchung von Flüssigkeiten und Feststoffen, können die SuS Materialien selbstständig und begründet differenzierter als in „Leiter“ und „Nichtleiter“ einteilen.** Ich weise aber darauf hin, dass dieses SE in meinen Augen anspruchsvoller ist als beispielsweise der Versuch der Glühlampe. Die unter B.1.4 beschriebenen Fehlerquellen während der Durchführung existieren bei der Glühlampe nicht: Die Lampe leuchtet auch, wenn die Kabel nicht leicht bewegt werden. Bei Verwendung einer Halterung besteht nicht die Gefahr, dass die Kabel sich an der Lampe berühren und diese deswegen nicht leuchtet. Dies kann aber auch zu Gunsten des SE ausgelegt werden. Das SE zur Glühlampe ist hinsichtlich der Durchführung meiner Meinung nach fast schon trivial, was ein häufiger Fehler des Einsatzes von SE ist (vgl. Carmesin 2012a, S. 11).

Literaturverzeichnis

[Ackermann u.a. 2014] Ackermann, Peter; Becker, Peter; Böhlemann, Ralf; Breuer, Elmar; Burzin, Stefan; Busch, Carsten; Diehl, Bardo; Dörr, Jochen; Erb, Roger; Jutzi, Karl-Heinz; Reinhard, Bernd; Schlichting, Hans-Joachim; Schmalhofer, Claus J.; Schön, Lutz-Helmut; Schulze, Helmke; Schulze, Peter M., Tews, Wolfgang, Winter, Rolf (2014): Fokus Physik SII Gesamtband. Berlin: Cornelsen Schulbuchverlage GmbH.

[Arnold u.a. 2015] Arnold, Karin; Boysen, Gerd; Breuer, Elmar; Fösel, Angela; Heise, Harri; Lichtenberger, Jochim; Richert, Anke; Welzel, Manuela (2015): Fokus Physik Chemie Gymnasium 5|6 Niedersachsen G9. Berlin: Cornelsen Schulbuchverlage GmbH.

[Augsburger Allgemeine 2007] Augsburger Allgemeine (2007): Strom aus der Kartoffel. Abrufbar unter:
http://www.augsburger-allgemeine.de/bayern/Strom-aus-der-Kartoffel-id2758076.html
(Datum des Abrufs: 13.12.2015).

[Bengelsdorff u.a. 2015] Bengelsdorff, Sven; Carmesin, Hans-Otto; Kahle, Jens; Konrad, Ulf; Trumme, Torsten; Wenschkewitz, Gerhard; Witte, Lutz (2015): Universum Physik Chemie 5|6 Niedersachen G9. Berlin: Cornelsen Schulbuchverlage GmbH.

[Boysen u.a. 2007] Boysen, Gerd; Fösel, Angela; Heise, Harri; Schepers, Harald; Schlichting, Hans Joachim, Schön, Lutz-Helmut (2007): Fokus Physik Gymnasium 7|8. Berlin: Cornelsen Verlag.

[Bredthauer u.a. 2008] Bredthauer, Wilhelm; Bruns, Klaus Gerd; Grote, Manfred; Köhncke, Harald; Bäurle, Wolfram; Hoppe, Barbara; Jung, Ute; Knetsch, Rainer; Peppmeier, Reinhard; Eberhard, Theopel: Impulse Physik Chemie 5|6 Niedersachsen. Stuttgart: Ernst Klett Verlag GmbH.

[Bredthauer u.a. 2015] Bredthauer, Wilhelm; Bruns, Klaus Gerd; Burmeister, Oliver; Donat, Martin; Grote, Manfred; Jordan, Walter; Kleischmann, Jürgen; Köhncke, Harald; Schell, Norbert; Schlobinski-Voigt, Ute; Wächter, Christine; Wolf, Christian (2015): Impulse Physik 5|6 Niedersachsen. Stuttgart: Ernst Klett Verlag GmbH.

[Carmesin 2012a] Carmesin, Hans-Otto (2012): Fachdidaktik Physik: 1.1.3. Experimente. Abrufbar unter:
http://www.hans-otto.carmesin.org/images/Carmesin/29%20experimente.pdf
(Datum des Abrufs: 23.12.2015).

[Carmesin 2012b] Carmesin, Hans-Otto (2012): Fachdidaktik Physik: 2.1.1. Magnetismus und Elektrizität in 5 und 6. Abrufbar unter:
http://www.hans-otto.carmesin.org/images/Carmesin/31%20magnetelehre56.pdf
(Datum des Abrufs: 08.12.2015).

[Carmesin 2012c] Carmesin, Hans-Otto (2012): Fachdidaktik Physik. 1.4.4. Medien. Abrufbar unter: *http://hans-otto.carmesin.org/images/Carmesin/21%20medien.pdf* (Datum des Abrufs: 28.12.15).

[Demtröder 2009] Demtröder, Wolfgang (^{5}2009): Experimentalphysik. Elektrizität und Optik. Berlin & Heidelberg: Springer Verlag.

[Goertz 2008] Goertz, Anselm (2008): Lautsprecher. In: Weinziel, Stefan (Hg.): Handbuch der Audiotechnik. Berlin: Springer-Verlag, S. 421-490.

[Gymnasium Athenaeum Stade o.J.] Gymnasium Athenaeum Stade (o.J.): Schulcurriculum Physik. Abrufbar unter: *http://doc.athepedia.de/Physik/ph_asc_ks_05-08.pdf (Datum des Abrufs: 19.12.2015).*

[Höttecke & Henke 2013] Höttecke, Dietmar; Henke, Andreas (2013): Elektrische Leitung auf dem Holzweg. Die Fallstudie „Stephen Gray". In: Naturwissenschaften im Unterricht Physik, Heft 133. Seelze: Friedrich Verlag GmbH, S. 17-21.

[Hoffmann 2010] Hoffmann, Deborah (2010): Messen der elektrischen Leitfähigkeit mit Hilfe eines Tongenerators. Abrufbar unter: *http://www.dgzfp.de/Portals/24/IZ/Langfassung%20Rheinland-Pfalz_Remagen.pdf* (Datum des Abrufs: 10.12.15).

[Huwendiek 2014] Huwendiek, Volker (^{7}2014): Didaktische Modelle. In: Bovet, Gislinde; Huwendiek, Volker (Hg.): Leitfaden Schulpraxis. Pädagogik und Psychologie für den Lehrberuf. Berlin: Cornelsen Schulbuchverlage GmbH, S. 33ff.

[Leifiphysik o.J.a] Leifiphysik (o.J.a): Stromleitung in verschiedenen Festkörpern. Abrufbar unter: *http://www.leifiphysik.de/themenbereiche/einfache-stromkreise/stromleitung-in-materialien#lightbox=/themenbereiche/einfache-stromkreise/lb/stromleitung-materialien-stromleitung-fluessigkeiten (Datum des Abrufs: 01.12.2015).*

[Leifiphysik o.J.b] Leifiphysik (o.J.b): Kartoffelbatterie – Heimversuch. Abrufbar unter: *http://www.leifiphysik.de/themenbereiche/elektrische-grundgroszen/kartoffelbatterie-heimversuch (Datum des Abrufs: 13.12.2015).*

[Leifiphysik o.J.c] Leifiphysik (o.J.c): Elektrodynamischer Lautsprecher. Abrufbar unter: *http://www.leifiphysik.de/themenbereiche/kraft-auf-stromleiter-e-motor/elektrodynamischer-lautsprecher#lightbox=/themenbereiche/kraft-auf-stromleiter-e-motor/lb/kraft-auf-stromleiter-e-motor-elektrodynamischer (Datum des Abrufs: 27.12.15).*

[Nawrath & Peters 2014]: Nawrath, Dennis; Peters, Sebastian (2014): Experimente für das Lernen nutzen. Experimentieren im Physikunterricht aus fachdidaktischer Sicht. In: Naturwissenschaften im Unterricht Physik, Heft 144. Seelze: Friedrich Verlag GmbH, S. 4-9.

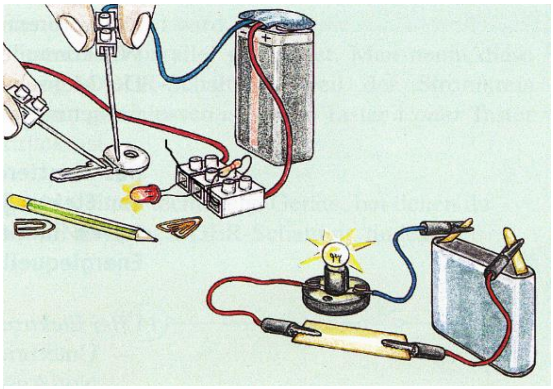
[NKM 2010] Niedersächsisches Kultusministerium (2010): Verordnung über die Ausbildung und Prüfung von Lehrkräften im Vorbereitungsdienst. Abrufbar unter: *http://nibis.ni.schule.de/~as-goe/content/links/APVO%20August%202013%20mit%20Durchf%C3%BChrungsbestimmungen.pdf (Datum des Abrufs: 30.11.15).*

[NKM 2015] Niedersächsisches Kultusministerium (2015): Kerncurriculum für das Gymnasium Schuljahrgänge 5-10 Naturwissenschaften. Hannover: Unidruck.

[Tipler & Mosca 2009] Tipler, Paul A.; Mosca, Gene (^{6}2009): Physik für Wissenschaftler und Ingenieure. Heidelberg: Spektrum Akademischer Verlag.

Anhang

Anhang 1: Abbildungen zur Grundlegung des Unterrichtsversuches



Körper	Stoff, aus dem er besteht	Leitet der Stoff?
Becher	Porzellan	ja/nein
Draht	Kupfer	ja/nein
?	?	?

Abbildung 1: SE zur Untersuchung der Leitfähigkeit von Feststoffen mit selbstgebautem LED-Prüfgerät oder Glühlampe (links) mit zugehöriger Auswertungstabelle (rechts) (entnommen aus: Arnold u.a. 2015, S. 37).

Prüfe, welche Flüssigkeiten den elektrischen Strom leiten und welche nicht.
Verwende dazu dein selbst gebautes Prüfgerät oder ein Messgerät mit Anschlusskabeln, 2 Kupferstreifen oder Kohlestäbe, ein Becherglas sowie verschiedene Flüssigkeiten. ↑6
Trage die Ergebnisse in eine Tabelle ein.

Flüssigkeit	Leitet der Stoff?
destilliertes Wasser	ja/nein
Apfelsaft	ja/nein

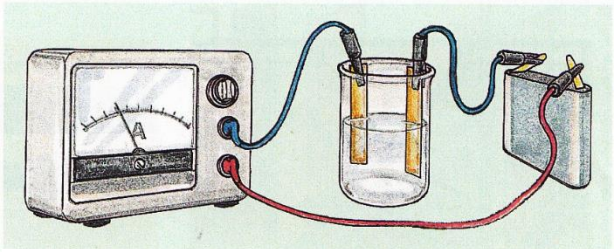


Abbildung 2: SE zur Untersuchung der Leifähigkeit von Flüssigkeiten (entnommen aus: ebd.).

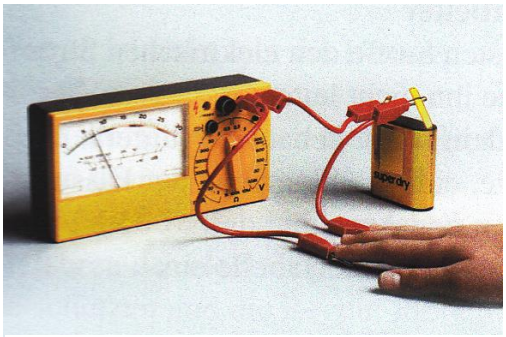
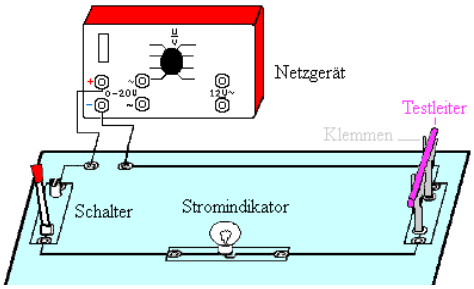


Abbildung 3: SE zur Untersuchung der Leitfähigkeit des Menschen (entnommen aus: ebd., S. 38).



Material	Lampenzustand
Kupfer	⊗
Glas	⊗
Aluminium	⊗

Material	Lampenzustand
Eisen	⊗
Holz	⊗
Kohle	⊗
Kunststoff	⊗

Abbildung 4: SE zur Untersuchung der Leitfähigkeit von Feststoffen mit Glühlampe (links) und zugehöriger Auswertung (rechts) (entnommen aus: Leifiphysik o.J.a).

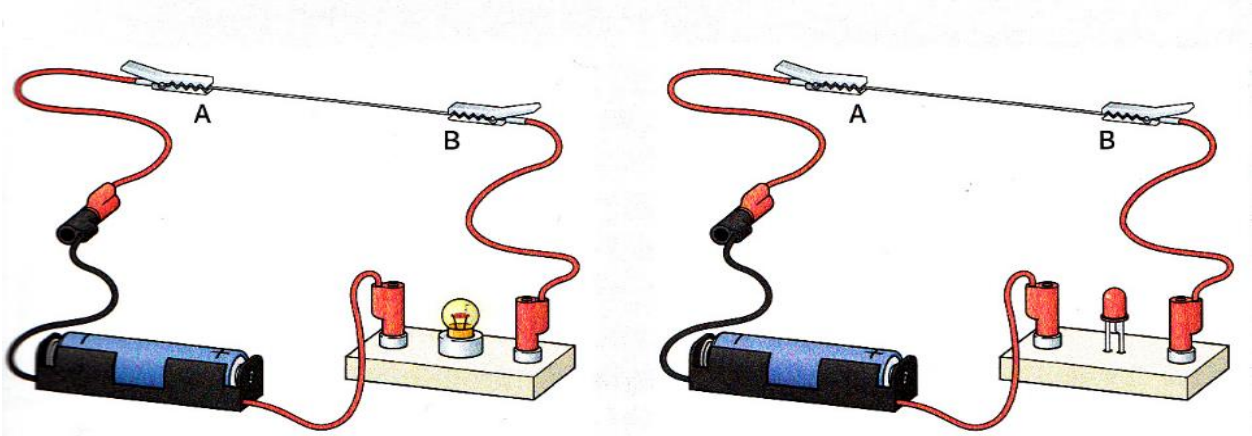
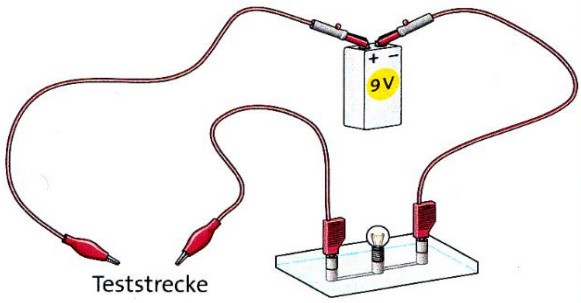


Abbildung 5: SE mit „gestuftem Aufbau“. Im Buch heißt es: „Bei einem Kupferdraht leuchtet die Glühlampe hell, bei einem Eisendraht mit gleicher Länge und gleichem Durchmesser schwächer und bei einem Kunststofffaden gar nicht. Bei allen Materialien, bei denen die Lampe leuchtet, leuchtet auch die LED. Bei manchen Materialien, z.B. feuchter Erde, leuchtet die LED, die Lampe aber nur sehr schwach oder gar nicht“ (Bredthauer u.a. 2015, S. 31).



Gegenstand	besteht aus	Lampe leuchtet	Lampe leuchtet nicht
Buntstift	Holz		X
Geodreieck	Kunststoff		X
Büroklammer	Metall	X	
Bleistiftmine	Graphit	leuchtet schwach	
Physikbuch	Papier		X
Schlüssel	Metall	X	
Becher	Porzellan		X

Abbildung 6: SE zur Untersuchung der Leitfähigkeit von Feststoffen mit Glühlampe (links) und mögliche Auswertungstabelle (rechts) (entnommen aus: Bengelsdorff u.a. 2015, S. 45).

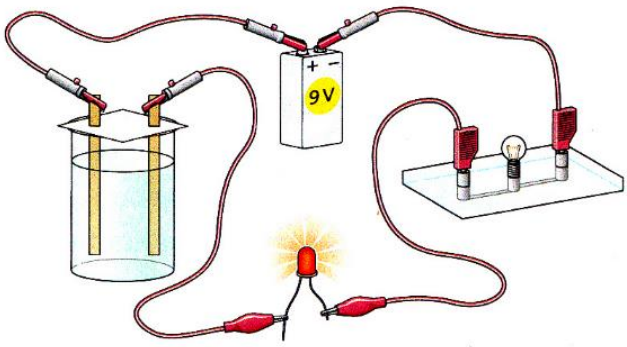


Abbildung 7: SE zur Untersuchung von Flüssigkeiten (entnommen aus: ebd.).

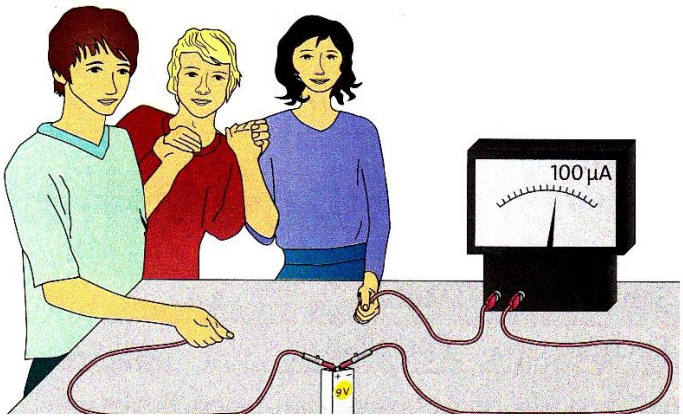


Abbildung 8: SE zur Untersuchung der Leitfähigkeit des Menschen (entnommen aus: ebd., S. 46).

Leitet gut
Silber
Kupfer
Aluminium
Eisen
Konstantan
Graphit
Säuren
Waschmittellauge
Salzwasser
Leitungswasser
feuchte Erde
nasses Holz
destilliertes Wasser
Pflanzenöl
Motorenöl
Luft
Papier
Wolle
Glas, Gummi
Porzellan
Leitet nicht

Abbildung 9: Übersicht zur Leitfähigkeit (entnommen aus: ebd., S. 46).

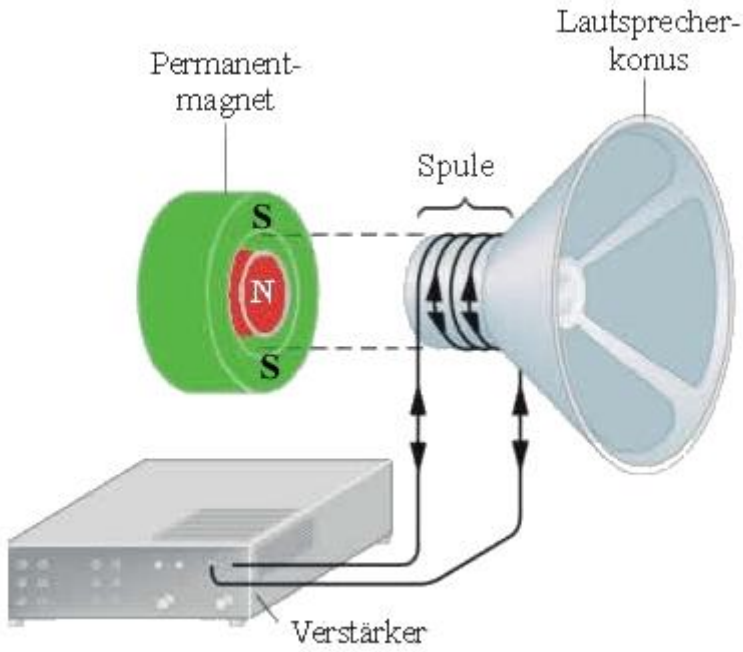


Abbildung 10: Aufbau eines elektrodynamischen Lautsprechers (entnommen aus: Leifiphysik o.J.c).

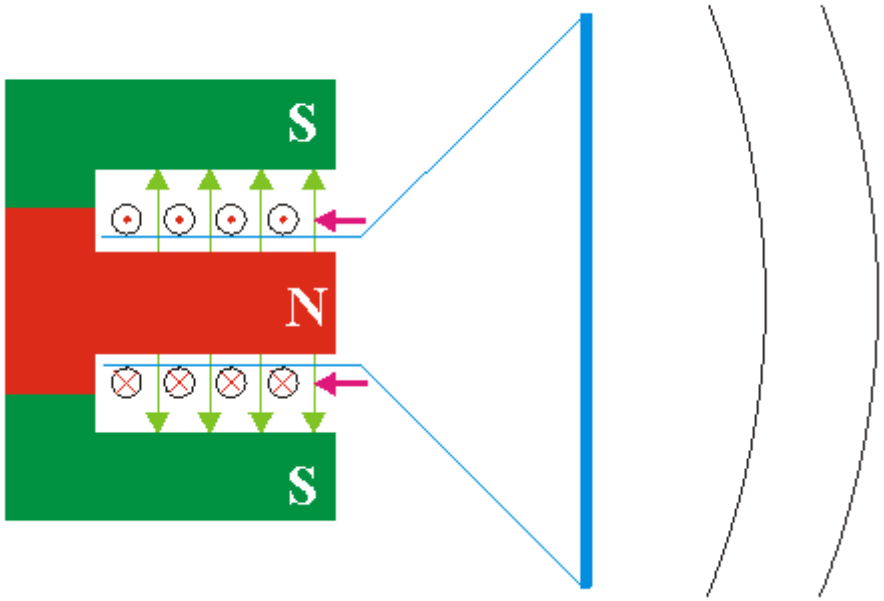


Abbildung 11: Der elektrodynamische Lautsprecher als Schnittzeichnung (entnommen aus: ebd.).

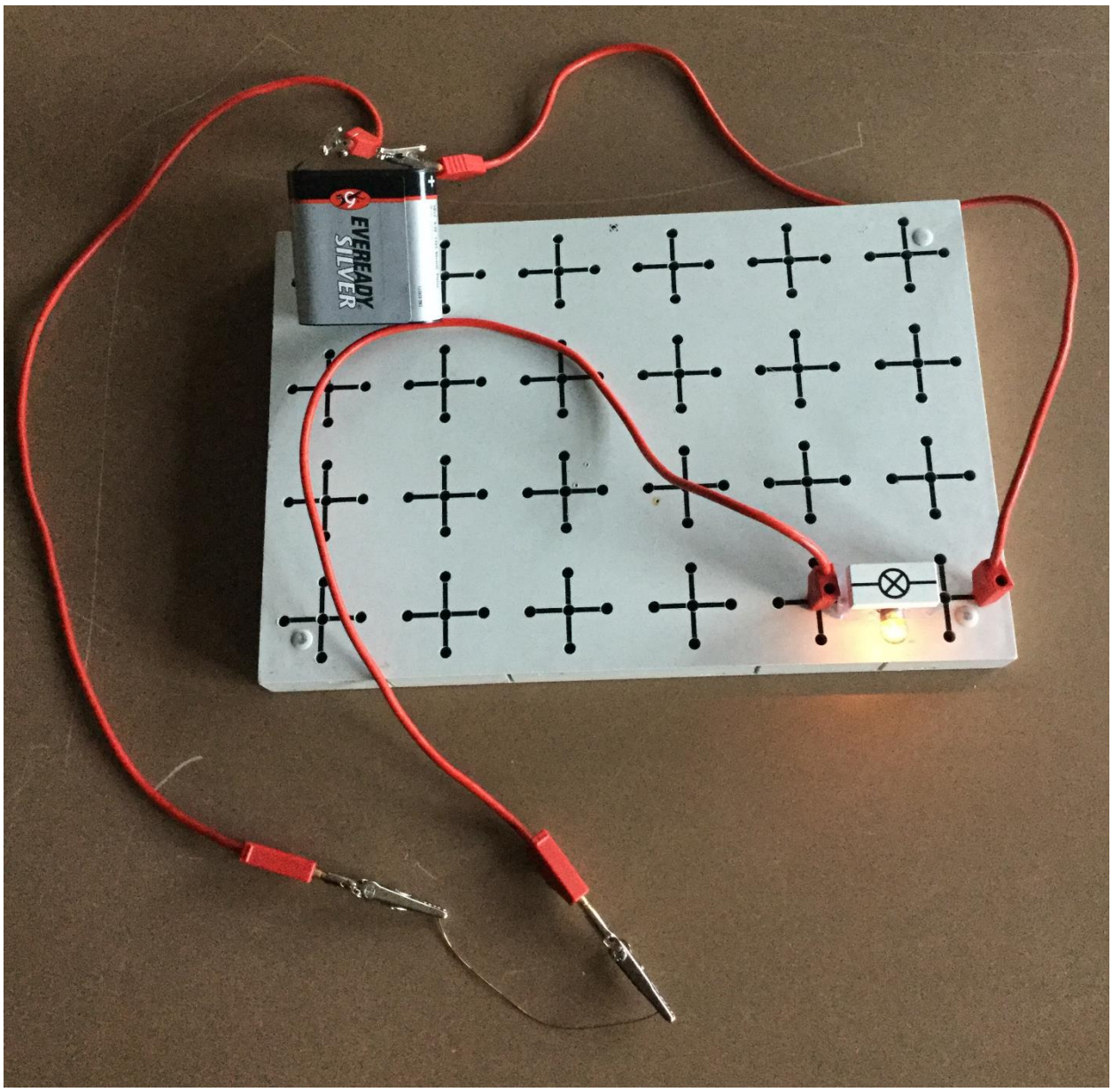


Abbildung 12: Stromkreis aus 4,5-V-Batterie, Lampe und Kupferdraht.

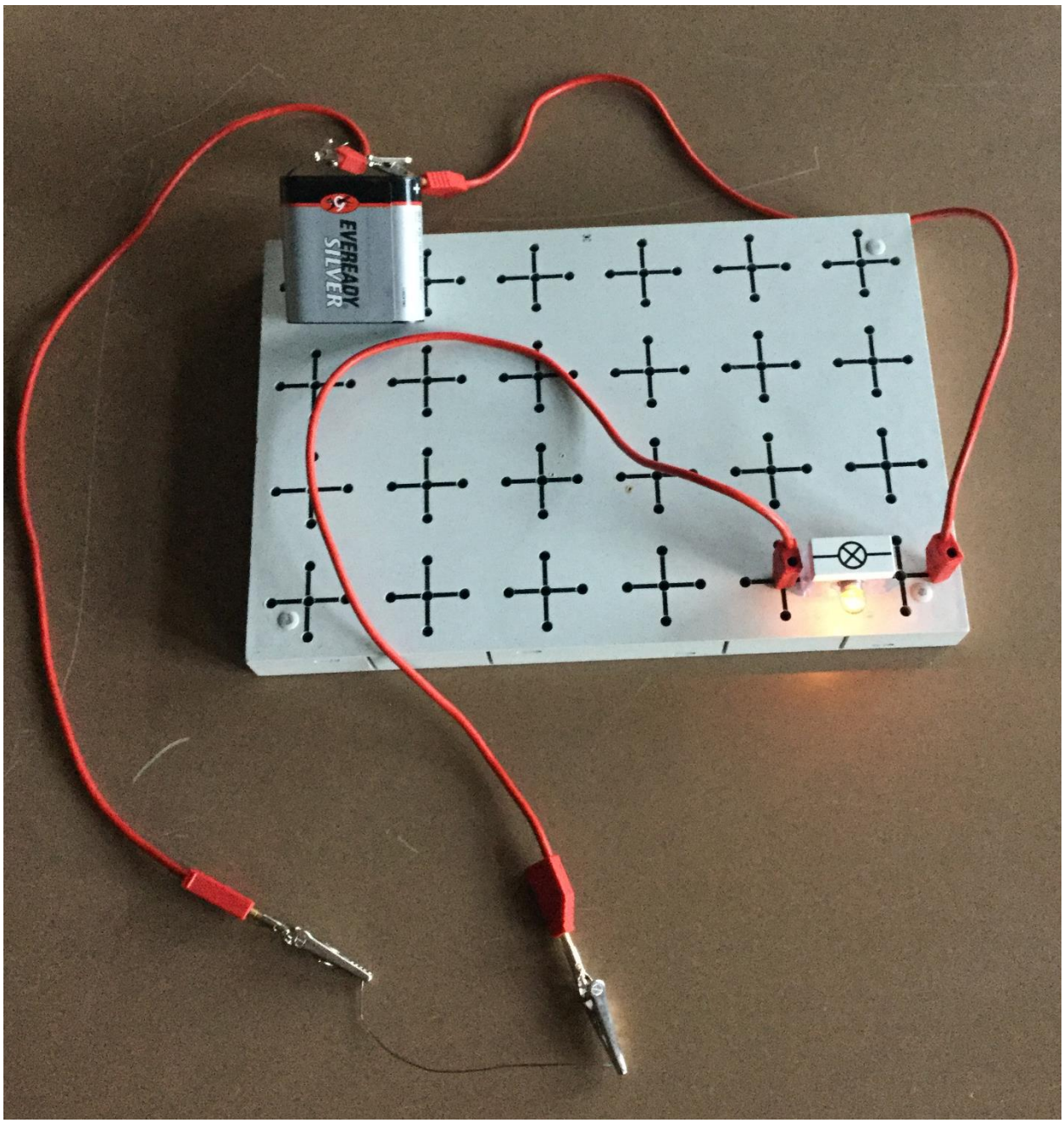


Abbildung 13: Stromkreis aus 4,5-V-Batterie, Lampe und Eisendraht.

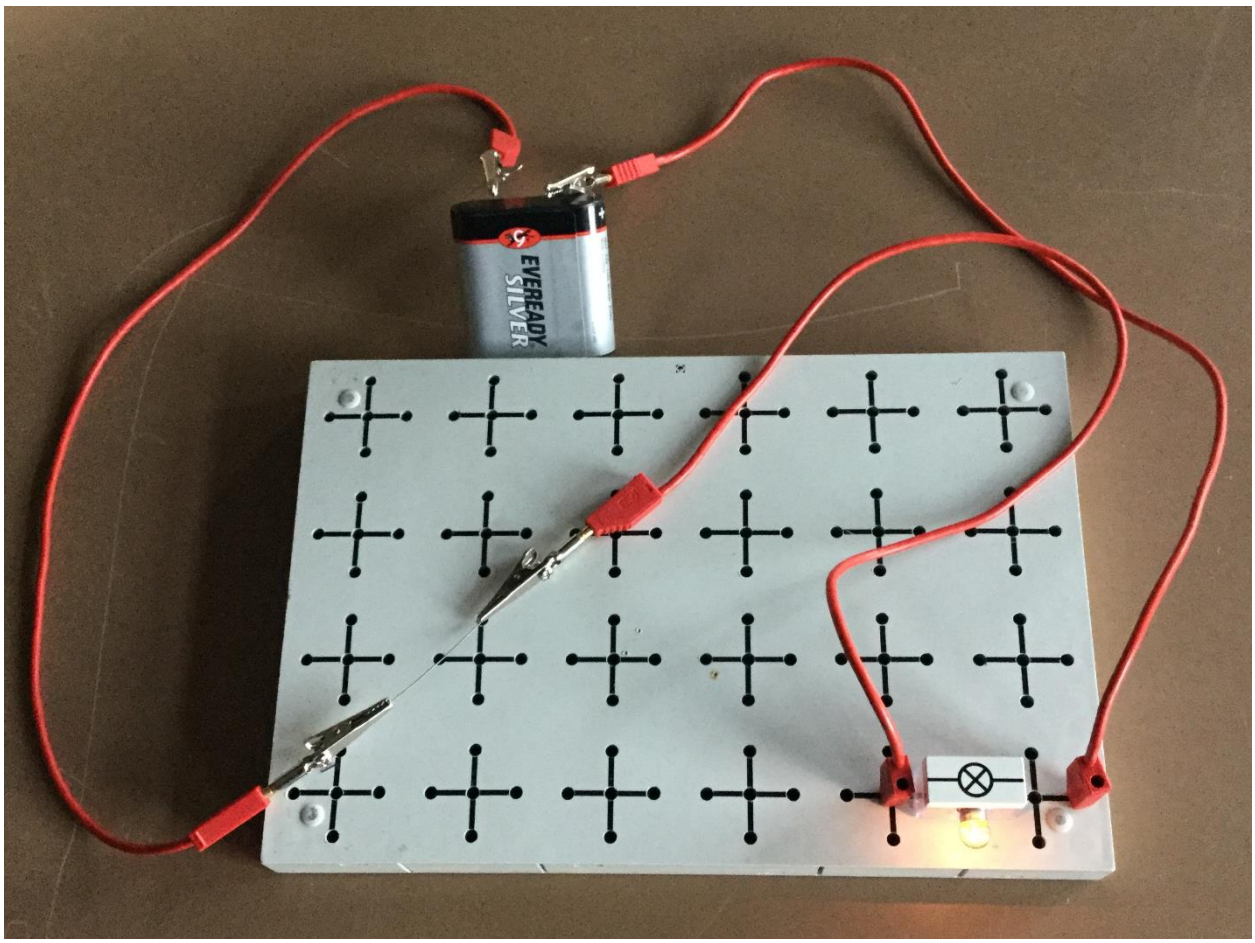


Abbildung 14: Stromkreis aus 4,5-V-Batterie, Lampe und Graphitmine.

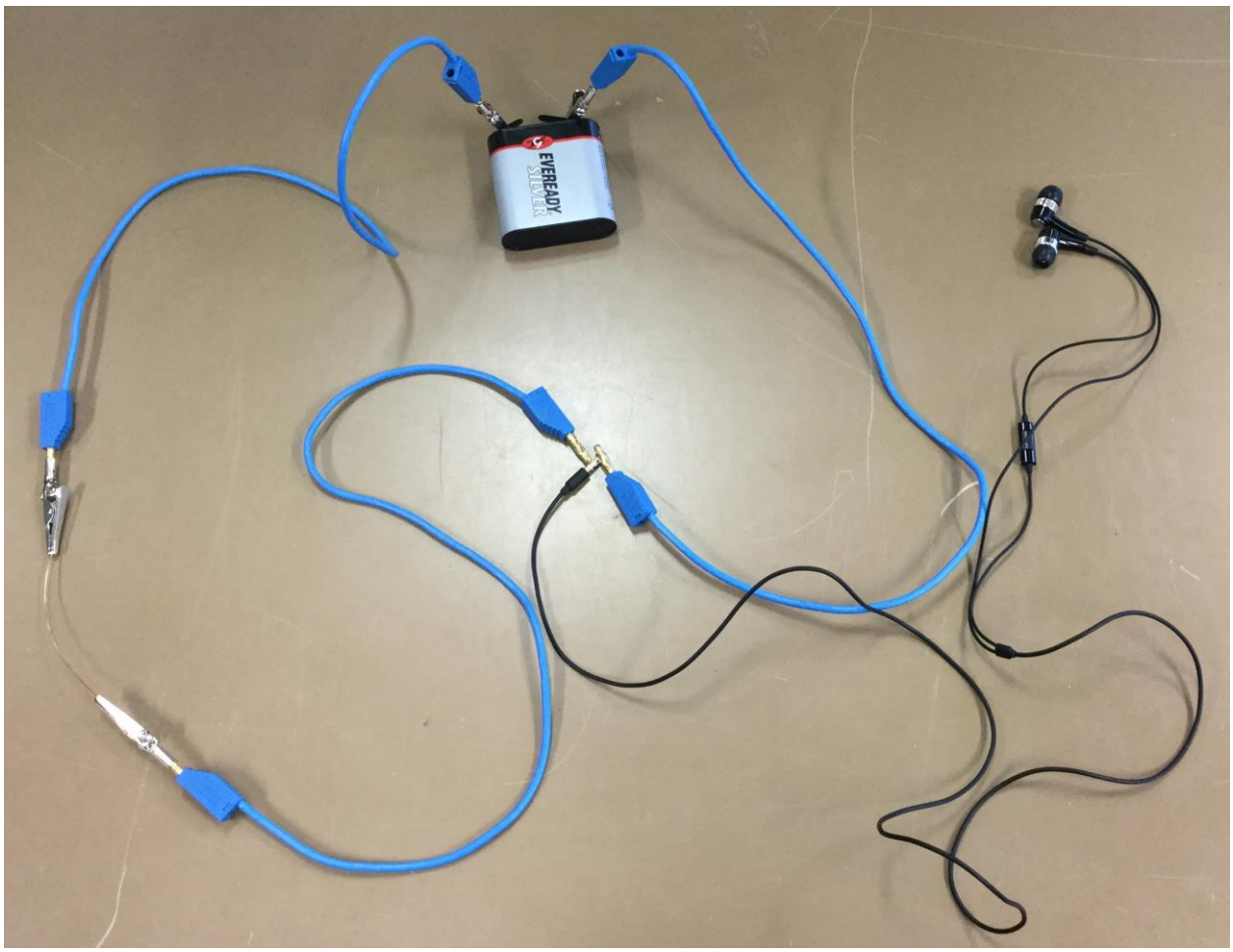


Abbildung 15: Schülerexperiment zur auditiven Wahrnehmung der elektrischen Leitfähigkeit. Das Foto zeigt den Versuch exemplarisch für die Untersuchung von Kupfer. An die Stelle des Kupferdrahtes werden im Schülerexperiment weitere Materialien eingesetzt.

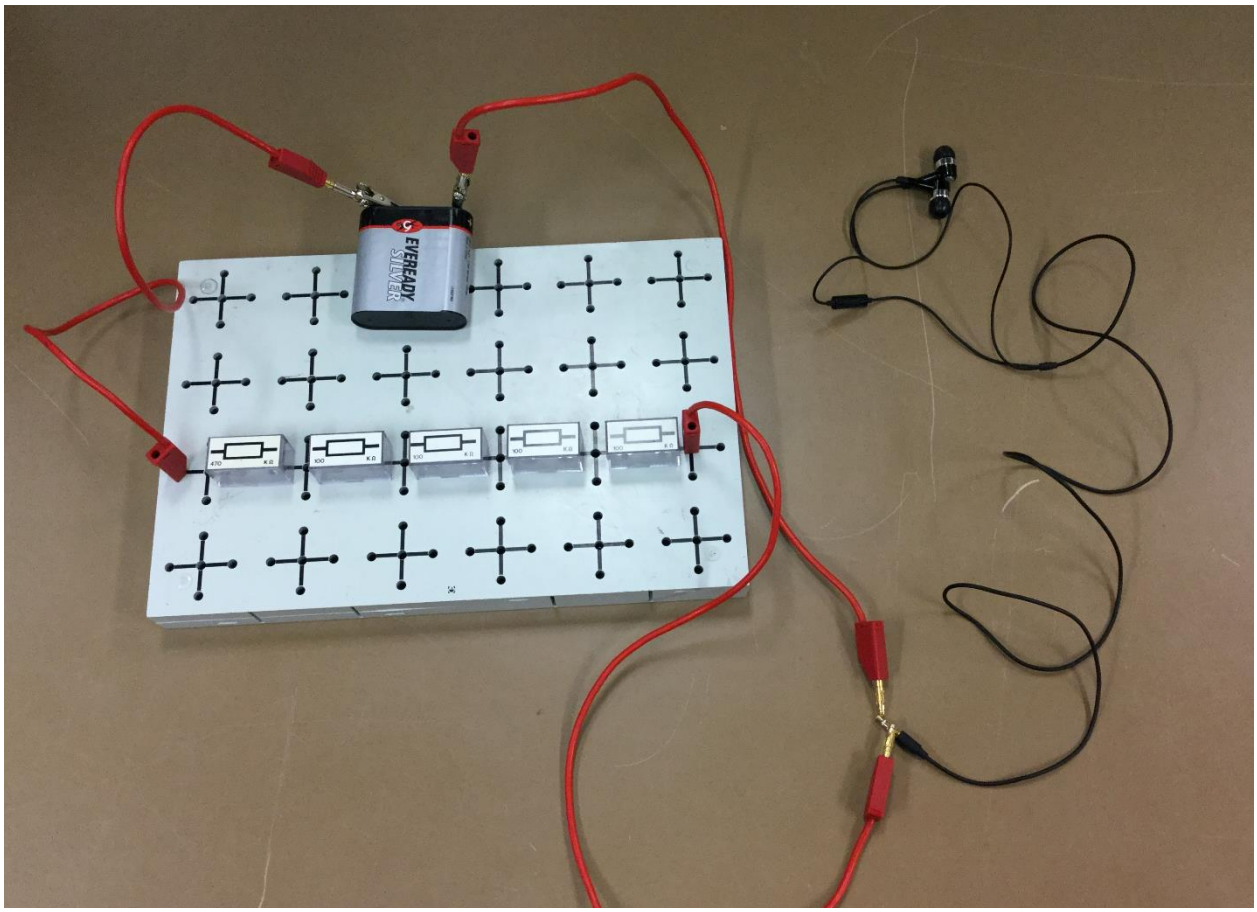


Abbildung 16: Aufbau zur Untersuchung der Frage, bis zu welchem Widerstand ein Knacken in den Kopfhörern wahrnehmbar ist. Begonnen wurde mit 470 kΩ (Bauteil ganz links). Nach und nach wurden 100 kΩ Widerstände dazu geschaltet oder zwei 470 kΩ Widerstände in Reihe geschaltet, bis kein Knacken mehr zu hören war. Diese kleine Erhebung habe ich mit zehn Personen durchgeführt. Ergebnisse, bis zu denen ein Knacken gehört wurde: 770 kΩ, 670 kΩ, 770 kΩ, 870 kΩ, 870 kΩ, 940 kΩ, 870 kΩ, 770 kΩ, 940 kΩ, 870 kΩ.

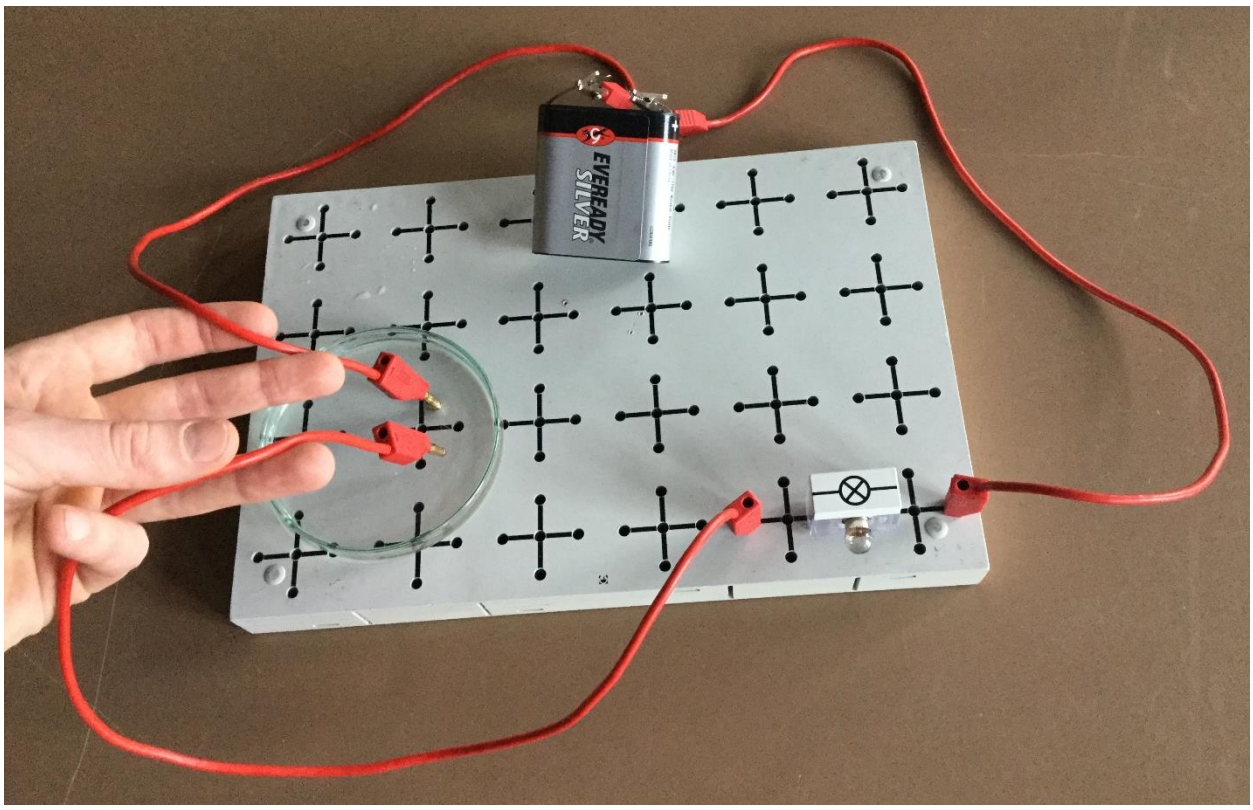


Abbildung 17: Die Lampe leuchtet nicht, wenn Wasser in den Stromkreis integriert wird.

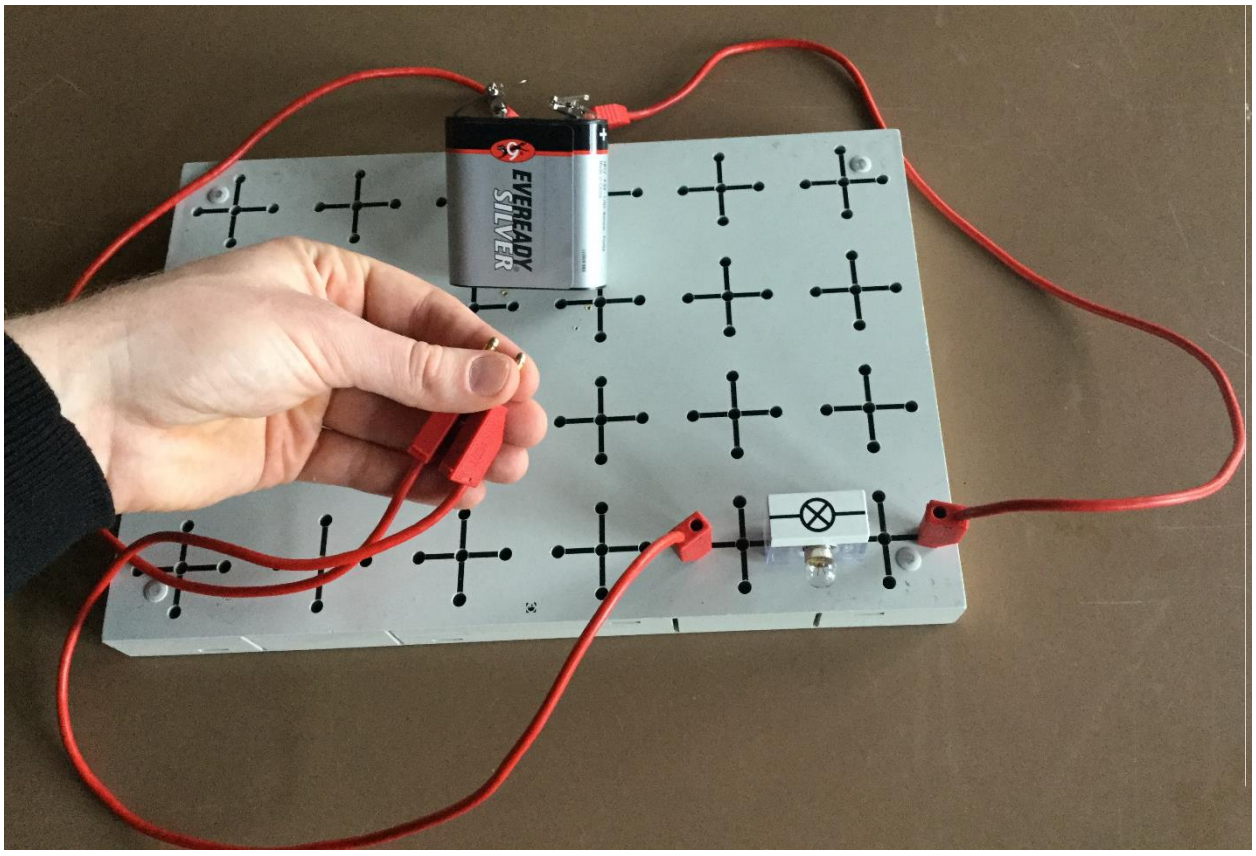


Abbildung 18: Die Lampe leuchtet nicht, wenn Finger bzw. menschliche Haut in den Stromkreis eingebaut wird.

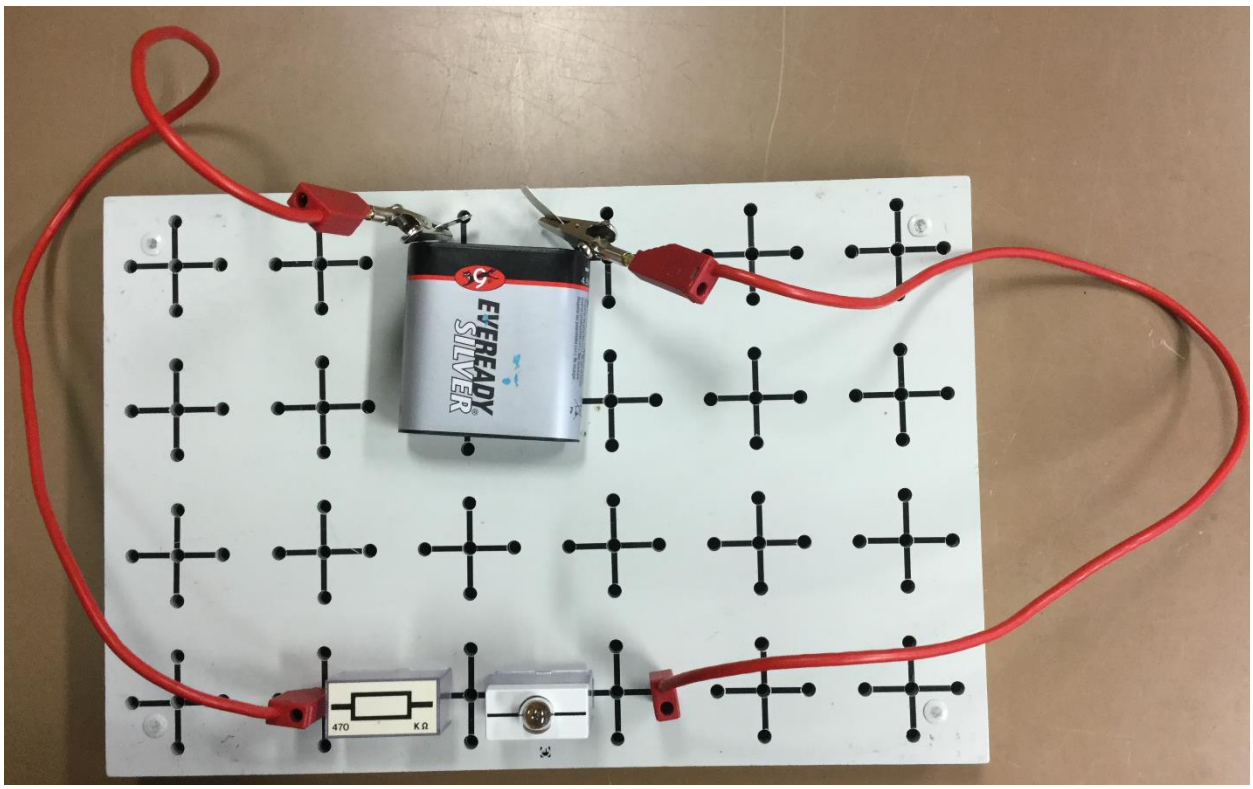


Abbildung 19: Zur Verdeutlichung: Während bei den Kopfhörern bis mindestens (!) 670 kΩ ein Knacken wahrnehmbar ist, leuchten die Lampe selbst bei „lediglich“ 470 kΩ nicht.

Anhang 2: Die Unterrichtseinheit „Einfache Stromkreise“

09.11.15	Klassenarbeit Nr. 1
09.11.15	Sicherheitshinweise zum Experimentieren mit Elektrizität
16.11.15	**1) Bau und Analyse des einfachen Stromkreises:** Die SuS bauen den einfachen Stromkreis auf und vergleichen diesen mit dem zugehörigen Schaltbild, um das Übersetzen zwischen einfachen Schaltungen und symbolischen Darstellungen zu schulen (Mit Modellen arbeiten).
16.11.15	**2) Einführung von Elektronen:** Die SuS erläutern Elektronen, um ihr Fachwissen zu schulen.
23.11.15	Besprechung Klassenarbeit
23.11.15	**3) Entdeckung der Wärmewirkung:** Die SuS begründen experimentell Sicherheitsregeln im Umgang mit Elektrizität, um das Beurteilen technischer Auswirkungen auf die Gesundheit zu schulen (Bewerten).
30.11.15	**4) Untersuchung der Reihenschaltung**: Die SuS begründen experimentell die Eigenschaften der Reihenschaltung, um ihre Experimentierfähigkeit zu entwickeln (Planen, Experimentieren, Auswerten)
30.11.15	**5) Untersuchung der Parallelschaltung**: Die SuS begründen experimentell die Eigenschaften der Parallelschaltung, um ihre Experimentierfähigkeit zu entwickeln (Planen, Experimentieren, Auswerten)
07.12.15	**6) Übungen zu Schaltskizzen**
07.12.15	**7) Entwicklung der UND- und ODER-Schaltung:** Die SuS begründen experimentell die Eigenschaften der UND- und ODER-Schaltung, um das Problemlösen zu schulen.
14.12.15	**8) Einführung der elektrischen Spannung:** Die SuS begründen die erforderliche Übereinstimmung zwischen Spannung der elektrischen Quelle und Spannungsangabe auf elektrischen Geräten. Dabei schulen sie ihre experimentelle Kompetenz und ihr Fachwissen im Bereich „Elektrik“ hinsichtlich der Spannungsangabe.
14.12.15	**9) Bau einer Kartoffelbatterie:** Die SuS bauen eine Kartoffelbatterie, um ihre Experimentierfähigkeit zu entwickeln (Planen, experimentieren, auswerten).
21.12.15	**10) Untersuchung der Leitfähigkeit:** Die SuS führen das Experiment zur auditiven Wahrnehmung der elektrischen Leitfähigkeit durch und werten dieses aus. Dabei schulen sie ihre prozessbezogene Erkenntnisgewinnungskompetenz vor allem im Bereich „(Planen,) Experimentieren, Auswerten“. Außerdem schulen sie ihre inhaltsbezogene Kompetenz hinsichtlich der elektrischen Leitfähigkeit (elektrische Leiter, Isolatoren).
11.01.16	**11) Übungen zu den Stunden 7), 8), 9) und 10) und 3) (Wiederholung)**
11.01.16	**12) Erklärung des Kurzschlusses:** Die SuS begründen den Weg des Stromes bei einem Kurzschluss mithilfe der Autobahn-Analogie, um das Arbeiten mit Modellen und das physikalische Argumentieren zu schulen.
18.01.16	**12) Erklärung der Schmelzsicherung:** Die SuS erklären die Schmelzsicherung, um das Begründen von Sicherheitsmaßnahmen im Zusammenhang mit Elektrizität zu schulen (Bewerten).
18.01.16	**13) Erklärung des Schutzleiters:** Die SuS erklären den Schutzleiter, um das Begründen von Sicherheitsmaßnahmen im Zusammenhang mit Elektrizität zu schulen (Bewerten).
25.01.16	**14) Entdeckung des Elektromagneten** Die SuS bauen einen Elektromagneten, um ihr Fachwissen und ihre experimentelle Kompetenz zu schulen.
25.01.16	Puffer

Anhang 3: Kurzentwurf mit zugehörigen Arbeitsblättern

Tietje **Kurzentwurf** 19.12.15

Thema vorherige Stunde: Bau einer Kartoffelbatterie

Thema der Doppel-Stunde: Untersuchung der elektrischen Leitfähigkeit

Thema nächste Stunde: Übungen

Didaktik:

KoUZ: Die SuS führen das Experiment zur auditiven Wahrnehmung der elektrischen Leitfähigkeit durch und werten dieses aus. Dabei schulen sie ihre prozessbezogene Erkenntnisgewinnungskompetenz vor allem im Bereich „Planen, Experimentieren, Auswerten“. Außerdem schulen sie ihre inhaltsbezogene Kompetenz hinsichtlich der elektrischen Leitfähigkeit (elektrische Leiter, Isolatoren).

Inhaltlicher Aspekt	Verhalten
LV: Stromkreis	erläutern, bauen
LV: Kartoffelbatterie: knackende Kopfhörer	bauen, beschreiben
1. DS: Knacken des Kopfhörers: Stromkreis	erläutern
2. DS: Experiment (Überprüfungsversuch)	erklären
3. DS: Experiment	aufbauen, durchführen
4. DS: Experiment	auswerten

Methodik: dominantes Lehrverfahren: aufgebend-erarbeitend

Zeit	Didaktik	Methodische Erläuterungen	SForm
10	Einstieg (Wiederholung) DS1	Kamera: Kabel mit Krokodilklemmen an Batterie, Kopfhörer: beschreiben. Während der Beschreibung: Skizze (s.u.) (OHNE „Prüf-Material“) an Tafel erstellen (Lehrer). DE als SE: Kopfhörer zum Knacken bringen (Nachtrag insbes. für die SuS, die es beim letzten Mal nicht gehört haben.) und Kabel in Skizze an Tafel ergänzen. [nur bei Bedarf zeigen: In einem Kabel zum Kopfhörer führen in Wirklichkeit mehrere Kabel.] Stromkreis erläutern, mit weißer Kreide einzeichnen [optionale Lernkontrolle (in Abhängigkeit vom zeitlichen Verlauf): „Erklärt, warum es nicht knackt, wenn beide Kabel vorne an den Stecker gehalten werden!“]	LSG
	Hinführung	Überleitung-DE: Messingschraube in den Versuchsaufbau (und TA) integrieren. „Beschreibt die Beobachtung.“ „Erklärt das Knacken. Das kennen wir doch nur vom geschlossenen Stromkreis. Hier ist doch eine Lücke im Stromkreis. Da sind gar keine Kabel, sondern nur eine Schraube.“ Überleitung: weitere Materialien Leitfrage (s.u.), Vermutungen (s.u.)	LSG

17			
	Erarbeitung (Analyse) DS 2	Überprüfungsversuch erklären, („Erklärt, wie wir überprüfen können, ob die anderen Materialien den Strom leiten.“) Messingschraube in Skizze durch „Prüf-Material“ ersetzen (s.u.) 2Min: Gruppen bilden und entsprechend zusammensetzen AcB.: AB1 besprechen: Namen, Hinweise, Flüssigkeiten, Farbe der Drähte Zusammenfassung Aufgabe	LSG LV LSG
25 45	DS 3	Jede Gruppe holt AB1 und Material: Überprüfungsversuch durchführen und Tabelle (AB1) ausfüllen. Binnendifferenzierung: Bonusmaterial, Liste offen, … **[AB1 der Gruppen fotografieren]**	GA
Pause (Transformator aufbauen)			
15	Erarbeitung DS 4	ActivB.: AB2 besprechen. AB2 bearbeiten **[AB2 der Gruppen fotografieren]**	LSG GA
25	Sicherung	Kamera/iPad: Präsentation AB2 **[ggf. interessante Äußerungen der SuS notieren]** Ergebnis (s.u.), Vermutungen auswerten „Erklärt, woran es liegt, dass die Kopfhörer unterschiedlich laut knacken. Erklärt, was es bedeutet, wenn es SEHR LAUT knackt oder gar nicht knackt.“ Lernkontrolle: „Nennt Stoffe, bei denen es „mittellaut“ geknackt hat und erklärt, was das bedeutet.“	SV LSG
30	Konsolidierung I	Vernetzung zum Alltag: Wo werden Leiter und Isolatoren benötigt? ggf. Impuls: Laptop-Kabel/Experimentier-Kabel zeigen. „Erläutert, wo hier sich hier gute elektrische Leiter befinden und wo schlechte. Begründet, warum das sinnvoll ist.“	LSG
40	Konsolidierung II (ohne Sicherung)	AcB/Kamera/iPad: Versuchsskizze und Beobachtung von AB3 beschreiben und erklären. AB3 bearbeiten (Phase kann bei zeitlicher Knappheit entfallen oder im LSG stattfinden.) **[AB3 einsammeln; ggf. interessante Äußerungen der SuS notieren]**	LSG EA

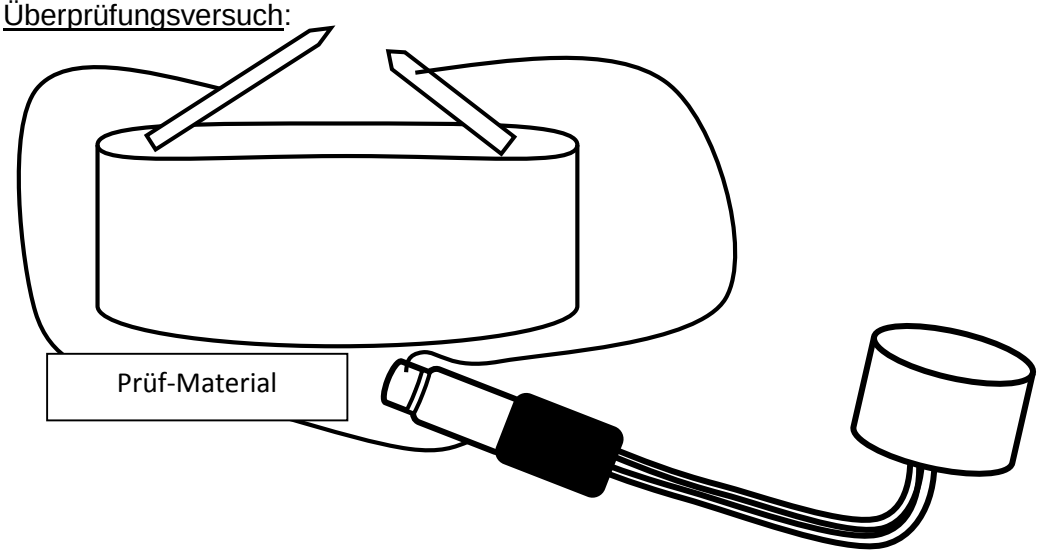
45	vertiefende Ergänzung und Ausstieg	„Wir haben rausgefunden, dass Luft ein Isolator ist, Erklärt noch einmal, was das bedeutet.“ „Ich schließe diese Metallstangen an eine Steckdose mit 230 V an. In der letzten Stunde haben wir „Volt“ eingeführt. Erläutert, was „Volt“ bedeutet.“ DE: Hochspannungstransf. (mit 230 V und mit ca. 11 000 V) beschreiben. „Bei 230 V haben wir keine Blitze gesehen. Bei dem anderen Versuch schon. Beschreibt, wie wir es schaffen können, dass selbst Isolatoren den Strom leiten.“ Ergänzung (s.u.) (Phase kann je nach zeitlichem Verlauf sehr lehrerzentriert ablaufen.) (Zusammenfassung der Doppelstunde)	LSG
		[Mappen einsammeln] [Tafelbild fotografieren]	

geplanter TA/AcB.A.:

Welche Materialien leiten den elektrischen Strom, welche nicht?

Vermutungen: Metalle, Wasser, … leiten den Strom
Gummi, Holz, … leiten den Strom nicht

Überprüfungsversuch:



Ergebnis: Je lauter die Kopfhörer knacken, desto besser leitet das untersuchte Material den elektrischen Strom. Knacken die Kopfhörer sehr laut, handelt es sich um einen sehr guten elektrischen Leiter (z.B. Metalle: Silber, Kuper, …). Knacken sie gar nicht, handelt es sich um einen schlechten elektrischen Leiter (Isolator) (z.B. Luft, Holz, ...). Ergänzung: Ist die Spannung der elektrischen Quelle groß genug, können sogar Isolatoren den Strom leiten (z.B. Luft).

Tietje, Physik, AB1 21.12.15

Namen:_____

Hinweise: Nähere die Kopfhörer langsam deinen Ohren, stecke sie nicht gleich in dein Ohr! Bei diesem Experiment müsst ihr besonders leise experimentieren! Verwendet pro Gruppe nur ein Kopfhörerset!

Gegenstand/Material	Lautstärke des Knackens im Kopfhörer
Holz	
trockenes Papier	
feuchtes Papier	
Eisendraht	
Luft	
Kupferdraht	
Gummiband	
trockene Haut	
feuchte Haut	
Styropor	
Leitungswasser	
Salzwasser	
Bonusmaterial	
destilliertes Wasser	
nasses Holz	
Bleistiftmine	
Glas	
Silberdraht	

Tietje, Physik, AB2 21.12.15

Namen:_____

1. Das Knacken im Kopfhörer verrät euch etwas über die elektrische Leitfähigkeit des Materials. Beschreibt, welchen Zusammenhang es zwischen dem Knacken des Kopfhörers und der Leitfähigkeit gibt:

   _____
   _____
   _____
   _____
   _____
   _____
   _____

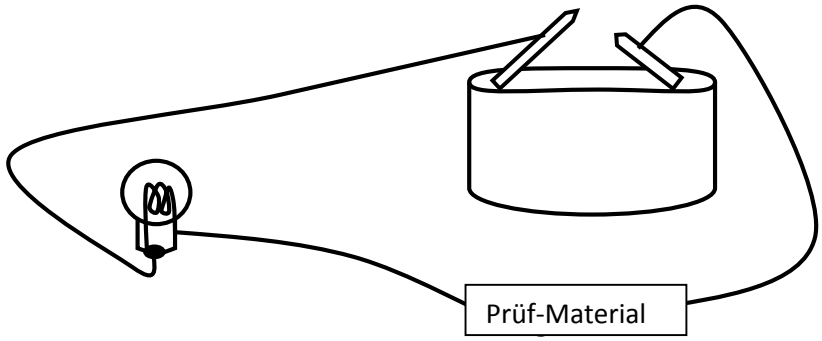
2. Versucht die Materialien in eine Reihenfolge zu bringen, die zeigt, wie gut die Materialien den Strom leiten. Materialien, die in der Reihenfolge weit oben stehen, leiten den Strom sehr gut. Materialien, die weit unten stehen, leiten den Strom nicht. Die Materialien können auch zwischen „leitet sehr gut“ und „leitet nicht“ eingetragen werden.

leitet sehr gut

leitet nicht

Name:_____

Tom und Lisa haben folgenden Versuch durchgeführt:



Sie halten ihre Beobachtungen in einer Tabelle fest:

Material	**Lampe**
Kupfer	Lampe leuchtet
Glas	Lampe leuchtet nicht
Eisen	Lampe leuchtet
Holz	Lampe leuchtet nicht
Wasser	Lampe leuchtet nicht
Haut	Lampe leuchtet nicht

Sie formulieren ein Ergebnis:
Die Lampe leuchtet oder leuchtet nicht. Daher gibt es genau zwei verschiedene Materialien: Entweder das Material leitet den Strom vollständig oder gar nicht. Es gibt keine Materialien, die den Strom „ein bisschen“ leiten.

Aufgabe: Haben Tom und Lise mit ihrem Ergebnis Recht? Begründe deine Entscheidung.

Anhang 4: Ergebnisse der Gruppen zu AB1

Die Tabelle zeigt die Ergebnisse der acht Gruppen von AB1. Ergebnisse die stark von den zu erwarteten Lautstärkewahrnehmungen abweichen sind fett und in roter Farbe dargestellt. Es ist beispielsweise keine massive Abweichung, wenn statt sehr leisem Knacken, kein Knacken oder statt sehr lautem Knacken, lautes Knacken beschrieben wird.

	Gruppe 1: Len Jannis L.	Gruppe 2: Mika Nikolas Jannis K. Bennett	Gruppe 3: Catharina Jantine Julia Alina	Gruppe 4: Victoria Jette Janne Nele	Gruppe 5: Linus Jannik Henri	Gruppe 6: Charlotte Nina Marleen Cathleen	Gruppe 7: Timon Jim Silas	Gruppe 8: Alia Leyla Jenny Jette
Holz	nicht	gar nicht	leitet nicht (kein Knacken)	gar nicht	gar nicht	Nein, leitet nicht, gar nicht geknackt	nein nicht laut	knistert nicht (leitet nicht)
trockenes Papier	nicht	knackt nicht	leitet nicht (kein Knacken)	gar nicht	gar nicht	Nein, leitet nicht, gar nicht geknackt	nein gar nicht	knistert nicht (wirklich)
feuchtes Papier	leise	knackt schwach	leitet nicht (kein Knacken)	leise	leise	Ja, leitet, geknackt	ja geht	knistert (leitet)
Eisendraht	laut	knackt laut	leitet (knackt)	mittel laut	laut	Ja, leitet, knackt doll	ja laut	knistert sehr gut (leitet)
Luft	nicht	knackt nicht	leitet nicht (kein Knacken)	gar nicht	gar nicht	Nein, leitet nicht, knackt gar nicht	nein geht nicht	knistert nicht (leitet keinen Strom)
Kupferdraht	laut	knackt laut	leitet (knackt)	**leise**	laut	Ja, leitet, sehr doll	ja laut	knistert sehr gut (leitet Strom)
Gummiband	nicht	knackt nicht	leitet nicht (kein Knacken)	gar nicht	**leise**	Nein, leitet nicht, gar nicht geknackt	nein geht nicht	knistert nicht (leitet keinen Strom)
trockene Haut	leise	knackt nicht	leitet nicht (kein Knacken)	leise	gar nicht	Ja, leitet, knackt ein bisschen	nein geht nicht	knistert ein bisschen (leitet ein bisschen)
feuchte Haut	leise	knackt nicht	leitet nicht (kein Knacken)	mittel	gar nicht	Ja, leitet, knackt ein bisschen	ja nicht laut	knistert ganz leise (leitet leise)

Styropor	nicht	**knackt schwach**	**leitet (knackt)**	gar nicht	gar nicht	Nein, leitet nicht, knackt nicht	nein geht nicht	knistert nicht (leitet keinen Strom)
Leitungswasser	sehr leise		**leitet nicht (kein Knacken)**	mittel	mittel	Ja, leitet, knackt mittel laut	ja etwas leise	**knistert nicht (kein Strom)**
Salzwasser	laut	knackt laut	Leitet (knackt)	sehr laut	laut	Ja, leitet, knackt mittel laut	ja sehr laut	knistert normal (leitet Strom)
Bonusmaterial								
destilliertes Wasser	**laut**		leitet nicht (kein Knacken)	gar nicht	gar nicht	Ja, leitet, knackt ein bisschen		
nasses Holz	sehr leise		leitet nicht (kein Knacken)	sehr leise	gar nicht			
Bleistiftmine	laut			sehr laut				
Glas	nicht			gar nicht				
Silberdraht	sehr laut			sehr laut				

Anhang 5: Ergebnisse der Gruppen zu AB2

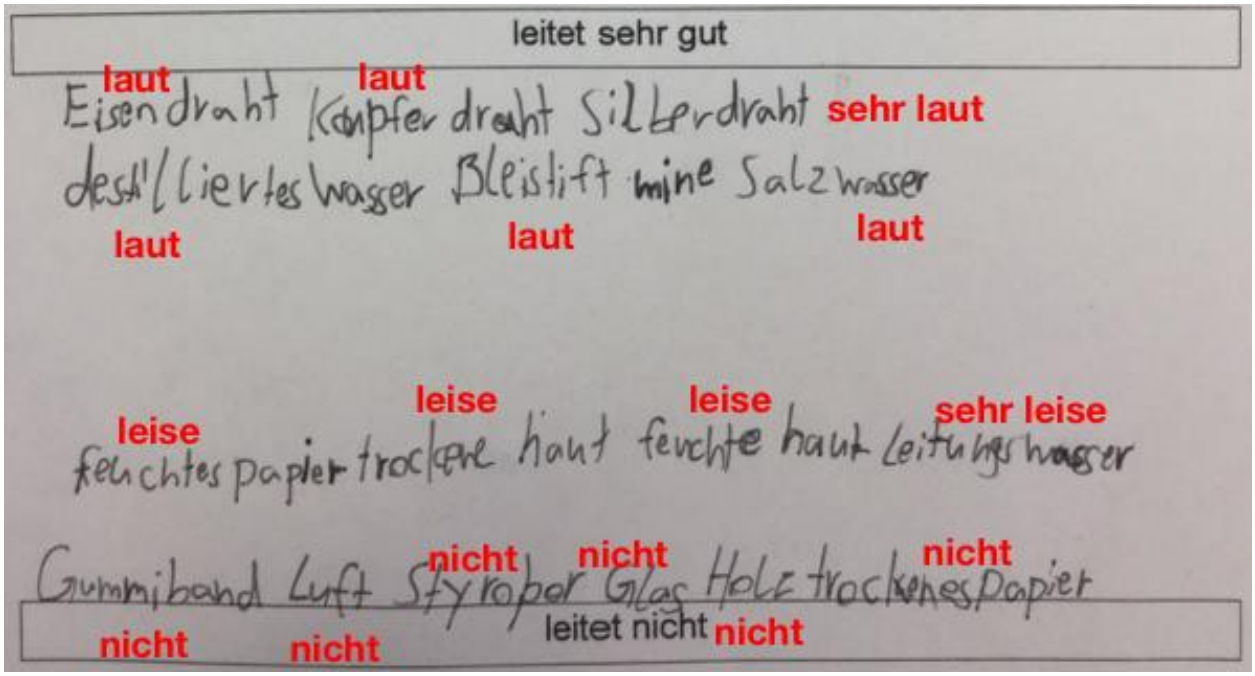
Dieser Anhang zeigt die Ergebnisse der Gruppen zu AB 2. Aufgabe 2 ist jeweils durch einen Foto-Ausschnitt des bearbeiteten ABs dargestellt, auf dem ich in rot die jeweiligen Laustärkeempfindungen der Gruppe von AB1 eingetragen habe.

Gruppe 1

Aufgabe 1:

Wenn der gegenstand mehr leiten kann heist dass auch das aus der Batterie mehr rauskommt.

Aufgabe 2:

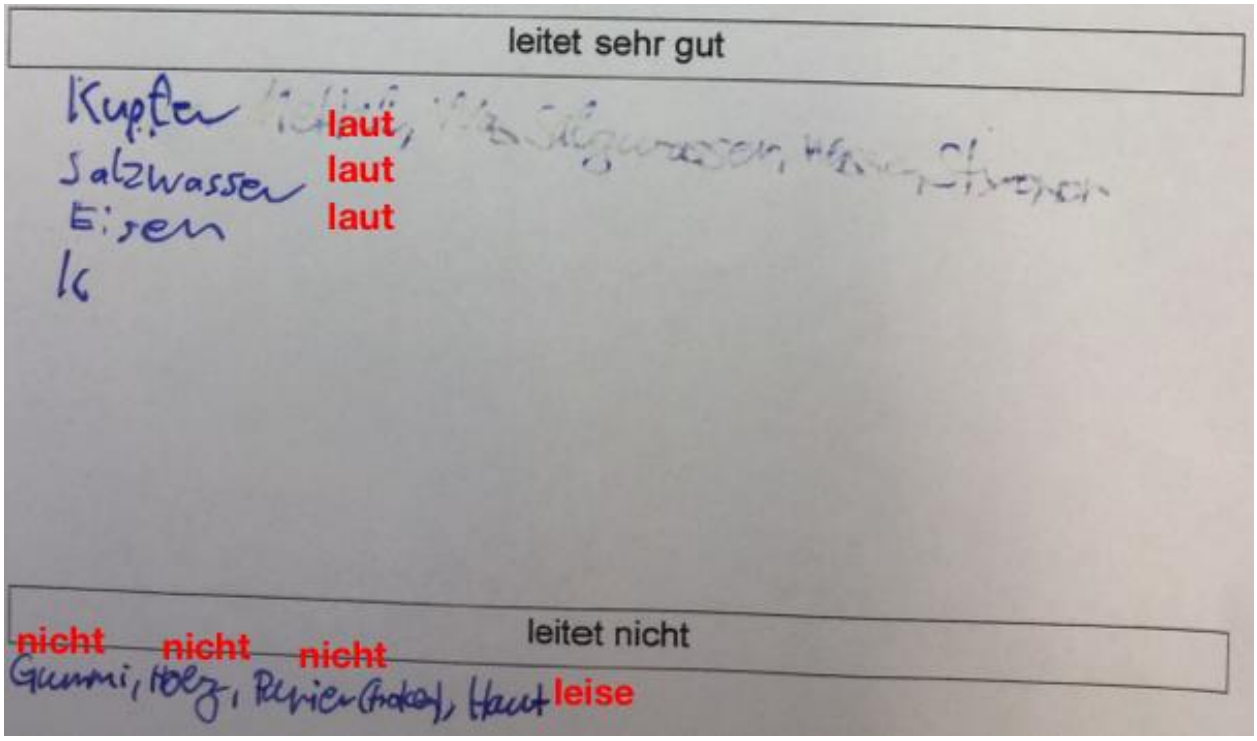


Gruppe 2

Aufgabe 1:

Wenn es laut knackt leitet der Gegenstand viel Strom. Wenns leise knackt fließt wenig Strom durch den Gegenstand.

Aufgabe 2:

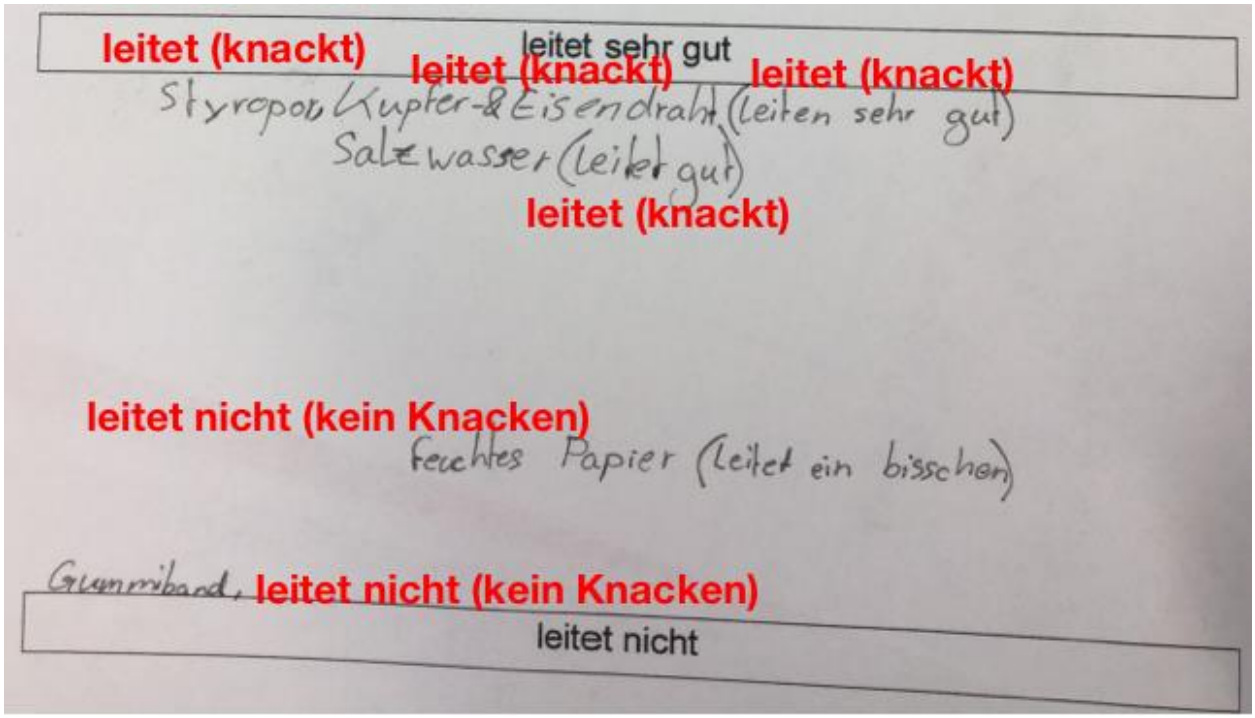


Gruppe 3

Aufgabe 1:

Dinge die etwas magnetisches besitzen (Eisen, Nickel, Cobalt) verursachen ein knistern in den Kopfhörern.

Aufgabe 2:

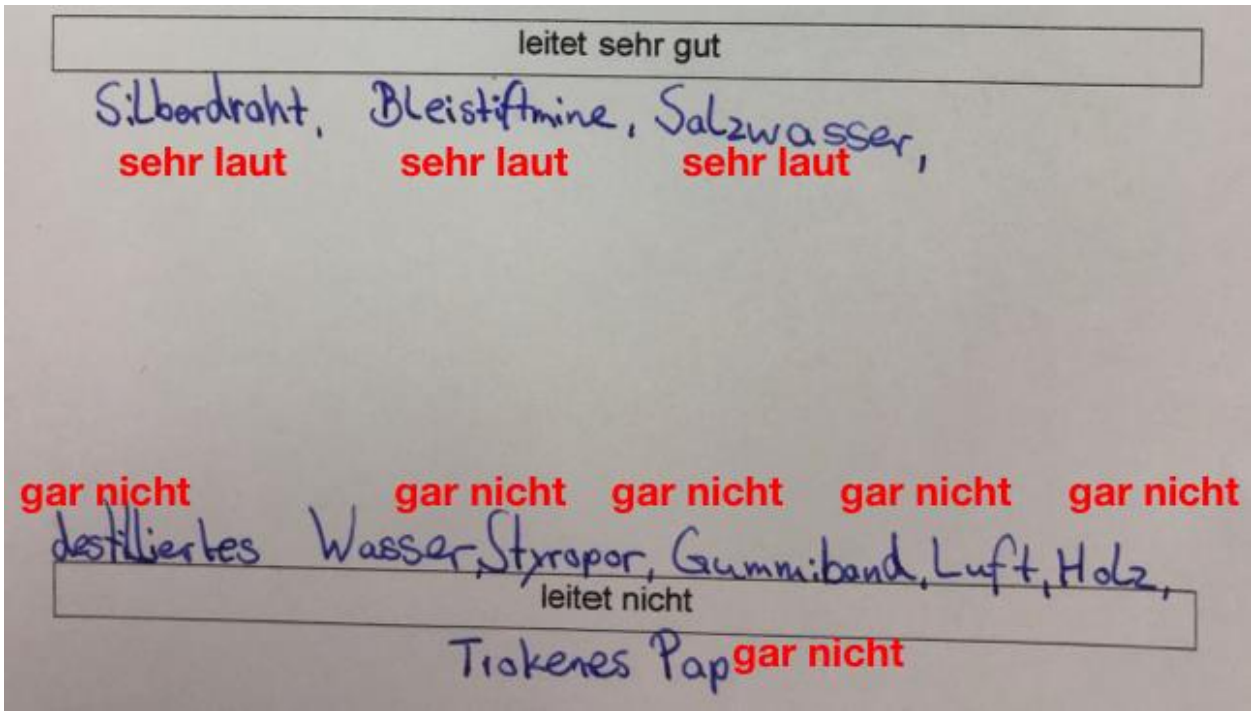


Gruppe 4

Aufgabe 1:

Wenn es in den Kopfhörern laut knackt dann ist die Leitfähigkeit sehr stark. Wenn es in den Kopfhörern leise knackt dann ist die Leitfähigkeit sehr schwach. Wenn man gar nichts hört dann gibt es gar keine Leitfähigkeit.

Aufgabe 2:

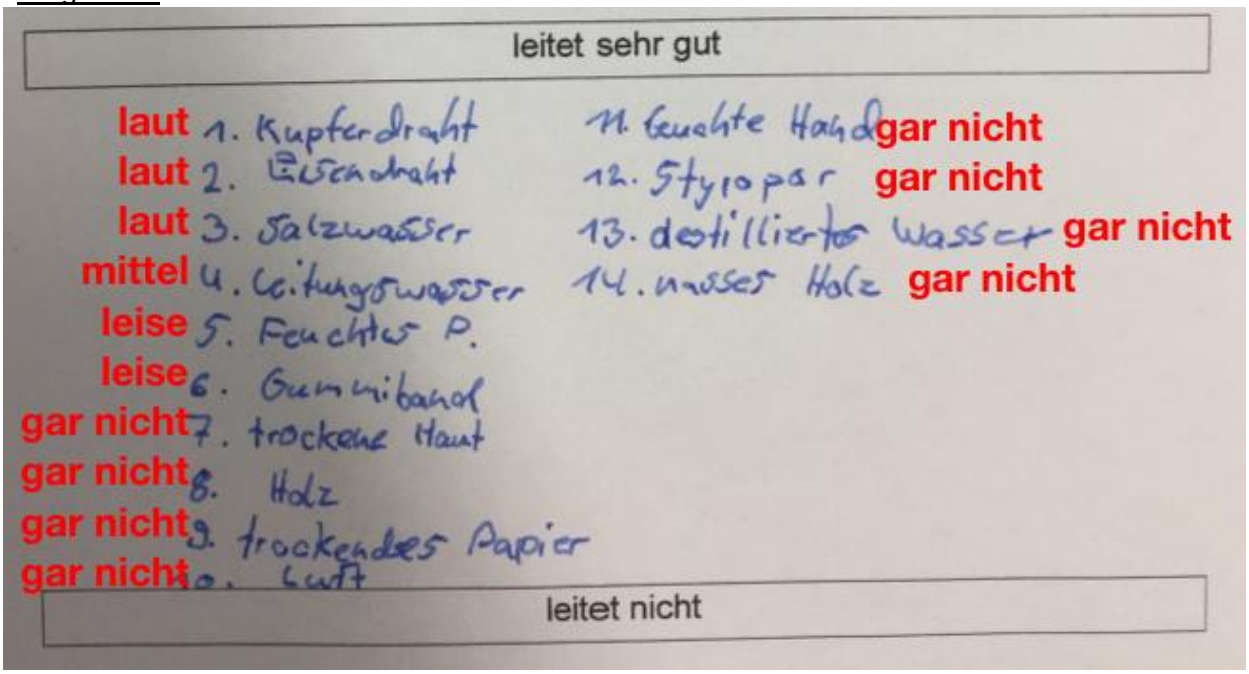


Gruppe 5

Aufgabe 1:

Des so mehr das Material leitet, des so mehr hört man.

Aufgabe 2:

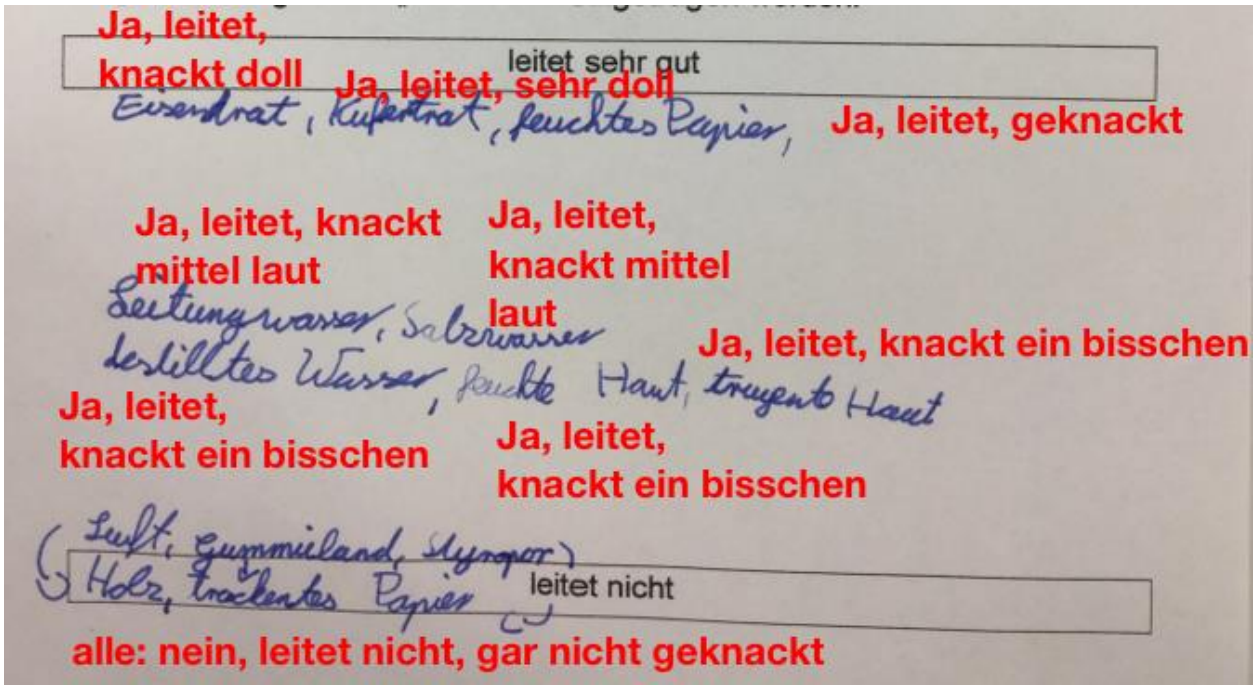


Gruppe 6

Aufgabe 1:

Wenn es laut knackt, ist es ein guter Stromkreis. Wenn es leise knackt, ist es ein schlechter Stromkreis

Aufgabe 2:

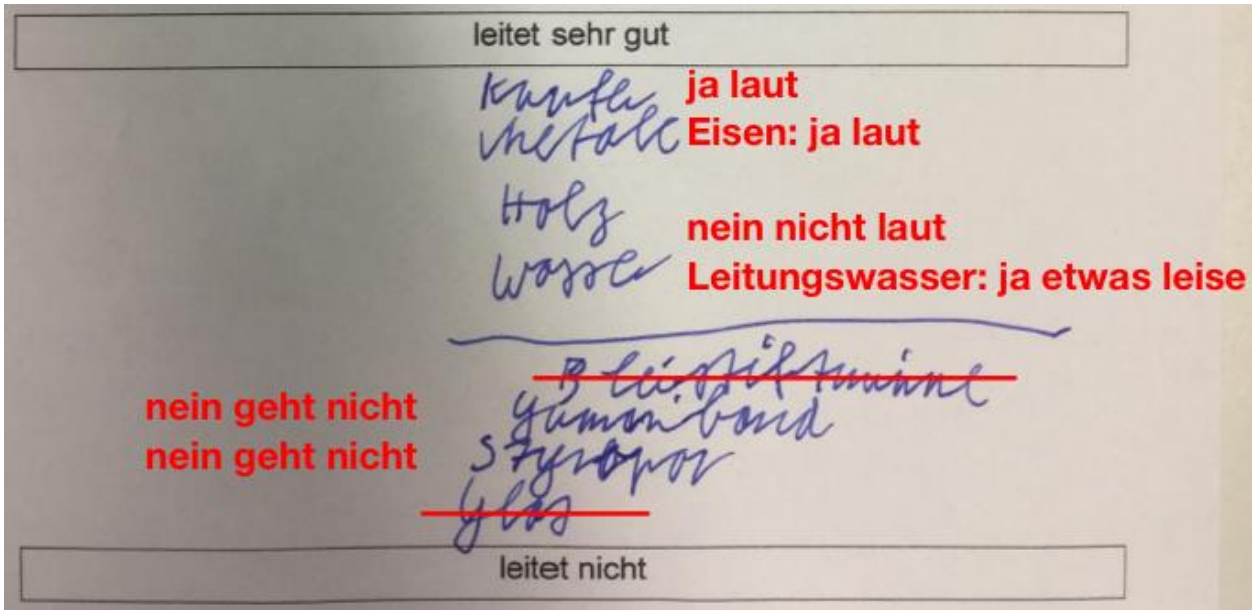


Gruppe 7

Aufgabe 1:

Wenn es leitet, hört man ein Knacken im Kopfhörer. Bei Materialien die nicht leiten knackt es nicht. Desto besser es leitet des so lauter knackt es.

Aufgabe 2:

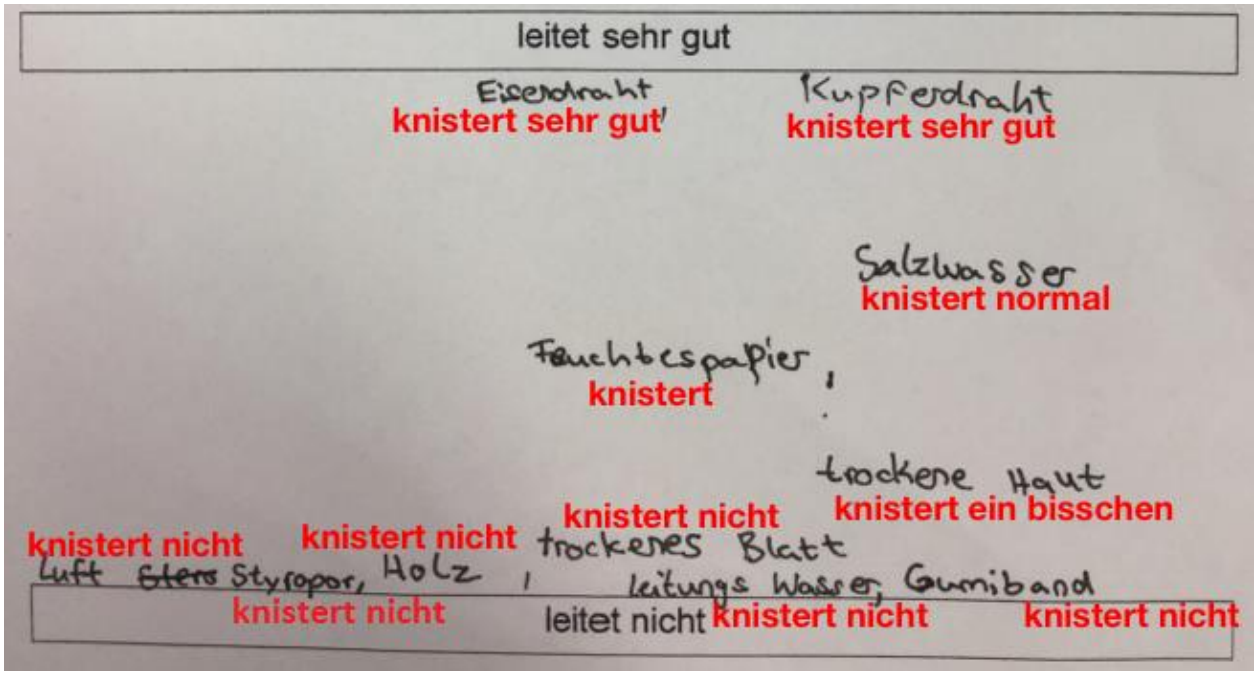


Gruppe 8

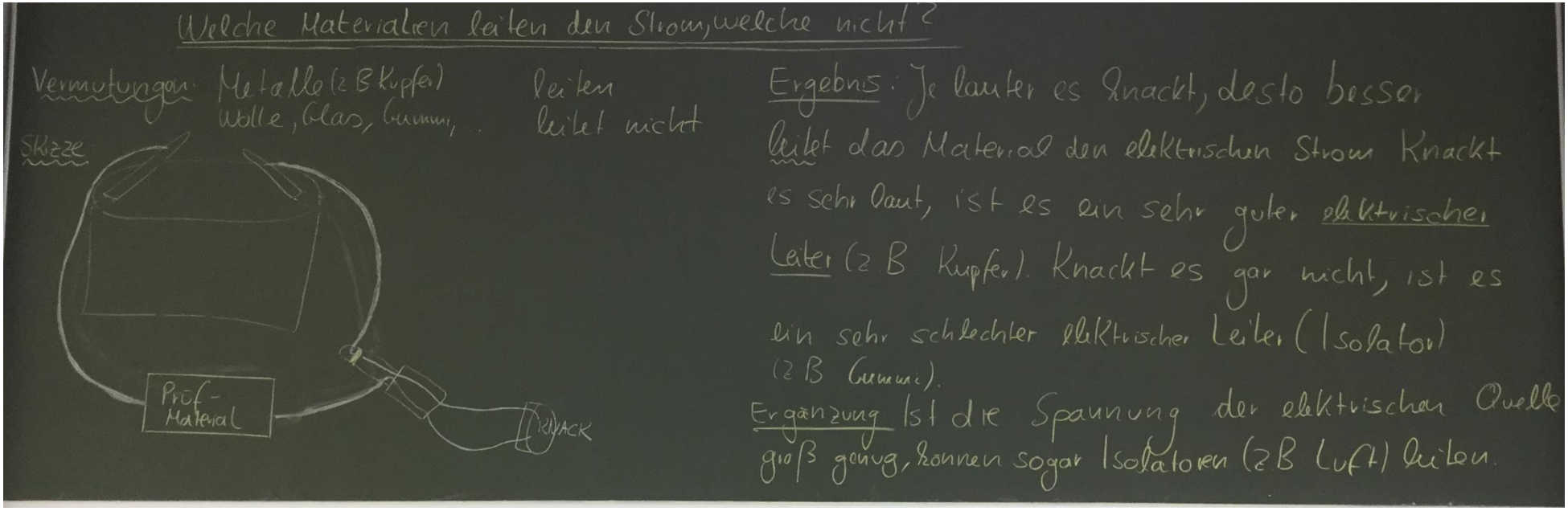
Aufgabe 1:

Wenn der Stromkreis geschlossen ist nur dann knackt es in den Kopfhörern. Der Stromkreis ist nur geschlossen wenn alle Kabel einen Stromkreis bilden oder manchmal ist etwas dazwischen wie Metall, das leitet. „Um so lauter es knackt, so besser leitet es.“

Aufgabe 2:



Anhang 6: Foto des Tafelbildes



Versicherung

„Ich versichere, dass ich die schriftliche Arbeit selbstständig angefertigt, keine anderen als die angegebenen Hilfsmittel benutzt und diejenigen Stellen der Arbeit mit genauer Angabe der Quelle kenntlich gemacht habe, die ich im Wortlaut oder im wesentlichen Inhalt anderen Werken entnommen habe."

Stade, den ……..... ……

(Unterschrift)