

# Unterricht, der innerlich berührt –

der n-Prozess als didaktischer Weg, erläutert an einer Unterrichtseinheit  
„Von der Schütteltaschenlampe zu den elektromagnetischen Wellen“

D. Plappert

„Am Ende ihrer Schulzeit atmen die meisten Schüler auf und rufen den Fächern Mathe und Physik sogar hinterher: „Damit will ich nie mehr etwas zu tun haben.“ So unversöhnlich und beleidigt sei ihr Abschied von diesen Fächern, sagt *Andreas Schleicher*, der Erfinder und internationaler Koordinator der Pisa-Studien [1].

Physik und Chemie gehören weltweit zu den unbeliebtesten Fächern. Vom Unterricht in diesen Fächern bleibt oft, wie obiges Zitat zeigt, die schmerzvoll erlebte Erinnerung des Nichtkönnens, des Nichtverstehens. Diese wirkt wie eine Barriere für lebenslanges Lernen. Die Ursachen scheinen vielschichtig, wie etwa *Gottfried Merz* in seiner Studie „Naturwissenschaften, Mathematik und Technik – immer unbeliebter“ analysiert [2].

Aus der Arbeit der Freiburger Forschungsräume [3] ist, inspiriert durch *Martin Wagenschein* [4], eine Unterrichtsdidaktik erstanden [5], die selbst in der gymnasialen Kursstufe so eingesetzt werden kann, dass sich alle Schülerinnen und Schüler unabhängig von ihren formalen kognitiven Möglichkeiten angesprochen fühlen und „mitgenommen“ werden können. In einer ersten Phase wird versucht, den Schülerinnen und Schülern zunächst Raum zu geben, *innerlich berührt* zu werden, um ihr „episodisches Gedächtnis“ anzusprechen. In den dann folgenden Phasen werden die Erlebnisse und Beobachtungen *objektiv beschrieben*, *naturwissenschaftlich verstanden* und durch selbstständiges Nachfinden zunehmend tief *innerlich verwurzelt*. Dieser didaktische Weg grafisch dargestellt, ergibt ein n, deshalb der Name „n-Prozess“ (Abb. 4). An der Unterrichtseinheit „Von der Schüttellampe zu den elektromagnetischen Wellen“ soll dieser veranschaulicht werden.

Die darauf aufbauende didaktische und mathematische Konzeption, im weiteren Freiburger Forschungsraumdidaktik genannt, hat Eingang in die Lehrerbildung der Freiburger Staatlichen Seminare für Didaktik und Lehrerbildung gefunden. Ferner findet sie sich im Bildungsplan 2016 in Baden-Württemberg (didaktische Hinweise zum



Abb. 1: Traditioneller Unterricht wird oft von der wissenschaftlichen Struktur her gedacht

neuen Fächerverbund BNT [6]) und in der MNU-Initiative, einem dem europäischen Referenzrahmen für Sprachen entsprechenden europäischen Referenzrahmen für naturwissenschaftliche Bildung, wieder [7].

Mit einem weiteren Beitrag ([8], in diesem Heft S. 46) zur Unterrichtseinheit „Energiebilanzen in der Mechanik Kl. 10“ wird die Freiburger Forschungsraumdidaktik veranschaulicht.

## Zur Ausgangssituation

Durch jeden naturwissenschaftlichen Unterricht werden zwei *grundverschiedene Welten* miteinander in Kontakt gebracht: die Welt der „Naturwissenschaft“ und die Welt des „Lernenden“ (Abb. 1).

Die *Naturwissenschaft* auf der einen Seite ist ein von Menschen in langer Zeit, in vielen Entwicklungsschritten geschaffenes Kulturgut. Sie unterliegt einem stetigen Wandel und ist ein spezieller Zugang zur Welt. Für ein tieferes Weltverstehen sind weitere, zusätzliche Zugänge erforderlich.

Der *Lernende* auf der anderen Seite erlebt vom Beginn seines Lebens an die Wirksamkeit der Naturgesetze, die die Ausformung und das Wachstum seines Körpers beeinflussen. Die Kultur, die das Kind umgibt, kommt als formender Faktor hinzu. Schrittweise bilden sich der Leib, das Gehirn, die Bewegungsfähigkeiten, die Spra-

che, die kognitiven Strukturen und vieles mehr.

Traditionell wurde im gymnasialen Unterricht oft von der „*Struktur der Wissenschaft*“ her gedacht und unterrichtet, also von den wissenschaftlichen Konzepten, Begriffen und Inhalte her (Abb. 1) – eher inputorientiert.

Durch den mit dem kompetenzorientierten Unterrichten verbundenen Paradigmenwechsel wird immer stärker *vom Lernenden her auf die „Wissenschaft“ geschaut* (Abb. 2). Begriffe wie „altersgerecht“ und „entwicklungsgemäß“ bekommen eine zentrale Bedeutung.

Mit höheren Klassenstufen, besonders in der gymnasialen Kursstufe, können beide Blickrichtungen, also die „vom Lernenden her“ und die „von der Wissenschaft her“, zunehmend in Konflikt miteinander geraten: Die von den Bildungsplänen geforderten wissenschaftsorientierten Kompetenzen können von einer Vielzahl der Lernenden nur teilweise oder gar nicht erworben werden, nicht nur wegen ihrer unterschiedlichen „Begabungen“, sondern auch wegen ihrer sehr unterschiedlich verfügbaren kognitiven Möglichkeiten. Dieser Konflikt wird dadurch verstärkt, dass die Lernenden wegen der früheren Einschulung und der kürzeren Schulzeit um bis zu zwei Jahre jünger sind als früher. Dazu kommt, dass die

formal-kognitiven Kompetenzen den Lernenden heute anscheinend erst in einem späteren Lebensalter zur Verfügung stehen [9]. Viele Schülerinnen und Schüler scheinen bis weit in die Kursstufe hinein „formal blind“ zu sein (siehe Tab. 1).

In einem Unterricht, der dies nicht berücksichtigt, der sich z. B. in der gymnasialen Kursstufe oder oft schon in tieferen Klassenstufen ausschließlich auf der formalen Stufe bewegt, fühlen sich viele Lernenden intellektuell überfordert und verabschieden sich innerlich endgültig vom naturwissenschaftlichen Unterricht. Es kann sich dann die im einführenden Zitat beschriebene Aversion bilden, die auch dann noch anhält, wenn im Erwachsenenalter das persönliche formale Verständnis vielleicht unbemerkt gereift ist, sodass jetzt das Formale eigentlich durchdrungen werden könnte.

Der springende Punkt des *n*-Prozesses ist nun, dass die Lernenden, auch wenn sie noch nicht über die notwendigen formal-kognitiven Fähigkeiten verfügen, durch die ersten Stufen des *n*-Prozesses so viel Anregendes und Berührendes finden, dass sie im Boot bleiben, auch wenn sie ihre Defizite im Verstehen der in der gymnasialen Kursstufe verstärkt abstrakteren Begriffsbildungen und mathematischen Beschreibungen erleben.

**1 Der n-Prozess als didaktischer Weg**

Dieser allgemeine didaktische Weg soll hier zunächst am Beispiel der Funktionsweise eines Elektromotors erläutert werden.

**1.1 Innerliches Berührtwerden**

In einem ersten, einführendem Schritt, auch in einer gymnasialen Kursstufe, bekommen die Schülerinnen und Schüler die Möglichkeit, sich unvoreingenommen, in ihrer persönlichen Alltagssprache, mit dem neu zu behandelten Gegenstand in Verbindung zu setzen, z. B. mit der Frage nach der Funktionsweise des Elektromotors einer Bohrmaschine. Dazu erhalten sie z. B. eine aufgeschraubte Bohrmaschine und zerlegbare handelsübliche Elektromotoren. Durch das persönliche Suchen und Verbalisieren des Verstehens, das oft, wie *Wagenschein* schreibt, einen „stammeln- den“ Eindruck macht, können die Schülerinnen und Schüler das neu Erlebte mit ihrem episodischen Gedächtnis verbinden. Für den naturwissenschaftlich bzw. technisch gebildeten Lehrenden ist es oft erstaunlich, welchen „Zauber“ die unvoreingenommenen Lernenden in diesen Alltagsgegenständen finden können: „Wie kann es denn sein, dass ein elektrischer



Abb. 2: Kompetenzorientierter Unterricht muss von den Lernenden her gedacht werden.

Strom, der den Anker des Motors überhaupt nicht berührt, sich zu drehen beginnt?“ Dieser Zauber ist ein Grundmotiv, das *Albert Einstein* mit folgenden Worten beschreibt [10]: „Das Schönste, was wir erleben können, ist das Geheimnisvolle. Es ist das Grundgefühl, das an der Wiege von wahrer Wissenschaft und Kunst steht. Wer es nicht kennt und sich nicht mehr wundern, nicht mehr staunen kann, der ist sozusagen tot und sein Auge ist erloschen.“ *Ernst Peter Fischer* beschreibt [11], warum wir uns auch als Erwachsene die Neugier und das Staunen bewahren müssen, um dieses „Gefühl für das Geheimnisvolle“ zu bewahren, um in einem lebendigen Kontakt mit den tieferen naturwissenschaftlichen Fragen zu kommen. Kurz könnte man auch sagen: In dieser ersten Phase des *n*-Prozesses kommt das „innere Kind“ des Lernenden in Berührung mit dem im Unterricht Behandelten. Das ist zentral für die kognitive Entwicklung jedes Menschen: „Das entscheidende Merkmal all dieser aus eigenen Erfahrungen abgeleiteten oder von wichtigen Bezugspersonen übernommenen »Metakognitionen« ist ihre untrennbare Verknüpfung mit emotionalen Strukturen. Es handelt sich hier also niemals um rein kognitive Erkenntnisse, sondern um et-

was, an dem das Herz der betreffenden Person hängt, das ihr emotionales Befinden und deshalb auch die von den emotionalen Zentren gesteuerten körperlichen Reaktionen, ihr Körperempfinden bestimmt.“ [12].

**1.2 Sachliches Beschreiben**

In einem zweiten Schritt wird das Beobachtete objektiv, in einer sachlich korrekten Alltagssprache, gegebenenfalls ergänzt durch einzelne Fachbegriffe, beschrieben. So können etwa die einzelnen Bestandteile des Elektromotors mithilfe vorgegebener Schnittbilder von den Lernenden erkannt und benannt werden.

**1.3 Naturwissenschaftliches Verstehen**

In einem dritten Schritt werden dann die zum Verständnis der Fragestellung notwendigen physikalischen Inhalte, die geeigneten physikalischen Begriffe und Konzepte von den Lernenden erarbeitet, bis z. B. die Funktionsweise eines Elektromotors physikalisch verstanden werden kann.

**1.4 Von der Oberflächenstruktur des Wissens zum persönlichen Verstehen**

Damit das durch die beschriebenen Unterrichtsschritte Erworbene (Abb. 3) [13] tiefer

Klassenstufen	8 Gym	10 Gym	12 Gym
konkret-operational	65 %	65 %	46 %
im Übergang	27 %	35 %	47 %
formal-operational	8 %	0 %	7 %

Tab. 1: Selbst in der Kursstufe sind viele Schülerinnen und Schüler noch „formal blind“, nach [2]

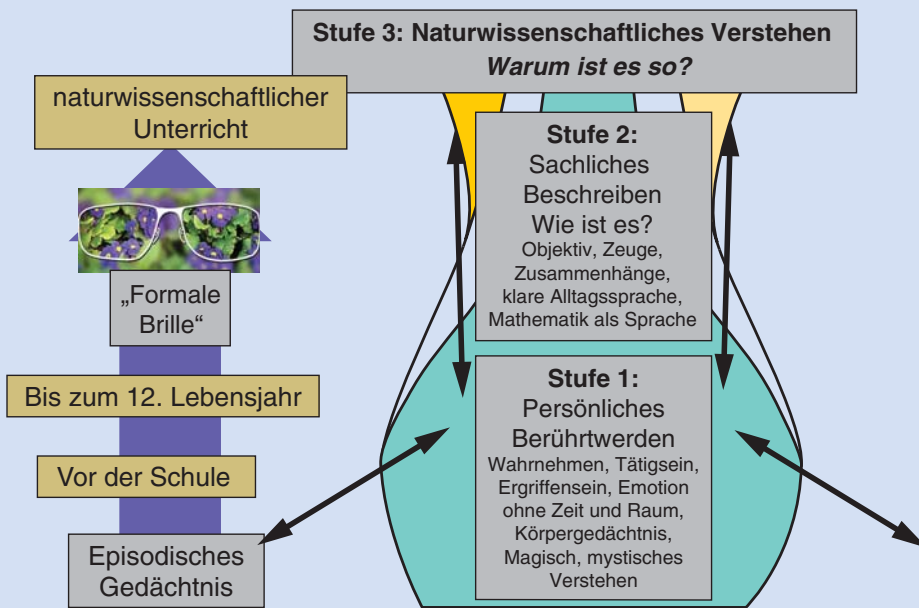


Abb. 3: Die ersten drei Unterrichtsstufen

dig lösen können, indem sie immer wieder auf die dritte „Verständnisstufe“ zurückgehen. Durch dieses Zurückgehen und schrittweise „Neuerfinden des Elektromotors“ entstehen oft erst die eigentlichen, persönlichen, tieferen Verständnisfragen, die dann, wenn es am Ende gelingt, den „selbst erfundenen und selbst gebauten“ Motor zum Drehen zu bringen, zu einem tiefen persönlichen Verständnis und gleichzeitig zu einer tiefen Befriedigung führen. Die letzten Stufen des *n*-Prozesses können auch als Stufen des „Embodiments“ bzw. der „Verkörperung des Wissens“ aufgefasst werden (Kasten 1).

**Bemerkungen:** Die hier beschriebenen Stufen sollen anregen, die eigene Unterrichtspraxis zu reflektieren und den Blick eventuell zu erweitern. Es ist nicht an ein schematisches Ausführen gedacht, sondern vielmehr an ein – in der jeweiligen pädagogischen Situation – eher künstlerisch-intuitives Komponieren passender Elemente.

**2 Die Funktionsweise einer Schüttellampe**

In der nun beschriebenen Unterrichtseinheit wird zunächst die Funktionsweise einer Schütteltaschenlampe mithilfe des *n*-Prozesses erarbeitet. Dabei können die Lernenden alle für einen elektromagnetischen Schwingkreis notwendigen Bauteile und physikalischen Konzepte kennenlernen. In einem weiterführenden Unterricht kann dann zum physikalischen Verständnis von elektromagnetischen Wellen geführt werden.

**2.1 Stufe: Persönliches Verbinden – der Aufbau der Schüttellampe**

Die Schülerinnen und Schüler arbeiten in Dreiertteams. Jedes Team erhält eine durchsichtige, aufschraubbare Schüttellampe [16] und die folgenden Arbeitsaufträge:

- Lies die Gebrauchsanleitung der Taschenlampe durch.
- Nimm die Lampe in Betrieb und beobachte, was im Inneren der Lampe geschieht.
- Schraube die Taschenlampe auseinander. Bitte genau auf die Reihenfolge achten, damit sie am Ende wieder ordnungsgemäß zusammengesetzt werden kann.
- Beschreibe kurz deine erste Idee, wie die Taschenlampe funktionieren könnte.

**Bemerkung:** Die Lernenden sind sehr fasziniert davon, wie es sein kann, dass „Schüttelenergie“ eine LED zu leuchten bringt.

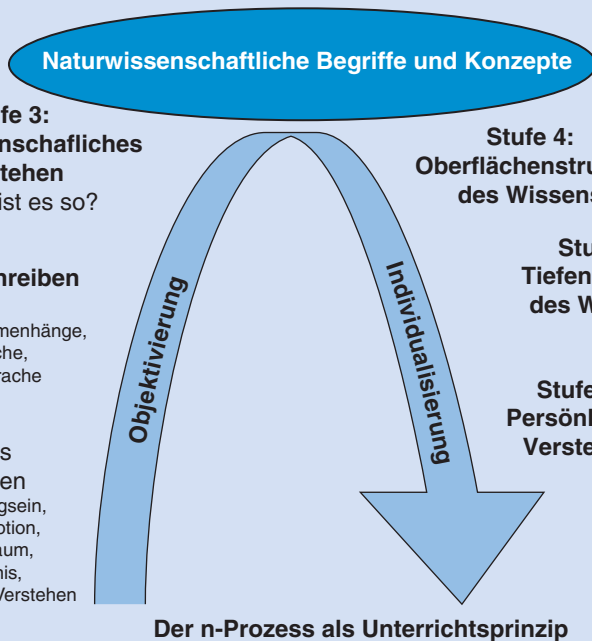


Abb. 4: Die sechs Stufen des *n*-Prozesses

**Embodiment** (deutsch: Verkörperung, Inkarnation oder Verleiblichung) ist eine These aus der neueren Kognitionswissenschaft, nach der Bewusstsein einen Körper benötigt, also eine physikalische Interaktion voraussetzt. Diese Auffassung ist der klassischen Interpretation des Bewusstseins (insbesondere im Sinne des Kognitivismus und computationaler Theorien) diametral entgegengesetzt und wird als grundlegende Wende in der Kognitionswissenschaft angesehen.

Wikipedia, die freie Enzyklopädie. Artikel „Embodiment“. Lizenziert unter cc-by-sa-3.0.

**Kasten 1: Embodiment**

im persönlichen Gedächtnis des Lernenden verankert werden kann, schlägt Hattie [14] die folgenden drei Schritte vor, die, mit den ersten Stufen verbunden, den „*n*-Prozess“ ergeben (Abb. 4). Auch diese weiteren Stufen sollen am Beispiel des Elektromotors erläutert werden [15]: Nach der physikalischen

Erklärung des Elektromotors (auf der dritten Stufe) werden die Lernenden aufgefordert, ohne genaue Anleitung aus vorgegebenen Materialien (u. a. Kupferdraht, Magnet) einen Motor zu bauen. Bei diesem „Nacherfinden“ entstehen Probleme, die die Schülerinnen und Schüler selbststän-



## 2.2 Stufe: Sachliches Beschreiben

- Betrachte den Aufbau der Lampe und versuche, die wesentlichen Bauteile der Lampe mithilfe der Abb. 5 zu identifizieren.
- Beschreibe nun deine Idee zur Funktionsweise der Lampe unter Benutzung der genannten Bauteile.
- Welche Fragen hast du zur Funktionsweise? Wie könnten diese durch weitere Experimente gelöst werden?
- Beschreibe, wie in einem Experiment eine Schüttellampe nachgebaut werden könnte.

## 2.3 Einzelne Schritte zum physikalischen Verständnis [17]

Diese sollen hier nur angedeutet werden.

### Der Kondensator als Energiespeicher Material

- 1 Lampe mit Fassung (3,5 V/0,2 A)
- 1 Flachbatterie
- 1 Kondensator 0,2 F
- 6 Krokodilkabel
- 1 Schalter
- 1 Multimeter

- Schliesse Kondensator, Lampe, Schalter und Batterie in Reihe. Beachte hierbei die Polung. Lade den Kondensator. Warum erlischt nach einiger Zeit die Lampe?
- Entferne bei geladenem Kondensator die Batterie und verbinde die Kabel so, dass sich der Kondensator über die Lampe „entlädt“.
- Wiederhole diese Versuche bei unterschiedlich langer Ladezeit.
- Lies den Text im Infokasten.
- Beschreibe anschaulich, wie ein Kondensator funktioniert, beim Laden und Entladen. Verwende dabei die Begriffe Energie und elektrische Ladung.
- Erfinde eine „Wasseranalogie“.

### Bemerkung zur Wasseranalogie

Zwei Wasserbehälter entsprechen den „Elektroden“ (Abb. 6). Beim Laden wird Wasser aus dem einen Behälter in den anderen gepumpt. Die „Höhendifferenz“ („Druckdifferenz“) zeigt den Ladezustand an, d. h. auch, wie viel Energie gespeichert ist. Beim Entladen treibt die Druckdifferenz den Wasserstrom an, die gespeicherte Energie kann genutzt werden.

### Elektromagnetische Induktion

#### Material

- 2 Spulen mit 500 und 1000 Windungen
- weiße LED
- 2 Krokodilkabel
- Magnete [20]
- 1 Plastikrohr [21]

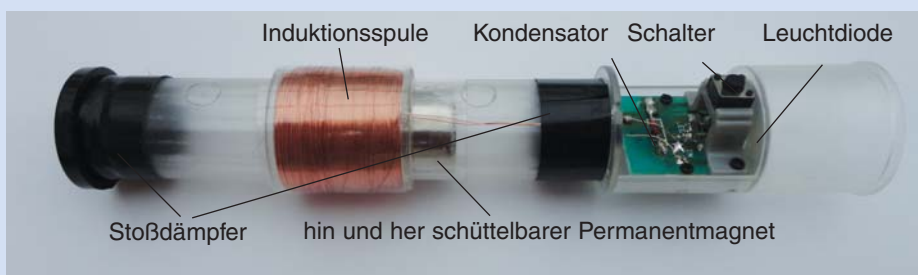


Abb. 5: Die Bezeichnung der wesentlichen Bauteile einer Schüttellampe

Ein Kondensator (von lateinisch condensare „verdichten“) ist ein passives elektrisches Bauelement mit der Fähigkeit, elektrische Ladung und damit zusammenhängend Energie zu speichern. Die Fähigkeit, Ladung zu speichern, wird als elektrische Kapazität  $C$  bezeichnet und in der Einheit Farad (F) gemessen. Die technische Ausführung von Kondensatoren besteht aus zwei elektrisch leitenden Flächen in meist geringem Abstand, den Elektroden, die elektrisch nicht miteinander verbunden sind. Dazwischen befindet sich der isolierende Bereich, ein Dielektrikum. Bei den meisten Bauformen werden die Elektroden und das Dielektrikum aufgerollt oder als Stapel angeordnet.

Kondensatoren werden in vielen elektrischen Anlagen und in nahezu jedem elektronischen Gerät eingesetzt. Sie realisieren beispielsweise elektrische Energiespeicher, Blindwiderstände oder frequenzabhängige Widerstände; spezielle Bauformen werden als Sensor verwendet.

### Kasten 2: Information zum Kondensator

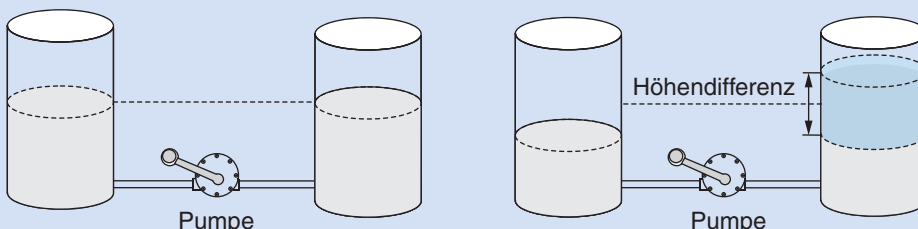


Abb. 6: Wasseranalogie eines Kondensators



Abb. 7: Kursstufenschülerinnen freuen sich, dass sie mit ihrer Energie die LED leuchten lassen können.

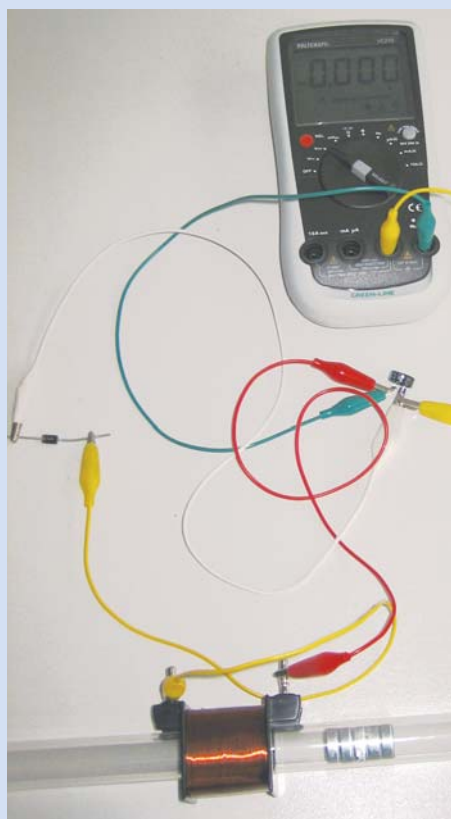


Abb. 8: Versuchsaufbau mit vorgegebenen Materialien

fahr. Die Magnete sind zerbrechlich und können beim Herunterfallen zerstört werden.

- Packe die Magnete aus.
- Schließe die LED an der Spule an und schiebe die Plastikröhre in die Spule.
- Schüttele den Magneten in der Röhre – halte dabei die offenen Enden der Röhre mit den Fingern zu!
- Forscherfrage: Unter welchen Bedingungen leuchtet die LED möglichst hell, d. h. in der physikalischen Fachsprache ausgedrückt: Unter welchen Bedingungen wird eine möglichst hohe elektrische Spannung in der Spule induziert? Formuliere einen Ergebnissatz!
- Zusatz: Baue die LED umgekehrt gepolt ein – was ändert sich?

### 2.4 Von der Oberflächenstruktur des Wissens zum persönlichen Verstehen

Nachdem nun die zum Verständnis der Funktionsweise notwendigen Grundlagen geschaffen sind, können die Lernenden aufgefordert werden, mithilfe vorgegebener Materialien eine eigene Schüttellampe zu bauen. Je nach Intention können hier vorgefertigte Spulen oder nur Draht und Spulenkörper angeboten werden [22]. Ein zentrales Problem beim Nacherfinden ist, dass sich die Richtung des elektrischen Stroms je nach Bewegungsrichtung ändert. Damit der Kondensator trotzdem durch das Schütteln geladen wird, muss

- Bitte folgende Sicherheitsinformationen beachten: Die Magnete sind extrem stark, beim Auseinanderziehen können sie zusammenschnappen und die Haut einklemmen – Verletzungsge-

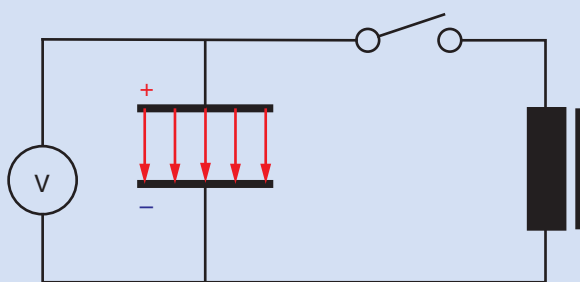
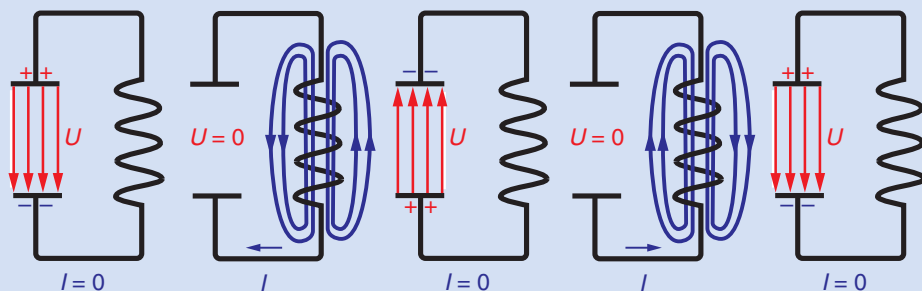


Abb. 9: Geladener Kondensator und Spule mit Eisenkern

## Elektromagnetischer Schwingkreis



Je kleiner die „Kapazität“ des Kondensators bzw. die „Induktivität“ der Spule sind, desto öfters schwingt der Schwingkreis in der Sekunde, desto höher ist die Frequenz  $f$  der Schwingung.

Abb. 10: Zum physikalischen Verständnis des elektromagnetischen Schwingkreises

eine Art „Gleichrichtung“ erfolgen. Diese kann entweder durch eine Diode, einer Diodenschaltung oder einen Gleichrichter als Bauteil erfolgen. Sinnvoll ist es, dass die Lernenden beim Experimentieren die elektrische Spannung des Kondensators mithilfe eines Voltmeters als „Anzeige des Ladungszustandes“ messen.

**Bemerkungen:** Im Zusammenhang der hier beschriebenen Einheit können sinnvollerweise die Begriffe elektrisches und magnetisches Feld, Feldstärken  $E$  und  $B$ , Energiespeicherung in den Feldern, Induktion und Selbstinduktion, ... qualitativ und quantitativ, sowie vielfältige Anwendungen im Alltag behandelt werden. Kennzeichnend für diesen Unterrichtsgang ist, dass die physikalischen Konzepte bei den Lernenden in Selbsterfahrenes eingebettet werden und, falls das den Lernenden wegen fehlender formal-kognitiver Möglichkeiten nicht gelingt, sie durch eigenes Tun die Funktionsweise der Schüttellampe und damit die Phänomene der Induktion und Energiespeicherung im Kondensator erleben konnten.

### 3 „Von der Schüttellampe zu den elektromagnetischen Wellen“

Nachdem nun die physikalischen Grundlagen zum Verständnis eines elektromagnetischen Schwingkreises bekannt sind, kann die folgende Fragestellung zum Schwingkreis führen:

- Gedankenexperiment: In einem Demonstrationsversuch bzw. Schülerexperiment mit einem Messwerterfassungssystem soll ein geladener Kondensator, durch einen Schalter getrennt, an eine Spule mit Eisenkern angeschlossen werden. Am Kondensator ist ein Voltmeter zur Anzeige des Ladungszustandes des Kondensators angeschlossen.
- Überlege zunächst allein, dann im Team, was passiert, wenn der Schalter geschlossen wird.

Nachdem das Experiment durchgeführt wurde:

- Vergleiche deine Überlegungen mit dem realen Verlauf des Experiments.

**Bemerkungen:** Aufgrund der Energiebetrachtungen, die die Lernenden in der zuvor beschriebenen Unterrichtseinheit machen konnten, liegt es nahe, dass die zunächst im Kondensator gespeicherte Energie nicht einfach verschwinden kann, sondern vermutlich im magnetischen Feld der Spule gespeichert wird. Diese treibt dann,

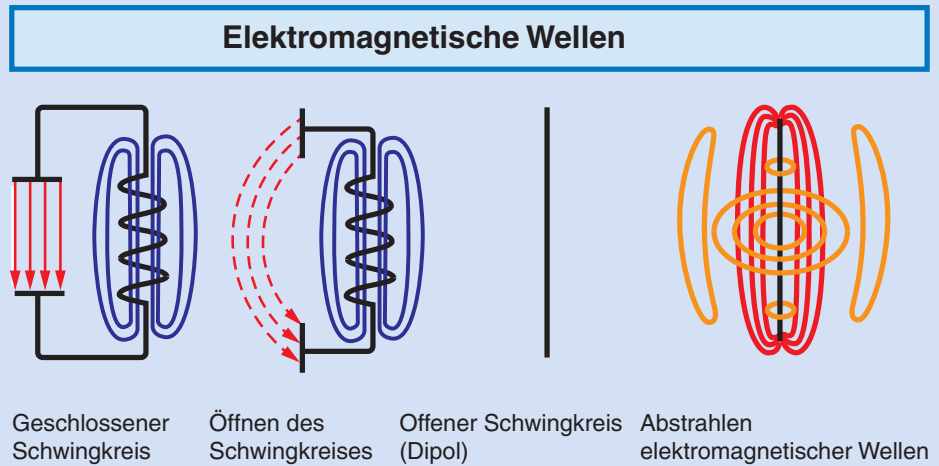
wenn der Kondensator entladen ist, den elektrischen Strom weiterhin an, sodass sich der Kondensator jetzt mit umgekehrtem Vorzeichen wieder zu laden beginnt. Mithilfe eines Demonstrationsversuchs bzw. von Schülerexperimenten mit Messwerterfassungssystemen können die Voraussagen experimentell überprüft werden. Die für das Verständnis eines elektromagnetischen Schwingkreises relevanten physikalischen Begriffe können darauf aufbauend dann im weiteren Unterricht erarbeitet werden. Die in Abb. 10 und 11 dargestellten Folien können dann zu einem Grundverständnis der elektromagnetischen Wellen führen, die je nach Kontext eine entsprechende Vertiefung ermöglichen.

#### 4 Abschließende Bemerkungen

Die hier beschriebene Unterrichtseinheit wurde von Lehrenden an verschiedenen Schularten durchgeführt, auch an schulartübergreifenden Gemeinschaftsschulen. Immer wieder war bemerkenswert, dass durch die konsequente Einbeziehung der ersten Stufe des *innerlichen Berührtwerdens* viele der Lernenden am Ball blieben, auch wenn es für sie mache Durststecken des formalen Lernens zu überwinden galt. Der nebenstehende Eintrag aus einem Lerntagebuch sei stellvertretend zitiert. Interessant ist auch, wie die danach behandelten Phänomene bei einer Gasentladungsröhre den Lernenden innerlich berühren konnten. Dies ist ein Hinweis darauf, dass gerade ästhetisch ansprechende Phänomene sich als erste Stufe eines n-Prozesses besonders eignen. ■

#### Literatur

- [1] <http://www.adz-netzwerk.de/>  
 [2] Merzyn, Gottfried (2008). *Naturwissenschaften, Mathematik, Technik – immer unbeliebter?* Schneider Verlag Hohengehren. Baltmannsweiler.  
 [3] <http://www.freiburg.de/pb/,Lde/627238.html>  
 [4] Wagenschein, Martin (1995). *Die pädagogische Dimension der Physik*. Hahner Verlag. Aachen  
 [5] Plappert, Dieter (2014). *Naturkundliche und naturwissenschaftliche Bildung*. Heft NW 4. Landesinstitut für Schulentwicklung (LS). Stuttgart  
 [6] [http://www.bildungsplaene-bw.de/,Lde/Startseite/de\\_a/a\\_gym\\_BNT\\_lg](http://www.bildungsplaene-bw.de/,Lde/Startseite/de_a/a_gym_BNT_lg)  
 [7] <http://www.mnu.de/blog/139-mint-go-europe-mindeststandards-in-den-naturwissenschaften-und-in-mathematik>  
 [8] Plappert, Dieter (2016). *Energiebilanzen in der Mechanik – konzipiert nach der Freiburger Forschungsraum-Didaktik*. PhiS 65/6, S. 46–49



■ Ein Dipol kann als Quelle elektromagnetischer Wellen dienen.

**Abb. 11:** Der „aufgeklappte“ Schwingkreis „entlässt“ elektromagnetische Wellen in den Raum

Heute haben wir den Abschlusstest geschrieben. Obschon ich gestern nicht anwesend war, fühlte ich mich gut vorbereitet und bereit. Ich hatte insgesamt, während des Tests, ein sehr gutes Gefühl. Besonders nett war, dass wir vor dem Test noch zwei Versuche durchführten. Das lockerte die etwas verkrampfte Stimmung deutlich auf. Nach dem Test beschäftigten wir uns erneut mit dem Versuch. Das hat mir großen Spaß gemacht und das Feuer des Entdeckers loderte leuchtend hell in mir. Zwar konnten wir nicht aufklären, warum und wieso sich dieses Lichterspiel in der Vakuumröhre abspielte, aber es war in jedem Fall schön anzusehen und darauf kommt es bei einem Versuch doch auch an! Wirklich faszinierend war für mich die Entdeckung, dass man Strom mittels eines Magneten formen bzw. bewegen kann. Ich kann mir sehr gut vorstellen, wie sich die Forscher, welche dieses Phänomen entdeckten, über ihre Entdeckung freuten. Wie viel technische Entwicklungen sich wohl auf diese Entdeckung berufen können? Mein Fazit des Tages: Gutes Gefühl während des Tests gehabt und schönen Versuch durchgeführt und Entdeckerlust in mir erweckt. So soll das sein!

**Kasten 3:** Aus dem Lerntagebuch eines Schülers

- [9] Hattie, John (2014). *Lernen sichtbar machen für Lehrpersonen*. Schneider Verlag. Hohengehren  
 [10] Einstein, Albert (2001). *Wie ich die Welt sehe*. Aus *Mein Weltbild*, 27. Aufl., Berlin. S. 12  
 [11] Fischer, Ernst Peter (2014). *Die Verzauberung der Welt – eine andere Geschichte der Naturwissenschaft*. Siedler Verlag. München.  
 [12] Hüther, Gerald (2015). *Etwas mehr Hirn bitte*. Vandenhoeck & Ruprecht. Göttingen.  
 [13] Die Grafik deutet auch an, dass die verschiedenen Stufen erst in verschiedenen Stufen der Biografie des Lernenden eine Bedeutung gewinnen. Dies ist in NW 4 Zitat 5 ausführlicher dargestellt.  
 [14] Hattie, John: a.a.O.  
 [15] nach einer Idee von Hannah Rößler, Seminar für Didaktik und Lehrerbildung (Gymnasien) Freiburg  
 [16] eine mögliche Bezugsquelle für eine aufschraubbare Schütteltaschenlampe: [http://www.amazon.de/dp/B001ALEYTQ/?tag=hydraod-21&hvadid=11136415738&ref=asc\\_df\\_B001ALEYTQ](http://www.amazon.de/dp/B001ALEYTQ/?tag=hydraod-21&hvadid=11136415738&ref=asc_df_B001ALEYTQ)

- [17] eine physikalisch anspruchsvollere Unterrichtseinheit zur Erforschung der Schütteltaschenlampe samt Materialliste ist zu finden unter <http://primas.ph-freiburg.de/materialien/nationale-materialsammlung/physik/206-schuettellampe>  
 [18] Diese Versuche können quantitativ vertieft werden – siehe [17]  
 [19] Behälter, Wassergenerator erhältlich z. B. [https://www.conatex.com/catalog/physik/elektrik/analogie\\_serien\\_energieumwandlung](https://www.conatex.com/catalog/physik/elektrik/analogie_serien_energieumwandlung)  
 [20] <http://de.opitec.com/opitec-web/c/zz/cID/c3I6MjA4MzE4/searchResult.jsf>  
 [21] <http://de.opitec.com/opitec-web/c/zz/cID/c3I6ODg2MDM3/searchResult.jsf>  
 [22] siehe auch [17]

#### Anschrift des Verfassers

Prof. Dieter Plappert, Staatliches Seminar für Didaktik und Lehrerbildung Freiburg, (Abt. Gymnasien), Oltmannsstraße 22, 79100 Freiburg;  
 E-Mail: [dieter@plappert-freiburg.de](mailto:dieter@plappert-freiburg.de)