

**MINT-Unterricht der innerlich berührt<sup>1</sup> – der n-Prozess als didaktischer Weg  
Erläutert am Beispiel „Elektrizitätslehre“<sup>2</sup>  
Prof. Dieter Plappert<sup>3</sup> (Oktober 2018)**

„Als ich Anfang dieses Jahres in den Physikunterricht kam, dachte ich mir, dass es langweilig ist, weil meine Schwester nicht so gut war und deshalb hatte auch ich Angst nicht gut zu sein. Aber im Laufe der Zeit hab ich angefangen Physik zu mögen, und es ist auch zu einem meiner Lieblingsfächer geworden.“  
Schüler Kl. 7

„Besonders das Rechnen hat mir total viel Spaß gemacht. Das Rechnen war nicht allzu schwer, hat einen aber dennoch gefordert. Außerdem war das Rechnen auch mal eine erfrischende Abwechslung, da wir dies nicht so oft machen!“  
Schüler Kl. 9

Es geht also! Viele Erwachsene fühlen sich eher durch die Worte von Andreas Schleicher, dem Erfinder und internationalem Koordinator der Pisa-Studien ausgesprochen:<sup>4</sup>

„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.“

Physik und Chemie gehören weltweit zu den unbeliebtesten Fächern. Vom Unterricht in diesen Fächern bleibt oft, wie das dritte 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 Merzyn in seiner Studie „Naturwissenschaften, Mathematik und Technik – immer unbeliebter“<sup>5</sup> analysiert. Aus einer Initiative des Amtes für Schule und Bildung der Stadt Freiburg mit dem Ziel, die Bildung im Bereich der Naturwissenschaft in Freiburger Kindertagesstätten, Schulen aller Stufen und außerschulischen Lernorten zu verbessern, entstand 2011 das Projekt „Freiburger Forschungsräume“. Von Anfang an waren in der Praxis stehende Erziehende, Lehrende und Mitarbeit so eingebunden, dass ihre Erfahrung in der täglichen Praxis mit Kindern und Jugendlichen im Sinne einer gelebten Praxisforschung in alle Entwicklungsprozesse einfließen konnte. Von Anfang an wurden die Übergänge zwischen den einzelnen Bildungseinrichtungen besonders berücksichtigt. Auf diese Weise trat die Frage nach einer Bildung im Bereich der Naturwissenschaft, die die ganze Biografie der Lernenden, von der frühen Kindheit bis ins Erwachsenenalter berücksichtigt, immer mehr in den Fokus. Inspiriert durch Martin Wagenschein<sup>6</sup>, ist *Freiburger Forschungsraum Didaktik* erstanden<sup>7</sup>, die auch in der gymnasialen Kursstufe so eingesetzt werden kann, dass sich alle Kinder und Jugendlichen unabhängig von ihren formalen kognitiven Möglichkeiten angesprochen fühlen und „mitgenommen“ werden können. In einer ersten Phase wird versucht, den Schülerinnen und Schüler 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 Nacherfinden* zunehmend *tief innerlich verwurzelt*. In der Kita geht es in erster Linie um die erste Stufe, in der Grundschule zusätzlich auch um die zweite Stufe und in den weiterführenden Schulen zunehmend auch um die dritte Stufe. Die Grundideen der Freiburger Forschungsraum Didaktik sind inzwischen eingeflossen in den Bildungsplan 2016 des Landes Baden-Württemberg und in die Initiative des Verbands zur Förderung des MINT-Unterrichts MNU zur Entwicklung eines Gemeinsamen Referenzrahmens Naturwissenschaften (GeRRN)<sup>8</sup>.

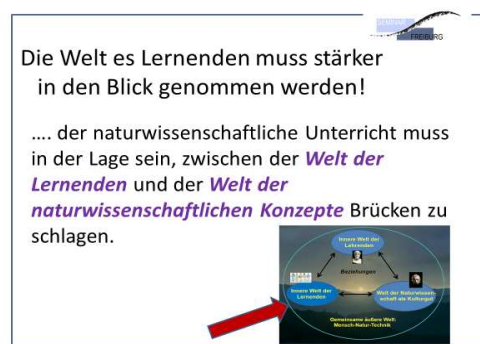


Abb. 1 Ein Fokus der Freiburger Forschungsräume

<sup>1</sup> Das Konzept ist im Unterricht der Fächer Biologie, Chemie und Physik erprobt und ist auf andere Fächer übertragbar.

<sup>2</sup> Andere Beispiele der Konkretisierung des Konzepts: „Von der Schütteltaschenlampe zu den Elektromagnetischen Wellen“ (<https://www.plappert-freiburg.de/images/PDF/unterrichtsbeispiele/unterricht-der-innerlich-beruehrt.pdf>) und „Energiebilanzen in der Mechanik“ ([https://www.plappert-freiburg.de/images/Energiespeicher.\\_pdN6\\_65\\_2016.pdf](https://www.plappert-freiburg.de/images/Energiespeicher._pdN6_65_2016.pdf))

<sup>3</sup> Bereichsleiter am Seminar für Didaktik und Lehrerbildung Freiburg i.R., Mitglied der Kerngruppe der Freiburger Forschungsräume

<sup>4</sup> <http://www.adz-netzwerk.de/>

<sup>5</sup> Gottfried Merzyn: „Naturwissenschaften, Mathematik, Technik – immer unbeliebter?“, Schneider Verlag Hohengehren, Baltmannsweiler, 2008

<sup>6</sup> Wagenschein, Martin: Die pädagogische Dimension der Physik, (Hahner Verlag) Aachen 1995

<sup>7</sup> Plappert, Dieter: Naturkundliche und naturwissenschaftliche Bildung, Heft NW 4, Landesinstitut für Schulentwicklung (LS), Stuttgart 2014, [www.plappert-freiburg.de/images/PDF/unterrichtsbeispiele/leitlinien-naturkundliche-und-naturw-bildung.pdf](http://www.plappert-freiburg.de/images/PDF/unterrichtsbeispiele/leitlinien-naturkundliche-und-naturw-bildung.pdf)

<sup>8</sup> [www.mnu.de/blog/410-gemeinsamer-referenzrahmen-fuer-naturwissenschaften-2-auflage](http://www.mnu.de/blog/410-gemeinsamer-referenzrahmen-fuer-naturwissenschaften-2-auflage)

## 1. Die Grundidee der Freiburger Forschungsraum Didaktik<sup>9</sup>

Die Freiburger Forschungsraum Didaktik ist im Unterricht der Fächer Biologie, Chemie und Physik erprobt. Sie soll im Folgenden kurz skizziert werden.<sup>10</sup>

### **Innerliches Berührtwerden<sup>11</sup>**

In einem ersten, einführenden 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. Durch das persönliche Suchen und Verbalisieren des Verstehens, das oft, wie Wagenschein schreibt, einen „stammelnden“ Eindruck macht, können die Lernenden das neu Erlebte mit ihrem episodischen Gedächtnis verbinden. Für den naturwissenschaftlich bzw. technisch gebildeten Lehrenden ist es oft erstaunlich, welchen „Zauber“ auch erwachsene Lernenden in den Naturphänomenen bzw. technischen Alltagsgegenständen entdecken: die Magie des eigenen Schattens, der uns immer verfolgt oder wie bei einer Schüttelta-schenlampe „aus Schütteln“ Licht wird.... Dieser Zauber ist ein Grundmotiv, das Albert Einstein<sup>12</sup> mit folgenden Worten beschreibt: „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<sup>13</sup> weist darauf hin, dass wir uns auch als Erwachsene dieses „Gefühl für das Geheimnisvolle“ bewahren sollten, um in einen lebendigen Kontakt mit den tieferen naturwissenschaftlichen Fragen zu kommen. Kurz könnte man auch sagen: in dieser ersten Phase kommt das „innere Kind“ des Lernenden in Berührung mit dem Behandelten. Das ist zentral auch 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 etwas, 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.“<sup>14</sup> Dass dies auch bei der Entwicklung der naturwissenschaftlichen Begrifflichkeiten so zu sein scheint, darauf weist Wolfgang Pauli, einer der bedeutendsten Physiker des 20. Jahrhunderts der u. a. mit C. G. Jung in intensivem Kontakt stand, zusammen mit den folgenden Worten hin<sup>15</sup>: „Die moderne Psychologie hat betreffend die Erkenntnissituation den Nachweis erbracht, dass jedes Verstehen ein langwieriger Prozess ist, der lange vor der rationalen Formulierbarkeit des Bewusstseinsinhaltes durch Prozesse im Unbewussten eingeleitet wird: auf der vorbewussten Stufe der Erkenntnis sind an Stelle von klaren Begriffen *Bilder* mit starkem emotionalem Gehalt vorhanden, die nicht gedacht, sondern gleichsam malend geschaut werden.“ Einige Themen, die sich im Physikunterricht eignen, die Lernenden innerlich zu berühren, sind im Internet<sup>16</sup> zusammengestellt.

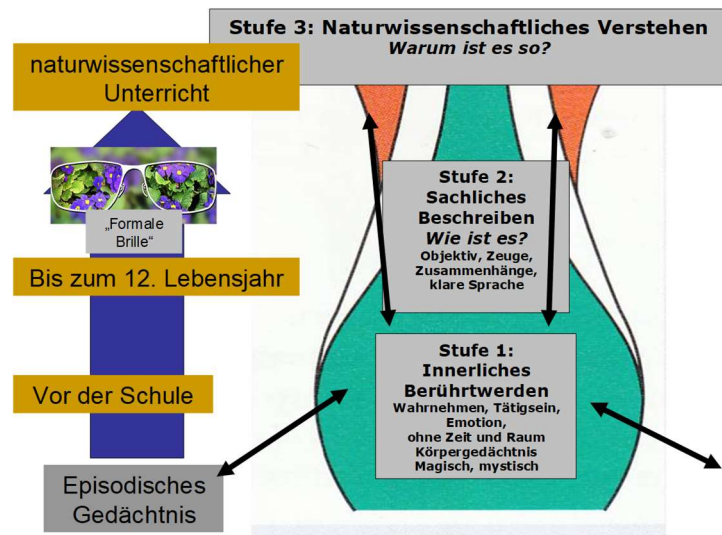


Abb. 2 Die Freiburger Forschungsraum Didaktik grafisch dargestellt

9 Lernen stärken: Lernen und Lehren der Naturwissenschaften verändern: Elektrizitätslehre auf der Grundlage des „Gemeinsamen Referenzrahmens für Naturwissenschaften“ Publikation vorgesehen im MNU Journal 2018

10 Ausführlicher unter [www.plappert-freiburg.de/images/PDF/unterrichtsbeispiele/unterricht-der-innerlich-beruehrt.pdf](http://www.plappert-freiburg.de/images/PDF/unterrichtsbeispiele/unterricht-der-innerlich-beruehrt.pdf)

11 Vor der Schulzeit werden die Erscheinungen aus Natur und Technik nur auf dieser Ebene besprochen - vergl. Niveaustufe A1 im GeRRN

12 Albert Einstein: Wie ich die Welt sehe. Aus: Mein Weltbild, 27. Aufl., Berlin 2001, S. 12

13 Ernst Peter Fischer: Die Verzauberung der Welt – eine andere Geschichte der Naturwissenschaft; Siedler Verlag München, 2014

14 Gerald Hüther: Etwas mehr Hirn bitte, Vandenhoeck & Ruprecht, Göttingen, 2015

15 Wolfgang Pauli: „Theorie und Experiment“ Zürich 1952 enthalten in W. Pauli: Aufsätze und Vorträge über Physik und Erkenntnistheorie Vieweg Braunschweig 1961

16 <http://physik.seminar-fr.de/physikunterricht-der-innerlich-beruehrt/>

## Sachliches Beschreiben<sup>17</sup>

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

## Naturwissenschaftliches Verstehen<sup>18</sup>

Erst in diesem dritten Schritt kommen dann die zum Verständnis der Fragestellung notwendigen naturwissenschaftlichen Inhalte, die geeigneten naturwissenschaftlichen Begriffe und Konzepte schrittweise hinzu. Die Erscheinungen in Natur und Technik werden im Laufe der Schulzeit zusätzlich mit immer größerer Abstraktheit naturwissenschaftlich beschrieben, so dass Lernende mit entsprechendem formal kognitivem Vermögen immer tiefer in die Naturwissenschaft eindringen können.

## Von der Oberflächenstruktur des Wissens zum persönlichen Verstehen

Damit das durch die beschriebenen Unterrichtsschritte Erworbene (Abb. 1) tiefer im persönlichen Gedächtnis des Lernenden verankert werden kann, schlägt Hattie<sup>19</sup> drei Schritte vor, die, mit den ersten Stufen verbunden, grafisch dargestellt als „n“, den „n-Prozess“ ergeben (Abb. 3). Diese weiteren Stufen sollen am Beispiel eines Elektromotors erläutert werden<sup>20</sup>: Nach der physikalischen Erklärung des Elektromotors (auf der

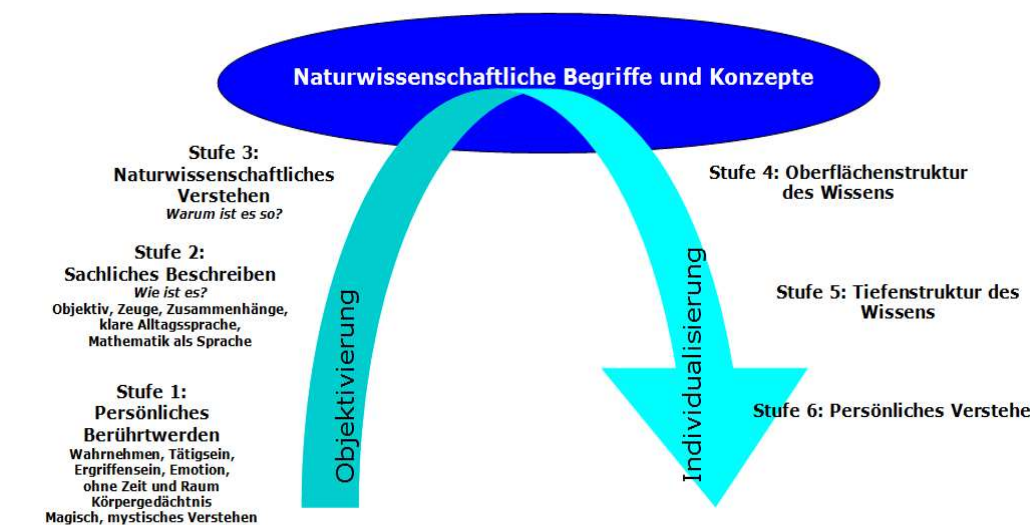


Abb. 3: Die sechs Stufen des n-Prozesses

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 selbstständig 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 (siehe Seite 9).

*Anmerkungen:* Das zuvor Beschriebene soll anregen, die eigene Unterrichtspraxis zu reflektieren und eventuell zu erweitern. Es ist nicht an ein schematisches Ausführen gedacht, sondern vielmehr an ein - in der jeweiligen pädagogischen Situation – künstlerisch – intuitives Komponieren passender Elemente.

<sup>17</sup> Im Grundschulalter kommt zur Stufe des Innerlichen Berührtwerdens diese Stufe hinzu: Lebenswissen wird erworben, sachlich und exakt beschrieben – vgl. GeRRN

<sup>18</sup> Diese Stufe kommt ab Klasse 6 zunehmend im Unterrichtsprozess neben den beiden zuvor beschriebenen Stufen hinzu.

<sup>19</sup> Hattie, John: a.a.O.

<sup>20</sup> nach einer Idee von Hannah Rößler, Seminar für Didaktik und Lehrerbildung (Gymnasien) Freiburg

## 2. Die formale Blindheit

Um Erscheinungsbereiche der „äußeren Welt“ mit den Methoden, Konzepten und Begriffen der „Naturwissenschaft“ beschreiben und verstehen zu können, werden gewisse formale kognitive Fähigkeiten benötigt. Diese entwickeln sich beim Heranwachsenden im Laufe seiner persönlichen Biografie mit individueller Geschwindigkeit und Ausprägung. Die Entwicklung der kognitiven Fähigkeiten scheint mehr durch die persönliche Anlage als durch die Umgebung bestimmt zu sein<sup>21</sup>. Für die Weltsicht und das Verstehen des *Lernenden* sind die aktuell vorhandenen persönlichen kognitiven Möglichkeiten von zentraler Bedeutung. Hatties<sup>22</sup> Untersuchungen zufolge ist die Beachtung der kognitiven Möglichkeit der Lernenden für den Lernerfolg von herausragender Bedeutung:

„Bevor Lehrpersonen Schülerinnen und Schüler dabei helfen können, Wissen und Verstehen zu konstruieren, müssen sie die verschiedenen Arten kennen, auf die Schülerinnen und Schüler denken.“

Der Entwicklungsstand des Denkens bestimmt die „formale Sehmöglichkeit“, die „formale Brille“, die individuelle Möglichkeit, naturwissenschaftliche Begriffe und Konzepte verstehen und anwenden zu können. Da für die kognitive Entwicklung von der frühen Kindheit bis ins Erwachsenenalter kein zeitgemäßes empirisch fundiertes Modell vorliegt, greifen wir hier auf die von Piaget formulierten Kategorien zurück. Sie dienen nur zur Beobachtung und Beschreibung der beobachteten Phänomene. Piagets dahinterstehende Theorie der Stufenentwicklung bleibt dabei unberücksichtigt. Für die Bildung im Bereich der Naturwissenschaften sind besonders das *konkret-operationale* und das *formal-operationale* Denken von Bedeutung. Diese beiden Denkmöglichkeiten sollen wie folgt charakterisiert werden:

*Konkret-operationales Denken:*

- Das Kind kann in Gedanken mit konkreten Objekten oder ihren Vorstellungen operieren.
- Das Denken ist auf konkrete, anschauliche Erfahrungen beschränkt.
- Abstraktionen (wie Milliarden Jahre) sind nicht möglich.
- Das Denken ist noch nicht logisch, sondern intuitiv und wird von der direkten Wahrnehmung beeinflusst.

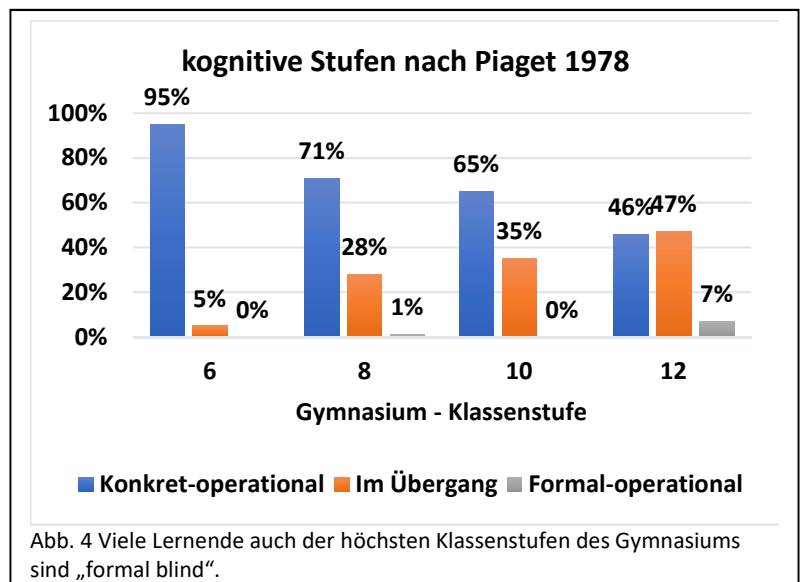
*Formal-operationales Denken:*

- Erwerb der Fähigkeit zum logischen Denken und der Fähigkeit, Operationen auf Operationen anzuwenden. Der junge Mensch kann nun „mit Operationen operieren“, das heißt, er kann nicht nur über konkrete Dinge, sondern auch über Gedanken nachdenken (Metakognition).
- Abstraktes Denken und das Ziehen von Schlussfolgerungen aus vorhandenen Informationen werden zunehmend möglich.

Der Unterschied der beiden „Denkstile“ sei am Beispiel des Wasserstromkreises veranschaulicht: Konkret-operationale operierende Lernende sehen trotz noch so bildhafter Erläuterungen des Lehrenden immer nur Wasser. Sie können nicht begreifen, dass das Wasser nur eine *Veranschaulichung*, ein *Bild* dessen sein soll, was im elektrischen Stromkreis passiert. Auch gutgemeinte weitere didaktisch gut aufbereitete Hilfen bleiben wirkungslos – der Lernende scheint nicht empfänglich, er scheint „formal blind“ zu sein.

Die in Abbildung 4 dargestellten Fakten wurden 1978 für Gymnasialschüler empirisch ermittelt<sup>23</sup>. Wegen der früheren Einschulung und der Verkürzung der Schulzeit auf 12 Jahre sind die Schülerinnen und Schüler heute in der

Kurstufe bis zu zwei Jahre jünger als damals. Dazu kommt, dass nach neueren Untersuchungen die formal-kognitiven Kompetenzen den Lernenden erst in einem späteren Lebensalter zur Verfügung stehen<sup>24</sup>. Es soll an dieser



<sup>21</sup> Largo, Remo & Beglinger, Martin: Schülerjahre, Pieper München 2009 S. 30

<sup>22</sup> Hattie, John: Lernen sichtbar machen, Schneider Verlag Hohengehren 2013

<sup>23</sup> Gottfried Merzyn: Naturwissenschaften, Mathematik, Technik – immer unbeliebter? Schneider Verlag Hohengehren, Baltmannsweiler, 2008

<sup>24</sup> Hattie, John: Lernen sichtbar machen für Lehrpersonen, Schneider Verlag Hohengehren 2014

Stelle ausdrücklich betont werden, dass es sich bei den Zahlenangaben immer um Mittelwerte mit einer sehr großen Streubreite handelt. Die Piagetschen Kategorien können helfen, den Blick, im Sinne einer Diagnostik, auf die kognitiven Möglichkeiten des Einzelnen zu schärfen. Nimmt man die in Abb. 3 dargestellten Ergebnisse bei der Erstellung von Bildungsplänen und bei der Konzeption von Unterricht im Klassenzusammenhang ernst, dann steht man vor dem Problem, dass die meisten Schülerinnen und Schüler während ihrer gesamten Schulzeit nicht über die zum naturwissenschaftlichen Arbeiten und Verstehen nötige kognitive Reife verfügen. Diese Tatsache steht im Konflikt mit der Anforderung, dass für eine verantwortungsvolle Teilhabe des Einzelnen in der durch Technik und Naturwissenschaften geprägten Welt eine solide Grundbildung im Bereich der Naturwissenschaften unverzichtbar ist und dass eine vertiefte Bildung im Bereich der Naturwissenschaften zur Vorbereitung der verschiedenen Studiengänge vorausgesetzt wird. Eine gelingende Bildung im Bereich der Naturwissenschaft muss diesen Konflikt berücksichtigen. Als Lösung schlagen wir vor, die Bildungsprozesse so anzulegen, dass ein Bildungsaspekt auf unterschiedlicher Niveaustufen behandelt wird, so dass er auch für „nur“ konkret-operational Denkende erfüllend und anregend sein kann, selbst im Unterricht der Kursstufe. Dass dies notwendig ist, unterstreicht das folgende Zitat: „Die schwersten Frustrationen entstehen natürlich dann, wenn aus der Umwelt Forderungen an das Kind gerichtet werden, denen es im gegenwärtigen Entwicklungsstadium nicht genügen kann, zum Beispiel wenn es zu einer Zeit, wo es erst konkret denken kann, in abstrakten Begriffen angesprochen wird. Dabei kann sich ein Gefühl, vollkommen blöd zu sein, entwickeln, und in einem solchen Falle wird sein Lebensdrehbuch die Überkompensation der Allwissenheit vorsehen müssen.“<sup>25</sup> Die Lernenden fühlen sich dann intellektuell überfordert und verabschieden sich innerlich oft endgültig vom naturwissenschaftlichen Unterricht, von naturwissenschaftlichen Themen. Sie bilden eine Aversion, die auch dann noch anhalten kann, wenn im Erwachsenenalter das persönliche formale Verständnis vielleicht unbemerkt gereift ist, so dass das Formale jetzt eigentlich durchdrungen werden könnte. Für diese Lernenden ist die grundlegende Bildung im Bereich der Naturwissenschaft nachhaltig misslungen.

### 3. Gestufte Bildung im Bereich der Naturwissenschaft - verschiedene Eindringtiefen

Das Projekt des Verbands zur Förderung des MINT-Unterrichts MNU zur Entwicklung eines Gemeinsamen Referenzrahmens Naturwissenschaft (GeRRN)<sup>26</sup> hat die Grundidee der Freiburger Forschungsraumdidaktik aufgegriffen und gibt Impulse für den Unterrichtsprozess selbst: „Der naturwissenschaftliche Bildungsprozess muss die Entwicklung des Lernenden von der frühen Kindheit bis ins Erwachsenenalter als Ganzes sehen. Dabei ist es wichtig, wohlwollend zu verstehen, dass nicht jeder Schüler bei jedem Unterrichtsgegenstand die größte Eindringtiefe erreicht. Während die einen z. B. mathematisch abstrahieren, erfassen andere den Sachverhalt anschaulich (vgl. Repräsentationsformen von BRUNER (1960)). Deshalb ist bei der Bewertung von vielfältigen Leistungsfeststellungen auszugehen.“<sup>27</sup>

Im GeRRN sind die folgenden Referenzniveaus für prozessbezogene naturwissenschaftliche Kompetenzen formuliert<sup>28</sup>:

<b>A1</b>	<b>Erleben von und Beschäftigen mit Phänomenen in Natur und Technik</b> Herstellen einer persönlichen Beziehung durch Erfahrungen mit Phänomenen: <i>Man kann in Muße „spielerisch forschen“, sich in elementarer, persönlicher Alltagssprache ungeordnet, kindlich, ohne Fachbegriffe ausdrücken und Fragen zu Phänomenen in Natur und Technik stellen, sowie eigene Erklärungen finden.</i> Entspricht etwa dem Stand vor der Schule.
<b>A2</b>	<b>Sachgerechtes Wahrnehmen und persönliches Deuten beim Beschäftigen mit Phänomenen in Natur und Technik</b> Herstellen einer persönlichen Beziehung mit und sachgemäßes Beschreiben von Phänomenen: <i>Man kann einfache Phänomene und Zusammenhänge qualitativ untersuchen, objektiv in Alltagssprache beschreiben und erste Fachbegriffe sachgerecht verwenden.</i> Entspricht dem Stand der Primarstufe.
<b>B1</b>	<b>Kennen und Anwenden von grundlegenden naturwissenschaftlichen Konzepten</b> Herstellen einer persönlichen Beziehung und sachgemäßes Beschreiben von Phänomenen und Zusammenhängen als Grundlage der Naturwissenschaften:

<sup>25</sup> Frederick S. Perls, Ralph F. Hefferline, Paul Goodman: Gestalttherapie, dtv/KlettCotta, München, 2. Auflage 1993, S. 7

<sup>26</sup> [www.mnu.de/blog/410-gemeinsamer-referenzrahmen-fuer-naturwissenschaften-2-aufgabe](http://www.mnu.de/blog/410-gemeinsamer-referenzrahmen-fuer-naturwissenschaften-2-aufgabe)

<sup>27</sup> GeRRN, 2. Aufl. S. 40ff

<sup>28</sup> GeRRN, 2. Aufl. S. 7

	<p>Man kann Phänomene und einfache Zusammenhänge untersuchen, zunehmend mit qualitativen Fachbegriffen und elementaren tragfähigen Modellen sinnvoll umgehen, sowie elementare persönliche Bewertungen naturwissenschaftlicher Sachverhalte abgeben.</p> <p>Entspricht dem Stand Sekundarstufe I.</p>
<b>B1+</b>	<p><b>Zentrale Konzepte und Ideen der Naturwissenschaften kennen sowie eigenständig anwenden und reflektieren</b></p> <p>Herstellen einer persönlichen Beziehung, sachliches und naturwissenschaftliches Beschreiben und Begründen von Phänomenen und Zusammenhängen:</p> <p>Man kann Zusammenhänge selbstständig qualitativ und auch quantitativ untersuchen, mit zentralen Fachbegriffen und Konzepten sachgerecht umgehen, auch auf der Modellebene, dabei kritisch über Grenzen der Modellbildung reflektieren und persönliche Bewertungen einfacher Zusammenhänge begründen.</p> <p>Entspricht dem Stand Sekundarstufe I mit Voraussetzung für nw Fach der gymnasialen Oberstufe.</p>
<b>B2</b>	<p><b>Zentrale Konzepte und Theorien der Naturwissenschaften kennen, anwenden, reflektieren und bewerten</b></p> <p>Herstellen einer persönlichen Beziehung, sachgemäßes und vertieftes naturwissenschaftliches Beschreiben und Erklären<sup>29</sup>:</p> <p>Man kann Zusammenhänge mit zunehmender Komplexität und Selbstständigkeit untersuchen und erforschen, mit Fachbegriffen und Konzepten qualitativ und quantitativ mit zunehmender Schärfe und Komplexität umgehen, ist kritikfähig gegenüber Aussagen zu naturwissenschaftlichen Sachverhalten und versteht erkenntnis-theoretische Erwägungen.</p> <p>Man kann persönliche Bewertung von Zusammenhängen mit zunehmender Komplexität vornehmen und adressatengerecht formulieren.</p> <p>Entspricht dem Stand Sekundarstufe II (Hochschulzugang für nw Fach).</p>

Die im GeRRN formulierten Referenzniveaus für das Beispiel der elektrischen Energieübertragung<sup>30</sup> bilden die Grundlage der im Weiteren dargestellten Überlegungen zur Umsetzung für den konkreten Unterricht.

#### 4. Elektrizitätslehre auf der Niveaustufe A1

Grundlage aller Bildungsprozesse sind das persönliche Erleben und Berührtsein von dem entsprechenden Naturphänomen und technischen Alltagsgeräten, sowie der tätige Umgang mit ihnen. Hier steht das *miteinander darüber Sprechen* und Kennenlernen im Zentrum. Die die Lernprozesse begleitenden Personen können im Beobachten und gemeinsamen Nachdenken viele Vorstellungen und Theorien der Kinder erfahren und diese interessiert und wertschätzend aufnehmen<sup>31</sup>, auch wenn sie von den heute üblichen wissenschaftlichen Beschreibungen abweichen. Ein Kind, das ein „Zauberlicht“ in den Leuchterscheinungen einer Fensterscheibe vermutet, das die Ursache von Regen mit der Trauer von Wolken in Zusammenhang bringt oder das den Wind von den sich bewegenden Blättern verursacht denkt, hat an sogenannten naturwissenschaftlichen Erklärungen wenig Interesse. Amorphe Welterklärungstheorien können dagegen auf Kinder einen großen Erkundungsimpuls ausüben, der durch vermeintlich wissenschaftliche Erklärungen eher zum Verschwinden kommen würde<sup>32</sup>.



Abb. 5: Hier werden die Grundlagen der Elektrizitätslehre gelegt

<sup>29</sup> „Erklären“ bedeutet keineswegs, jede Warum-Frage bis ins Letzte eindeutig beantworten zu können. Gemeint ist mit diesem Operator, Ursachen eines Sachverhalt im Rahmen einer Theorie darzulegen. „Begründen“ bezieht sich auf Motive.

<sup>30</sup> GeRRN, 2. Aufl., S. 35

<sup>31</sup> Die im Qualifizierungskonzept der Freiburger Forschungsräume auf Seite 8 beschriebenen Zugänge zur Perspektive des Kindes in der Kommunikation seien hier als Anregung genannt: [www.freiburg.de/pb/site/Freiburg/get/params\\_E1633310241/754045/Freiburger\\_Forschungsräume\\_2017.pdf](http://www.freiburg.de/pb/site/Freiburg/get/params_E1633310241/754045/Freiburger_Forschungsräume_2017.pdf)

<sup>32</sup> Plappert, Dieter: Naturkundliche und naturwissenschaftliche Bildung, Heft NW 4, Landesinstitut für Schulentwicklung (LS), Stuttgart 2014, S. 2 und S. 8, [www.plappert-freiburg.de/images/PDF/unterrichtsbeispiele/leitlinien-naturkundliche-und-naturw-bildung.pdf](http://www.plappert-freiburg.de/images/PDF/unterrichtsbeispiele/leitlinien-naturkundliche-und-naturw-bildung.pdf)

Anmerkung: Diese Bildungsstufe ist grundlegend für spätere Bildungsprozesse im Bereich der Naturwissenschaft. Es geht darum, dass die Kinder die Möglichkeit haben, die Lebenswelt zu erforschen und kennen zu lernen, sowie diese ganz spontan und unbekümmert in ihrer Alltagssprache zu beschreiben und über sie nachzudenken. Hier kann den begleitenden Personen zwar die Rolle der Sprachförderung zukommen<sup>33</sup>, nicht aber die Rolle des „Vermittlers naturwissenschaftlichen Fachwissens und in der Fachwelt eingeführter Begriffe“. Die „Namen“ der Bezeichnung naturwissenschaftlicher Begriffe werden so lange „alltagssprachlich“ verwendet, bis sie im naturwissenschaftlichen Unterricht inhaltlich gefüllt werden. Hierfür sind in der 3. Spalte des Referenzrahmens im GeRRN Hinweise zu finden. So wird etwa erst auf Niveaustufe B mithilfe der physikalischen Begriffe „elektrische Energie“, „elektrischer Strom“ und „elektrische Spannung“ geklärt, was „Strom wird verbraucht“ oder „Achtung - auf einem Weidezaun ist Strom drauf!“ physikalisch tatsächlich bedeutet. Verfrühte „wissenschaftliche Bildung“ vor der Schule, eigentlich vor der 7. Klassenstufe, ist nicht hilfreich – im Gegenteil, sie kann das Kind verunsichern und ihm die eigenen spontanen Denkmöglichkeiten rauben. Außerdem besteht die Gefahr, dass unbemerkt leere Worthülsen entstehen, die sich wie „verdunkelndes Wissen“ zwischen den Lernenden und die Welt schieben. Natürlich können elektrische Stromkreise bei verschiedenen angewandten Situationen mit den Kindern aufgebaut und mit ihnen experimentiert werden. Das macht oft große Freude. Vom Gesichtspunkt einer Bildung, die den ganzen Prozess von der frühen Kindheit bis ins Erwachsenenalter im Blick hat, kann darauf auf dieser Stufe jedoch verzichtet werden. Das Erleben beim Bau von Staudämmen oder mit fließendem Wasser in Schläuchen scheint eine wichtigere Grundlage für das spätere Verstehen von elektrischen Stromkreisen zu sein (Abb. 5), insbesondere im Hinblick auf die später verwendeten Wasserstrommodelle (Abb. 7), die dann zu den in der Naturwissenschaft gebräuchlichen mentalen Strömungsbildern führen können.

## 5. Elektrizitätslehre auf Niveau A2

Hier tritt das eigene Experimentieren mit einfachen elektrischen Stromkreisen in den Fokus. Es werden eigene Schaltungen erfunden und gebaut. Zum Gebrauch der persönlichen Alltagssprache tritt die Verwendung einer sachlichen, korrekten Sprache hinzu. Sie ist so zu schärfen, dass eine abwesende Person den Sachverhalt verstehen kann. Die Phänomene und technischen Geräte werden funktional beschrieben: z.B. die Lampe leuchtet, wenn der Schalter geschlossen ist. Auch kann die Bezeichnung „Stromkreis“ verwendet werden, ohne das physikalische Konzept „elektrischer Strom“ zu thematisieren. Wie schon beschrieben, wird auf die Differenzierung der Begriffe „elektrischer Strom“ und „elektrische Energie“ verzichtet. Die im Alltag gebräuchliche Sprechweise „Strom wird verbraucht“ wird also auf dieser Stufe nicht problematisiert.

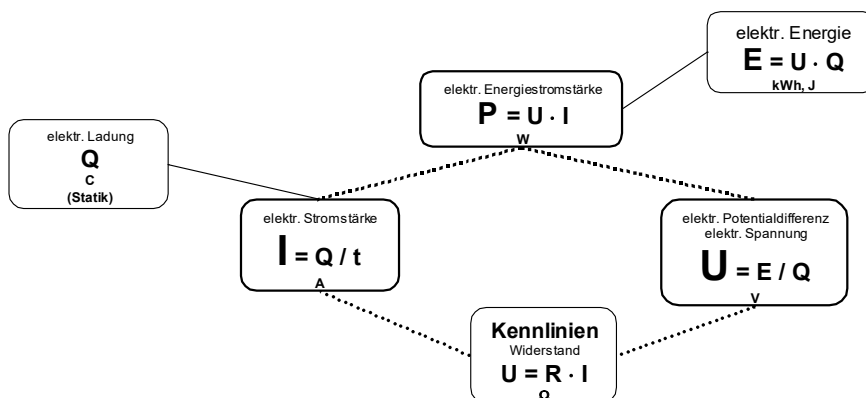


Abb. 6: Das Netz der zentralen Begriffe der Elektrizitätslehre auf Niveaustufe B

<sup>33</sup> Siehe z.B. Handreichung zur sprachlichen Bildung im Rahmen der Freiburger Forschungsräume: [http://www.oekostation.de/docs/handreichung\\_sprachbildung\\_forschungsraeume\\_2015.pdf](http://www.oekostation.de/docs/handreichung_sprachbildung_forschungsraeume_2015.pdf)

## 6. Voraussetzung zum Unterricht auf Niveaustufe B: Analyse der zentralen physikalischen Begriffe und Konzepte für die Elektrizitätslehre

Erst auf der Niveaustufe B kommt die „innere Welt der Lernenden“ mit der „Welt der Naturwissenschaften“ in Kontakt. Vor der Konzeption des Unterrichts sollte jedes zu unterrichtende Gebiet daraufhin analysiert werden, welches die zentralen naturwissenschaftlichen Begriffe und Konzepte sind. In Abbildung 6 ist dies für die Elektrizitätslehre dargestellt. Dort sind zwei Verbindungen graphisch hervorgehoben:

- Die Verknüpfung von P, I und U, die durch die Gleichung  $P = U \cdot I$  symbolisiert wird, die elektrische Energieübertragung beschreibt und die für das „Energie-Transport-Konzept“ steht.
- Die Verknüpfung von R, I und U, die durch die Gleichung  $U = R \cdot I$  symbolisiert wird, die den Zusammenhang von elektrischer Stromstärke, elektrischem „Antrieb“ und elektrischem Widerstand regelt, die für das „Strom-Antrieb-Widerstand-Konzept“ steht.

## 7. Zur Begriffsbildung auf Niveaustufe B

Der Prozess der physikalischen Begriffsbildung muss berücksichtigen, dass, wie zuvor beschrieben, zu Beginn der Sekundarstufe nur sehr wenige der Lernenden in der Lage sind, formale Begriffe verstehen und bilden zu können. Deshalb sind auch hier die Stufen des „innerlichen Berührens“ und des „sachlichen Beschreibens“ von besonders großer Bedeutung. Beim Übergang zur Stufe des „naturwissenschaftlichen Verstehens“ ist es nun wichtig, behutsam mit der Einführung der physikalischen Begrifflichkeit voranzuschreiten. So steht die qualitative Begriffsbildung im Vordergrund. Im Bereich der Elektrizitätslehre ist es auf der Niveaustufe B ein zentrales Anliegen, die alltagsprachliche Beschreibung „in einer Lampe wird Strom verbraucht“ zum physikalischen Verständnis „Energie wird mit dem elektrischen Strom zur Lampe hin transportiert, der elektrische Strom fließt dann weiter im Kreis, und die Energie verlässt den Stromkreis durch die Lampe mit Licht und Wärme<sup>34</sup>“ zu entwickeln.

Lernende scheinen im räumlich-geometrischen Bereich, z. B. bei geometrischen Linienkonstruktionen, früher über formal-operationale Möglichkeiten zu verfügen. Das könnte mit der Art der Reifung der Gehirnstrukturen zusammenhängen. Prägnant formuliert: „Für die formal-operationale Funktion des Rechnens werden die Gehirnareale des räumlichen Vorstellungsvermögens ausgeliehen.“<sup>35</sup> Es scheint, dass „räumliche Sinnbilder“ wie Brückenpfeiler in der Stufe des sachlichen Beschreibens angelegt werden können, so dass auf sie später aufgebaut werden kann, sobald der Lernende die formal-operationale Stufe wirklich erreicht hat. Die „räumlichen Sinnbilder“ werden somit „Sinnbilder des Formalen“. Ich selbst konnte das mit der in Abbildung 7 dargestellten Wasseranalogie zur Funktionsweise eines Transistors erleben. Als Jugendlicher wollte ich mir beim Bau elektronischer Schaltungen die Funktionsweise nicht klar machen. In der Bauanleitung übersprang ich einfach die Erklärung. Mein Ziel war „nur“, dass die Schaltung funktionieren sollte. Als Student tauchte die nicht wirklich verarbeitete Abbildung in meinem Bewusstsein auf und half mir dann die dann angebotenen physikalischen Erklärungen tiefgehend zu verstehen. Die Zeichnung wirkte rückblickend wie ein „Sinnbild des Formalen“.

In der Elektrizitätslehre werden traditionell verschiedenartige „mentale Bilder“ zur Verbildlichung herangezogen. Jedes dieser Bilder hat spezifische Vor- und Nachteile<sup>36</sup>. Wir orientieren uns hier am historisch gewachsenen „Urbild“ des Stroms, der Analogie mit Wasserströmen. Diese haben physikalisch gesehen den Vorteil, dass die mathematischen Strukturen der Wasserströmungen nach streng definierten Regeln auf die mathematischen Strukturen elektrischer Strömungen transformiert werden können<sup>37</sup>. Im Lehrmittelhandel sind zwei unterschiedliche Wasserstromkreismodelle erhältlich<sup>38</sup> (Abb. 8). Wie später gezeigt wird, können mit ihnen das „Energie-Transport-Konzept“ und das „Strom-Antrieb-Widerstand-Konzept“ im Unterricht veranschaulicht werden. Mit ihrer Hilfe ist es

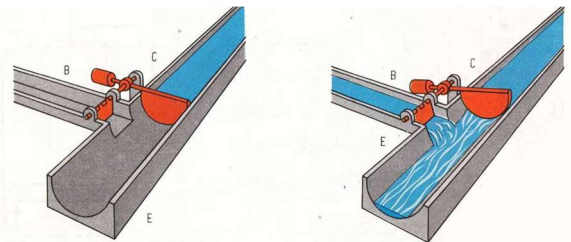


Abb. 7: Funktionsweise eines Transistors mit Wasserströmen veranschaulicht.

<sup>34</sup> Hier wird zunächst die umgangssprachliche Bezeichnung „Wärme“ statt der physikalischen Bezeichnung „Entropie“ verwendet. Auf Niveau B1+ bzw. 2 oder in einem naturwissenschaftlichen Studium kann die Begriffsbildung dann bei Bedarf problemlos in diese Richtung hin verfeinert werden.

<sup>35</sup> Zu Vertiefung: Plappert, Dieter: Naturkundliche und naturwissenschaftliche Bildung, Heft NW 4, Landesinstitut für Schulentwicklung (LS), Stuttgart 2014, S. 19ff, [www.plappert-freiburg.de/images/PDF/unterrichtsbeispiele/leitlinien-naturkundliche-und-naturw-bildung.pdf](http://www.plappert-freiburg.de/images/PDF/unterrichtsbeispiele/leitlinien-naturkundliche-und-naturw-bildung.pdf)

<sup>36</sup> Unterricht Physik: Modelle in der Elektrizitätslehre - Ein didaktischer Vergleich verbreiteter Stromkreismodelle, Friedrich-Verlag 2017 | Nr. 157, Seite 8

<sup>37</sup> [www.plappert-freiburg.de/images/PDF/unterrichtsbeispiele/zur-strukturgleichheit-verschiedener-gebiete.pdf](http://www.plappert-freiburg.de/images/PDF/unterrichtsbeispiele/zur-strukturgleichheit-verschiedener-gebiete.pdf)

<sup>38</sup> [www.conatex.com/catalog/physik\\_lehrmittel/elektrik/analogie\\_serien\\_energieumwandlung](http://www.conatex.com/catalog/physik_lehrmittel/elektrik/analogie_serien_energieumwandlung)



möglich, die Begriffe *Energie*, *Energieträger*, *Wasserstrom*, *elektrischer Strom*, *Stromstärke*, *Widerstand*, *Reihen- und Parallelschaltung*, *Potenzialdifferenz*, *elektrische Spannung*, usw. anschaulich und gleichzeitig so präzise auf Niveaustufe B einzuführen, dass im späteren Unterricht auf Niveaustufe B1+ und B2 recht problemlos auf sie zurückgegriffen werden kann, auch wenn sie weiterhin „physikalische Sinnbilder“ bleiben, mit denen sie auf konkreter Ebene erfolgreich operieren können.

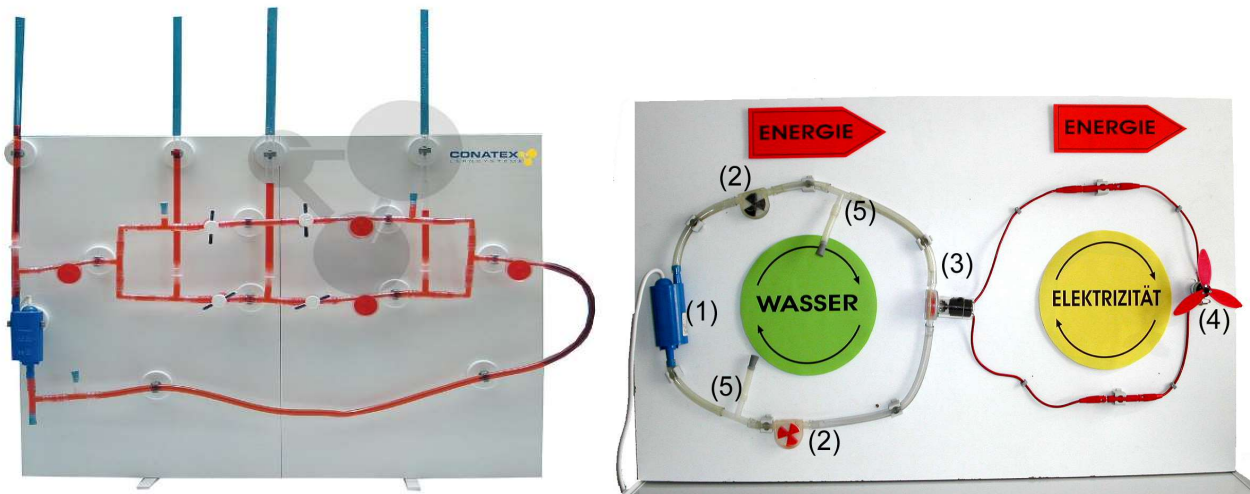


Abb. 8: Die zwei im Lehrmittelhandel erhältlichen Wasserstromkreismodelle: links zur Verbildlichung des „Strom-Antrieb-Widerstand-Konzepts“ und rechts zur Verbildlichung des „Energie-Transport-Konzepts“

### 8. Zur „Verinnerlichung“ des Begriffs elektrischer Strom

Es hat sich in der Praxis gezeigt, dass es den Lernenden nicht ohne Weiters einfach gelingt, innerlich sicher mit den Wasserstrombildern zu operieren. Durch einen „Schüler-Modell-Kreis“ (Abb. 8) werden die Lernenden selbst Teil des Stromkreises. Auf diese Weise können sie „körperlich“ das „Strom-Antrieb-Widerstand-Konzept“ erfahren und verinnerlichen. Die Schülerinnen und Schüler knien auf Transportwagen<sup>39</sup> und halten sich an den Schultern fest. Sie sind auf diese Weise fest aneinandergeschlossen. Nur durch diese Kopplung kann das Verhalten realer Stromkreise verstanden werden. So gesehen ist das „Schüler-Kreis-Modell“ kein Modell von Teilchen, sondern eher ein Modell eines Kontinuums. Ein Schüler treibt an (im Bild links) und ein Schüler bremst ab (im Bild rechts). Es können dabei sowohl das „Energie-Transport-Konzept“ wie auch das „Strom-Antrieb-Widerstand-Konzept“ thematisiert werden:



Abb. 9: Schüler-Strom-Kreis

- Damit der Strom strömt, muss er dauernd angetrieben werden, d. h. es muss dauernd Energie zugeführt werden.
- Bewegen sich die Wagen mit gleichförmiger Geschwindigkeit, dann passiert an jeder Stelle dieselbe Zahl von Schülern pro Zeiteinheit. Die „Schülerstromstärke“ (= Schüler/Zeit) ist also an jeder Stelle des geschlossenen Stromkreises gleich.
- Der Antrieb wird benötigt, um den Widerstand zu überwinden. Widerstand entsteht zum einen durch die Reibung der Räder auf dem Boden („Strömungswiderstand“) und zum anderen durch das Abbremsen des Schülers links. Dieser steht für das elektrische Gerät (z. B. Lampe), das durch den Stromkreis angetrieben wird.
- An den Stellen, an denen Widerstand auftritt, wird gebremst, es wird Energie vom elektrischen Strom abgeladen.

<sup>39</sup> Baumarkt

Es ist ratsam, zunächst nur einzelne Aspekte mit den Lernenden zu besprechen. Auf die Feinheiten<sup>40</sup> kann dann später an geeigneter Stelle zurückgegriffen werden. Wie die Zitate der Schüler am Ende des Artikels zeigen, hat sie dieser Stromkreis emotional sehr berührt. Die Zitate weisen außerdem darauf hin, dass sie die besprochenen Begriffe verinnerlichen konnten. Diese Erfahrungen bestätigen eine These aus der neueren Kognitionswissenschaft, nach der „das mentale Bewusstsein einen Körper benötigt“, also eine physikalische Interaktion voraussetzt. Diese Grundaussage des „Embodiments“ (deutsch: Verkörperung, Inkarnation oder Verleiblichung) ist der klassischen Interpretation des Bewusstseins, insbesondere im Sinne des Kognitivismus und computationaler Theorien, diametral entgegengesetzt. Dies wird als grundlegende Wende in der Kognitionswissenschaft angesehen.<sup>41</sup>

## 9. Skizze eines Unterrichtsgangs der Elektrizitätslehre auf der Niveaustufe B1

Im Folgenden wird nun ein erprobter Unterrichtsgang skizzenhaft umrissen. Der Unterrichtsgang ist so aufgebaut, dass neu auftretende Fragen den Prozess immer wieder weiterführen. Hierzu ist im GeRRN<sup>42</sup> ausgeführt: „Voraussetzung einer gelingenden naturwissenschaftlichen Bildung in unserem Sinne ist, dass sowohl die Lehrenden als auch die Lernenden eine forschende Grundhaltung einnehmen. So können die Lehrenden ihre eigenen Vorstellungen und die „innere Welt des Lernenden“ in einem stetigen Prozess, immer wieder aufs Neue, im direkten Kontakt und im Dialog mit den Lernenden, rekonstruieren. Dabei muss es verstärkt darum gehen, statt der „Kultur der schnellen Antworten“ eine „Kultur des Fragens“ zu etablieren, die von den Lehrenden und Lernenden Geduld und Ausdauer fordert und in der auch die Vorläufigkeit von Antworten ihren Platz hat. Diese Forschungshaltung hat allgemeinbildenden Wert. Sie ist Voraussetzung einer selbstgesteuerten Lebenshaltung.“

**9.1 Einstieg „innerliches Berühren“:** Black out<sup>43</sup> - Arbeitsauftrag: „Stell dir vor, durch einen „Zauber“ verschwindet die Elektrizität plötzlich ganz von dieser Erde. Wie sieht dann das Leben aus? Stell eine Stoffsammlung für einen Zeitungsbericht zusammen. Schreib einen Zeitungsbericht (etwa eine Seite) zu diesem Thema, um ihn vorzulesen und in der nächsten Stunde abzugeben.“

## 9.2 Zusammenfassung der in früherem Unterricht erworbenen Kenntnisse:

An dieser Stelle wird die gemeinsame Basis der in früheren Klassenstufen gesammelten Erfahrungen zusammengefasst:

- Es werden immer zwei Verbindungen zwischen Batterie, Solarzelle, ... einerseits und Lampe, Motor, Klingel, ... andererseits benötigt.
- Die Verbindungen dürfen an keiner Stelle unterbrochen sein.
- Ein Schalter ist eine „behebbar Unterbrechungsstelle“.
- Eisen, Kupfer, Aluminium, Silber, Gold, Bronze, Messing, Nickel, (Metalle), Graphit, Salzwasser, ... können als Verbindung dienen, Holz, Papier, Leder, Glas, ... dagegen nicht.
- Dynamo und Lampe sind beim Fahrrad auch durch zwei Leitungen miteinander verbunden: das Kabel ist die eine, der metallene Rahmen die andere.

## 9.3 Komplexe Stromkreise verstehen

- Wie hell leuchten welche Lampen, wenn der Schalter in Abbildung 10 noch offen ist?
- Wie hell leuchten die Lampen, wenn der Schalter geschlossen wird?
- Stelle eine Vermutung (Hypothese) auf und versuche sie zu begründen!
- Prüfe die Aufgabenstellungen experimentell mit entsprechendem Experimentiermaterial.
- Welche Fragen ergeben sich für dich?

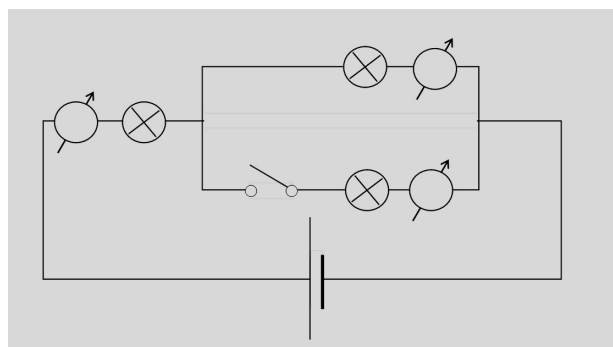


Abb. 10: Ein komplexes Problem als Einstieg

<sup>40</sup> Z.B., dass die Energie beim „Bremser“ nicht aufgenommen und weitergegeben werden kann,..

<sup>41</sup>wikipedia

<sup>42</sup> GeRRN, 2. Auflage, S.40

<sup>43</sup> <http://www.blackout-das-buch.de/buch.php>

Anmerkung: Es zeigt sich, dass viele der Lernenden eine Art „Erhaltungskonzept für die Helligkeit der Lampen“ haben. Sie sagen voraus, dass beim geschlossenen Schalter die beiden zuvor gleich hell leuchtenden Lampen dunkler werden, damit die dritte Lampe auch leuchten kann. Andere Lernende vermuten, dass von Anfang an alle Lampen gleich hell leuchten. Nur sehr wenige vermuten, dass die Lampe, die der Batterie am nächsten ist, am hellsten leuchtet. Die sich durch das Experiment ergebende reale Situation stellt die meisten vor große Rätsel und motiviert sie zum weiteren Erforschen der elektrischen Stromkreise. „Wie kann das sein, dass die linke Lampe beim Schließen des Schalters heller wird und auch noch am hellsten leuchtet?“

#### 9.4 Was heißt „ein elektrischer Strom strömt?“

Durch das zuvor erlebte Experiment kann die Frage entstehen: „Was strömt eigentlich, wenn ein elektrischer Strom strömt?“ Hier können die Lernenden darüber informiert werden, dass diese Frage in der Geschichte der Physik verschiedene Antworten hatte. Die Physiker haben sich mentale Bilder ausgedacht, um die Situation zu verstehen. Das Bild, das historisch zur Vorstellung „elektrischer Strom“ geführt hat, ist ein Wassermodell. So wie Wasser in Schläuchen strömt, so strömt Elektrizität in Kabeln. Elektrizität kann man nicht sehen – strömendes Wasser in den zuvor gefüllten transparenten Schläuchen auch nicht. Die drehenden Rädchen weisen auf strömendes Wasser hin. Je schneller sich die Rädchen drehen, desto größer ist die „Wasserstromstärke“<sup>44</sup>.... Mit dem Wasserstrom-Kreis-Modell kann dann wie in Abbildung 11 dargestellt die Schaltung aus Abbildung 10 veranschaulicht werden. Hierbei entspricht einem „verschlossenen“ Wasserhahn ein „geöffneter“ Schalter. Die Wasserrädchen drehen sich der Helligkeit der Lampen entsprechend. Es wird deutlich, dass sich das Wasser in der Parallelschaltung verzweigt und sich deshalb die Rädchen weniger schnell drehen. Entsprechend leuchten die rechten Lampen in Abbildung 10 in den „Zweigen des elektrischen Stromkreises“ dunkler als die Lampe links. Der elektrische Strom teilt sich dem Wasserstrom entsprechend in die Zweige auf.

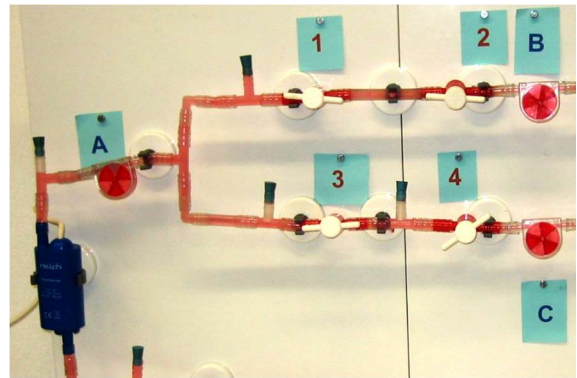


Abb. 11: Wasseranalogie zu Abb. 7: Rädchen A dreht sich schneller als Rädchen B und C.

#### 9.5 Warum wird überhaupt eine Batterie, ein Netzteil benötigt?

Diese Frage wurde ja schon mit dem zuvor beschriebenen Schüler-Kreis-Modell beantwortet. Nun kann das dabei entwickelte „Strom-Antrieb-Widerstand-Konzept“, das auf der Stufe B1+ mit der Gleichung  $U = R \cdot I$  beschrieben wird, mit Hilfe des Wasserstromkreismodells verallgemeinert und in komplexen Situationen angewandt werden. Auch können die Begriffe „elektrisches Potenzial“ und „elektrische Spannung“ durch die Wasseranalogie eingeführt werden<sup>45</sup>.

Anmerkung: Wasserströme werden im Unterricht oft zur Veranschaulichung der entsprechenden elektrischen Größen herangezogen, ohne dass die Lernenden eigene Erfahrungen von geschlossenen Wasserstromkreisen haben, in denen die Inkompressibilität des Wassers die entscheidende Rolle spielt. Deshalb spielen reale Wasserstromkreismodelle eine wichtige Rolle im Unterricht.

An Wasserstromkreismodellen kann außerdem das Denken in komplexen System geübt werden. Der Stromkreis reagiert immer als Ganzes, als System. So verhält sich das Einzelne immer dem Ganzen entsprechend. Das Experiment zur Frage „welches der Wasserrädchen dreht sich beim Einschalten der Pumpe zuerst“ macht deutlich, dass das inkompressible Wasser an jeder Stelle des Kreises zur selben Zeit zu strömen beginnt. Alles hängt miteinander zusammen. Wird an der Stelle der Schlauch von außen zusammengedrückt, werden alle Rädchen gleichzeitig langsamer: das System als Ganzes reagiert auf eine lokale Störung. Ein solches Systemdenken kann auch bei elektrischen Stromkreisen geübt werden. Dieses Systemdenken ist Voraussetzung, um komplexe Fragestellungen, wie etwa bei der Suche nach den entscheidenden Einflussfaktoren bei der Klimaerwärmung oder beim wirtschaftlichen Geschehen überhaupt verstehen zu können.

<sup>44</sup> Die Wasseranalogie wird ausführlich dargestellt unter [www.plappert-freiburg.de/images/PDF/unterrichtsbeispiele/verstaendliche-elektrizitaetslehre.pdf](http://www.plappert-freiburg.de/images/PDF/unterrichtsbeispiele/verstaendliche-elektrizitaetslehre.pdf)

<sup>45</sup> [www.plappert-freiburg.de/images/PDF/unterrichtsbeispiele/verstaendliche-elektrizitaetslehre.pdf](http://www.plappert-freiburg.de/images/PDF/unterrichtsbeispiele/verstaendliche-elektrizitaetslehre.pdf)

## 9.6 Weiterer Ausbau des Strom-Antrieb-Konzeptes

Im folgenden Unterricht werden nun in enger Analogie zu den Wasserströmen die Begriffe *elektrische Stromstärke* (analog zu Wasserstromstärke), *Knotenregel*, *elektrisches Potenzial* (analog zu Druck), *elektrische Spannung* (analog zu Druckdifferenz), *elektrischer Widerstand*, sowie die entsprechenden Messgeräte entwickelt und angewandt.<sup>46</sup>

## 9.7 Wird Strom verbraucht?

Dass die elektrische Stromstärke vor und nach einer Lampe, eines Elektromotors denselben Wert hat, erstaunt die Lernenden wegen der engen Analogie zu den Wasserströmen zunächst nicht. Bei fortschreitendem Unterricht wird für viele der Lernenden jedoch die Frage immer drängender, was nun eigentlich im Stromkreis verbraucht wird. Diese Frage ist der Ausgangspunkt zu Energiebetrachtungen mithilfe des zweiten Wasserstrommodells, dem „Energie-Transport-Stromkreis“ (Abb. 7). Durch den äußerlich gut erkennbaren analogen Aufbau des Wasserstromkreises und des elektrischen Stromkreises wird eine innerliche physikalische Strukturgleichheit verbildlicht. Dies soll den Schülerinnen und Schülern helfen, die Begriffe „Energie“<sup>47</sup> und „Energieträger“ klarer zu differenzieren und zusammen zu sehen. In der Alltagssprache wird ja „in einem Dynamo Strom erzeugt“, „in einer Glühlampe Strom verbraucht“, bzw. „in Licht umgewandelt“. Durch den Aufbau des „Energie-Transport-Stromkreises“ wird nachvollziehbar, dass Energie von der Pumpe zum Wassergenerator und von dort zum Motor mit Propeller fließt und dass das Wasser und die Elektrizität (bzw. elektrische Ladung) beide einen *anderen* Weg nehmen: sie fließen im Kreis. Hinweis: Die Unterscheidung von „elektrischem Strom“ und dem „Strom der elektrischen Energie“ kann durch folgende charakteristische Armbewegung im Sinne des Embodiments unterstützt werden:

- kreist der Arm, so symbolisiert er den Wasserstrom, den elektrischen Strom,
- bewegt sich der Arm linear von links nach rechts, so symbolisiert er den Strom von Energie.

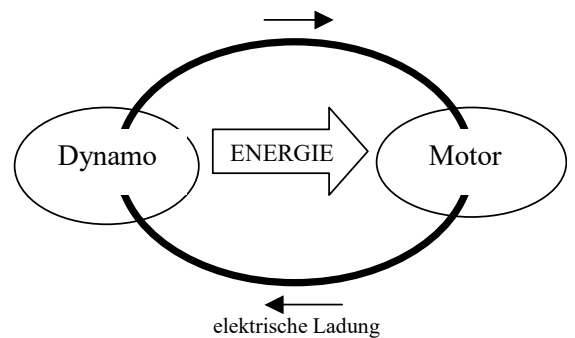


Abb. 12: Die Übertragung von elektrischer Energie schematisch dargestellt

## 10. Weiterentwicklung auf Niveaustufe B1+

Auf der Niveaustufe B1+ kommt ein zusätzlicher Grad an Formalisierung und Vertiefung hinzu. Zu der auf der Niveaustufe B1 eher qualitativen Begriffsbildung mit je-desto-Beziehungen kommen nun quantitative Berechnungen und Vertiefungen, z. B. Kennlinien von elektrischen Geräten (Lampe, Motor, Batterie...). Außerdem werden die die Elektrizität transportierenden Teilchen (Ionen, Elektronen) in den Blick genommen.

## 11. Weiterentwicklung auf Niveaustufe B2 - Die Funktionsweise einer Schüttellampe

Auf der Niveaustufe B2 treten dann das elektrische, magnetische Feld und die elektromagnetischen Wellen hinzu. Ihre Rolle beim Energiespeichern und bei der Energieübertragung werden thematisiert. Wie zuvor begründet, ist es ratsam, alle Stufen des auf Seite 3 beschriebenen „n-Prozesses“ zu durchlaufen. Wie das geschehen kann, wird im Folgenden exemplarisch an der Unterrichtseinheit „Schütteltaschenlampe“ beschrieben<sup>48</sup>, die hier in aller Kürze zusammengefasst ist.

### Stufe *despersönliches Verbindens* – der Aufbau der Schüttellampe

Die Schülerinnen und Schüler arbeiten in Dreier-Teams. Jedes Team erhält eine durchsichtige, aufschraubbare Schüttellampe<sup>49</sup> 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. Achte genau auf die Reihenfolge, damit sie am Ende wieder ordnungsgemäß zusammengesetzt werden kann.
- Beschreibe kurz deine erste Idee, wie die Taschenlampe funktionieren könnte.

<sup>46</sup> Ein Unterrichtsgang ist hier ausführlich dargestellt: [www.plappert-freiburg.de/images/PDF/unterrichtsbeispiele/verstaendliche-elektrizitaetslehre.pdf](http://www.plappert-freiburg.de/images/PDF/unterrichtsbeispiele/verstaendliche-elektrizitaetslehre.pdf)

<sup>47</sup> Unterrichtsbeispiele zur Einführung des Energiebegriffs: <https://www.plappert-freiburg.de/images/PDF/unterrichtsbeispiele/der-energiebegriff.pdf>

<sup>48</sup> <https://www.plappert-freiburg.de/images/PDF/unterrichtsbeispiele/unterricht-der-innerlich-beruehrt.pdf>

<sup>49</sup> eine mögliche Bezugsquelle für eine aufschraubbare Schütteltaschenlampe: [http://www.amazon.de/dp/B001ALEYTQ/?tag=hydra0d-21&hvadid=11136415738&ref=asc\\_df\\_B001ALEYTQ](http://www.amazon.de/dp/B001ALEYTQ/?tag=hydra0d-21&hvadid=11136415738&ref=asc_df_B001ALEYTQ)

### Stufe des sachlichen Beschreibens

- Betrachte den Aufbau der Lampe und versuche die wesentlichen Bauteile der Lampe mit Hilfe der nebenstehenden Darstellung zu identifizieren.
- Beschreibe nun deine Idee zur Funktionsweise der Lampe unter Benutzung der nebenstehenden Fachbegriffe.
- Welche Fragen hast Du zur Funktionsweise? Wie könnten diese durch weitere Experimente gelöst werden?
- Beschreibe, wie in einem Experiment eine Schüttellampe nachgebaut werden könnte.

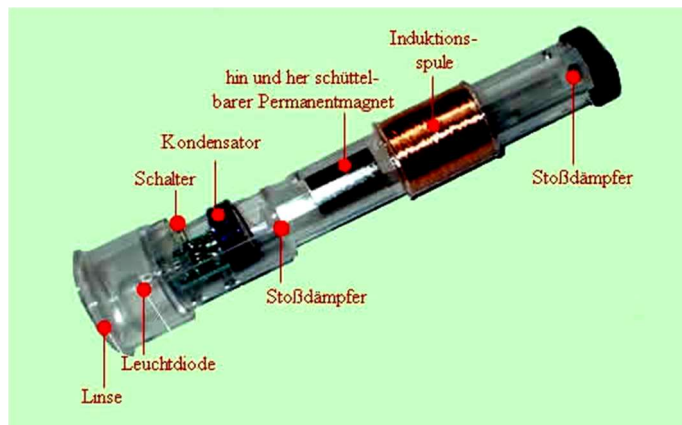


Abb. 13: Die Bezeichnung der wesentlichen Bauteile einer Schüttellampe

### Stufe des physikalischen Verständnis

Im Folgenden sind Anleitungen aus dem Unterricht dargestellt:

#### 1. Der Kondensator als Energiespeicher

\* 1 Lampe mit Fassung (3,5 V/0,2 A) \* 1 Flachbatterie \* 1 Kondensator 0,2 F \* 6 Krokokabel \* 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 „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“.

#### Infokasten: Kondensator (Elektrotechnik)

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. Diese die elektrische nicht miteinander verbunden. 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.

#### 2. Elektromagnetische Induktion

\* Spulen mit 500 und 1000 Windungen \* weiße LED \* 2 Krokokabel \* Magnete \* Plastikrohr

- Bitte die folgenden Sicherheitsinformationen beachten: Die Magnete<sup>50</sup> sind extrem stark, beim Auseinanderziehen können sie zusammenschnappen und die Haut einklemmen – Verletzungsgefahr. Die Magnete sind zerbrechlich und können beim Herunterfallen zerstört werden.
- Schließe die LED an der Spule an und schiebe die Plastikröhre<sup>51</sup> in die Spule.
- Schüttele den Magneten in der Röhre – halte dabei die offenen Enden der Röhre mit den Fingern zu!
- Forscherfrage: Unter welchen Bedingungen leuchte 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?

<sup>50</sup> <http://de.opitec.com/opitec-web/c/zz/cID/c316MjA4MzE4/searchResult.jsf>

<sup>51</sup> <http://de.opitec.com/opitec-web/c/zz/cID/c3160Dg2MDM3/searchResult.jsf>



Abb. 14: Schüttelenergie wird zu elektrischer Energie

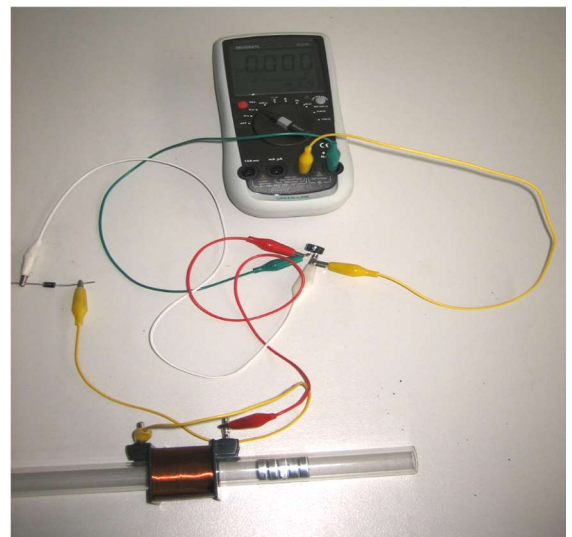


Abb. 15: Versuchsaufbau mit vorgegebenen Materialien

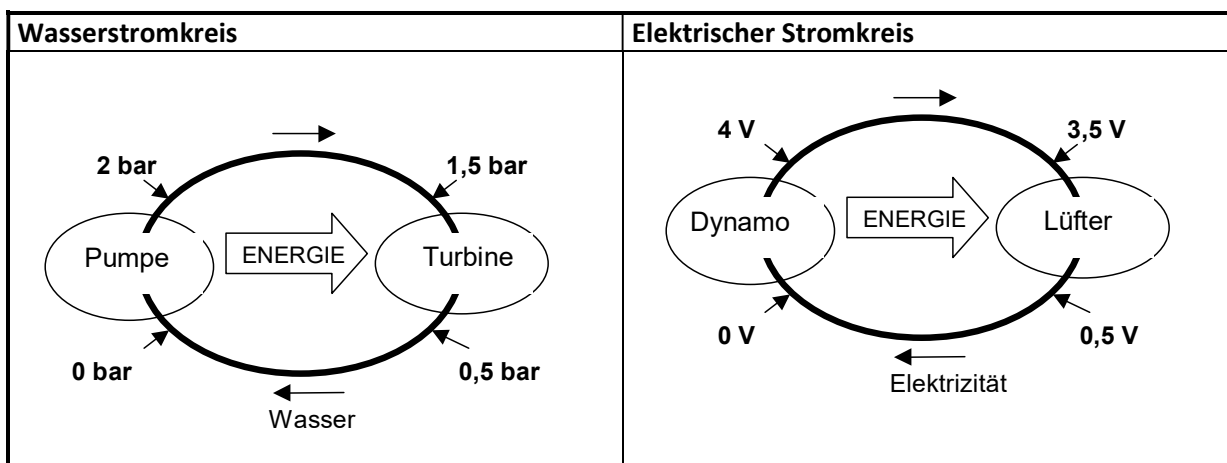
### Von der Oberflächenstruktur des Wissens zum persönlichen Verstehen

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 (Abb. 15) oder nur Draht und Spulenkörper angeboten werden. Ein 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 eine Art „Gleichrichtung“ erfolgen. Diese kann entweder durch eine Diode, eine Diodenschaltung oder einen Gleichrichter als Bauteil erfolgen. Sinnvoll ist es, die Lernenden während des Experimentierens die elektrische Spannung des Kondensators mit Hilfe eines Voltmeters als „Anzeige des Ladungszustandes“ messen zu lassen.

*Anmerkung:* Im Zusammenhang der hier beschriebenen Einheit können 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 Lernen wegen fehlender formal-kognitiver Möglichkeiten nicht gelingt, wenigstens durch eigenes Tun die Funktionsweise der Schütteltaschenlampe und Energiespeicherung im Kondensator erlebt wird. Sie haben damit die elektromagnetische Induktion und die Energiespeicherung mithilfe eines Kondensators selbst erfahren, auch wenn sie die physikalischen Hintergründe nicht in aller Tiefe verstehen konnten.

### 12. Zusammenfassender Überblick

Im Folgenden werden die zentralen physikalischen Begriffe und Konzepte, die auf der Niveaustufe B angeboten werden können, überblicksartig dargestellt:



**Hinweis:** Die angegebenen Werte des Drucks beziehen sich auf den am „Eingang“ der Pumpe gewählten Nullpunkt. Der Druck nimmt längs des Leiters ab, da wir hier von Schläuchen mit nicht zu vernachlässigendem Widerstand ausgehen.

**Hinweis:** Die angegebenen Werte des elektrischen Potentials beziehen sich auf den am „Eingang“ des Dynamos gewählten Nullpunkt. Das elektrische Potenzial nimmt längs des Leiters ab, da wir hier von Kabeln mit nicht zu vernachlässigendem Widerstand ausgehen.

<b>Das Energie-Transport-Konzept</b>	
Es strömt Energie von der Pumpe zur Turbine.	Es strömt Energie vom Dynamo zum Motor.
Das Wasser transportiert die Energie bzw. das Wasser ist der Energieträger.	Die Elektrizität transportiert die Energie, bzw. ist der Energieträger
Die Pumpe belädt das Wasser mit Energie.	Der Dynamo belädt die Elektrizität mit Energie
Die Turbine lädt Energie vom Wasser ab.	Der Motor lädt Energie von der Elektrizität ab.
Die <b>Druckdifferenz <math>\Delta p</math></b> gibt an, wie viel Energie in einem Gerät auf bzw. vom Wasser abgeladen wird.	Die <b>Differenz des el. Potentials <math>\Delta\phi = U</math> (el. Spannung)</b> gibt an, wie viel Energie in einem Gerät auf bzw. von der Elektrizität abgeladen wird.
Die <b>Energiestromgleichung</b> $I_E = \Delta p \cdot I_W$ gibt die <b>Energiemenge pro Zeit</b> (Stärke des Energiestroms) an, die mithilfe eines Wasserstroms geliefert bzw. von einem Wasserstrom abtransportiert wird.	Die <b>Energiestromgleichung</b> $I_E = U \cdot I_Q$ gibt die <b>Energiemenge pro Zeit</b> (Stärke des Energiestroms) an, die mithilfe eines elektrischen Stroms geliefert bzw. von einem elektrischen Strom abtransportiert wird.

<b>Das Strom-Antrieb-Widerstand-Konzept</b>	
Es werden <b>zwei Leitungen</b> benötigt, damit das Wasser hin und zurück, d. h. im Kreis fließen kann. („Wasserstromkreis“)	Es werden <b>zwei Leitungen</b> benötigt, damit die Elektrizität hin und zurück, d. h. im Kreis fließen kann. („elektr. Stromkreis“)
Die <b>Wasserstromstärke</b> $I_W = \text{Menge} / \text{Zeit}$ ist im unverzweigten Stromkreis an jeder Stelle gleich.	Die <b>el. Stromstärke</b> $I_Q = \text{Elektrizitätsmenge} / \text{Zeit}$ ist im unverzweigten Stromkreis an jeder Stelle gleich.
Die <b>Druckdifferenz <math>\Delta p</math></b> gibt an, wie stark der Wasserstrom <b>angetrieben</b> wird.	Die <b>Differenz des el. Potentials <math>\Delta\phi = U</math> (el. Spannung)</b> gibt an, wie stark der el. Strom <b>angetrieben</b> wird.
Der <b>„Strom-Antrieb-Widerstand-Zusammenhang“</b> eines Systems kann durch eine Kennlinie beschrieben werden. Je größer der hydraulische Widerstand des Systems ist, desto größer muss die Druckdifferenz $\Delta p$ sein, um einen Wasserstrom der Stärke $I_W$ zu bewirken.	Der <b>„Strom-Antrieb-Widerstand-Zusammenhang“</b> eines Systems kann durch eine Kennlinie beschrieben werden. Je größer der elektrische Widerstand des Systems ist, desto größer muss die elektrische Spannung $U$ sein, um einen elektrischen Strom der Stärke $I$ zu bewirken.

Das Zusammenspiel beider Konzepte:

$P = U \cdot I$  regelt den Energietransport

$U = R \cdot I$  regelt die Stärke des elektr. Stroms, der fließt.

An Stellen mit großem Widerstand wird mehr Energie abgeladen:

- Glühlampe die Wendel glüht, nicht die Zuleitungsdrähte
- 230 V Lampe und 4 V Lampe in Reihe... es glüht die Wendel der 4 V Lampe, die Stelle mit dem größten Widerstand.

### 13. Schlussbetrachtungen

Dieser Artikel soll zeigen, in welche Richtung das Lernen und Lehren im Bereich der Naturwissenschaft sich auf Grundlage der Freiburger Forschungsraumdidaktik und des GeRRNs entwickeln kann. Am Beispiel der Elektrizitätslehre wurde versucht, einen möglichen Bildungsgang von der frühen Kindheit bis zum Erwachsenenalter aufzuzeigen, bei dem besonders auch die kognitiven Möglichkeiten der Lernenden berücksichtigt werden. Mithilfe zweier unterschiedlicher Wassermodelle (Abb. 7) und mit einem „Schülerstromkreis“ wurden „mentale Sinnbilder“ bei den Lernenden angeregt, mit denen sie trotz fehlender formaler kognitiver Fähigkeiten die physikalischen Begriffe differenzieren und in Zusammenhang bringen können. Diese mentalen Sinnbilder sind so tragfähig, dass die Lernenden mit ihnen auch „konkret operieren“ und bei zunehmenden kognitiven Möglichkeiten mit immer größerer Eindringtiefe schrittweise hin zu den abstrakten physikalischen Konzepten weiterentwickeln können.

Die abschließenden Zitate aus persönlichen Resümees einiger Schülerinnen und Schüler der Klassenstufen 7, 9 und 11 sollen zeigen, welche Wirkung die zuvor beschriebenen Ansätze im konkreten Unterrichtsalltag haben können:

„Am wichtigsten für mich war, dass wir den elektrischen Stromkreislauf mit dem Wasser-Strom-Kreislauf anschaulich erklärt bekommen haben. Man konnte so viel besser verstehen, wie der Strom funktioniert. Doch da man das mit dem Widerstand noch nicht so gut verstehen konnte, war es sehr wichtig, dass wir einen „Menschen-Stromkreis“ erstellt haben.“ (7)

„Und als wir den „menschlichen Stromkreislauf“ gemacht haben, habe ich sofort den Stromkreis verstanden (Antrieb und Widerstand). (7)

„Beim Stromkreismodell hat man durch das, dass man Teil des Stromkreises war, diesen nochmals besser nachvollziehen und verstehen können und hat ihn so „miterlebt“. (7)

„Eines der wichtigsten Themen in diesem Schuljahr war für mich die Elektrizitätslehre. Wir haben die verschiedenen Begriffe erklärt und herausgefunden, wie man sie messen kann. Besonders das Rechnen hat mir total viel Spaß gemacht. Das Rechnen war nicht allzu schwer, hat einen aber dennoch gefordert. Außerdem war das Rechnen auch mal eine erfrischende Abwechslung, da wir dies nicht so oft machen!<sup>52</sup>“ (9)

„Das erste, was ich sehr wichtig fand, war die Zeit, in der wir mit den beiden Formeln  $P = U \cdot I$  und  $R = U/I$  gerechnet haben. Es hat mir bewiesen, dass vieles nicht so kompliziert ist, wie es erst mal wirkt.... Ich war erst mal komplett aus dem Thema. Es war etwas relativ Schwieriges zu verstehen für mich, doch später, mit ein bisschen mehr Übung, hatte ich plötzlich alles verstanden, und die Rechnungen mit den Formeln fielen mir am einfachsten, wenn man erstmal alle Maßeinheiten und Begriffe kannte.“ (9)

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 viele technische Entwicklungen sich wohl auf diese Entdeckung berufen können? Mein Fazit des Tages: Gutes Gefühl während dem Test gehabt und schönen Versuch durchgeführt und Entdeckerlust in mir erweckt. So soll das sein! (11)

<sup>52</sup> Vielleicht hängt die Freude beim Rechnen auch damit zusammen, dass - wie im GeRRN empfohlen - die Mathematisierung der Phänomene wohldosiert, an exemplarischen Stellen im Unterricht angewandt wurde.