

Fachdidaktik Physik: 1.1.3. Experimente

Hans-Otto Carmesin

Gymnasium Athenaeum Stade, Studienseminar Stade

Hans-Otto.Carmesin@t-online.de

16. März 2021

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	2
2	Wie mache ich Experimente lernwirksam?	3
3	Wie gewinnen SuS experimentell Erkenntnisse?	3
3.1	Reduktion	3
3.2	Entdeckung mit minimaler Anleitung	4
3.3	Ideenfindung bei minimaler Anleitung	5
3.4	Erarbeitung	6
3.5	Darbietung	6
3.6	Empirische Lernforschung zu minimaler Anleitung	6
4	Wie entwickeln SuS ihre Experimentierfähigkeit?	7
5	Wie nutzen Versuche dem Konzeptwechsel?	8
6	Didaktische Funktionen von Experimenten	8
7	Übersichten	10
7.1	Experimentierprozess	10
7.2	Häufige Fehler beim Experimentalunterricht	10
7.3	Qualitätskriterien	11
7.4	Checkliste für Schülerexperimente	11
8	Aufgaben	12
9	Zusammenfassung	13

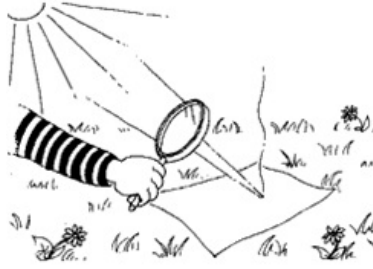


Abbildung 1: Bei diesem Versuch bringt ein Schüler das Grundprinzip der Sammellinse auf den Punkt. Das geschieht in der Lebenswelt mit vielfältiger Relevanz, mit einsichtiger Zieltransparenz, mit herausforderndem Ziel, mit Selbstständigkeit bei der Planung und Durchführung, mit Leichtigkeit, mit der Möglichkeit zum Schülerversuch und mit didaktischer Absicht. Der Versuch ist spannend, funktioniert und führt zu Kompetenzerlebnissen. Wie sollte man die wesentlichen Lernziele zur Sammellinse wirksamer erreichen als mit einem Experiment?

1 Einleitung

Bereits das Kleinkind experimentiert spontan mit Bauklötzen, Schneebällen, Magneten, Kreiseln (s. Abb. 2) und praktisch allem, was es zwischen die Finger bekommt. Das Experimentieren wurde in der Wissenschaft, in der Technik und auch in der Schule jeweils passend professionalisiert.

In Abschnitt zwei geht es um die **Lernwirksamkeit** von Versuchen (s. Abb. 1). Im dritten Kapitel wird geklärt, wie die SuS experimentell effektiv **physikalische Erkenntnisse entdecken** können. Die Entwicklung **experimenteller Kompetenzen** ist Gegenstand von Teil vier und beginnt spätestens beim Kleinkind (s. Abb. 2). Abschnitt fünf befasst sich mit dem **Konzeptwechsel** mit Hilfe von Versuchen. Weitere didaktische Funktionen von Experimenten im Physikunterricht werden in Teil sechs dargestellt, während in Abschnitt 7 Übersichten zum Experimentalunterricht präsentiert werden.



Abbildung 2: Der Kreisel regt bereits kleine Kinder zu physikalischen Versuchen an. Das Kind hat den Versuchsaufbau zwar nicht völlig selbstständig geplant, es verfügt aber offenbar schon über experimentelle Kompetenzen.

2 Wie mache ich Experimente lernwirksam?

Diese Frage ist für Ihren Unterricht wesentlich, aber empirisch noch nicht erschöpfend erforscht. So konstatieren Hopf, Schecker und Wiesner, dass es nach den *konsistenten Ergebnissen der fachdidaktischen Forschung keinen Zusammenhang zwischen dem Lernerfolg der Schüler und dem Einsatz von Unterrichtsexperimenten* gebe (s. Hopf u. a. (2011), S. 111).

Diese Autoren zeigen sogleich eine praktikable Lösung auf: Der Lernerfolg des Experiments hängt davon ab, wie das Experiment in den Unterricht eingebettet ist. So verweisen die drei darauf, dass sich *der bewusste Dreischritt VORHERSAGEN - BEOBACHTEN - VERGLEICHEN UND ERKLÄREN für die lernwirksame¹ Einbettung von Unterrichtsexperimenten bewährt hat* (s. Hopf u. a. (2011), S. 112 und Abb. 3).

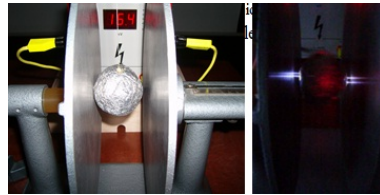


Abbildung 3: Die SuS können das Verhalten der Kugel zwischen den geladenen Kondensatorplatten vorhersagen, beobachten und erklären.

3 Wie gewinnen SuS experimentell Erkenntnisse?

3.1 Reduktion

Bereits Muckenfuß stellte fest, dass ein reines entdeckendes Lernen mit Experimenten für den Physikunterricht zu aufwändig wäre (s. Muckenfuß (1995), S. 336). Für die Unterrichtspraxis muss das Experiment daher auf das Wesentliche reduziert werden. Diese Reduktion soll den SuS jedoch an irgendeiner Stelle im Unterricht bewusst gemacht werden, um allerlei denkbaren Fehleinschätzungen entgegenzuwirken (s. Muckenfuß (1995), S. 337).

¹Weitere Belege für die Lernwirksamkeit von Experimenten sind die folgenden Tatsachen: Kleine Kinder befassen sich mit Physik spontan und weitestgehend experimentell (s. Abb. 2). Die bundesweite Initiative *Haus der kleinen Forscher* arbeitet in Kindergärten naturwissenschaftlich sehr erfolgreich und hauptsächlich experimentell (s. Hecker (2008)). In vielen Studiengängen werden zahlreiche Praktika und Experimentalvorlesungen angeboten.

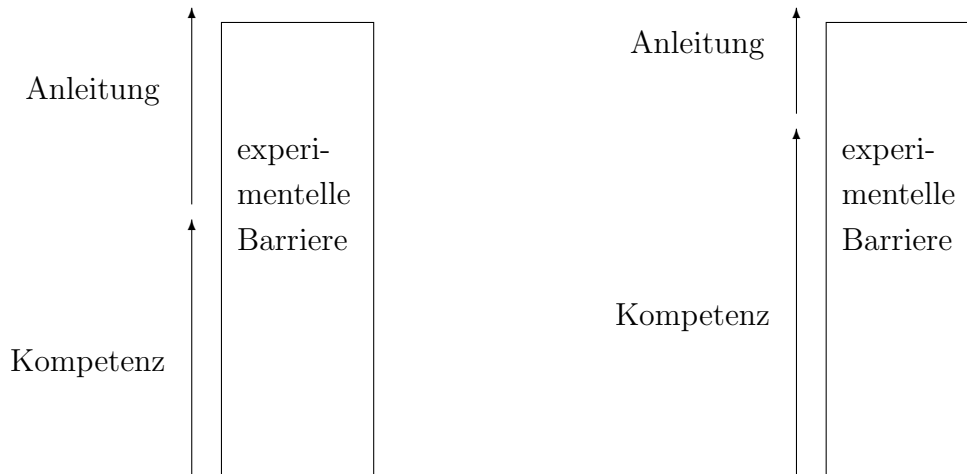


Abbildung 4: Minimal angeleitete Entdeckung: Links: Die experimentellen Kompetenzen der SuS ergänzt die Lehrkraft durch minimale Anleitung. So überwinden die SuS die Barriere bewusst und effektiv. Rechts: Die SuS haben ihre experimentellen Kompetenzen schrittweise weiter entwickelt. Daher ist weniger Anleitung angebracht.

3.2 Entdeckung mit minimaler Anleitung

Zur Entdeckung eines Naturgesetzes sollen die SuS so wenig wie möglich angeleitet werden. Aber nur wenn die SuS genügend angeleitet werden, so dass sie nur kurze Zeit nach Lösungswegen suchen, ist das entdeckende Verfahren effizient (s. [Kirschner u. a. \(2006\)](#)). Kurz gesagt, die SuS **entdecken minimal angeleitet** physikalische Erkenntnisse².



Abbildung 5: Bereits Kleinkinder können aus mehreren Formen die passende auswählen. Im übertragenen Sinne können SuS aus mehreren bekannten Strukturen eine passende für eine Versuchsplanung, Entdeckung oder Problemlösung auswählen.

²Muckenfuß befürchtet hier Positivismus (s. [Muckenfuß \(1995\)](#), S. 334-338). Ich meine, man soll nicht positivistisch sein, doch man soll auch nicht den SuS mögliche weitgehende Primärerfahrungen vorenthalten und durch bloße Sekundärerfahrungen ersetzen.

3.3 Ideenfindung bei minimaler Anleitung

Die SuS können minimal angeleitet entdecken, indem sie bekannte Strukturen, Verfahren, Kenntnisse oder andere Lernvoraussetzungen **auswählen und anwenden**; so können sie z. B. den Versuch planen oder auswerten. Beispielsweise können SuS entdecken, dass in der Reihenschaltung an allen Stellen die gleiche Stromstärke vorliegt, indem sie ihre Vorkenntnisse zur Stromstärke und deren Messung auswählen und gezielt experimentell einsetzen und so durch den Versuch das Naturgesetz entdecken. Dieses Auswählen und Anwenden bekannter Strukturen ist eine grundlegende Fähigkeit, die bereits Kleinkinder beherrschen (s. Abb. 5).

Solches Auswählen kann das Gehirn durch seine Netzwerkarchitektur im günstigen Fall augenblicklich durchführen (s. Arnold (2009) S. 182 oder Carmesin (1996)), das empfinden wir subjektiv als eine **plötzlich auftauchende Idee**³. Dieser Vorgang wird auch als implizit oder assoziativ attribuiert (s. Helie u. Sun (2010) S. 1000). Solche assoziative Ideenfindung kann im Unterricht beispielsweise durch sogenanntes Brainstorming in einer Plenumsphase stattfinden.

Allerdings kann eine solche assoziative Ideenfindung **nicht erzwungen werden**. Ersatzweise kann ein tragfähiger Ansatz explizit, Regel-basiert (s. Helie u. Sun (2010) S. 1000) und sequenziell mit Hilfe des Kurzzeitgedächtnisses gesucht werden. Das ist jedoch sehr langwierig und für das Lernen oft ineffizient (s. Kirschner u. a. (2006) S. 80). Ein kurzfristiger Ausweg kann eine Lernhilfe sein. Nach der Stunde ist zu analysieren, ob die SuS die nötigen Lernvoraussetzungen beherrschen, ob die SuS die assoziative Produktion von Ideen genügend trainiert haben, ob die SuS die Produktion von Ideen blockieren (s. Abb. 6) und ob das Stundenkonzept bei der Lerngruppe überhaupt tragfähig ist.

Für eine Unterrichtsstunde sind eher **einfache assoziative Ideenfindungen geeignet**, weil aufwändigere assoziative Ideenfindungen erst durch eine Pause begünstigt werden, in der das Gehirn die Zeit unbewusst zu nutzen scheint. Diese Phase der unbewussten Weiterverarbeitung wird in der Psychologie als *Inkubation* (vom lateinischen *incubare*, d. h. brüten) bezeichnet (s. Sio u. Ormerod (2009)). Das Gehirn brütet also unbewusst etwas aus, wenn es Zeit dazu hat. Das entspricht der empirischen Tatsache, dass eine Wartezeit von bis zu 10 Sekunden nach einer Frage den Lernerfolg besonders wirksam steigert (s. Häußler u. a. (1998) S. 157). **Selbst einfache assoziative Ideenfindung braucht Zeit.**

³Das augenblickliche Finden einer Idee durch die Netzwerkarchitektur des Gehirns darf nicht verwechselt werden mit dem Finden von Fakten im Internet, Büchern oder anderen Medien. Ebenso darf es nicht verwechselt werden mit dem sequenziellen Abarbeiten einer bekannten Prozedur.

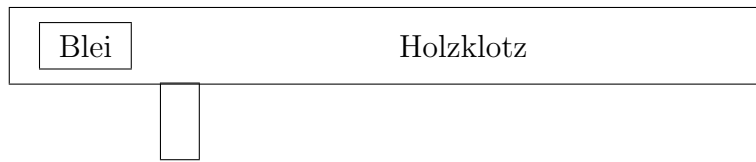


Abbildung 6: Blockierte Idee: In einem Holzklötzchen ist ein Bleistück versteckt. Die Versuchspersonen sollen den Klötzchen ins Gleichgewicht bringen. Vierjährige probieren es aus und finden das asymmetrische Gleichgewicht. Achtjährige legen den Klötzchen symmetrisch auf den unteren Klötzchen und scheitern. Ihr Vorwissen über Symmetrie beim Gleichgewicht blockiert die Idee des vorurteilsfreien Ausprobierens.

3.4 Erarbeitung

Wenn die angeleitete Entdeckung für eine Lerngruppe oder ein Thema zu schwierig erscheint, dann kann man ein erarbeitendes Lehrverfahren anwenden. In den letzten Jahren wurde das spezielle erarbeitende Verfahren des **Worked-Out Examples** entwickelt. Untersuchungen zeigten, dass dieses Verfahren sehr lernwirksam sein kann, wenn angeleitetes Entdecken zu schwierig ist (s. [Kirschner u. a. \(2006\)](#) S. 80). Bei diesem Lehrverfahren erarbeiten die SuS zunächst ein Beispiel von gegebener Lösung. Anschließend wenden sie dieses auf eine neue Situation an. Beispielsweise können die SuS zunächst lernen, wie man die Stromstärke misst. Anschließend können sie in einer Reihenschaltung Stromstärken messen und dabei entdecken, dass diese an allen Stellen gleich sind.

3.5 Darbietung

Bei komplizierten Versuchen kann es auch sinnvoll sein, wenn die Lehrkraft das Experiment mit passender Erläuterung darbietet (s. [Kircher u. a. \(2001\)](#) S. 200). Anschließend arbeiten die SuS mit dem Gelernten.

3.6 Empirische Lernforschung zu minimaler Anleitung

Auch zum minimal angeleiteten Entdecken wurden Lernforschungen durchgeführt (s. [Mayer \(2003\)](#), S. 287-291): Die empirische Forschung hat gezeigt, dass SuS langfristig lernen und das Gelernte auf neue Situationen transferieren können, wenn sie durch *angeleitete Entdeckung (Guided Discovery)* lernen. Dagegen lernen die SuS weniger langfristig und transferierbar, wenn sie durch *reine Entdeckung (Pure Discovery)* oder durch bloße *Darbietung der Erkenntnis (Expository)* lernen. Auch zeigt die Behaltensforschung, dass SuS selbstständig aufgebautes Wissen langfristig behalten, weiter entwickeln und transferieren (s. [Häußler u. a. \(1998\)](#) S. 161-162).

4 Wie entwickeln SuS ihre Experimentierfähigkeit?

Damit die SuS physikalische Erkenntnisse experimentell **mit abnehmender Anleitung entdecken** können, müssen sie ihre Experimentierfähigkeit **schrittweise und bewusst gezielt handelnd** weiter entwickeln (s. [Brüning u. a. \(2010\)](#); [Beime u. a. \(2012\)](#); [Gehmann \(2015\)](#); [Frenzel \(2017\)](#) und [Abb. 11](#)). Für die Entwicklung der Experimentierfähigkeit sind daher folgende Elemente wichtig:

1. Minimal angeleitetes Entdecken: Die SuS erhalten bei geringer Schwierigkeit geringe Anleitung.
2. Die SuS entwickeln ihre Kompetenzen zur Planung, Durchführung, Auswertung sowie Bewertung von Experimenten schrittweise weiter.
3. Fortgeschrittene SuS setzen auch registrierende Messinstrumente und grafikfähige Taschenrechner beim Experimentieren ein⁴.
4. Die SuS müssen den erlebten Erfolg immer hauptsächlich dem eigenen Tun zuschreiben können⁵.
5. Die SuS müssen Experimente als Mittel zur Darstellung von Phänomenen oder zur Beantwortung wesentlicher Fragen erleben⁶.

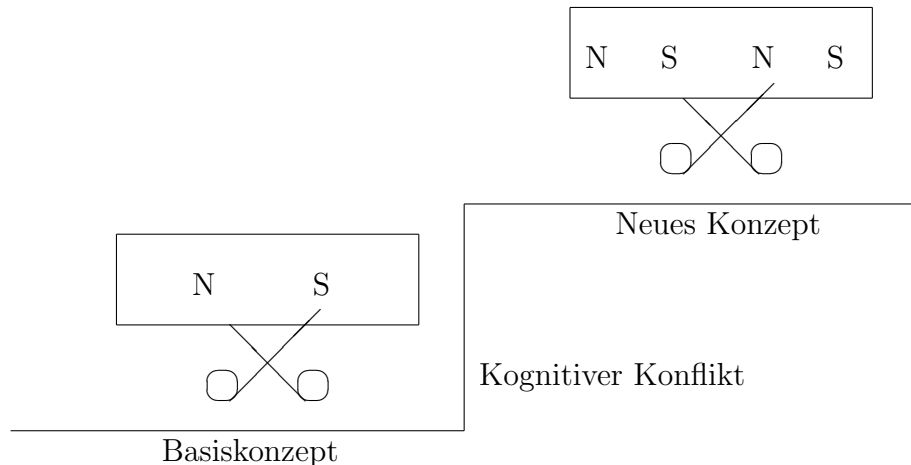


Abbildung 7: Konzeptwechsel: Links: Basiskonzept: Der Stabmagnet ergibt beim Zerschneiden einen Nordpol und einen Südpol. Mitte: Kognitiver Konflikt: Der Versuch zeigt, dass zwei Stabmagneten entstehen. Rechts: Neues Konzept: Der Magnet beinhaltet mehrere Stabmagnete.

⁴Diese Messgeräte ermöglichen vielfältige besonders interessante und authentische Versuche. Beispielsweise können die SuS ihr eigenes EKG aufnehmen und physikalisch analysieren (s. [Carmesin \(2010\)](#)).

⁵Notwendig für den Lernerfolg ist neben der puren Aktivität die zugehörige gedankliche Durchdringung.

⁶Wenn die SuS das Experiment mit einem Zweck verbinden, dann ist es für ähnliche Zwecke leicht transferierbar.

5 Wie nutzen Versuche dem Konzeptwechsel?

Empirische Untersuchungen zeigen (s. Mayer (2003), S. 235), dass viele SuS Versuche kaum zur Weiterentwicklung ihrer Konzepte nutzen können. Insbesondere tendieren viele SuS dazu, Experimente **als Bestätigungen ihrer Basiskonzepte umzudeuten** anstatt die Schwächen ihrer Basiskonzepte aufzuzeigen (s. Wagenschein (1968) S. 340-341 und Häußler u. a. (1998) S. 174-175), um daraufhin neue Konzepte zu entwickeln. Weiterhin zeigen Untersuchungen, dass die SuS lernen können, Experimente kritisch zu deuten und daraufhin ihre Konzept weiter zu entwickeln.

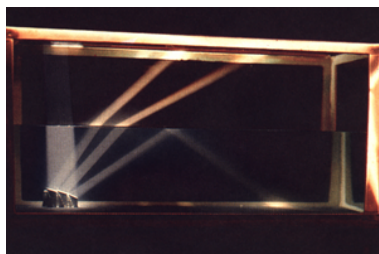


Abbildung 8: Experimente können ein Phänomen darstellen: Hier werden an einer Wasseroberfläche einige Lichtbündel gebrochen, während andere Totalreflexion erfahren.

6 Didaktische Funktionen von Experimenten

Die wesentlichen Funktionen des Experiments sind die Darstellung von Phänomenen sowie Fachwissen, die Gewinnung physikalischer Erkenntnisse sowie die Entwicklung experimenteller Kompetenzen (s. Brüning u. a. (2010); Beime u. a. (2012); Gehmann (2015); Frenzel (2017)). Zudem kann das Experiment auf vielfältige Weise⁷ den Physikunterricht unterstützen (s. Hopf u. a. (2011), S. 106-107 und Berger (2005)), erzieherisch wirken (s. McAllister u. Althusmann (2010)) und lebensweltliche Kontexte darstellen, welche auf vielfältige Weise langfristiges Lernen begünstigen (s. Häußler u. a. (1998) S. 161-167):

⁷Wegen der zahlreichen Möglichkeiten Experimente im Physikunterricht einzusetzen, sind derartige Listen oder Klassifikationsversuche in der didaktisch Fachliteratur kaum erschöpfend.

Ziel	Beitrag des Experiments im Physikunterricht
Vermittlung von Fachwissen	<ul style="list-style-type: none"> • Darstellung eines Phänomens (s. z. B. Abb. 8) • Veranschaulichung eines Konzepts • Überprüfung physikalischer Regeln und Gesetze
Konzeptwechsel (s. z. B. Abb. 7)	<ul style="list-style-type: none"> • Bewusstmachen eines Basiskonzepts • Erzeugung eines kognitiven Konflikts zum Basiskonzept • Entwickeln eines neuen Konzepts
Entwicklung experimenteller Kompetenzen	<ul style="list-style-type: none"> • Entwickeln von Hypothesen • Planen, Durchführen, Auswerten von Versuchen • Analysieren von Vereinfachungen und Fehlerquellen bei Versuchen • Formulieren von Ergebnissen von Versuchen • kritisches Verallgemeinern von Versuchsergebnissen • Erkennen von Grenzen physikalischer Versuchsergebnisse
Anregen von Interesse	<ul style="list-style-type: none"> • Darstellung relevanter Kontexte: Die SuS können beispielsweise Solarzellen der ersten, zweiten und dritten Generation experimentell untersuchen und miteinander vergleichen (s. Martens (2010)). • Entwickeln von Modellversuchen zu relevanten Kontexten: Die SuS können beispielsweise einen elektrostatischen Staubfilter im Modellversuch experimentell analysieren (s. Skript zur E-Lehre in 11 und Bleichroth u. a. (1999)). • Motivierender Einstieg in ein Thema (s. z. B. Abb. 9) • Erzeugen von Aufmerksamkeit und Staunen (s. z. B. Abb. 10) • Naturbeobachtung: Beispielsweise können die SuS einen Monat lang den Mond beobachten und daraus zahlreiche anspruchsvolle Schlussfolgerungen ziehen (s. Hünsch (2007)). • Exkursionen zu außerschulischen Lernorten: Beispielsweise können die SuS im Heidepark Kreisbewegungen und kinetische Energien anspruchsvoll experimentell analysieren (s. Carmesin (2004)). • Vergleich von Beobachten und Messen (s. z. B. Carmesin (2001))
Entwicklung prozessbezogener Kompetenzen	<ul style="list-style-type: none"> • Kommunikation • Argumentieren • Mathematisieren
Erziehen	<ul style="list-style-type: none"> • Förderung von Geduld, Ausdauer und Objektivität • Förderung der Konzentration auf das Wesentliche • Förderung von Verantwortungsbewusstsein
Anspruchsvolle Schüleraktivität	<ul style="list-style-type: none"> • Erzeugen von Kompetenzerlebnissen • Eigenständige Überprüfung von Vermutungen • Eigenständige Herstellung technischer Systeme: Die SuS können beispielsweise eine Lichterkette selbstständig herstellen und analysieren.
Metakognition	<ul style="list-style-type: none"> • Physikalische Erkenntnisgewinnung

Tabelle 1: Funktionen des Experiments im Physikunterricht: Die oberen drei Blöcke umfassen den Experimentalunterricht, während die unteren Blöcke viele weitere nützliche Einsatzgebiete des Experiments im Unterricht aufzeigen.

7 Übersichten

Ergänzend zum oben dargestellten Konzept für guten Experimentalunterricht dienen ausführliche Übersichten.

7.1 Experimentierprozess

Für dem grundlegenden **Dreischritt** VORHERSAGEN - BEOBACHTEN - ERKLÄREN gibt es ergänzende Schritte:

1. Einstieg: Motivation und Zielorientierung
2. Problemerkfassung
3. VORHERSAGEN alias Hypothesenbildung
4. Vorbereitung und Planung
5. Durchführung mit BEOBACHTUNG
6. Auswertung
7. Formulierung des Ergebnisses
8. Deutung mit VERGLEICHEN UND ERKLÄREN

Dieses Schema gibt durch Ritualisierung eine gewisse Struktur. Es ist jedoch nicht immer optimal angemessen.

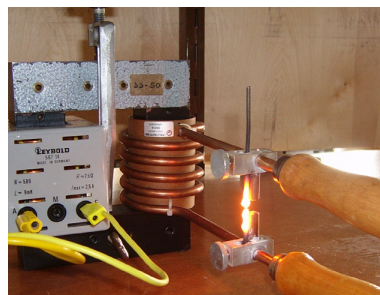


Abbildung 9: Gute Experimente sind motivierend: Hier wird ein Nagel mit Hilfe eines Hochstromtransformators geschmolzen.

7.2 Häufige Fehler beim Experimentalunterricht

Empirisch wurden beim realen Experimentalunterricht folgende Fehler häufig beobachtet (s. [Berger \(2005\) S. 171-172](#)):

1. Zu starke Fokussierung auf Experimente mit einengender Sicht auf Naturwissenschaften

-
2. Triviale Schülerexperimente
 3. Experimente berücksichtigen Fähigkeiten und Interessen der SuS zu wenig.
 4. SuS befolgen zu sehr Anleitungen.
 5. Einseitige Laboraktivitäten führen zu einer Untergeneralisierung naturwissenschaftlicher Methoden.
 6. Es findet zu wenig Planung und Reflexion statt.



Abbildung 10: Gute Experimente sind herausfordernd: Hier scheint ein Reagenzglas rote Buchstaben zu spiegeln und blaue unverändert zu lassen.

7.3 Qualitätskriterien

Für das obige Konzept können Qualitätskriterien für guten Experimentalunterricht zusammengefasst werden (s. Berger (2005) S. 172-173):

1. Das Experiment soll gemäß einer didaktischen Absicht konzipiert und ausgewählt werden.
2. Es soll herausfordernd sein.
3. Ziel und Zweck sollen einsichtig sein.
4. Die SuS führen die Planung und Arbeit relativ selbstständig durch, werden aber nicht überfordert.
5. Experimente funktionieren und vermitteln den SuS ein Kompetenzerlebnis.

7.4 Checkliste für Schülerexperimente

Schülerexperimente haben den zusätzlichen Vorteil, dass viele SuS parallel experimentieren können. So können vielfältige fachliche, experimentelle, kommunikative und soziale Kompetenzen gefördert werden (s. Kircher u. a. (2001), S. 290). Bei der Vorbereitung sind folgende praktischen Kernpunkte zu beachten (s. Berger (2005) S. 155):

1. Ist das Schülerexperiment ...
 - ... inhaltlich geeignet
 - ... bei der Ausstattung gut durchführbar
 - ... bei den Räumen gut durchführbar

-
- ... in der vorhandenen Zeit gut durchführbar
 - ... bei der Lerngruppe gut durchführbar
 - ... in den Gruppen für jeden aktivierend
2. Wie gelangen alle mit ihren spezifischen Lernvoraussetzungen zum Erfolg?
 3. Wie werden die Gruppen zusammengesetzt?
 4. Ist Binnendifferenzierung möglich und sinnvoll?
 5. Welche Kompetenzen werden entwickelt?
 6. Wie werden die Ergebnisse gesammelt und kontrolliert?

8 Aufgaben

1. Erläutern Sie den Dreischritt des lernwirksamen Experimentalunterrichts.
2. Stellen Sie dar, wie die SuS ihre Planungskompetenzen gemäß dem Kerncurriculum entwickeln sollten.
3. Erläutern Sie das minimal angeleitete Entdecken des Experimentalunterrichts.
4. Nennen Sie Vorteile des minimal angeleiteten Entdeckens im Experimentalunterricht.
5. Stellen Sie ein Beispiel für Konzeptwechsel aus Ihrem Unterricht dar.
6. Erklären Sie, warum sich die SuS im Experimentalunterricht als bewusst gezielt handelnde Personen erleben sollen.
7. Erklären Sie, warum die SuS ihre Experimentierfähigkeit schrittweise im Verlauf vieler Jahre entwickeln sollen.
8. Erläutern Sie die typischen Fehler des Experimentalunterrichts.
9. Erläutern Sie die Qualitätskriterien des Experimentalunterrichts.
10. Erklären Sie das in Abb. 10 dargestellte Phänomen.

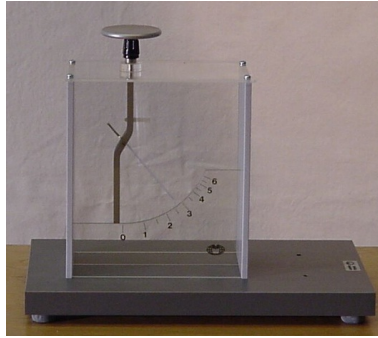


Abbildung 11: Die SuS können durch minimal angeleitetes Entdecken ein Nachweisverfahren für Radioaktivität mit Hilfe eines Elektroskops selbst entwickeln (s. Skript zur Kernphysik in 12). Dabei können sie bewusst gezielt handeln und das Ergebnis als Erfolg ihres Tuns erleben.

9 Zusammenfassung

Beim Experiment können die SuS besonders unmittelbar und selbstständig Erkenntnisse von der Natur gewinnen. Entsprechend ist das Experiment in vielen Altersstufen und Lebensbereichen weit verbreitet. Sie sollten daher an die vielfältigen vorhandenen experimentellen Fähigkeiten und Erfahrungen der SuS anknüpfen (s. z. B. Abb. 2). Dennoch ist für wirksames unterrichtliches Experimentieren eine professionelle Lehrkraft unabdingbar, die minimale Anleitungen gibt, den Dreischritt aus Hypothese, Beobachtung und Erklärung moderiert, Metakognition anregt und eine langjährige Weiterentwicklung der experimentellen Kompetenzen der SuS ausbildet.

Ich wünsche Ihnen, dass Sie gemeinsam mit Ihren SuS möglichst unmittelbar und zugleich metakognitiv physikalische Erkenntnisse experimentell entdecken.

Literatur

- [Arnold 2009] ARNOLD, Margret: Brain-based Learning and Teaching - Prinzipien und Elemente. In: HERRMANN, Ulrich (Hrsg.): *Neurodidaktik*. 2. Weinheim : Beltz Verlag, 2009
- [Beime u. a. 2012] BEIME, Christa ; HOPPE, Petra ; HUMMES, Klaus-Peter ; VÖPEL, Karl-Heinz ; VOSS, Christine ; ZEMANN, Winfried: *Kerncurriculum für die Integrierte Gesamtschule, Schuljahrgänge 5 - 10, Naturwissenschaften, Niedersachsen*. Hannover : Niedersächsisches Kultusministerium, 2012
- [Berger 2005] BERGER, Veit: Im Physikunterricht experimentieren. In: MIKELSKIS, Helmut (Hrsg.): *Physikdidaktik*. Berlin : Cornelsen Skriptor, 2005
- [Bleichroth u. a. 1999] BLEICHROTH, Wolfgang ; DAHNKE, Helmut ; JUNG, Walter ; KUHN, Wilfried ; MERZYN, Gottfried ; WELTNER, Klaus: *Fachdidaktik Physik*. 2. Köln : Aulis Verlag Deubner, 1999

-
- [Brüning u. a. 2010] BRÜNING, Thomas ; DÖTZER, Susanne ; ELSASSER, Wolfgang ; HEIKE, Christina ; JÜTTNER, Horst ; MICHALSKI, Regina ; MOORKAMP, Michael ; SUTTMAYER, Beate: *Rahmenrichtlinien für das Fach Naturwissenschaft in der Klasse 12 der Fachoberschule, Niedersachsen*. Hannover : Niedersächsisches Kultusministerium, 2010
- [Carmesin 1996] CARMESIN, Hans-Otto: *Neuronal Adaptation Theory*. Frankfurt : Peter Lang Verlag, 1996
- [Carmesin 2001] CARMESIN, Hans-Otto: Einführung des Energiebegriffs mit Hilfe menschlicher Sinnesorgane. In: NORDMEIER, Volker (Hrsg.) ; Deutsche Physikalische Gesellschaft (Veranst.): *Tagungs-CD Fachdidaktik Physik*. Berlin : DPG, 2001
- [Carmesin 2004] CARMESIN, Hans-Otto: Messung von Beschleunigungen mit einer Bogenwasserwaage im Physikunterricht einer 11. Klasse. In: NORDMEIER, Volker (Hrsg.) ; OBERLÄNDER, Arne (Hrsg.) ; Deutsche Physikalische Gesellschaft (Veranst.): *Tagungs-CD Fachdidaktik Physik, ISBN 3-86541-066-9*. Berlin : DPG, 2004
- [Carmesin 2010] CARMESIN, Hans-Otto: Entdeckung von Dipolfeldern mithilfe des EKGs in der 11. Klassenstufe des Gymnasiums. In: *PhyDid B Internetzeitschrift* ISSN 2191-379X (2010), S. 1–5
- [Frenzel 2017] FRENZEL, Michael u. a.: *Kerncurriculum für das Gymnasium - gymnasiale Oberstufe, die Gesamtschule - gymnasiale Oberstufe, das Fachgymnasium, das Abendgymnasium, das Kolleg, Physik, Niedersachsen*. Hannover : Niedersächsisches Kultusministerium, 2017
- [Gehmann 2015] GEHMANN, Kurt u. a.: *Kerncurriculum für das Gymnasium, Schuljahrgänge 5 - 10, Naturwissenschaften, Niedersachsen*. Hannover : Niedersächsisches Kultusministerium, 2015
- [Hecker 2008] HECKER, Joachim: *Haus der kleinen Forscher*. Berlin : Rowohlt, 2008
- [Helie u. Sun 2010] HELIE, Sebastian ; SUN, Ron: Incubation, Insight, and Creative Problem Solving: A Unified Theory and a Connectionist Model. In: *Psychological Review* 117 (2010), S. 994–1024
- [Hünsch 2007] HÜNSCH, Matthias: *Schülerbeobachtungen der Mondphasen: Ein Unterrichtsversuch zur Vermittlung prozessbezogener Kompetenzen in der Klassenstufe 7 des Gymnasiums*. Stade : Studienseminar Stade Hausarbeit, 2007
- [Hopf u. a. 2011] HOPF, Martin ; SCHECKER, Horst ; WIESNER, Hartmut: *Physikdidaktik kompakt*. 1. Köln : Aulis Verlag, 2011
- [Häußler u. a. 1998] HÄUSSLER, Peter ; BÜNDER, Wolfgang ; DUIT, Reinders ; GRÄBER, Wolfgang ; MAYER, Jürgen: *Perspektiven für die Unterrichtspraxis*. Kiel : IPN, 1998
- [Kircher u. a. 2001] KIRCHER, Ernst ; GIRWIDZ, Raimund ; HÄUSSLER, Peter: *Physikdidaktik*. 2. Berlin : Springer, 2001

-
- [Kirschner u. a. 2006] KIRSCHNER, Paul A. ; SWELLER, John ; CLARK, Richard E.: Why Minimal Guidance During Instruction Does Not Work: An Analysis of the Failure of Constructivist, Discovery, Problem-Based, Experiential, and Inquiry-Based Teaching. In: *Educational Psychologist* 41 (2006), S. 75–86
- [Martens 2010] MARTENS, Klaus: *Kontexte zur Einführung von Photonen im Physikunterricht eines Kurses auf erhöhtem Niveau. Ein Unterrichtsversuch im Doppeljahrgang eines Gymnasiums für das Abitur 2011*. Stade : Studienseminar Stade, 2010
- [Mayer 2003] MAYER, Richard: *Learning and Instruction*. 1. New Jersey : Merrill Prentice Hall, 2003
- [McAllister u. Althusmann 2010] MCALLISTER, David ; ALTHUSMANN, Bernd: *Verordnung über die Ausbildung und Prüfung von Lehrkräften im Vorbereitungsdienst: Nds. GVBl., 29.7.2010*. Hannover : Niedersächsisches Kultusministerium, 2010
- [Muckenfuß 1995] MUCKENFUSS, Heinz: *Lernen im sinnstiftenden Kontext*. Berlin : Cornelsen, 1995
- [Sio u. Ormerod 2009] SIO, Ut N. ; ORMEROD, Thomas C.: Does Incubation Enhance Problem Solving? A Metaanalytic Review. In: *Psychological Bulletin* 135 (2009), S. 94–120
- [Wagenschein 1968] WAGENSCHN, Martin: *Verstehen lehren*. Weinheim : Beltz Verlag, 1968