

Laborphänomene zur Behandlung von Naturphänomenen am Beispiel des Themas „Gewitter“

Burkhard Priemer

Ruhr-Universität Bochum, Fakultät für Physik und Astronomie, Fachdidaktik der Physik,
Universitätsstr. 150, 44801 Bochum,
priemer@physik.rub.de

(Eingegangen: 31.03.2006; Angenommen: 19.07.2006)

Kurzfassung

Viele Naturphänomene sind komplex und werden von einer Reihe von Faktoren beeinflusst, die eine detaillierte Untersuchung unter kontrollierbaren Bedingungen im Unterricht schwierig machen. Da es dennoch wünschenswert ist, diese wahrnehmbaren Erscheinungen der Umwelt und des Alltags im Fach Physik zu behandeln, wird ein didaktisches Vorgehen hierzu vorgeschlagen. Dieses beruht auf der Gewinnung eines Laborphänomens, mit dessen Hilfe eine Variation der Einflussgrößen möglich wird. Das „neue“ Phänomen dient dabei nicht primär zur Vereinfachung des Originalphänomens, zur Konstruktion eines (hypothetischen) Erklärungsrahmens oder zur Rückführung auf Bekanntes, sondern zu dessen Kontrollierbarkeit im Rahmen eines durchführbaren Experiments. Darauf aufbauend erfolgt eine Phänomen-orientierte Beschreibung der Beobachtungen bis hin zu einer Übertragung der gewonnenen Erkenntnisse auf das Originalphänomen. Im Mittelpunkt steht dabei die Vermittlung physikalischer Denk- und Arbeitsweisen. Der Ansatz wird am Beispiel des Themas „Elektrische Vorgänge im Gewitter“ verdeutlicht.

1. Einleitung

Es ist wiederholt gefordert worden, Naturphänomene zum Gegenstand des Physikunterrichts zu machen. Verbunden wird dies mit dem Ziel, Schülern die Beobachtung, Beschreibung und Erklärung ihrer Umwelt zu vermitteln. Darüber hinaus wird hier ein Zugang gesehen, physikalische Arbeitsweisen zu erlernen und Wege der Erkenntnisgewinnung in den Naturwissenschaften selbst zu beschreiten. Ebenso alt wie die Forderungen nach verstärkter Behandlung von Naturphänomenen im Schulfach Physik ist die Tatsache, dass die Umsetzung in der Schulpraxis zu wenig erfolgt. Insofern ist es nicht verwunderlich, dass Schüler hier Defizite aufweisen, wie mehrfach festgestellt und bemängelt wurde.

Dies sei kurz anhand des Themas „Gewitter“, das als Beispiel für den gesamten Beitrag dienen möge, aufgezeigt. Wetterkundliche Themen besitzen von der Sache her ein hohes Maß an Lebensnähe für Jugendliche und stoßen auf großes Interesse bei Schülern, insbesondere bei Mädchen (Muckenfuß, 1997, 4). Darüber hinaus sind Gewitter Alltagsphänomene, die sich gut beobachten lassen und den Schülern deshalb hinreichend bekannt sein sollten. Wie aufmerksam aber nehmen Schüler dieses Naturphänomen tatsächlich wahr?

In einer Studie, bei der 133 Berliner Schüler der Klassenstufen 9 und 10 befragt wurden, was sie in der Regel beim Gewitter zuerst wahrnehmen, den Blitz oder den Donner, gaben 43 % der Schüler falsche Antworten. Dies ist insofern bemerkenswert, als dass es sich hier um wenig spezielles Alltags-

wissen handelt, das kaum Physik-spezifisch ist und nur geringfügige Beobachtungsleistungen erfordert. Es lässt sich daran aber unzweifelhaft erkennen, dass systematisches Beobachten der eigenen Umwelt bei Jugendlichen wenig ausgeprägt ist, der Förderung bedarf und somit ein zentrales Ziel naturwissenschaftlichen Unterrichts sein sollte.

Ein Grund dafür, dass Naturphänomene wie Gewitter in der Schule oftmals nicht oder nur oberflächlich behandelt werden, liegt an deren Komplexität. In der Regel sind weitgehende und sorgfältige didaktische Rekonstruktionen erforderlich. Darüber hinaus sind diese Erscheinungen oft nicht unmittelbar als Phänomen im Unterricht durchführ- und beobachtbar, sie sind deshalb für Messungen schwer zugänglich. Schließlich haftet diesen Naturphänomenen ein gewisser Grad der Undeterminiertheit an, eine Vielfalt beeinflussender Faktoren lässt genaue Prognosen (Wann wird ein Blitz wo einschlagen?) in der Regel nicht zu. Es ergeben sich dadurch Schwierigkeiten in der Reproduktion und dem Vorführen dieser Phänomene.

Der vorliegende Beitrag möchte einen prinzipiellen didaktischen Weg – verdeutlicht an einem Beispiel – aufzeigen, wie Naturphänomene trotz der genannten Schwierigkeiten behandelt werden können. Der Ansatz besteht in der Nutzung von Laborphänomenen, die Naturphänomene in Experimenten simulieren bzw. nachbilden, diese aber nicht grundsätzlich vereinfachen wollen, sondern besser behandelbar machen. Zur Erklärung eines Naturphänomens wird ein analoges Laborphänomen konstruiert. Dieses gilt

als „vollwertiges“ physikalisches Phänomen mit beschreibbarem Bezug zum Originalphänomen und stellt nicht eine „reduzierte“ Wirklichkeit und eine „bloße“ Vereinfachung dar.

Auf diese Weise wird eine Untersuchungs- und Beobachtungshilfe unter Laborbedingungen geschaffen. Diese dient als Grundlage der Vermittlung bzw. Aneignung naturwissenschaftlicher Denk- und Arbeitsweisen. Es wird besonderer Wert auf die Methode des Vergleichens und eine systematische Beobachtung von physikalischen Größen im Sinne einer phänomenologischen Beschreibung gelegt, die zunächst frei von unbeobachtbaren hypothetischen Größen das Phänomen vollständig erfasst. Insgesamt erfolgt so eine gesteuerte Modifikation und Rekonstruktion eines Naturphänomens im Labor, die systematische Untersuchung des Laborphänomens unter besser kontrollierbaren Bedingungen mit einer Erkenntnisgewinnung und schließlich eine Übertragung auf das ursprüngliche Originalphänomen mit einer Bewertung des Verfahrens.

2. Fachdidaktischer Ansatz

Im Folgenden wird der zu Grunde liegende theoretische Ansatz zur Behandlung von komplexen Naturphänomenen mit „unkontrollierbaren“ Bedingungen im Unterricht detailliert ausgeführt. Das Verfahren setzt sich aus acht Schritten zusammen und stützt sich auf bekannte didaktische Erkenntnisse hinsichtlich der Nutzung von Modellen und Prinzipien phänomenologischer Beschreibungen (vgl. Abb. 1). Auf der Seite des Naturphänomens erfolgt zunächst ein Entdecken, Wahrnehmen und Staunen über die Erscheinung. Mit zunehmender Systematisierung folgen Beobachten, Beschreiben, Analysieren und schließlich das Konstruieren eines Laborphänomens. Die sich anschließende Auseinandersetzung mit dem Laborphänomen beinhaltet erneut Schritte des Beobachtens, Beschreibens und Analysierens, die zur Feststellung von Unterschieden zwischen Natur- und Laborphänomen führen. Dadurch wird die Basis geschaffen, anhand eines aufgestellten Untersuchungsplans gezielt zu experimentieren und Erkenntnisse zu gewinnen.

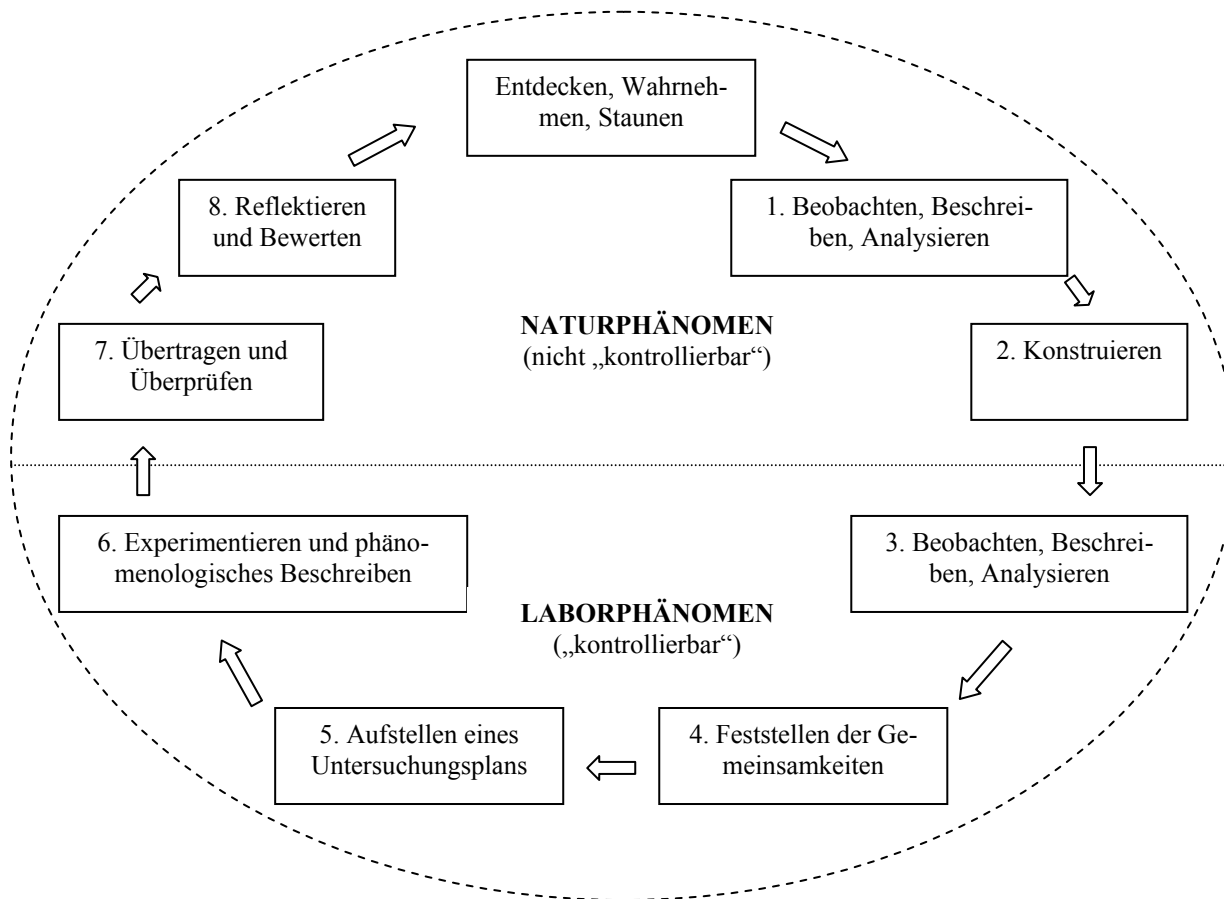


Abb.1: Fachdidaktischer Ansatz zur Behandlung von Naturphänomenen.

Eine Übertragung und Überprüfung der erhaltenen Ergebnisse mit Informationen über das Original führt zurück zum ursprünglichen Naturphänomen. Die Auseinandersetzung schließt mit einem Reflektieren und Bewerten der Resultate und des Vorgehens ab und kann Ausgangspunkt weiterer Fragestellungen sein. Im Folgenden werden die einzelnen benannten Tätigkeiten des angeführten Arbeits- und Erkenntnisprozesses näher erläutert.

1. Beobachten, Beschreiben und Analysieren eines komplexen Naturphänomens mit „unkontrollierbaren“ Bedingungen

Zu Beginn steht das Entdecken und Wahrnehmen eines Naturphänomens. Dies erfolgt zum Teil unvoreingenommen, mitunter genießend und in der Regel unsystematisch. Auf dieser affektiven Basis können die ersten „wissenschaftlichen“ Schritte erfolgen: das Beobachten, das Beschreiben und schließlich ein erstes Analysieren. Resultat dieser Auseinandersetzung mit dem Original ist zum einen das Feststellen von Erkenntnislücken. Zum anderen kann die Einsicht gewonnen werden, dass eine systematische und kontrollierte Behandlung der beobachteten Erscheinung unter den gegebenen Bedingungen u. U. nicht möglich ist.

Beispiele für derartige Phänomene sind der Geysir, der Regenbogen oder das Gewitter. Allen gemein ist, dass sie als Erscheinung in der Natur auftreten, leicht beobachtbar sind, sich einer systematischen vom Subjekt gesteuerten Untersuchung durch gezieltes Eingreifen aber entziehen. Durch diese Unkontrollierbarkeit, die sich aus vielen variierenden Einflussfaktoren ergibt, tritt eine Undeterminiertheit auf.

2. Konstruieren eines Laborphänomens mit kontrollierbaren Bedingungen

Damit eine systematische explorative Behandlung der Erscheinung möglich wird, erfolgt das Konstruieren eines Laborphänomens. Dies geschieht unter dem Gesichtspunkt, ein entsprechendes analoges Phänomen zu erzeugen, welches nun systematisch manipulierbar geworden ist. Das Phänomen bleibt dabei auch weiterhin nicht trivial. Ebenso sind die Konstruktion und die Entwicklung des Laborphänomens nicht trivial und nicht eindeutig! Wichtig ist, das Naturphänomen so weit wie möglich zu erhalten, dieses bildet also den Ausgangspunkt des Entwickelns. Wesentliche Eigenschaften müssen in dieser Form einer Analogie deshalb auftreten. Dieses Vorgehen hat damit nicht zum Ziel, unmittelbar die Erklärung des Phänomens sofort zu liefern, sondern ein eng verwandtes Phänomen systematisch untersuchbar zu machen, damit eine detaillierte Phänomen-orientierte Beschreibung möglich wird.

Dieser Schritt des Findens eines geeigneten Laborphänomens mit einer später folgenden Übertragung auf das ursprüngliche Naturphänomen ist wesentlich im vorgestellten Vorgehen. Um diesen Ansatz in das

Umfeld der Nutzung von Modellen und Analogien einzuordnen, wird im Folgenden explizit eine Abgrenzung vorgenommen. Dabei wird Rückbezug genommen auf grundlegende Arbeiten in diesem Feld (vgl. z. B. Kircher, 1981, 1995; Brechel, Gau, Göbel, Kutter & Seltmann, 1989).

Gemeinsamkeiten zwischen der Verwendung von Laborphänomenen und Analogiemodellen. Legt man den Modellbegriff aus Kircher (1995) zugrunde, so kann man die Konstruktion des Laborphänomens als Modell interpretieren. „Ein Modell M ist ein von einem Subjekt S für bestimmte Zwecke und für eine bestimmte Zeit genutzter bzw. geschaffener Gegenstand oder theoretisches Konstrukt M derart, dass zu bestimmten Elementen von M Analogien zu bestimmten Elementen des Objektes O bestehen“ (Kircher, 1995, 97). Da das primäre Lernobjekt nicht hinreichend für eine systematische Untersuchung zugänglich ist, wird auf der Grundlage einer Struktur- und Erscheinungsanalogie ein Ersatzobjekt geschaffen, an dem eine Erkenntnisgewinnung vollzogen wird. Das Modell dient als Untersuchungs- und Erklärungshilfe. Verbunden damit ist die Notwendigkeit, eine Übertragung auf das Original und eine Reflexion des Vergleichsprozesses zu leisten.

Unterschiede zwischen der Verwendung von Laborphänomenen und Analogiemodellen. Der Modellbegriff wird häufig weitergehender benutzt, als die o. a. Definition ausdrückt. Mit hinzugenommen wird vielfach z. B. die Einführung hypothetischer Größen („Licht als Welle“), die unmittelbare Elementarisierung („Welt als Globus“), eine Visualisierung („Bohrsches Atommodell“), eine Erhöhung der Transparenz („Der Wasserstromkreis“), eine weitgehende Reduktion („Reibungsfreie Umwelt“), das Symbolisieren („Rechnen mit Massepunkten“) oder das Zurückführen auf Bekanntes („Das Atom als Planetensystem“). Diesen Ansätzen ist gemein, dass sie das ursprüngliche Phänomen vereinfachen sollen, sodass dieses aus dem Modell heraus erklärbar wird. Bei der Konstruktion von Laborphänomenen wird anders vorgegangen. Hier stehen Phänomen und Experiment weiterhin im Vordergrund. Es wird ein Laborphänomen gefunden, das Gemeinsamkeiten mit dem Original aufweist, im Gegensatz zu diesem aber systematisch manipulierbar ist. Insofern kann das Laborphänomen nicht als ikonisch oder symbolisch und nur im weitesten Sinne als gegenständlich charakterisiert werden (vgl. Kircher, 1995, 139).

Wird die oben genannte abstrakte Definition von einem Modell zugrunde gelegt, kann das Laborphänomen prinzipiell als Modell zum Naturphänomen betrachtet werden, das Analogien zum Original aufweist. Der Begriff der Analogie wird aber ähnlich wie der des Modells nicht einheitlich verwendet. Unter Analogien können Vergleiche und Ähnlichkeiten verstanden werden, die Parallelen zwischen Modell und Original beschreiben, obwohl diese

durchaus „wesensfremd“ zueinander sein können. „Wesensfremde“ Analogien – wie z. B. der Wasserstromkreis als Analogie zum elektrischen Stromkreis – weisen zwar keine „Oberflächen-“, wohl aber „Tiefenstrukturähnlichkeiten“ auf. Letztere zeigen sich in den formal ähnlichen physikalischen Gesetzen. Folgt man dieser Sichtweise, so liegt zwischen Labor- und Naturphänomen sowohl eine „Oberflächen-“ als auch „Tiefenstrukturähnlichkeit“ vor.

3. Beobachten, Beschreiben und Analysieren des Laborphänomens

Mithilfe des Laborphänomens kann zunächst ein analoges und wiederholt reproduzierbares Erleben des Phänomens stattfinden. Das Phänomen wird dabei beobachtet und beschrieben. Dieses Vorgehen ist vom Wesen her gleich mit den im ersten Schritt geschilderten Tätigkeiten. Das Laborphänomen wird damit als vollständiges neu konstruiertes Phänomen angesehen, das zunächst mit den gleichen Methoden behandelt wird, wie das Naturphänomen. Hier zeigt sich ein wesentlicher Unterschied zu anderen modellierenden Vorgehensweisen, die eine phänomenorientierte Exploration der Erscheinung im Labor mit denselben Verfahrensweisen wie im Originalphänomen nicht vorsehen.

4. Feststellen der Gemeinsamkeiten

Ein Analysieren kann nun feststellen, welche Gemeinsamkeiten bzw. Unterschiede zwischen Natur- und Laborphänomen vorliegen und welche Faktoren und Einflüsse in wie weit kontrollierbar und veränderbar geworden sind. An dieser Stelle muss ggf. das vorliegende Laborphänomen verändert oder sogar verworfen werden, wenn sich dieses als nicht ausreichend tragfähig erweisen sollte.

Zur dargestellten Analyse eignen sich insbesondere komplexe Themen, wie die oben angeführten Naturerscheinungen. Denn hier wird die vollzogene Reduktion durch die Laborphänomene zum einen nicht nur sehr deutlich, sie ist zum anderen auch notwendig.

5. Aufstellen eines Untersuchungsplans

Die Analyse des Laborphänomens mündet im Aufstellen eines Arbeitsplans. Dieser umfasst eine Auswahl an Untersuchungen, die mit Blick auf den Erkenntnisgewinn und die Realisierungsmöglichkeiten im Experiment erarbeitet werden müssen. Dabei entstehen Lösungen, die nicht einfach unreflektiert auf das ursprüngliche System übertragen werden können, sondern einer intensiven nachbereitenden Diskussion bedürfen (vgl. spätere Schritte). Gegebenenfalls können sogar nur Teilaspekte erhellt werden.

6. Experimentieren und phänomenologisches Beschreiben des Laborphänomens

Nach einer Analyse des Phänomens und der Erstellung eines Arbeitsplans kann eine systematische

Untersuchung im Experiment erfolgen. Diese beschränkt sich zunächst auf eine phänomenologische Beschreibung. Hierzu werden zum einen die Erscheinungsbedingungen systematisch variiert, um dadurch zu einer genauen Erfassung des Phänomens zu gelangen. Zum anderen wird auf eine Beschreibung des Phänomens mittels direkt beobachtbarer Größen gezielt. Hypothetische Größen, die nicht beobachtbar sind, sondern als theoretisches Konstrukt auftauchen, werden dabei zunächst nicht berücksichtigt. Weiterhin kann es in diesem Schritt sinnvoll sein, das Laborphänomen in Teilphänomene zu zerlegen und diese getrennt zu untersuchen. Dabei ist das erkenntnisleitende Interesse weiterhin mit dem Originalphänomen verbunden.

Die Stufen einer Phänomen-orientierten Beschreibung umfassen 1. das Wahrnehmen (Registrieren) des Phänomens, 2. das Beobachten (ein auf Reproduzierbarkeit gezieltes Wahrnehmen), 3. das Herausarbeiten der Bedingungen der Erscheinungen (Wann tritt das Phänomen auf, wann verschwindet es?), 4. das gezielte Variieren der Bedingungen (Wenn bestimmte Faktoren systematisch geändert werden, dann ändert sich das Phänomen ebenfalls auf bestimmte Weise), 5. die Beobachtung der Änderungen in den Erscheinungen (Erkennen und Erheben der wesentlichen beeinflussenden Faktoren und deren Wirkung), 6. die Erfassung der qualitativ und quantitativ beobachtbaren Größen (Erkennen der Beobachtbarkeit und der Messung verschiedener wesentlicher Größen) und 7. das Aufstellen von Beziehungen zwischen den beobachtbaren Größen (Konstruieren von qualitativen und quantitativen Beziehungen zwischen wesentlichen Größen).

7. Übertragen und Überprüfen

Wesentlich für die Bedeutung der Arbeit am Laborphänomen ist die zu vollziehende Übertragung auf das Original. Hierbei wird geprüft, ob Aussagen, die am Laborphänomen gewonnen wurden, für das Originalphänomen wahr oder falsch sind. Es werden dabei Vergleiche gezogen und Einschränkungen bzgl. der Generalisierbarkeit der gewonnenen Aussagen gemacht. Ziel dieses Schrittes ist es aufzuzeigen, was das Laborphänomen dazu beitragen konnte, das Naturphänomen zu erklären bzw. zu deuten. Als Referenz bieten sich hier Beobachtungen am Original bzw. Recherchen mit klassischen und neuen Medien an. Letztere haben den Vorteil, dass sie z. B. Zugang zu aktuellen Veröffentlichungen erlauben, Kommunikation mit Experten ermöglichen und Zugriff auf multimediale Elemente (Bilder, Videos, Software) bieten. Auf diese Weise können Themen praxisnah und authentisch aufbereitet werden.

Das Qualitätskriterium für diese Form von Analogieschlüssen ist nicht unbedingt, möglichst eindeutige und übertragbare Folgerungen zu gewinnen, sondern die Unterschiede zwischen Labor- und Originalphänomen zu kennen. Dabei bleiben sicherlich auch Schlüsse in dem Sinne offen, als das nicht

abschließend geklärt werden kann, ob sich die am Laborphänomen gewonnenen Erkenntnisse tatsächlich auf das Naturphänomen übertragen lassen. (Streng genommen sind Beweise der Richtigkeit ohnehin nicht möglich und auch gar nicht nötig.) Dies muss nicht als ein Mangel der Analogie oder des gesamten Verfahrens aufgefasst werden. Vielmehr ist jede Beschränkung der Variablen, jede bewusste Auswahl zulässiger Einflüsse zur Behandlung des Phänomens immer mit Einschränkungen der Allgemeinheit der Aussagen verbunden. Wichtig ist jedoch, die Bedeutung der behandelten und vernachlässigten Faktoren einschätzen zu können. Dies leistet die abschließende Reflexion.

8. Reflektieren und Bewerten

Die Behandlung des Phänomens schließt mit einer Reflexionsphase ab. Diese ist zweigeteilt: eine physikalisch-inhaltliche und eine methodisch-konzeptionelle Reflexion. Die erste behandelt den fachlichen Erkenntnisgewinn und die Einschätzung der speziellen gewonnenen Resultate. Die zweite richtet den Blick auf die vollzogenen Denk- und Arbeitsweisen.

In der physikalisch-inhaltlichen Reflexion werden der Laborversuch, das Laborphänomen, die Erkenntnisgewinnung am Laborphänomen und schließlich die Aussagekraft des Laborphänomens für das Originalphänomen beurteilt. Dazu kann u. a. herausgearbeitet werden,

- welche Erscheinungen sowohl beim Natur- als auch beim Laborphänomen auftreten (Vergleich der Erscheinungen und der wesentlichen physikalischen Größen),
- welche wesentlichen Unterschiede zwischen Natur- und Laborphänomen bestehen,
- an welchen Stellen Schwierigkeiten bei der Übertragung der Erkenntnisse zwischen Natur- und Laborphänomen bestehen,
- mit welcher Sicherheit die gewonnenen Ergebnisse und Folgerungen gemacht werden können,
- welche Fragen sowohl bzgl. des Natur- als auch des Laborphänomens offen geblieben sind,
- wie hoch die Güte des Laborphänomens im Sinne einer Beschreibung des Originalphänomens ist,
- welche Folgeuntersuchungen bzw. Recherchen durchgeführt werden müssten,
- welches Laborphänomen ggf. „bessere“ Ergebnisse wahrscheinlich machen könnte.

Die methodisch-konzeptionelle Reflexion richtet sich auf allgemeine physikalische Arbeitsweisen. Im Vordergrund stehen Fragen wie z. B.:

- Welchen epistemologischen Status haben Aussagen, die durch Analogieschlüsse bzw. Vergleiche gewonnen werden?
- Welchen allgemeinen Erkenntniswert haben die Resultate?

- Wie werden geeignete Vergleichsexperimente geplant, konstruiert, durchgeführt und ausgeführt?
- Wie sieht eine „gute“ Beschreibung eines Experimentes aus?
- Welche Parameter werden konstant gehalten, welche systematisch variiert?
- Wird qualitativ oder quantitativ ausgewertet? Welche Form von Ergebnisdarstellung wird angestrebt?
- Wie viele Messreihen werden aufgenommen? Wie oft wird ein Versuch wiederholt?
- Mit welchen Fehlern und Ungenauigkeiten ist bei der Versuchsdurchführung zu rechnen? Welche Genauigkeit ist sinnvoll und anzustreben?
- Welche Prognosefunktion haben Analogieschlüsse?
- Kann die Erscheinung in Teilphänomene zerlegt werden?

Mit dem dargestellten fachdidaktischen Ansatz wurde insgesamt versucht aufzuzeigen, wie komplexe Naturphänomene prinzipiell im Unterricht behandelt werden können. Neben inhaltlichen Zielen werden dabei allgemeine Ziele verfolgt, die erkenntnis- und wissenschaftstheoretischer Natur sind.

3. Das Beispielthema „Gewitter“

Nachfolgend wird anhand des Themas „Elektrische Vorgänge im Gewitter“ der Versuch unternommen, den dargestellten Ansatz an einem Beispiel zu verdeutlichen. Die Erscheinung des Gewitters ist Schülern der Sekundarstufe I hinlänglich bekannt, dennoch kann eine systematische Untersuchung des Phänomens mit Experimenten in der Schule nicht erfolgen. Es handelt sich also um ein solches Naturphänomen, wie es oben beschrieben wurde.

Vorweg sei angemerkt, dass dieser Abschnitt nicht zum Ziel hat, eine vollständige Unterrichtseinheit zu dem Thema darzustellen oder detaillierte methodische Hinweise zu geben. Das Thema Gewitter ist als ein Beispiel für die dargestellten allgemeinen didaktischen Überlegungen gewählt worden. Auch eine inhaltliche Darstellung erfolgt nur soweit, wie es für das Verständnis der allgemeinen Ausführungen für die Sekundarstufe I notwendig ist. (Zur Behandlung des Themas in der Sekundarstufe II siehe z. B. Möller, 1996a/b und Siemsen, 1995, für die Grundschule siehe Christmann & Vollmer, 2004.) Dabei wird davon ausgegangen, dass die grundlegenden Begriffe der Elektrizitätslehre zur Verfügung stehen. Der Beitrag beschränkt sich weiterhin auf elektrische Vorgänge im Gewitter, insbesondere die Entladungsvorgänge bei Blitzen, und thematisiert keine thermodynamische Prozesse.

1. Beobachten, Beschreiben und Analysieren eines komplexen Naturphänomens mit „unkontrollierbaren“ Bedingungen

Während eines Gewitters können vielfältige Beobachtungen gemacht werden, zu denen u. a. Blitze, Donner, Regen, Hagel, starke Winde, charakteristische Wolkenformationen, Knistern, Brände bzw. Verbrennungen usw. zählen. Gewitter sind aufgrund dieser Wirkungen faszinierende und z. T. Angst einflößende Naturerscheinungen. Die Datenerfassungen aus weltweiten Wetterstationen (und aus dem All) lassen grobe Schätzungen bzgl. statistischer Daten zu: Rund 40.000 Gewitter werden weltweit pro Tag gezählt mit insgesamt etwa 100 Blitzen pro Sekunde.

Im Unterricht kann eine einführende Behandlung des Naturphänomens anhand der Berichte über eigene Erfahrungen und ergänzend mit entsprechenden Medien (Film, Foto, Internet-Recherche) durchgeführt werden. Hierbei treten die Schwierigkeiten in der Untersuchbarkeit des Phänomens durch den Menschen schnell zu Tage (vgl. hierzu auch Franklins Versuche mit aufsteigenden Drachen in Gewitterwolken zur Messung der Ladungsverteilung). Die Tatsache, dass es weltweit nur einige wenige Laboratorien gibt, die versuchen, die komplexe Gewitterentstehung in Experimenten zu simulieren, legt davon Zeugnis ab.

Die anschließende Analyse zeigt Lücken der eigenen Kenntnisse zum Thema auf und kann zu einer ersten systematischen Behandlung führen. Diese umfasst z. B. das Herausarbeiten, unter welchen Bedingungen Gewitter auftreten, welche Erscheinungen erkannt werden und welche grundlegenden Beobachtungen gemacht werden. Beispiele hierfür sind typische ambossförmige Wolkenformationen, das Auftreten von z. T. sehr starken Winden, gestufte Blitze und das Wahrnehmen von Donner während oder nach einem Blitz.

2. Konstruieren eines Laborphänomens mit kontrollierbaren Bedingungen

Dieser Schritt umfasst die Konstruktion eines möglichen Laborphänomens. Nachfolgend wird ein solches für das Beispiel „Gewitter“ unterbreitet: die Erzeugung und die Untersuchung des Funkenüberschlags an der Influenzmaschine. Um bestimmte Aspekte eines Gewitters im Labor dazustellen und um dieses ggf. in Teilphänomene zu zerlegen, kann folgendes grundlegendes Experiment durchgeführt werden (vgl. Abb. 2).

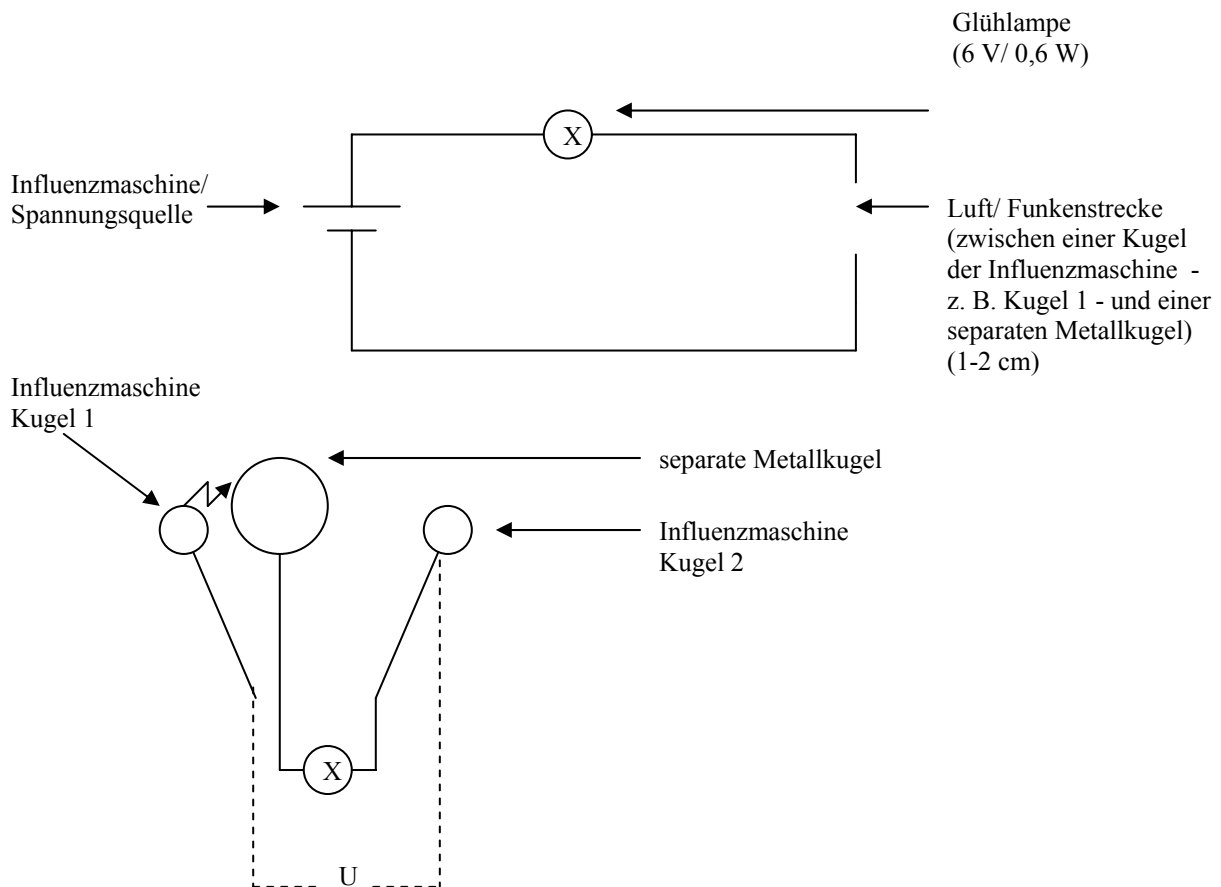


Abb. 2: Experiment zum Ablauf eines Gewitters.

Über eine Influenzmaschine wird eine Spannung erzeugt; die beiden Metallkugeln 1 und 2 der Influenzmaschine sind dabei weit voneinander entfernt. Eine dieser Kugeln (in Abb. 2 die Kugel 2) wird über eine Glühlampe (es lässt sich auch eine Glimmlampe verwenden) mit einer separaten Metallkugel in Reihe geschaltet, sodass diese zur Kugel der Influenzmaschine etwa einen Abstand von 1-2 cm hat. Hier erfolgt der Funkenüberschlag. Die elektrischen Phänomene im Gewitter sind mit diesem Versuch „reproduzierbar“ geworden. Es lassen sich Reibungsphänomene (Influenz, Kontaktelektrizität), Blitze (Funken), Donner (Knall, Knistern) und Erdströme (elektrische Ströme durch Verbraucher) erzeugen. Die Konstruktion dieses Versuchs ist nicht trivial und nicht eindeutig. Denkbar sind eine Reihe weiterer Versuche, die auf andere als die vier oben genannten Prozesse abzielen. Der Ablauf der Blitzentstehung lässt sich für den Unterricht in der Sekundarstufe I damit vereinfacht darstellen aus erstens Vorgängen der Ladungstrennung, zweitens den Vorgängen der Entladung in der Luft durch Blitze, drittens dem damit verbundenen Donner und viertens den Folgen eines Blitzeinschlags mit Stromflüssen durch die Erde.

3. Beobachten, Beschreiben und Analysieren des Laborphänomens

Zur Behandlung des Laborphänomens gehören gezielte Beobachtungen und Beschreibungen bzgl. ausschlaggebender Faktoren zu den vier wesentlichen oben erwähnten Teilaspekten:

- Drehen der Kurbel der Influenzmaschine (zur Ladungstrennung),
- Auftreten einer kurzen hellen Leuchterscheinung (der Blitz, der Funke) und Feststellen eines bestimmten Geruchs (Ozon),
- Auftreten eines kurzen akustischen Geräusches (der Donner, der Knall, das Knistern),
- kurzes Aufleuchten der Glühlampe (Wirkung des Stromflusses) bzw. kontinuierliches Glimmen der Glimmlampe mit einem verstärkten „Aufblitzen“ während des Funkenüberschlags.

Die Analyse kann darüber hinaus die nun kontrollierbar gewordenen Größen benennen. In dem vorliegenden Beispiel sind dies z. B. die Ladungsunterschiede, die ungefähren Orte und Zeitpunkte der Blitze. An dieser Stelle wird ebenfalls deutlich, dass ein ganz genaues Vorhersagen bzw. Kontrollieren der Erscheinung auch im Labor nicht möglich ist.

4. Feststellen der Gemeinsamkeiten

Die verschiedenen beobachteten Erscheinungen im Laborphänomen können nun in Bezug zum Naturphänomen Gewitter gesetzt werden. Dazu können sowohl die wesentlichen Gemeinsamkeiten benannt (z. B. Blitz-Funke, Donner-Knall) als auch Unterschiede herausgearbeitet werden (z. B. Verfahren und Mechanismen der Ladungstrennung). Im vorlie-

genden Beispiel liegen weit reichende Gemeinsamkeiten vor.

5. Aufstellen eines Untersuchungsplans

Über eine Wahrnehmung der grundsätzlichen beschriebenen Erscheinung hinaus ermöglicht das Laborphänomen eine systematische Untersuchung durch Variation der Erscheinungsbedingungen. Der aufzustellende Untersuchungsplan richtet sich nach dem Hauptinteresse der Experimentatoren. Für das vorliegende Beispiel wurde dazu unterschieden in Ladungstrennung, Blitz, Donner und Wirkungen des elektrischen Stroms.

6. Experimentieren und phänomenologisches Beschreiben des Laborphänomens

Hier kann in dem vorliegenden Beispiel in zwei Schritten vorgegangen werden. Zunächst kann in Teilerscheinungen unterschieden werden. Des Weiteren können diese dann einer systematischen Manipulation wichtiger Parameter unterworfen werden.

Die Ladungstrennung: Die Ladungstrennung erfolgt im Labor mittels einer Influenzmaschine. Im beschriebenen Versuch können sowohl die Umdrehungsgeschwindigkeit als auch die Zeitdauer der Drehbewegungen als Parameter systematisch variiert werden. Dabei lassen sich die Ladungstrennungen mit dem Elektroskop erfassen. Das Elektroskop dient in diesem Fall als Messinstrument zur Erfassung der „Stärke der Aufladung“. (Streng genommen kann an dieser Stelle auf den Begriff der Ladung und der Ladungstrennung verzichtet werden, da die elektrischen Ladungen nicht die observable Größe ist und die Messung durch das Elektroskop genügt.) Auf diese Weise können z. B. als einfache Beschreibungen zunächst verschiedene „Je-Desto“-Beziehungen aufgestellt werden. (Bsp.: „Je länger die Zeit bei gleich bleibender Drehgeschwindigkeit, desto stärker der Ausschlag auf dem Elektroskop.“) Weiterhin wird ersichtlich, dass die Drehungen der Scheiben der Influenzmaschine notwendige Voraussetzung zur Entstehung eines Funkenüberschlags sind.

Eine direkte Spannungsmessung ist wegen des Innenwiderstands der Messgeräte nicht möglich, da die geringen Ladungen sofort abfließen.

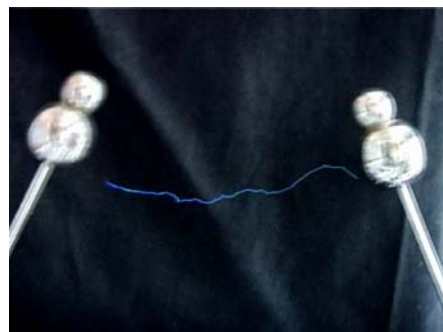


Abb. 3: Mit der Influenzmaschine erzeugter Funken.

Der Blitz: Mittels des Laborphänomens kann der Blitz betrachtet werden. Dies kann bspw. mit Untersuchungen zur Gestalt, Farbe, Länge, Ort, Zeitpunkt und Dauer des Funkens erfolgen. Mit der Influenzmaschine lassen sich bspw. Funken von bis zu 10 cm Länge erzeugen, die mit der Videokamera aufgenommen werden können (vgl. Abb. 3). Beobachten lässt sich, dass die Funken – ähnlich wie Blitze – stufenartige Gestalt haben, die Leuchterscheinungen zwischen den Elektroden auftreten, vorwiegend bläulich erscheinen und zeitlich sehr kurz sind: Bei einer Auflösung von 24 Bildern pro Sekunde mit einer Videokamera kann man oftmals nur Einzelbilder mit einem Funken finden, d. h., dass die Funkendauer kleiner als 1/24 Sekunde ist. Misst man mit einem Oszilloskop Spannungsimpulse über einem Widerstand (z. B. 10 Ω), der die Influenzmaschine kurz schließt, so haben diese bei einem Funkenüberschlag eine Zeitdauer im Bereich von rund einhundert Mikrosekunden.

Aus der Funkenlänge kann mit Hilfe einer Tabelle oder eines Programms (vgl. Quellen am Ende des Beitrags) weiterhin die Größenordnung der Spannung bestimmt werden (bei 5 cm Funkenlänge liegen die Spannungen im Bereich 60 KV).

Nach einer Weile kann man deutlich den Geruch von Ozon (O_3) wahrnehmen. Ferner kann festgestellt werden, dass elektrische Ströme fließen. Dazu wird ein Amperemeter in die Schaltung integriert (vgl. Abb. 2). Bei dem Versuch kann auch schon vor der Funkenentstehung ein Entladungsstrom gemessen werden, der zum Zeitpunkt des Funkenübertritts maximal wird. Die mit dem Amperemeter direkt messbaren Ströme liegen in der Größenordnung von 5-10 μA . Aufgrund der sehr kurzen Dauer der Ströme kann aber davon ausgegangen werden, dass die Spitzenwerte wesentlich größer sind. Diese lassen sich mithilfe des Oszilloskops (siehe oben) ermitteln und liegen im Bereich bis zu 2 A.

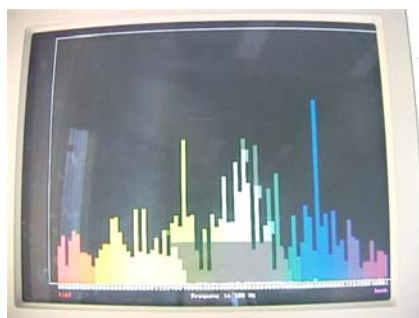


Abb. 4: Frequenzanalyse des Knalls, der bei einem Funkenüberschlag an einer Influenzmaschine erzeugt wurde.

Der Donner: Obwohl der Donner eine unmittelbare Wirkung des Stromflusses des Blitzes ist, wird er aufgrund seiner Dominanz im Naturphänomen Gewitter gesondert betrachtet. Eine beobachtende Erfassung des Donners kann mithilfe der akustischen

Aufzeichnung und einer zunächst verbalen Beschreibung erfolgen. Variiert werden können Faktoren wie Stärke der Aufladung, Entfernung der Elektroden usw. In einem zweiten Schritt kann eine Beschreibung des Donners mithilfe einer Frequenzanalyse erfolgen. Dabei kann gezeigt werden, dass der Donner bzw. der Knall ein kompliziertes Geräusch aus vielen verschiedenen Frequenzen mit unterschiedlichen Amplituden und ein einmaliger (unharmonischer) Vorgang ist (vgl. Abb. 4, Momentaufnahme des Bildschirms beim Betrieb eines Frequenzanalyseprogramms). Die Skalierung liegt in dem Beispiel der Abbildung 4 im Bereich 5000-12000 Hz, die Maxima liegen bei Frequenzen von rund 9000 Hz. Das entstandene kontinuierliche Spektrum wird als Geräusch bezeichnet. Weiterhin zeigt ein mehrmaliges Durchführen des Versuchs, dass das Spektrum immer etwas verschiedene Formen aufweist. Darüber hinaus kann experimentell die Lautstärke (Schalldruckpegel) bestimmt werden (entweder ebenfalls mit einem Frequenzanalyseprogramm oder mit einem Schallpegelmessgerät). Messungen ergaben einzelne Spitzenwerte bis zu 100 Dezibel nahe an der Funkenstrecke.

Weiterhin kann die Erwärmung der Luft bei einem Funkenüberschlag experimentell gemessen werden. Dazu wird die Influenzmaschine auf eine Funkenstrecke von ca. 3 cm eingestellt. Zwischen die Metallkugeln wird ein Glasrohr mit zwei offenen Enden gebracht, welches die Funkenstrecke vollständig umfasst und in dem sich ein Thermometer befindet. Nach etwa 200 Funken im Rohr lässt sich eine Temperaturerhöhung von rund 5 K feststellen. Dieser Effekt ist relativ klein, da sich neben der Luft auch das Glas erwärmt und die Blitzdauer relativ kurz ist. Etwas einfacher ist es zu zeigen, dass sich Festkörper erwärmen. Hierzu wird Watte zwischen die Funkenstrecke gebracht.

Die Gleichzeitigkeit von Knall und Funke im Laborphänomen steht möglicherweise im Widerspruch zu den Erfahrungen der Schüler beim Beobachten eines Gewitters. Dies kann als Anlass genommen werden, zu diskutieren, ob hier das Analogiephänomen grundsätzlich versagt oder ob der Versuchsaufbau geändert werden muss. Betrachtet man schließlich den Funkenüberschlag an der Influenzmaschine mit größerem Abstand (günstig sind rund 120 m), so stellt man ebenfalls eine zeitliche Verzögerung zwischen Knall und Funken fest.

Die Wirkungen des Stromflusses: Der Stromfluss kann in dem Laborphänomen z. B. durch eine Lampe (vgl. Abb. 2) nachgewiesen werden. Darüber hinaus lässt sich der Stromfluss durch elektrische Sicherungen, der Ausdehnung von Metallen durch Erwärmung und durch Magnetfeldmessungen nachweisen. Variiert werden können z. B. die Stärke der Aufladung und der Abstand der Elektroden. Allerdings sind die auftretenden Stromimpulse sehr kurz.

Die magnetische Wirkung lässt sich auch mit der Influenzmaschine demonstrieren (Abb. 5). Hierzu wird der Funkenüberschlag in einem Glasrohr durchgeführt. (Die zweite Kugel der Influenzmaschine befindet sich in Abb. 5 unterhalb der weißen Platte.) Dieses wird von einem Ferritring umfasst, der mit einem Draht mit 10 Windungen umwickelt ist. Schließt man diesen Draht mit einem Widerstand von $100\ \Omega$ kurz, so kann man mit einem Oszilloskop Spannungsimpulse bei einem Funkenüberschlag messen. Diese lassen sich auf die Induktion im Draht durch die Magnetisierung des Ferrits zurückführen. Mit Hilfe der Beziehungen am Transformator oder direkt durch Messungen an einem Shunt in Primärstromkreis des Funkenüberschlags ergeben sich Spitzenwerte des Stromflusses im Funken von rund 2 A.

Hier ergibt sich die Möglichkeit, das Laborphänomen zur Prognose zu verwenden. Denn magnetische Wirkungen bei Gewittern sind den Schülern in der Regel nicht bekannt. Es wäre im nächsten Schritt „Übertragen“ zu prüfen, ob die am Laborphänomen gewonnen Erkenntnisse auch im Originalphänomen auftreten.

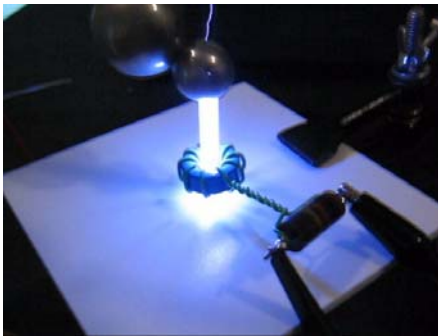


Abb. 5: Nachweis des Stromflusses in einem Funken.

7. Übertragen und Überprüfen

Es ist ein wesentliches Element des dargestellten Ansatzes, Unterschiede und Gemeinsamkeiten zwischen dem Natur- und dem Laborphänomen aufzuzeigen. Dies erfolgt in der Regel durch zusätzliche Informationen, die Schüler aus eigenen Recherchen oder mittels vorgegebener Quellen erhalten. Zum Thema Gewitter – das in vielen Schulbüchern nur sehr knapp dargestellt ist – gibt es bspw. eine Vielzahl an Quellen im Internet mit hochwertigem Bildmaterial. Darüber hinaus lassen sich Webseiten finden, die das Thema auf einem für Schüler angemessenen Niveau darstellen.

Tabelle 1 bietet eine kurze Gegenüberstellung für das ausgeführte Beispiel des Gewitters. Hierbei werden gleichzeitig die Grenzen der Aussagekraft des Laborexperimentes aufgezeigt.

Im Folgenden werden die Teilphänomene des Gewitters ausführlicher beschrieben, um zum einen aufzuzeigen, in welcher Form eine Behandlung in der Sekundarstufe I erfolgen kann. Zum anderen

wird damit nochmals verdeutlicht, welche grundlegenden Unterschiede zwischen dem Natur- und dem Laborphänomen bestehen. Durch die klare Trennung dieser beiden Erscheinungen und durch die Diskussion von deren Verschiedenheit kann verhindert werden, dass Schüler das Labor- und das Originalphänomen für das gleiche halten.

Die Ladungstrennung: Die Ladungstrennung in Gewitterwolken erfolgt durch Luftströmungen (Aufsteigen feucht-warmer Luft bis zu einer Höhe von 8 bis 15 Km) und die Bildung von Regen-, Graupel- und Hagelkörnern. Innerhalb der Wolke gibt es starke Aufwinde (mit Geschwindigkeiten bei gewöhnlichen Gewittern von 30-40 Km/h bis zu 140-180 Km/h bei so genannten Superzellen), die kleinere Wassertropfen und Eiskristalle in die oberen Bereiche der Wolke mitführen, während größere Wassertropfen und Eisteilchen nach unten fallen. Diese entgegengesetzten Bewegungen erzeugen z. B. durch Kollisionen das Aufwärtsbewegen positiver und das Abwärtsbewegen negativer Ladungen. Auch zum gegenwärtigen Zeitpunkt ist noch nicht vollständig geklärt, wie die Ladungstrennung genau erfolgt. Mögliche Wechselwirkungen zwischen Wasser und Eisteilchen, die eine Ladungstrennung zur Folge haben, könnten sein (Möller, 1996a, 44): relativ zueinander bewegte Teilchen, Begegnung verschiedenartiger Niederschlagsteilchen mit Influenzeffekten und Ladungsaustausch zwischen den Teilchen, Berührung gleichartiger Niederschlagsteilchen verschiedener Größe, Zerfallen von Teilchen, Abspalten, Zerstäuben, Volta-Effekte zwischen Teilchen gleicher oder verschiedener Phase (beim Anreifen oder bei Vergraupelung) und elektrochemische Prozesse.

Hierdurch entstehen in den Wolken Zonen unterschiedlicher Ladung. Grob vereinfacht befindet sich ein Überschuss an positiver Ladung im oberen und ein Überschuss an negativer Ladung im unteren Bereich der Wolke. Vielfach wurde weiterhin eine positive Ladungstasche am unteren Rand der Wolke festgestellt (verursacht vermutlich durch Coronaentladungen auf der Erde und einem Ablösen und Aufwärtswehen positiver Ladungsträger). Auf der Erde herrscht durch Influenzeffekte unterhalb der Gewitterzelle ein Überschuss an positiver Ladung.

Messungen haben allerdings ergeben, dass die „tatsächliche“ Ladungsverteilung einer Gewitterwolke wesentlich komplizierter ist und mehrere verschiedene geladene Zonen umfasst.

Der Blitz: Erreicht die Spannung zwischen zwei Wolken oder zwischen Wolke und Erde einen bestimmten Wert (vermutlich. viele Mio. V), so kommt es zum Funkenüberschlag: der Blitz. Der Ablauf dieses Ladungsträgerstroms ist ein mehrstufiger Prozess. Beim „typischen“ Wolke-Erde Blitz fließen negative Ladungen von der Wolke zur Erde. Auslöser dieser Prozesse sind freie Elektronen (die

z. B. in Folge der Höhenstrahlung entstehen), die im elektrischen Feld beschleunigt werden und durch Stoßionisation eine Ladungsträgerlawine erzeugen (das mittlere elektrische Feld hat bei einem „Durchbruch“ Werte um 106 V/m, an den Spitzen der Niederschlagsteilchen können aber bis zu 2400 mal größere Feldstärken auftreten). Dieser Leitblitz bewegt sich schrittweise mit rund 200 Km/s zur Erde, erzeugt sehr schwache Leuchterscheinungen und hinterlässt positive Ionen im Blitzkanal. Bedingt durch meteorologische und geographische Faktoren kann es dabei zu Verästelungen und „Aufspaltungen“ in den Kanälen kommen. Oft ist dieser Prozess mit dem „Entgegenwachsen“ einer so genannten Fangentladung aus positiven Ladungsträgern am Erdboden durch Influenz verbunden. Trifft der Leitblitz auf die Erde oder auf die Fangentladung, so fließen die negativen Ladungen ab, der Blitzkanal nimmt Erdpotential an. Die Retourwelle dieses Potentialzerfalls und der Neutralisation, der

Hauptblitz, wandert dann im „alten“ Blitzkanal mit einer Geschwindigkeit von etwa $2 \cdot 10^8$ m/s in Richtung Wolke. Bei dieser Hauptentladung entstehen die grellen Leuchterscheinungen und Temperaturen bis zu 30.000 °C. Die Dauer der gesamten Blitzerscheinung, die aus mehreren Entladungen im gleichen Blitzkanal bestehen kann, liegt bei rund 1/3 Sekunde. Die Leuchterscheinungen entstehen durch Anregung von Atomen der Luft (im Wesentlichen Stickstoff und Sauerstoff). Die mit den Blitzen verbundenen Ströme laden die Erde negativ auf. Da es auch ständige Entladungsprozesse gibt (der Gesamtentladungsstrom hat eine Größenordnung von rund 2000 A), baut sich insgesamt ein globales – also über die gesamte Welt erstreckendes – „stabiles“ Schönwetterfeld zwischen Erde und Ionosphäre auf. (Dieses hat die Größenordnung von 130 V/m und lässt sich auch in einem Schulversuch bestimmen, vgl. Figge & Siemsen, 2005.)

Tab. 1: Vergleiche zwischen Funkenüberschlag an der Influenzmaschine und Blitzen bei einem Gewitter.

<i>Laborphänomen:</i> <i>Der Funkenüberschlag</i>	<i>Naturphänomen:</i> <i>Das Gewitter</i>	<i>Überprüfung des Vergleichs</i>
Ladungstrennung: Influenz, Berührung, Reibung	Vorgänge der Ladungstrennungen z. T. noch nicht vollständig erforscht; die Trennung erfolgt durch Wolkenbildung und Luftströmungen innerhalb der Wolke	Der Vergleich trifft nur z. T. zu. Eine vollständige Überprüfung kann jedoch nicht erfolgen.
Geladene Metallkugeln und andere Materialien	Geladene Zonen in den Wolken bzw. geladene Erde	Es liegt eine weitgehende Übereinstimmung vor. Unterschiede bestehen in der Komplexität der Zonen unterschiedlicher Ladung und in den geladenen Materialien.
Spannungen bis zu $U = 60$ KV	Hohe Spannungen: $U =$ viele Mio. V	Es herrschen bei beiden Phänomenen erhebliche Potenzialdifferenzen vor. Die Dimensionen der Spannungen sind unterschiedlich.
Stromstärkenspitzen: $I = 1-2$ A	Große Stromstärken: $I = 10.000 - 20.000$ A	Bei beiden Phänomenen werden elektrische Ströme gemessen. Die Dimensionen der Ströme sind sehr unterschiedlich.
Sehr kleine (nicht verästelte aber stufenweise) Funken: $s = 5-10$ cm	Große stufenweise und z. T. verästelte Blitze: $s =$ mehrere Km	Die Erscheinungsformen der Blitze sind bei einem Gewitter vielfältiger. Die Blitzlängen sind sehr viel größer.
Funkendauer kleiner als $1/24$ s (rund 100 μ s)	Gesamtblitzdauer rund 1/3 s	Die Blitzdauern sind ähnlich lang (von der Dimension bis zu einer Sekunde).
Der Funke wird vor oder gleichzeitig mit dem Knall wahrgenommen.	Der Blitz wird vor oder gleichzeitig mit dem Donner wahrgenommen.	Übereinstimmung zwischen Analogie und Original.
Kleiner Knall, Geknister, mittlere Frequenzen um 9000 Hz	Starker Donner, mittlere Frequenzen um 50 Hz	Es werden ähnliche „Geräuscharten“ (Knall), aber mit unterschiedlicher Ausprägung wahrgenommen.
Lautstärken (Schalldruckpegel) bis rund 100 Dezibel unmittelbar in der Nähe des Funkens	Lautstärken (Schalldruckpegel) von rund 130 Dezibel in größerer Entfernung	Die Lautstärken (Schalldruckpegel) sind ähnlich.
Erwärmungen und magnetische Wirkungen	Starke Erhitzungen (Verbrennungen) und erhebliche magnetische Wirkungen	Die Analogieschlüsse treffen zu, das Ausmaß der Effekte ist jedoch unterschiedlich.

Der Donner: Die Hauptentladung führt zu einer sehr starken Erhitzung der Luft im Blitzkanal, die sich dadurch explosionsartig (zu Beginn mit Überschallgeschwindigkeit) ausdehnt und so den Donner erzeugt. Für die Ausprägung und das von einem Beobachter wahrgenommene Geräusch des Donners ist neben dem stufenartigen Blitzablauf der Standpunkt ausschlaggebend. Normal zum Blitzkanal stellt man die größten Intensitäten fest. Hier können Lautstärken (Schalldruckpegel) von bis zu 130 Dezibel auch in größerer Entfernung auftreten. Messungen haben eine mittlere Frequenz von 50 Hz ergeben. In einer Entfernung von rund 25 Km vom Blitzkanal kann man in der Regel keinen Donner mehr wahrnehmen (man beobachtet dann das so genannte Wetterleuchten). Meteorologische Faktoren wie Temperatur, Wind und Luftfeuchtigkeit können die Schallausbreitung wesentlich beeinflussen.

Die Wirkungen des Stromflusses: Von großer Bedeutung sind nicht nur die Prozesse im Blitz, sondern ebenfalls die Folgen eines Blitzeinschlags auf der Erde. An den Stellen, an denen Blitze einschlagen, entstehen Quellen starker Erdströme. Die negativen Ladungen des Leitblitzes fließen in die Erde ab. Diese Ströme können beachtliche Größen von mehreren tausend Ampere erreichen. Die Folgen dieser Ströme sind Sekundäreffekte wie z. B. die starke Erhitzung der elektrischen Leiter. Diese Erhitzungen sorgen für die Gefahr von Bränden beim Einschlag in Objekte bzw. für Verbrennungen beim Menschen. Für den Menschen bedeutet Blitzschutz deshalb nicht nur Schutz vor dem direkten Einschlag, sondern viel mehr Schutz vor Erdströmen. Neben der Wärmewirkung des Stroms gibt es noch chemische und magnetische Wirkungen.

8. Reflektieren und Bewerten

Anhand der Untersuchungen zum Laborphänomen und der Informationen zum Originalphänomen kann eine Einschätzung der Vorgehensweise erfolgen. Dies wird exemplarisch an einigen ausgewählten Aspekten durch folgende Anmerkungen aufgezeigt (vgl. auch rechte Spalte in Tabelle 1):

- Tabelle 1 zeigt zunächst wesentliche Unterschiede und Gemeinsamkeiten zwischen Natur- und Laborphänomen auf (mit einem Vergleich der Erscheinungen und physikalischen Größen wie Blitz und Funken bzw. auftretende Stromstärken usw.).
- Die Prozesse der Ladungstrennung sind zwischen Labor- und Originalphänomen z. T. unterschiedlich. Während bei der Influenzmaschine im Wesentlichen ein physikalisches Prinzip vorherrscht, sind in einem Gewitter verschiedene, z. T. noch ungeklärte Mechanismen im Spiel. Hier ist eine Übertragung der Erkenntnisse zwischen Natur- und Laborphänomen nur bedingt möglich.

- Während bei Gewittern in verschiedenen Wolkenzonen hohe Luftfeuchtigkeiten herrschen, wird im Labor bei geringer Luftfeuchtigkeit gearbeitet. Dieser Unterschied sollte diskutiert werden, da dieser die Aussagekraft der gewonnenen Erkenntnisse am Laborphänomen einschränkt.
- Das Laborphänomen kann bspw. nicht aufzeigen, wie es zu Verästelungen bei Blitzen kommt.
- Weiterhin kann das Experiment im Labor andere mit Gewittern verbundene Phänomene wie thermodynamische Vorgänge bei der Entstehung von Gewitterwolken nicht erklären (z. B. Wolken- und Windentstehung).
- Das Laborphänomen kann den Effekt „Gewitter“ strukturieren, indem zwischen Ladungstrennung, Blitz, Donner und Wirkung des elektrischen Stroms unterschieden wird. Diese Teilaspekte werden kontrolliert untersuchbar.
- Mögliche Realexperimente – allerdings nicht für die Schule –, die zu einer tieferen Deutung des Naturphänomens durchgeführt werden müssten, wären z. B. Untersuchungen zur Ladungsverteilung in Gewitterwolken. Weiterhin besteht Forschungsbedarf zur Erklärung der Prozesse, die die Ladungstrennungen verursachen.

Das beschriebene Laborphänomen kann die wesentlichen elektrischen Prozesse beim Gewitter darstellen und behandelbar machen. Schwerpunkt sind die Entstehung, der Ablauf und die Wirkung eines Blitzes. Allerdings treten bei der Übertragung zum Realphänomen in der Natur erwartungsgemäß auch Schwierigkeiten auf. Diese sind begründet im Vorgehen selbst (es finden erwünschtermaßen Reduzierungen statt) und in der speziellen Wahl des Laborphänomens (Abweichungen zum Naturphänomen).

Darüber hinaus kann mit Schülern über die angewendeten Denk- und Arbeitsweisen reflektiert werden. Zentrale Fragen könnte z. B. sein: Welche weiteren Laborphänomene könnten zur Erklärung des Gewitters konstruiert werden? Welche Laborphänomene wären für andere Aspekte der Untersuchung von Gewittern geeignet? Reichen die gewonnenen Erkenntnisse aus, um das Naturphänomen Gewitter vollständig zu erklären? Genügt es, zur Erklärung der Erscheinung phänomenologische Beschreibungen und Regelmäßigkeiten zu erarbeiten? Kann auf Modellkonstruktionen mit nicht beobachtbaren Größen wie Elementarladungen vollständig verzichtet werden?

Die Diskussion dieser Fragen zeigt auf, welche Verfahren in den Naturwissenschaften angewendet werden und wie Lösungen gewonnen werden können.

Das Beispiel Gewitter eignet sich hierzu, da...

- Schüler einen Einblick in den z. T. noch offenen Forschungsstand erhalten (Physik als sich entwickelnde Naturwissenschaft),
- die physikalischen Erklärungen des Phänomen vom Prinzip her, aber nicht vollständig erklären können,
- ein alltägliches, aber sehr komplexes Phänomen vorliegt,
- Reduktionen vorgenommen werden müssen, um mit einer Auswahl an Einflüssen Teilaspekte beleuchten zu können und
- kein vollständig determinierbarer Prozess vorliegt.

4. Abschluss

Der Beitrag hat versucht, allgemein und anhand eines Beispiels aufzuzeigen, wie komplexe Naturphänomene für Unterricht im Fach Physik zugänglich gemacht werden können. Dabei wurde auf Erkenntnisse der Fachdidaktik zur Nutzung von Modellen und Analogien und zur Anwendung einer Phänomen-orientierten physikalischen Beschreibung zurückgegriffen. Es ist sicherlich evident, dass eine Übertragung auf eine Vielzahl weiterer Themen möglich ist.

Sicherlich ist der mit dem Ansatz verbundene Zeitaufwand – die Konstruktion des Laborphänomens, das Experimentieren und das Bewerten des Vorgehens – erheblich. Dies macht diese Vorgehensweise bei exemplarischen Themen sinnvoll, insbesondere dann, wenn die Schüler aktiv und mitbestimmend in die Teilschritte einbezogen werden (wie es wünschenswert wäre). Auch richtet sich ein wesentlicher Anteil eines so gestalteten Unterrichts einer Art von Analogie, also nicht in erster Linie dem ursprünglichen Phänomen. Dies mindert aber nicht den didaktischen und inhaltlichen Wert des Vorgehens. Denn erstens werden grundlegende physikalische Arbeitsweisen vermittelt, deren Bedeutung über das behandelte Thema weit hinausgeht. Verfolgt wird damit ein allgemeines Ziel des Unterrichts im Fach Physik, das den einzelnen Inhalten vorrangig ist. Zweitens werden sehr nahe beieinander liegende physikalische Themen, das Natur- und das Laborphänomen, ausführlich diskutiert. Somit erhält auch der konkrete Inhalt eine wesentliche Bedeutung.

Insgesamt lässt sich so auf umfassende Weise Physik lernen. Neben inhaltlichen werden methodische und erkenntnistheoretische Lernziele verfolgt. Dies umfasst neben fachlichen Aspekten physikalische Arbeitsweisen des Beobachtens, des Reduzierens auf handhabbare Einflüsse, des selbstständigen Planens, Handelns und Experimentierens und des Einschätzens und Bewertens der eigenen Arbeit. Diese allgemeinen Ziele, die im Unterricht vielfach nicht die notwendige Aufmerksamkeit erhalten, rücken gezielt in den Vordergrund. Sie verdeutlichen über das spezielle Thema hinaus, wie physikalische Frage-

stellungen gefunden, bearbeitet und gelöst werden können. Der vorliegende Ansatz vollzieht damit enge Verknüpfungen von Fachinhalten der Physik mit naturwissenschaftlichen Denk- und Arbeitsweisen. Letztlich werden damit Kompetenzen vermittelt, die weit über das Memorisieren von Formeln und Fakten hinausgehen, indem Lösungs- und Bewertungsverfahren behandelt werden. Darüber hinaus kann dies Vorgehen dazu führen, Schüler stärker für das aufmerksame Wahrnehmen von Erscheinungen der Natur und damit auch für die Physik zu interessieren.

5. Literaturverzeichnis

- Brechel, H., Gau, B., Göbel, R., Kutter, Ch. & Seltmann, A. (1989). *Methodik des Physikunterrichts*. Potsdam: Wissenschaftlich-Technisches Zentrum der Pädagogischen Hochschule „Karl Liebknecht“.
- Christmann, S. & Vollmer, M. (2004). Jahrgangsübergreifendes Projekt zum Wetter für die Grundschule. *Poster auf der Frühjahrstagung der DPG 2004 in Augsburg*.
- Figge, I. & Siemsen, F. (2005). Tesla und die Luftelektrizität. *Jahrestagung GDGP 2004 in Heidelberg*.
- Kircher, E. (1981). Allgemeine Bemerkungen über Analogmodelle und Analogversuche im Physikunterricht. *Physica Didactica* 8, 157-173.
- Kircher, E. (1995). *Studien zur Physikdidaktik*. Kiel: IPN.
- Möller, H. (1996a). Das Gewitter, Teil 1. PdN-Ph 2/45, 42-46.
- Möller, H. (1996b). Das Gewitter, Teil 2. PdN-Ph 3/45, 41-46.
- Muckenfuß, H. (1997). Wetterkunde statt Wärmelehre? *Unterricht Physik* 8 (42), 4-8.
- Siemsen, F. (1995). Gewitter. *Physik in der Schule*, 33 (4), 155-157.
- <http://www.hcrs.at/INFLUENZ.HTM> (Stand: März, 2006)

Anmerkung

Der Autor bedankt sich ganz herzlich bei Herrn Dr. Jablko aus Berlin für die umfassenden und wertvollen Anregungen zu diesem Beitrag.