Gunnar Friege, Engelbert Stütz, Jochen Strehlau, Claudia Schomaker, Sönke Janssen und Lukas Dieckhoff

„Das ist Magie!“

Ein Low-Cost-Modellexperiment zum induktiven Hören als Beitrag zum Public Understanding of Science

KLASSENSTUFE:	Sek. II
ZEITUMFANG:	15 min bis 90 min (je nach Einbettung und Vertiefung)
THEMA:	Elektrizitätslehre: Induktion (Kl. 12/13); Akustik (Kl. 11)
KOMPETENZEN:	Erkenntnisgewinnung
METHODEN:	Schülerexperiment, Klassengespräch
WEITERE MATERIALIEN:	Akustikexperimente zum Ausleihen für den Primarbereich und die Sekundarstufe [1]

In Bahnhöfen, Kongresshallen oder auch in Kirchen kommt man manchmal an Schildern wie in **Abbildung 1** vorbei. Nur, was bedeuten sie? Warum steht ein T auf dem Schild? Mit etwas Fantasie lässt sich auf dem linken Schild ein Ohr erkennen, auf dem rechten Bild eine Spule – zumindest mit einer physikalischen „Brille“.

Eine schnelle Recherche führt darauf, dass diese Schilder auf eine Technik hinweisen, die hörbeeinträchtigten Menschen helfen kann: eine sog. Induktionsanlage. Im Rahmen von „Hör mal hin!“ [1], einem größeren Projekt zum Hören, wurde ein Modellexperiment entwickelt und mit dem Ziel eines Public Understanding of Science an unterschiedlichsten Orten und für Menschen verschiedenen Alters und Vorwissens zugänglich gemacht. Auch für den Unterricht eignet sich dieses Experiment, das sich curricular in den Bereichen Akustik und Felder/Induktion verorten lässt.

1 | Schilder Induktionsanlage

Icons: public domain

Was ist eine Induktionsanlage?

Aufbau

Abbildung 2 zeigt eine vereinfachte Darstellung einer Induktionsanlage. Sie besteht im Wesentlichen aus

- einer Schallquelle,
- einem Mikrofon mit angeschlossenem Verstärker,
- einem langen Kabel, das im Raum kreisförmig – oder (je nach Größe und Raum) auch in anderen Anordnungen – ausgelegt wird, sowie
- einer Empfängereinheit aus Spule und Lautsprecher bzw. einem Hörgerät.

Statt eines Mikrofons kann auch eine digitale Schallquelle wie ein Audiofile auf einem MP3-Player oder Musik auf einem Smartphone direkt an den Verstärker angeschlossen werden.

Funktionsweise

Das Mikrofon wandelt ein Schallereignis wie Musik, die Predigt in einer Kirche oder eine Ansage im Bahnhof in elektrische Signale um. Diese Signale werden mittels des NF-Verstärkers verstärkt und sorgen für einen elektrischen Strom, der durch das Kabel fließt. Ein stromdurchflossenes Kabel ist stets von einem Magnetfeld umgeben. Je größer (kleiner) die Stärke des elektrischen Stromes ist, desto stärker (schwächer) ist dieses Magnetfeld. Die zeitlich veränderlichen Schallereignisse führen zu zeitlich veränderlichen Mikrofonsignalen und damit auch zu zeitlich veränderlichen elektrischen Strömen im Kabel sowie somit zu zeitlich veränderlichen Magnetfeldern im Raum.

Ein sich zeitlich veränderliches Magnetfeld führt zu einem elektrischen Feld. Dies zeigt sich beispielsweise darin, dass an den Enden eines Leiters (z. B. einer Spule) in der Nähe des Kabels eine Spannung messbar ist, d. h. induziert wird. Wird diese Spule an einen Lautsprecher angeschlossen, so führt die zeitlich veränderliche Spannung zu Schallereignissen, die denen ähnlich sind, die ursprünglich vom Mikrofon aufgenommen wurden.

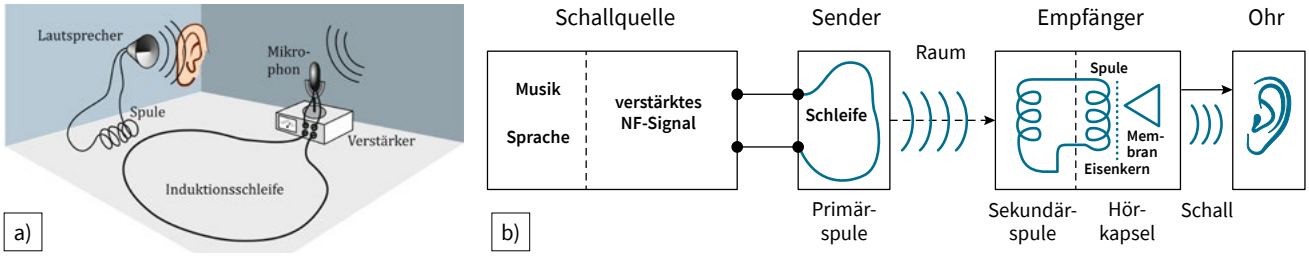
Nutzen für Hörbeeinträchtigte

Menschen mit Hörgerät haben häufig Schwierigkeiten, Musik, Predigten und Reden oder Ansagen zu verstehen – insbesondere bei vielen Nebengeräuschen durch unerwünschte Schallreflexionen oder wegen vieler Menschen, die unabsichtlich Störgeräusche erzeugen. Hier kann die Induktionsanlage hilfreich sein (s. a. [2]): Sie verstärkt nur das gewünschte Schallereignis vom Mikrofon, nicht die Störgeräusche.

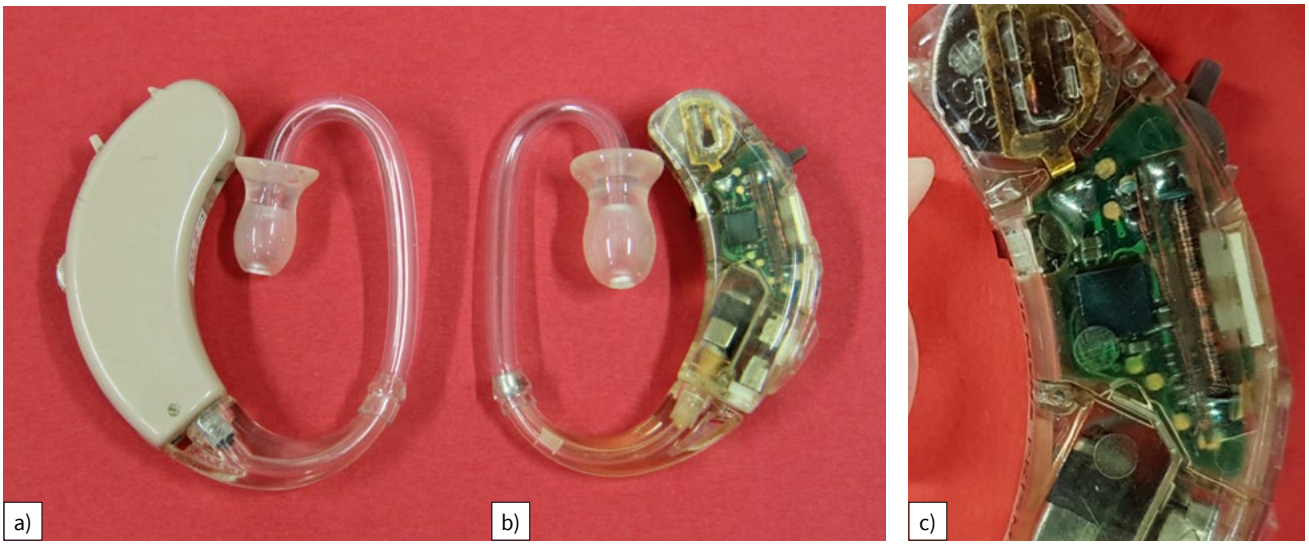
Hörbeeinträchtige Menschen können an vielen Hörgeräten auf den T-Modus umschalten. T (s. a. **Abb. 1**) steht für Telefonspule. Diese ist im Hörgerät neben viel Elektronik und Lautsprecher verbaut (s. **Abb. 3**).

Die Telefonspule sorgt für die Umwandlung des Mikrofonsignals über das Magnetfeld um das Kabel in eine zeitlich veränderliche elektrische Spannung,

© Friedrich Verlag | Unterricht Physik 193 | 2023



2 | a) Skizze und b) Blockplan einer Induktionsanlage mit einer Empfängereinheit aus Hörkaspsel und Spule



3 | Hörgeräte: a) Standardversion, b) durchsichtiges Modell für Ausbildungszwecke, c) Telefonspule als Teil eines Hörgerätes

die in einem Lautsprecher innerhalb des Hörgerätes direkt am Ohr zu den gewünschten Schallereignissen führt. Zusätzlich findet im Hörgerät noch elektronisch eine Verstärkung statt. Nebengeräusche werden hierbei nicht verstärkt, wie dies beim normalen Betrieb eines Hörgerätes der Fall wäre. Das Signal-zu-Rausch-Verhältnis wird somit durch die Induktionsanlage deutlich erhöht und die beeinträchtige Person beim Hören unterstützt.

Alternative: FM-Anlage

In der eben vorgestellten Induktionsanlage ist das Signal, das vom Hörgerät oder der Spule mit Lautsprecher empfangen wird, unmoduliert.

Daneben gibt es sog. FM-Induktionsanlagen, in denen das Eingangssignal (Schallereignisse im Frequenzbereich 16 – 20 000 Hz) aufgenommen und moduliert als hochfrequentes Signal im Megahertzbereich über Funk ausgestrahlt wird. Eine Empfängereinheit wandelt die Signale dann in hörbare Signale zurück.

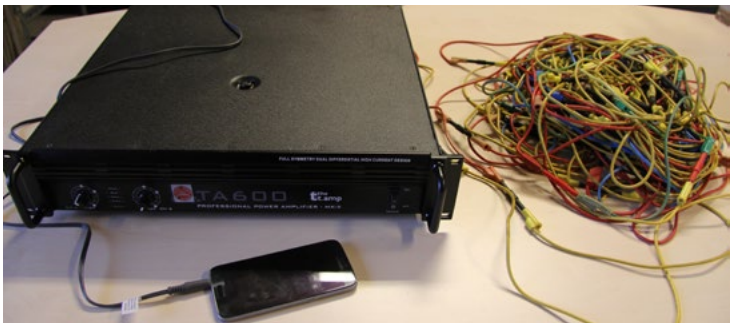
Aufbau eines Modellexperiments zum induktiven Hören

Die Idee zum Aufbau eines Modellexperiments zum induktiven Hören geht auf einen Vortrag über die im Artikel „Eine Schule als Science Center“ von Engelbert Stütz beschriebene Projektwoche zurück. Als das Projekt „Hör mal hin!“ [1)] [1] im Rahmen des umfangreicheren Projekts „Hörregion Hannover“ ins Leben gerufen wurde, sollte eine Induktionsanlage ein Teil der anspruchsvolleren Akustikexperimente sein.

Als Modellexperiment weicht der Aufbau in seiner Komplexität (z. B. in der Art der Verlegung des Kabels) von einer realen, oft gar nicht in allen Teilen einsehbaren Induktionsanlage ab. Das Experiment zeigt jedoch die prinzipielle Funktion und ist in vielerlei Hinsicht verständlicher.

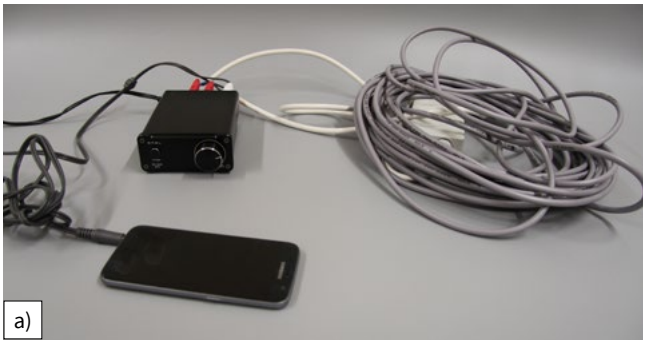
Prototyp des Modellexperiments

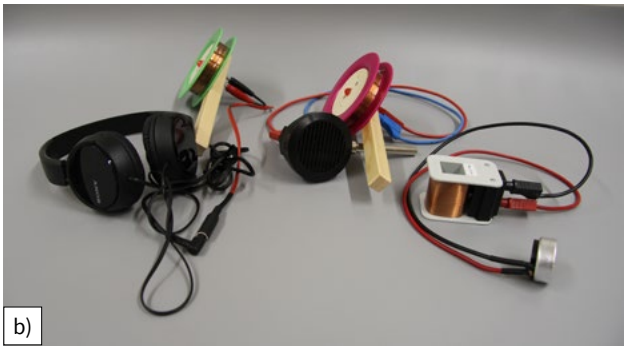
Die erste Version (s. **Abb. 4**), wurde mit alten Kabeln aus der Physiksammlung und einem schweren, leistungsstarken Verstärker aufgebaut. Als Empfänger wurden nicht mehr genutzte Hörge-



4 | Prototyp: Induktionsanlage mit Materialien aus der Physiksammlung

Fotos: Gunnar Friege; Zeichnungen: Abb. 1a) Dirk Brockmann-Behnsen; Abb. 1b) Friedrich Verlag GmbH





5 | Finale Version der Induktionsanlage: a) für den (Schul-)Gebrauch optimierte Induktionsanlage mit b) einer Reihe von unterschiedlichen Empfangsgeräten: selbst gewickelte Spule mit Kopfhörer, selbst gewickelte Spule mit Lautsprecher aus der Physiksammlung, Hörkapsel mit kommerzieller Spule aus der Physiksammlung, Hörgeräte

räte (s. **Abb. 3**) und ein an eine Spule angeschlossener Lautsprecher aus der Physiksammlung genutzt.

Die Demonstration gelingt mit diesen einfachen Mitteln bereits sehr gut. Die Verstärkung des Hörgeräts ist so hoch, dass man das Hörgerät gar nicht in das Ohr einsetzen muss, sondern in einem deutlichen Abstand von einigen Zentimetern zum Kopf halten kann. Aus hygienischen Gründen ist dies gerade bei öffentlichen Vorführungen mit vielen Besucher:innen vorteilhaft.

Finaler Aufbau des Modellexperiments

Schrittweise wurde der Prototyp weiterentwickelt, um das Experiment einfacher – auch in der Schule – einsetzen zu können. Ein schneller, sicherer und robuster Aufbau des Experiments stand dabei im Vordergrund. Der Prototyp war aufgrund der vielen einzelnen Kabel auch anfällig für Fehler.

Abbildung 5a zeigt das aktuelle Modellexperiment. Es besteht nur noch aus einem Kabel mit mehreren Litzen und einem sehr leichten, kleinen Verstärker. Die Vielfalt der Empfänger wurde ebenfalls erweitert um selbst gewickelte statt kommerzieller Spulen, Kopfhörer statt Lautsprechern aus der Sammlung und auch um kostengünstige sog. Hörkapseln als Lautsprecher (s. **Abb. 5b**). Gleichzeitig können so mehrere Personen das Experiment erproben.

„Das ist Magie!“ – Einblicke in die Praxis

Public Understanding of Science

Das Modellexperiment wurde vielfach eingesetzt: in vielen Shows der Reihe „Nacht, die Wissen schafft“ für Kinder, auf Lehrerfortbildungen, im Museum beim Entdeckertag oder auch bei einem Hörfestival auf einer ehemaligen Abraumhalde. Das Publikum war bunt gemischt und variierte im Alter von etwa 6 bis 85 Jahren und im Vorwissen ebenfalls sehr stark.

Mit der praktischen Erprobung der Induktionsanlage fing es in der Regel an. Dabei zeigten sich viele Emotionen. Der spontane Ausruf „Das ist Magie“ kam jedoch nicht von einem Kind, sondern von einer jungen Erwachsenen, also einer Person, der drahtlose Kommunikation nicht fremd sein sollte. Erklären lässt sich dies nur dadurch, dass die Materialien (Kabel auf dem Fußboden, Spule mit Lautsprecher in der Hand) so einfach und (angeblich) durchschaubar waren. Überraschende Effekte wurden wohl eher von einem mit Elektronik vollgestopften Smartphone oder anderen Blackbox-Geräten erwartet.

Viele Nutzer:innen des Modellexperiments nahmen die Gelegenheit wahr, die Funktionsfähigkeit der Induktionsanlage zu testen: Sie bückten und streckten sich, krochen auf dem Boden und variierten so den Abstand zwischen Spule und Kabel. Sie drehten auch die Spule im Raum und testeten unterschiedliche Empfänger. Natürlich gehörte auch die Erklärung der Induktionsanlage zur Vorführung des Modellexperiments.

Einsatz im Unterricht

Die positive Resonanz in der Öffentlichkeit führte dazu, das Modellexperiment zumindest in der Region Hannover auch im Schulunterricht zu nutzen. Dazu steht es über das Medienzentrum [1)] als Ausleihmaterial zur Verfügung; der Aufbau und die

Differenzierung auf den Punkt gebracht

D

Aspekte der Heterogenität:
- Abstraktionsniveau

Methode:
- Erkundung eines Demonstrationsexperiments

Praxistipps:
- Lernende können auf einem *niedrigen Abstraktionsniveau* das Phänomen des induktiven Hören erfahren und grob die Komponenten einer Induktionsanlage kennenlernen. Dies ist bereits in einer Aktustikeinheit der Sekundarstufe I möglich.
- Im *mittleren Abstraktionsniveau* geht es um ein Verständnis des Funktionsprinzip der Induktionsanlage. Dies wäre ein Ziel im Rahmen der Elektrizitätslehre (Felder/Induktion) in der Sekundarstufe II.
- Eine analytische Untersuchung des Modellexperiments liegt auf einem *hohen Abstraktionsniveau* dar. Hier es möglich, Variablen wie Abstand, Durchmesser und Windungszahl der Spule in der Empfangseinheit oder den Einfluss von Fremd-/Störfeldern zu untersuchen.

Fotos: Gunnar Friege

1 | EXPERIMENT: Anleitung zum Nachbau des Modellexperiments

Das Modellexperiment lässt sich leicht mit verfügbaren Materialien aus einer Physiksammlung aufbauen. Bereits der Prototyp in **Abbildung 4** führt zu sehr zufriedenstellenden Ergebnissen, d. h. einer guten Demonstration.
Die Weiterentwicklung zum Modell in **Abbildung 5** hatte das Ziel, den Aufbau schneller und transparenter zu machen sowie das Gewicht zu minimieren. Die in **Abbildung 5** gezeigten Empfangsgeräte und auch nicht mehr genutzte Hörgeräte eignen sich alle sehr gut. Für das Modellexperiment muss man jedoch nicht alle vorhalten. Das Hörgerät als bekanntes technisches Gerät und ein Empfänger aus Spule und Lautsprecher sind zu empfehlen.

Materialien für die Modellanlage

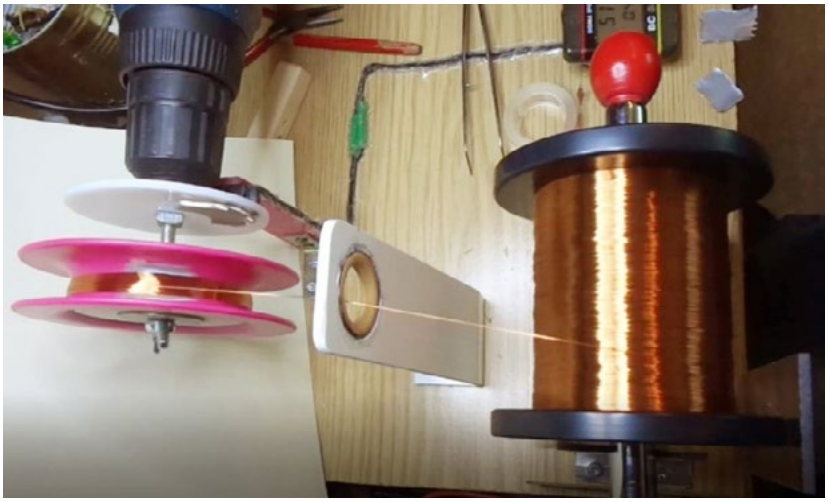
Sendereinheit der Induktionsanlage

- *Schallquelle und digitales Signal für den Verstärker*: menschliche Stimme und Mikrofon oder Smartphone/MP3-Player mit Hörbeispielen,
- *NF-Verstärker (mit Netzteil) mono*, mit ca. 15 W sin. Ausgangsleistung, Ausgang ca. 3 Ω, kurzschlussfest!
- *Induktionsschleife*: je nach Raumgröße 10 – 15 m 4-adrige, dünne Telefonlitze (**Hinweis:** Aus den vier Adern der Litze entstehen zwei Windungen. **Achtung:** Polung für Reihenschaltung beachten, da sich bei Fehlpolung die Magnetwirkung der Schleife aufhebt!)

Empfängereinheiten

Hierfür gibt es mehrere Möglichkeiten (s. **Abb. 5b**).

- *alte Hörgeräte mit Telefonspule* (**Hinweis:** Da Hörgeräte stets auch eine elektronische Verstärkung der Signale vornehmen, eignen sich Hörgeräte für das Modellexperiment ausgezeichnet. Nachteil ist die nicht nachvollziehbare komplexe Elektronik des Gerätes.)
- *Spule mit angeschlossenem Kopfhörer* (**Hinweis:** Vorteil ist, dass Nebengeräusche weniger stören als bei den übrigen Empfänger-Varianten. Es genügt eine Spule aus der Physiksammlung mit z. B. 800 Windungen.)
- *Spule mit Lautsprecher* (**Hinweis:** Einfach zu durchschauendes System. Es genügt eine Spule mit z. B. 800 Windungen und ein Experimentierlautsprecher.)
- *Selbstgewickelte Spule mit Hörkapseln* (**Hinweis:** Plastik-Aufwickelkörper für Drachenschnur, ca. 100 m isolierter Kupferlackdraht [0,25 mm], Holzgriff und Hörkapseln aus Telefonhörern [günstig im Internet] und zwei Bananenstecker zum Verbinden von Spule und Hörer zu einer Empfangseinheit. Der Draht kann per Hand oder mit einer einfachen Aufwickelmaschine [s. **Abb. 7**] zu einer Spule aufgewickelt werden.)



7 | Aufwickelmaschine

Vorführung wurden mit einem Video dokumentiert.

Ein Nachbau des Modellexperiments in der eigenen Schule ist jedoch mit Materialien aus der Physiksammlung relativ einfach und schnell gemacht. Hinweise dazu finden sich in **Kasten 1**.

Fazit

Das Modellexperiment zu einer physikalisch-technischen Anwendung im Alltag, die eine Lösung zur Überwindung von Hörbeeinträchtigungen bietet, hat sich bewährt und kann variabel auch zur Sensibilisierung im Bereich Inklusion eingesetzt werden.

Anmerkung

1) Medienzentrum der Region Hannover: *https://hannover.edupool.de/* [4.1.2023]. Hier können insgesamt drei Kisten mit unterschiedlichen Hör-Experimenten aus dem Projekt „Hör mal hin!“ für die Primarstufe, Sekundarstufe I und II von Lehrkräften ausgeliehen werden. **Inhalt der Kiste 2:** *Verstärker (inkl. Kabel), Induktionsschleife, 2 Hörspule (groß) mit Kabeln, 2 Spulen (800 Wdg.), 3 Kopfhörer mit Kabeln, Ohrstöpsel, Moodle-Box mit Netzgerät, 3 Stimmgabeln mit Resonanzkästen und Schlägeln, 2 Schalldruckpegelmessgeräte, Modellierknete, Schlafmaske, USB-Stick mit Hörprogrammen, Desinfektionsmitteln und Papiertücher, Handreichung für Lehrkräfte*. Das Material ist ausreichend für das vorgestellte Experiment und einige weitere Akustikexperimente.

Literatur

[1] „Hör mal hin!“-Projekthomepage: *https://www.idmp.uni-hannover.de/de/forschung/ag-physikdidaktik-prof-dr-g-friege/forschungsprojekte/hoer-mal-hin* [30.12.2022].

[2] DSB-refeRATgeber 1: IndukTive Höranlagen. – *https://www.schwerhoerigen-netz.de/fileadmin/user_upload/dsb/Dokumente/Information/Service/Ratgeber/refeRATgeber1_Induktive_Hoeranlagen.pdf* [30.1.2023].

Foto: Jochen Strehlau