

Charles dú Fay - Erklären und Beschreiben von elektrischen Phänomenen

1. Titel und Stichworte

Charles dú Fay - Erklären und Beschreiben von elektrischen Phänomenen
(Episode 3 der Serie: Historisch-Genetische Einführung in die Elektrizität)

Stichworte: Statische Elektrizität, elektrische Abstoßung, elektrische Anziehung, Charles dú Fay, Anziehung-Mitteilung-Abstoßung, Gesetz, Theorie

2. Autor(en) und Institution(en)

Andreas Henke, University of Bremen / Germany

Dietmar Höttecke, University of Hamburg / Germany

3. Kurzfassung

Diese Fallstudie über Charles Cisternay dú Fays Experimente zur elektrischen Anziehung, Abstoßung und verschiedenen Arten von Elektrizität ist die dritte Episode in einer Reihe über die Geschichte der Elektrizität. Kernstück dieser Etappe ist der Nachvollzug der experimentellen Erkenntnisse des französischen Chemikers und Naturforscher Charles Cisternay dú Fay. Diese Episode ist geeignet für Schüler der Sekundarstufe 1 (12 – 15 Jahre).

Anhand von Forschungsaufträgen nach Originaltexten planen die SuS eigene Untersuchungen zu Gilberts Erkenntnissen und führen sie durch. Dú Fay weitete durch seinen Forschungen die Elektrisierbarkeit auf nahezu alle Körper aus und stellte ein erstes allgemeines Gesetz der Elektrostatik auf. Es beinhaltet sowohl die bekannte Anziehung, als auch die Abstoßung nach Guericke. Die SuS können am Beispiel *der Regel / des Gesetzes* erfahren, wie Naturwissenschaft zu allgemeinen Aussagen über Naturvorgänge kommt. Weiterhin findet dú Fay Evidenz für die Existenz zweier unterschiedlicher Arten von Elektrizität. Mit diesem Wissen lässt sich nun eine Vielzahl an elektrischen Vorgängen einfach beschreiben. Die SuS können sich mit diesen zwei Grundtypen naturwissenschaftlichen Wissens, *Theorien und Gesetzen*, auseinandersetzen und sie anhand einfacher Kriterien unterscheiden.

4. Beschreibung und Ablaufvorschlag

Diese Etappe beginnt mit einer kurzen Einführung in die wichtigsten Stationen der **Elektrizitätsforschung vor dú Fay** (s. 5.1.1), hier ist vor allem die Nutzung von Glas als gutes Elektrikum zu erwähnen. Weiterhin sollte die **Person dú Fays** vorgestellt werden (s. 5.1.2, Bild 2), wobei sicherlich überraschend und lehrreich ist, dass der botanische Garten (s. Bild V, Bild VI) dessen Intendant er war, eine wichtige Forschungsstätte für Wissenschaftler aller Länder wurde.

Der nächste Schritt ist die **Darstellung von dú Fays Forschungsschwerpunkten**

1. Welche Stoffe lassen sich elektrisieren?
2. Welche Umstände beeinflussen Anziehung und Abstoßung elektrisierter Körper?

und der **Art und Umfang seiner Untersuchungen (s. 5.2.3):**

1. Er führte hunderte von Versuchen und änderte dabei bspw. die geriebenen Körper, mit deren Elektrizität er arbeitete.
2. Er suchte nach Regelmäßigkeiten, die seine Beobachtungen beschreiben
3. und er versuchte ebenfalls, seine Beobachtungen mit einer Theorie über die Beschaffenheit von Elektrizität zu erklären.

Einführung

Dú Fays Forschungen

Dú Fays Erkenntnisse

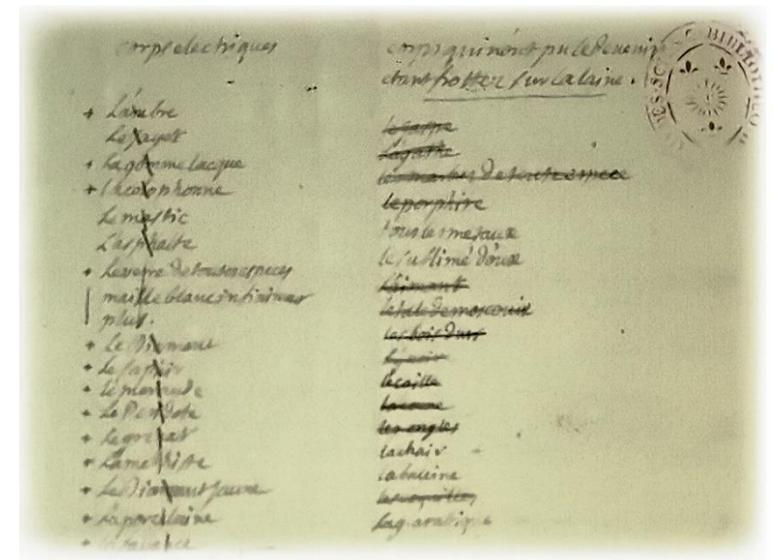
Forschungsaufgaben

Originalexperimente

Reflection Corner



Source gallica.bnf.fr / Bibliothèque nationale de France



Anschließend werden die SuS über Originaltexte dú Fays (s. Material I & Material II) von seinen zwei bedeutendsten Erkenntnissen informiert:

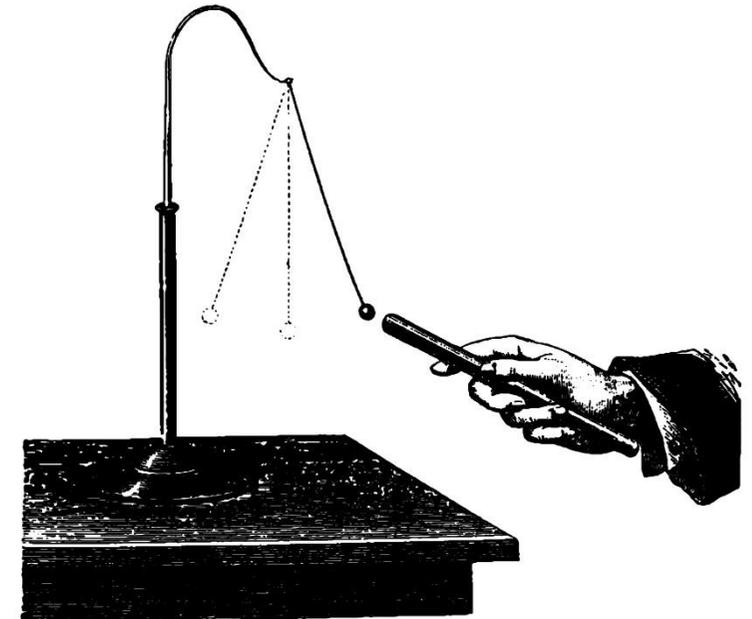
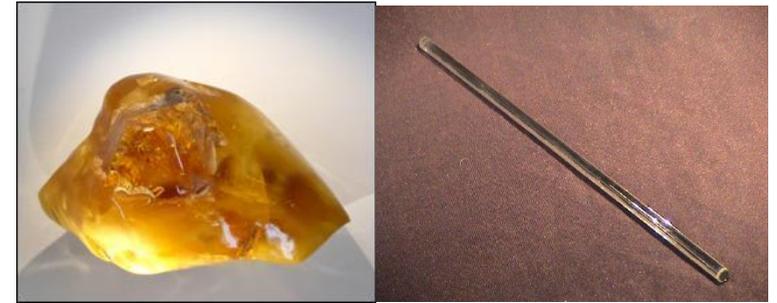
1. Gesetzmäßigkeit: Bringt man elektrisierte Körper mit nicht-elektrisierten zusammen, geschieht **erst Anziehung** der Körper, bei Berührung **dann ein Mitteilen** von einer Menge Elektrizität. Danach findet zwischen den beiden elektrisierten Körpern **schließlich Abstoßung** statt.
2. Theorie über die Beschaffenheit von Elektrizität: Es gibt zwei Arten von Elektrizität – eine wie sie auf geriebenem Glas erscheint und eine andere, wie sie auf geriebenem Harz erscheint. Deshalb ziehen sich verschieden elektrisierte Körper an und stoßen sich gleich elektrisierte Körper ab.

Im Folgenden können die SuS mit den vorgeschlagenen Forschungsaufgaben (s. Material I & Material II) selbst daran machen, die Erkenntnisse dú Fays nachzuvollziehen. Sie können dazu selbst Experimente entwickeln und durchführen.

Abschnitt 7.1 enthält einige Vorschläge für Originalexperimente. Hier kann man sich entweder an Gilberts eher **explorativem Vorgehen** orientieren (s. 5.1.3 und 5.2.1) oder einen rekonstruierten Verlauf nach dem Prinzip „**Fragestellung-Hypothese-Experiment-Analyse**“ folgen (5.2.3).

In jedem Fall sollten die Beobachtungen und Schlüsse genau notiert und die Ergebnisse der SuS im Plenum

Korrespondenz mit Dú Fay



vorgestellt werden.

Die Unterschiede zwischen diesen beiden naturwissenschaftlichen Methoden lassen sich diskutieren mit Fragestellungen wie

- Wie unterscheiden sich unsere Untersuchungen von denen dú Fays?
- Wie ist dú Fay zu seinen Ergebnissen gekommen? Ist das typisch für Naturwissenschaft? Kann man auch auf andere Weise zu naturwissenschaftlichem Wissen kommen?

Die Erkenntnisse, die dú Fay und auch die SuS im Verlauf der Untersuchungen gewinnen, bieten eine sehr gute Gelegenheit, mit weitverbreiteten Missverständnissen über die Bedeutung der Konzepte „Gesetz“ und „Theorie“ als Arten von Wissen aufzuräumen. Eine ausführliche Beschreibung, wie sich diese voneinander unterscheiden und warum Gilberts Erkenntnisse sehr gute Beispiel für diese Arten des Wissens sind, findet sich in Abschnitt 5.2.2. Reflektionsfragen für die Diskussion können sein:

- Am Ende von dú Fays Forschungen standen zwei Erkenntnisse: Das A-M-A Gesetz und die Theorie von zwei Elektrizitätsarten. Wie unterscheiden sich die beiden Erkenntnisse?
- Es gibt verschiedene Arten von Wissen in den Naturwissenschaften. Zum Beispiel gibt es Gesetze und es gibt Theorien. Welche Art von

Wissen passt wohl am Besten zu dú Fays
Erkenntnissen?

Die Ergebnisse der Reflektion können über eine fiktive
Korrespondenz mit dú Fay gefestigt werden (s. Material
III).

5. Hintergründe

5.1 Geschichtliches

5.1.1 Elektrizitätsforschung zwischen Guericke und dú Fay

Zwischen den letzten Experimenten Guericques (um 1670) und den ersten dú Fayes (nahezu zeitgleich zu denen Stephen Grays) vergingen beinahe 60 Jahre, welche für die Theorie der elektrischen Erscheinungen einiges Neues liefern konnten. Es sind (unter vielen anderen) einige Forscher dieser Jahre zu nennen, die hier bedeutende Arbeit geleistet haben:

Robert Boyle bestätigte 1694 Guericques Auffassung, dass die elektrischen Kräfte auch im leeren Raum, d.h. durch ein Vakuum hindurch wirken müssen. Außerdem macht er auf die Rolle der Oberflächenbeschaffenheit der geriebenen Körper aufmerksam.

Schmerzhafte Erfahrungen mit Elektrizität teilt ein Dr. Wall um 1700 mit. Außerdem ordnet er die Funkenentladung bei den elektrischen Phänomenen ein – sie wurde vormals als entzündlicher Vorgang von Schwefel- oder ähnlichen Dämpfen gedeutet. Er vermutet sie eher in der Nähe von Phänomenen wie Blitz und Donner.

Parallel dazu wurde das Glas als hervorragend zu elektrisierendes Material untersucht – zuerst von Newton, der dies schon 1675 mitteilte, dann von Francis Hauksbee. Letzterer gilt heute als wahrer Erfinder der ersten Elektrisiermaschine (um 1700). Basierend auf einer rotierenden Glaskugel macht sie Anleihen an Guericques Konzeption, liefert aber weitaus stärkere Effekte gegenüber Schwefel, wie Hauksbee selbst anmerkt. Sie geriet trotzdem beinahe in Vergessenheit, um erst 40 Jahre aufs Neue erfunden zu werden – dann aber mit großem Erfolg: Die Reibungselektrisiermaschinen wurden in allen erdenklichen Variationen zum Standardinstrument der elektrostatischen Forschung.

Die Mechanik und Mathematik machen mit Newton und Leibniz große Schritte und auch die Erfindung der Dampfmaschine durch Denis Papin im Jahre 1705 wird – nach Verbesserungen durch Newcomen und Watt – die Wirtschaft und Gesellschaft des folgenden Jahrhunderts nachhaltig prägen.

5.1.2 Charles François de Cisternai Dufay (*1698 – †1739, Paris)

stammte aus adliger Familie und verfolgte, nach einer kurzen Zeit im Militär, vielseitige akademische Bestrebungen. Vermutlich durch prominente Fürsprache erhielt er 1723 eine Akademiestelle als Chemiker. Seine weitere Karriere war ebenso steil wie kurz: 1731 wurde er Vollmitglied der Akademie, 1732 nahm er überdies das Amt des Superintendent des Pariser Königlich-

botanischen Gartens (Jardin du Roy) an. Lange konnte er es allerdings nicht ausüben: Im recht frühen Alter von 40 Jahren starb er an den Pocken.

In den sieben Jahren seiner Intendanz machte er aus dem Garten wieder eines der wichtigsten Forschungszentren Europas mit umfangreichen Ressourcen und einem ausgeprägten Forschungs- und Vortragsbetrieb.

5.1.3 Dú Fays Forschungen

Dú Fays Ergebnisse zusammengefasst

- ([1], S. 28 unten -29 oben)
- *Alle* Körper, Metalle eingeschlossen, können durch Berührung elektrisiert werden. ([1], S. 29, 3. Abs.)
- Es gibt zwei *Zustände der Elektrisierung*, die harzartige und die glasartige ([1], S. 31f)
- Glasartig elektrisierte Körper ziehen harzartig elektrisierte Körper an und stoßen alle diejenigen ab, die ebenfalls mit der glasartigen Elektrizität elektrisiert wurden. ([1], S. 31f)
- Die *mitgeteilte Elektrizität* auf dem empfangenden Körper ist von der gleichen Art wie diejenige des mitteilenden Körpers. ([1], S. 32, 2. Abs.)
- Glas ist ein ebenso guter *Isolator* wie Seidenschnüre.
- *Nasse* Schnüre leiten die elektrische Wirkung weit besser, als trockene. ([1], S. 29, 6. Abs.)
- Die elektrischen Eigenschaften farbiger Körper hängen *nicht* von der Farbe *an sich* ab, sondern vom verwendeten *Farbstoff*. ([1], S. 29, 4. Abs.)
Dú Fay verwendete dazu verschiedenfarbige Bänder und „färbte“ weiße Tücher mit verschiedenfarbigem Licht aus einem Prisma.
- *Alle* Körper können durch Reiben elektrisiert werden. Ausgenommen sind Metalle und weiche/flüssige Materialien.

Die letzten drei Punkte sind direkte Erwidierungen/Ergänzungen zu Experimenten, die kurz zuvor von Stephen Gray durchgeführt wurden.

Dú Fay stellte sich die Frage, **wann denn genau nun Anziehung auftrat, wann Abstoßung, und von welchen Umständen das jeweils abhing**. Die Strategie Dufays war die Variation von Parametern: die Art der Elektrifizierung der Körper (Reiben, Übertragen), der Grad der Elektrifizierung, die Größe der elektrifizierten Körper, ihr Material und die Beschaffenheit der Unterlage. Er variierte in hunderten von Experimenten den Abstand der Körper und untersuchte den Einfluss dritter, in der Nähe befindlicher Körper. Trotz einem derartig breit angelegten Experimentieren stellte sich das Problem als weitaus schwieriger heraus als die vorigen. Die Resultate blieben verwirrend und fügten sich nicht in eine Gesetzmäßigkeit.

Eine erste Gesetzmäßigkeit „Anziehung-Mitteilung-Abstoßung“ (A-M-A)

Nur für sehr spezielle Konstellationen zeichnete sich eine Regel ab: Wenn ein elektrifizierter Körper einen nicht-elektrifizierten anzog und dieser sich ihm so weit näherte, dass er durch Übertragung selbst elektrisch wurde, schlug die Anziehung in Abstoßung um und der zunächst angezogene Körper entfernte sich wieder. Diese Regel war offenbar sehr allgemein gültig und konnte schon viele Effekte verständlich machen. Zugleich war sie aber doch explizit eingeschränkt auf Paare von Körpern, von denen der eine durch den anderen elektrifiziert worden war. Für alle anderen Fälle zeigten sich die Verhältnisse immer noch als verwirrend und scheinbar regellos.

Das kritische Experiment:

Bei der weiteren Durchführung seiner Variationsmethode ergab sich für Dufay ein entscheidender Hinweis aus einem Experiment, bei dem er ein Goldblättchen schwebend über dem Glasrohr hielt und nun einen dritten, elektrifizierten Körper hinzubachte. Wenn dieser dritte Körper aus Glas war, wurde das Goldblättchen auch von diesem abgestoßen, wenn es aber aus Kopal [Harz] war, wurde es angezogen! Das Ergebnis verwirrte Dufay vollständig, gab ihm aber einen starken Hinweis auf eine Materialabhängigkeit, und dieser Spur ging Dufay dann ausführlich nach. Die Resultate waren immer verblüffender – es zeigte sich eine sehr klare Materialabhängigkeit in dichotomer Weise.

Die Schlussfolgerung:

Das bewegte Dufay schließlich zu einem radikalen Vorschlag: *Statt von Elektrizität im Allgemeinen sollte man von zwei Elektrizitäten sprechen. Dabei galt dann die Regel, dass ein elektrifizierter Körper alle diejenigen abstieß, die dieselbe Elektrizität trugen, zugleich aber jene anzog, welche die jeweils andere trugen. Die beiden Elektrizitäten behielten überdies, wie die Experimente zeigten, ihren jeweiligen Charakter auch beim Übertragen auf andere Körper bei.*

Welche Elektrizität ein Körper beim Reiben annahm, hing, so Dufays Befund, nur vom Material dieses Körpers ab.

Damit führte die Unterscheidung von zwei Elektrizitäten auch zu einer Einteilung aller Materialien in zwei Klassen.

Umgekehrt konnten die Elektrizitäten nach diesen Klassen bzw. nach prominenten Stellvertretern dieser zwei Klassen von Materialien benannt werden:

Dufay sprach deshalb von Glas- bzw. Harz-Elektrizität.

Mit diesen neuen Begriffen konnte er, so seine Aussage, nicht nur seine eigenen, wirklich sehr zahlreichen Experimente zu Anziehung und Abstoßung ausnahmslos verstehen, sondern auch die von anderen Forschern. Das war ein durchweg radikaler Vorschlag, mit Folgen auf vielen Ebenen. Nicht nur konnte sich Dufay berechtigt die Frage stellen, ob die damit gegebene neue Klassifikation von Materialien nicht vielleicht auf tief liegende Materieeigenschaften verwies. Viel unmittelbarer war klar, dass das Feld der Elektrizität nun völlig anders aussah als zuvor, zumindest für Dufay. (Nach [3])

5.2. Lernen über die Natur der Naturwissenschaften

5.2.1 Das A-M-A Gesetz und die zwei Arten von Elektrizität - Allgemeine Aussagen aus vielen Beobachtungen (s. Material A):

Im Laufe seiner Forschungen hat dú Fay eine große Menge an gleichartigen Experimenten zur elektrischen Anziehung durchgeführt, indem er immer nur wenige Parameter änderte (Gewicht, Stärke der Elektrisierung, Abstand et.). Nur auf diese Weise konnte er das A-M-A Gesetz als kleinsten gemeinsamen Nenner seiner Untersuchungen bestimmen.

Im Vergleich zum A-M-A Prinzip beschreibt er seine Unterscheidung nach zwei Arten von Elektrizität als „noch *allgemeiner* und *merkwürdiger*“ (Material C, S.31 unteres Drittel).

Mit nur dem Goldfolien-Experiment allein (s. Dú Fays Forschungen) hätte er diese Notwendigkeit nie erkannt. Er brauchte alle seine vorhergehenden Experimente. Daran konnte er überprüfen, ob Anziehung und Abstoßung materialabhängig sind. Diese *Theorie* musste sich erst bewähren, indem sie alle bekannten und aktuell untersuchten Anziehungs- und Abstoßungsphänomene beschreibt. Hätte dú Fay nicht schon diese Vielzahl an Experimenten durchgeführt, hätte er diese Theorie vielleicht nie für sinnvoll erachtet.

Das *Suchen nach Regelmäßigkeiten* und Ähnlichkeiten im Ablauf von verwandten Vorgängen ist eine (aber nicht die einzige!) grundlegende Arbeitsweise in den Wissenschaften, welche darauf abzielt, *allgemeine Aussagen* über diese Vorgänge zu treffen.

Eine Regel, ein Prinzip oder ein Gesetz ist so eine Aussage. Weiterhin können mit diesem Wissen Vorhersagen über natürliche Abläufe getroffen werden, die in den Geltungsbereich der Aussage fallen.

Im Entstehungs- und später im Bewährungsprozess wissenschaftlicher Aussagen wie Gesetzen oder Theorien spielen sowohl die *Einfachheit* des Prinzips (s. Material A), der *Umfang seines Geltungsbereichs* (ALLE Phänomene der Elektrizität), wie auch die ihm angetragene, *produktive Funktion* im

Forschungsprozess (s. Text Aufgabe 1 Gruppe B) eine entscheidende Rolle. Gleichwertig daneben stehen *soziale Faktoren*, wie Bekanntheitsgrad, Glaubwürdigkeit und Anerkennung dú Fays und seiner Forschungen.

5.2.2 Zur Unterscheidung von Gesetzen und Theorien

Die meisten SuS verwenden diese Begriffe in einem intuitiven oder alltäglichem Sinn, der nicht ihrer Bedeutung in den Naturwissenschaften entspricht und für weitreichende Verständnisprobleme sorgen kann.

Eine einfache Möglichkeit, zwischen diesen beiden Wissensformen zu unterscheiden ist die folgende:

Gesetze	Theorien
<p>BESCHREIBEN Vorgänge in der Natur (Sagen, WIE etwas abläuft)</p> <p>(manchmal in mathematischer Form)</p> <p><i>Bsp.: A-M-A beschreibt den Vorgang beim Kontakt elektrisierter Körper</i></p>	<p>ERKLÄREN Vorgänge in der (Sagen, WARUM etwas so abläuft)</p> <p><i>Bsp.: Die Theorie von zwei Elektrizitäten erklärt, warum elektrisierte Körper andere sowohl anziehen als auch abstoßen</i></p> <p><i>Bsp.: Die Theorie von zwei Elektrizitäten erklärt, warum Anziehung und Abstoßung vom geriebenen Material abhängen</i></p>
<p>Sind oft in der Form WENN...DANN...</p> <p><i>Bsp.: „Wenn man mit einem elektrisierten Körper einen anderen berührt, dann ...“</i></p>	<p>Sind oft in der Form „ ... passiert, WEIL ...“</p> <p><i>Bsp.: „Durch Glas elektrisierte Körper ziehen durch Harz elektrisierte Körper an, WEIL es vermutlich zwei verschiedene Elektrizitäten sind.“</i></p>
<p>Sind NICHT direkt Beobachtungen oder Daten, sondern werden erst VON NATURWISSENSCHAFTLERN durch INTERPRETATION VON BEOBACHTUNGEN UND DATEN gebildet.</p>	
<p>Beschreiben REGELMÄßIGKEITEN in Beobachtungen und Daten</p>	

*Bsp.: "A-M-A" ist allen Versuchen
Du Fays gemeinsam.*

Ermöglichen VORHERSAGEN
über genau die Vorgänge, für die
sie gelten

*Bsp.: A-M-A kann vorhersagen,
was passieren wird, wenn man
mit einem elektrisierten Körper
einen anderen berührt.*

Brauchen sehr viel Fleiß und gute
Beobachtungsgabe der
Naturwissenschaftler, da sie
Regelmäßigkeiten in vielen
Beobachtungen finden müssen.

*Bsp.: Dú Fay hat hunderte von
Versuchen durchgeführt, bevor er
das "A-M-A Gesetz" als
Gemeinsamkeit bestimmter
Experimente bestimmen konnte.*

Sind nur EINGESCHRÄNKT
anwendbar
auf bestimmte Phänomene oder
Situationen

*Bsp.: "A-M-A" gilt nicht bei
Magneten (obwohl es dort auch
Anziehung & Abstoßung gibt)*

*Bsp.: "A-M-A" lässt sich nicht bei
Gasen anwenden, sondern nur für
feste Körper.*

Ermöglichen viele und
weitreichende Vorhersagen, die
sich wieder mit Experimenten
testen lassen.

*Bsp.: Zwei Elektrizitäten erklären
auch Beobachtungen anderer
Wissenschaftler in ganz anderen
Experimenten.*

Brauchen sehr viel KREATIVITÄT
der
Naturwissenschaftler, da eine
gute Erklärung nicht in
den Beobachtungen steckt.
Naturwissenschaftler müssen
sich Erklärungen ausdenken, die
zu den Beobachtungen passen.

*Bsp.: Die Annahme, dass es zwei
Elektrizitäten geben könnte,
ergibt sich nicht direkt aus du
Fays Beobachtungen bei seinen
Experimenten. Er musste die
Beobachtungen sammeln und sie
interpretieren, um sich eine
mögliche Erklärung
auszudenken.*

Sind oft UNVOLLSTÄNDIG, weil
sie einige Phänomene erklären
und andere nicht.

*Bsp.: "Zwei Elektrizitäten"
erklären warum Anziehung und
Abstoßung vom geriebenen
Material abhängen, aber noch
nicht, warum geladene Körper
dabei manchmal aneinander
kleben bleiben (Influenz).*

Sind VORLÄUFIG und NICHT endgültig BEWEISBAR.

Sie passen nur gut oder schlecht zu den Beobachtungen oder machen Vorhersagen die eintreten oder nicht.

DAS HEISST:

Kommen neue Beobachtungen, die nicht gut passen oder findet man heraus, dass Vorhersagen nicht stimmen, müssen sie eventuell VERBESSERT oder ganz VERWORFEN werden.

Man sieht also:

- Eine Theorie ist KEIN noch unbestätigtes Gesetz.
- Theorien WERDEN NICHT zu Gesetzen oder umgekehrt.
- Die Natur (oder Naturwissenschaftler) sind nicht gezwungen, sich an Gesetze zu halten und es gibt auch keine Strafen.
- Gesetze müssen nicht immer und überall gelten.
- Gesetze und Theorien basieren auf Daten, brauchen aber Interpretation durch Naturwissenschaftler

5.2.3 Dú Fays Vorgehen und Schulexperimente

Die Art, wie du Fay vorgeht, und wie diese Fallstudie im Unterricht umgesetzt werden kann, unterscheiden sich dramatisch. Dú Fay variierte in hunderten von Experimenten den Abstand der Körper und untersuchte den Einfluss dritter, in der Nähe befindlicher Körper. Die SuS tun dies natürlich nicht, sondern planen Experimente zum Testen bestimmter Vermutungen.

Dú Fay betreibt **exploratives entdeckendes) Experimentieren:**

Zu einer sehr **offenen Fragestellung** werden viele, leicht unterschiedliche, Versuche angestellt damit möglichst kein Effekt übersehen wird.

Forschungsfrage:

- Was beeinflusst die Kräfte zwischen elektrisierten Körpern?

Sie SuS betreiben **hypothesengeleitetes (testendes) Experimentieren:**

Ausgehend von geschlossenen Fragestellungen werden einige der Hypothese genau angepasste Versuche angestellt.

Forschungsfragen:

- Gibt es unterschiedliche Arten von Elektrizität?
- Gibt es ein Gesetz/eine Regel für Vorgänge, bei denen sich geladene Körper berühren?

6. Zielgruppe, Curriculare Bezüge und didaktische Überlegungen

Die Fallstudie über Charles du Fays Untersuchungen über elektrostatische Vorgänge ist die vierte Episode in einer Reihe über die Geschichte der Elektrizität. Diese Episode ist geeignet für Schüler der Sekundarstufe 1 (12 – 15 Jahre). Die Elektrizitätslehre spielt innerhalb der Physik und im Physikunterricht eine große Rolle. Die wichtigsten Konzepte und Ideen lassen sich über die Behandlung der Elektrostatik einführen und verfestigen. Dies verringert spätere Fehlvorstellungen und Lernschwierigkeiten der Elektrizitätslehre. Eine fundierte Behandlung grundlegender wissenschaftstheoretischer Begriffe wie „Gesetz“ und „Theorie“ ist zudem eine anerkannte Forderung für den naturwissenschaftlichen Unterricht.

6.1 Lernziele & Kompetenzen

Fachwissen

- Anziehung und Abstoßung als gleichwertige Phänomene der Elektrisierung
- Ladungsbegriff als „das, was ausgetauscht wird“
- Grundtypus des Ablaufs elektrostatischer Ladungsaustauschvorgänge als Anziehung-Mitteilung-Abstoßung
- Unterscheidung von zwei Arten von Elektrizität nach der Art ihrer Erzeugung
- Größenbezeichnung Q für eine Ladungsmenge (und ihre Einheit Coulomb)

Erkenntnisgewinnung/Natur der Naturwissenschaften

- Naturwissenschaftliches Wissen kann als Beschreibung oder Erklärung der Beobachtungen von sehr vielen Untersuchungen entstehen
- „Gesetz“ und „Theorie“ sind zwei verschiedene Typen naturwissenschaftlichen Wissens und gehen nicht irgendwann ineinander über
- „Gesetz“ und „Theorie“ unterscheiden sich in ganz bestimmten Merkmalen (Beschreiben vs. Erklären etc.)
- „Gesetz“ und „Theorie“ ähneln sich in ganz bestimmten Merkmalen (Vorläufigkeit, Daten als Grundlage)

6.2 Schülervorstellungen und Lernhindernisse

SuS zeigen häufig typische Wissenslücken im Bereich wissenschaftstheoretischer Grundlagen. Dazu gehört zum einen fehlendes Wissen über verschiedene Arten zu Forschen – hier angedeutet durch exploratives und hypothesengeleitetes

tes Experimentieren. Es kann in dieser Fallstudie diskutiert werden, dass Forscher unterschiedlich vorgehen, je nachdem welche Ziele sie verfolgen (Entdecken oder Testen).

Zum anderen bringen SuS meist eine durch Alltagssprache beeinflusste Vorstellung von den Begriffen Theorie und Gesetz mit, die ihrer Bedeutung in den Naturwissenschaften keinesfalls entspricht. Dies führt häufig zu unangebrachten Vorstellungen über die Entwicklung und Gültigkeit naturwissenschaftlichen Wissens. In Abschnitt 5.2.2 werden einfache Merkmale und typische Fehlvorstellungen dargestellt. So lassen sich im Rahmen der expliziten Reflektion angebrachte Vorstellungen entwickeln.

7. Lehr-Lern-Ressourcen

7.1 Dú Fays Experimente zu Regelmäßigkeiten elektrischer Vorgänge und zu zwei möglichen Arten von Elektrizität

7.1.1 Benötigtes Material

Seidenfäden, evtl. kleine Korkstücke, Pendelelektroskope

- Bernstein, Siegellackstangen, Glasstangen, PVC-Stangen, Strohhalme (echtes Stroh), Holzstangen, Stahlstangen (z.B. Stativstangen)
- Reibzeug: Woll-, Baumwoll- und Seidentücher, Katzenfell
- leichte Körper: Baumwollfäden, Papierschnipsel, Messingspäne (Abfall aus metallverarbeitenden Werkstätten), Eisenspäne oder -pulver

7.1.2 Experimente und Hinweise

Die hier angeführten Experimente dienen zur Veranschaulichung und Bestätigung der Hypothesen dú Fays. Er selbst führt sie zu diesem Zweck an. Die Hypothesen (A-M-A und zwei Elektrizitäten) gewann er nicht durch diese Experimente, sondern nach hunderten von Experimenten zur elektrischen Anziehung und Abstoßung.

Diese Experimente mit verschiedenen Reibmaterialien, geriebenen Substanzen und anzuziehenden bzw. abzustößenden Körpern können die SuS als Einstieg selbst vornehmen. Wenn möglich sollten dabei Größe, Abstand und Stärke der Elektrisierung variiert werden.

Experiment 1: Das Prinzip Anziehung-Mitteilung-Abstoßung (A-M-A)

- Ein Seidenfaden wird mit einem elektrisierten Körper (Glas-/Harzstab etc.) berührt: Erst wird er angezogen, nach kurzer Zeit tritt der Abstoßungseffekt einmalig auf.
- Streicht man den Seidenfaden an einem geerdeten Gegenstand ab, kann der Versuch wiederholt werden.

- Der elektrisierte Körper wird in die Nähe von Federn, Papierschnipseln etc. auf einer geerdeten Unterlage gebracht: Die leichten Körper werden abwechselnd angezogen und abgestoßen.

Hinweise zu Experiment 1:

- Zusammen lässt sich erahnen, dass tatsächlich ETWAS mitgeteilt wird und nicht nur ein Zustand übertragen – schließlich scheint der Vorrat des elektrisierten Körpers zur Neige zu gehen. Sehr gut lässt sich das auch in E3 erkennen.
- Zur Veranschaulichung und Verringerung der Empfindlichkeit des Fadens gegenüber Luftströmungen kann ein Holundermarkkugelchen, ein kleines(!) Stückchen Kork, oder ein Stück leicht zusammengeknüllte Aluminiumfolie das Ende des Fadens gebunden werden.
- Damit die Papierschnipsel oder Federn sich lösen, muss der Stab, ähnlich wie Guericques Schwefelkugel, manchmal leicht erschüttert werden.
- Der Stab sollte nur schwach elektrisiert werden, da die leichten Körper sich aufgrund von Influenz nur schwer lösen.

Experiment 2: Die Notwendigkeit unterschiedlicher Elektrizitäten

Zwei Seidenfäden werden über eine geriebene Glasstange, zwei andere über eine geriebene Siegellackstange oder Bernstein elektrisiert.

Zuerst erkennt man das A-M-A Prinzip: Die Fäden werden nach Übermittlung von der jeweiligen Stange abgestoßen (und stoßen sich auch untereinander ab). Bringt man nun aber einen glas- und einen harzelektrisierten Faden zusammen, so ziehen die beiden sich an. Es muss sich also um unterschiedliche Arten von Elektrizität handeln, denn sonst wäre auch hier Abstoßung zu erwarten gewesen.

Experiment 3: A-M-A am Faden- bzw. Pendelelektroskop

Die meisten Versuche lassen sich sehr gut an einfachen Pendelelektroskopen durchführen (s. Material D).

Das Prinzip Anziehung-Mitteilung-Abstoßung ist in Material D schon angedeutet, der Versuch lässt sich aber noch erweitern, indem man einen zweiten Stab entgegengesetzt auflädt und ihn auf der anderen Seite des Kugelchens gegenüber dem ersten positioniert. Die Kugel wird nun periodisch zwischen den beiden Stäben hin und her pendeln. Der Vorgang hält nicht so lange an, wenn der zweite Stab gar nicht, aber immer noch länger als wenn er gleichartig elektrisiert wurde.

Experiment 4: Harz-Glas-Elektrizitäts-Messgerät

Auf einen Seidenfaden wird Harz- oder Glaselektrizität übertragen. Es ist nun möglich, verschieden(e) elektrisierte Körper auf deren Elektrizitätsart hin zu untersuchen: Bei Abstoßung ist es diejenige des Seidenfadens und dementsprechend des ursprünglich elektrisierenden Körpers, ansonsten die andere.

Hinweise zu Experiment 4

Dú Fay bemerkte zudem, ohne jedoch eine Erklärung dafür zu haben, dass schwach und stark von der gleichen Art elektrisierte Körper sich trotzdem gegenseitig anziehen - seiner Meinung nach hätten sie sich abstoßen müssen (Dieser Effekt ist auf elektrostatische Influenz zurückzuführen). Er umgeht das Problem, indem er die Anweisung gibt, bei jedem Versuch so stark wie möglich zu elektrisieren.

Experiment 5: Zur Stärke der Abstoßung

An einer Metallstange werden paarweise nahe beieinander immer zwei etwa gleichschwere Fäden unterschiedlichen Materials befestigt. Die Stange selbst wird an Seidenschnüren aufgehängt oder anderweitig isoliert und dann elektrisiert. Die Fäden stoßen sich unterschiedlich stark ab, je nachdem wie viel Ladung sie aufnehmen.

Hinweise zu Experiment 5:

Hier wird das Prinzip des einfachen Fadenelektroskops, die Stärke der Aufladung anzuzeigen, ausgenutzt, um die Materialeigenschaft der Elektrisierbarkeit zu untersuchen. Es wird davon ausgegangen, dass sich die Elektrisierung gleichmäßig über den Eisenstab verteilt. Eine Schwierigkeit besteht darin, dass die Fäden sowohl die gleiche Länge, als auch ein möglichst ähnliches Gewicht pro Länge aufweisen sollten, damit man einen Vergleich zwischen den Stärken der Abstoßung ziehen kann.

7.2 Schülermaterial

Material I: Forschungsaufgabe „Zwei Elektrizitäten“

Charles dú Fay schreibt:

Und so ist es gewiss, dass Körper, die durch Berührung elektrisch werden, diejenigen Körper abstoßen, von denen sie elektrisch gemacht wurden. Ist es jedoch richtig, dass sie von allen anderen elektrisch gemachten Körpern abgestoßen werden, gleichgültig, welcher Art? Und dass sich elektrisch gewordene Körper in nichts anderem unterscheiden als in der Stärke der

Elektrisierung? Die Untersuchung dieser Fragen hat mich zu einer Entdeckung geführt, die ich nie und nimmer vorausgesehen hätte und von der ich glaube, es hat bisher nie jemand die geringste Ahnung davon gehabt. Wir sehen also, dass es zwei Elektrizitäten völlig verschiedener Art gibt, und zwar die der durchsichtigen, festen Körper, wie z. B. des Glases, des Kristalls, usw., sowie die der teer- oder harzartigen Körper, wie z. B. des Bernsteins, des Harzlacks, des Siegelacks usw. Alle diese Körper stoßen jene Körper ab, deren Elektrizität dieselbe ist, wie die ihrige, und ziehen alle jene an, die entgegengesetzter Art sind.

Körper, die selber nicht elektrisch sind, können beide Arten von Elektrizität erlangen. Dann wird ihre Wirkung gleich der jener Körper, von denen ihre Elektrizität herrührt.

Arbeitsaufträge

1. Lest, was dú Fay über seine Forschung schreibt und beantwortet: Welche „Untersuchung“ hat Dufay angestellt und wieso hat er sich überhaupt damit beschäftigt?
2. Was sind dú Fays Forschungsergebnisse?
3. **Führt mit den gegebenen Materialien eine eigene Untersuchung durch, mit der ihr nachweisen könnt, was dú Fay entdeckt hat. (selbst überlegen, steht nicht im Text):**
 - Stellt eine klare Forschungsfrage, die ihr mit der Untersuchung beantworten wollt.
 - Überlegt euch Experimente, die euch beim Beantworten der Frage helfen.
 - Notiert eure Beobachtungen beim Experimentieren.
 - Interpretiert eure Beobachtungen: Könnt ihr die Frage damit beantworten oder müsst ihr noch weitere Experimente durchführen?
 - Stellt eure Untersuchung (Forschungsfrage, Experimente, Beobachtungen, Ergebnisse) der Klasse vor.

Text von dú Fay zur Theorie der zwei Elektrizitäten und zugehörige Aufgaben sowie Forschungsauftrag

Dú Fay Text aus: Philosophical Transactions, Vol.38 (1735), S. 263f, Dufay, angepasste Übersetzung

Material II: Forschungsaufgabe „Anziehung-Mitteilung-Abstoßung“

Charles dú Fay schreibt:

Und so ist es gewiss, dass Körper, die durch Berührung elektrisch werden, diejenigen Körper abstoßen, von denen sie elektrisch gemacht wurden. Ist es jedoch richtig, dass sie von allen anderen elektrisch gemachten Körpern abgestoßen werden, gleichgültig, welcher Art? Und dass sich elektrisch gewordene Körper in nichts anderem unterscheiden als in der Stärke der Elektrisierung? Die Untersuchung dieser Fragen hat mich zu einer Entdeckung geführt, die ich nie und nimmer vorausgesehen hätte und von der ich glaube, es hat bisher nie jemand die geringste Ahnung davon gehabt.

Ich habe ein sehr einfaches Prinzip entdeckt, welches einen großen Teil der Unregelmäßigkeiten erklären kann, die die meisten Experimente in der Elektrizität zu begleiten scheinen. Dieses Prinzip lautet, dass elektrisierte Körper all jene Körper anziehen, die nicht elektrisiert sind. Diese werden dann durch Kontakt oder große Nähe des elektrisierten Körpers ebenfalls elektrisch. Nun sind beide Körper elektrisiert und stoßen sich voneinander ab. Wendet man dieses Prinzip auf verschiedene Experimente in der Elektrizität an, so ist man erstaunt über die Anzahl von unklaren und rätselhaften Phänomenen, welche damit aufgeklärt werden können.

Arbeitsaufträge

1. Lest, was dú Fay über seine Forschung schreibt und beantwortet: Welche „Untersuchung“ hat Dufay angestellt und wieso hat er sich überhaupt damit beschäftigt?
2. Was sind dú Fays Forschungsergebnisse?
3. **Führt mit den gegebenen Materialien eine eigene Untersuchung durch, mit der ihr nachweisen könnt, was dú Fay entdeckt hat. (selbst überlegen, steht nicht im Text):**
 - Stellt eine klare Forschungsfrage, die ihr mit der Untersuchung beantworten wollt.
 - Überlegt euch Experimente, die euch beim Beantworten der Frage helfen.
 - Notiert eure Beobachtungen beim Experimentieren.
 - Interpretiert eure Beobachtungen: Könnt ihr die Frage damit beantworten oder müsst ihr noch weitere Experimente durchführen?
 - Stellt eure Untersuchung (Forschungsfrage, Experimente, Beobachtungen, Ergebnisse) der Klasse vor.

Text von dú Fay zum Gesetz Anziehung-Mitteilung-Abstoßung und zugehörige Aufgaben sowie Forschungsauftrag

Dú Fay Text aus: Philosophical Transactions, Vol.38 (1735), S. 263f, Dufay, angepasste Übersetzung

Material III: Schreibaufgabe –dú Faybraucht Unterstützung

Stell dir vor, du erhältst von dú Fay folgenden Brief:

Mein höchst geschätzter Kollege,

ich bin mir sicher, Sie sind darüber informiert, zu welchen erstaunlichen Erkenntnissen ich durch vielfältige Versuche gelangt bin.

Ich fasse es trotzdem noch einmal zusammen:

1. Meine Beobachtungen an elektrisierten Körpern konnte ich durch die allgemeine Regel von Anziehung-Mitteilung-Abstoßung sehr gut beschreiben.

2. Ich bin mir sicher, dass alle meine Beobachtungen mit dem Vorhandensein von zwei Arten von Elektrizität sehr gut erklärt werden können.

Vielleicht darf ich Sie höflichst um ihre Mithilfe bitten:

Seit kurzem wird vorgeschlagen, dass es verschiedene Sorten von naturwissenschaftlichem Wissen geben sollte. Ich halte dies für eine ausgezeichnete Idee!

Doch wie soll ich meine obigen Erkenntnisse bezeichnen?

Was ist eher ein Gesetz, was eine Theorie?

Und wie soll ich es begründen?

Ich fürchte, sollte ich in meinen Veröffentlichungen Falsches schreiben, wird es meinen Ruf schädigen. Deshalb wäre ich Ihnen auf ewig dankbar, wenn Sie mir helfen, meine Erkenntnisse richtig einzuordnen.

Mit den Besten Wünschen,

Ihr Charles dú Fay

Dein Antwortbrief könnte so beginnen:

Sehr geehrter Freund und Kollege,

mit viel Interesse habe ich ihre Forschung verfolgt. Im Alltag versteht man unter „Gesetz“ und „Theorie“ oft etwas anderes, als in den Naturwissenschaften. Aber ihre Erkenntnisse lassen sich sehr gut einordnen, denn...

Kreative Schreibaufgabe zur Festigung der Unterschiede zwischen Theorien und Gesetzen.

Die SuS sollten dazu die Informationen aus der Tabelle in 5.2.2 erhalten.

7.3 Bildmaterial & Medien

Bild I: Ein einfaches Pendelelektroskop

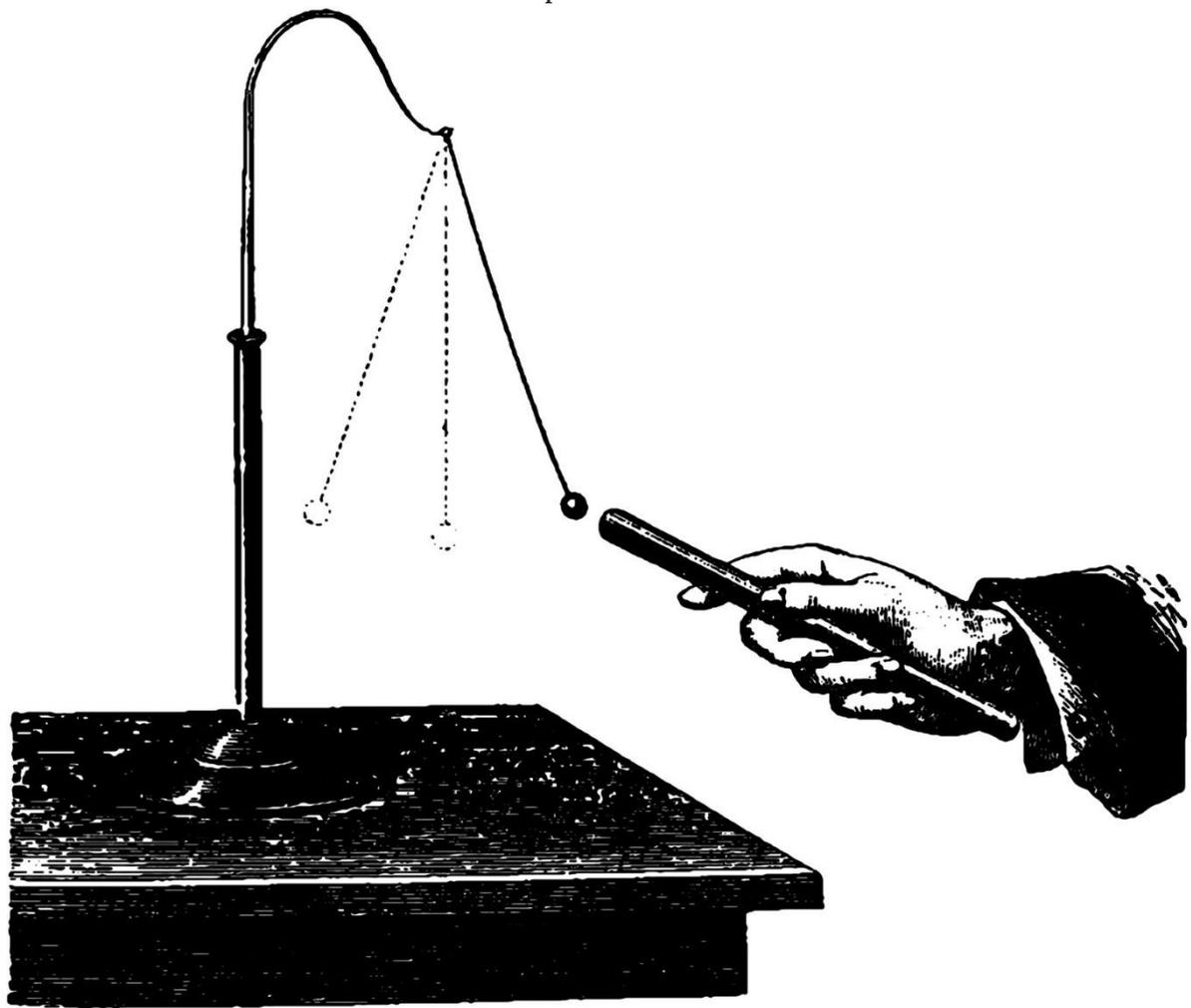


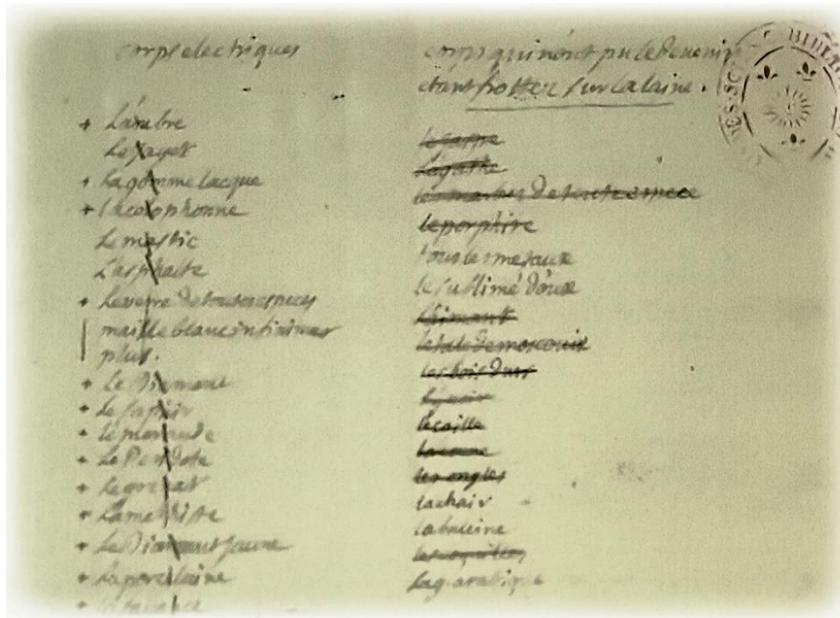
Bild II: Glasstab und Harzstück (Copal)



Bild III: Charles François de Cisternai Dufay (*1698 – †1739, Paris)



Bild IV: Ausschnitt aus dú Fays Labortagebuch.



Links die Liste der elektrisierbaren Stoffe, rechts die nicht-elektrisierbaren.

Je mehr Experimente dú Fay durchführte, umso mehr musste er rechts wieder streichen und kamen links dazu. Quelle: [3]

Bild V: Ein Blick in den Experimentierraum des Botanischen Gartens in Paris (Jardin du Roi)



Erst dú Fays Arbeit für den Botanischen Garten hat dafür gesorgt, dass noch viele Jahre nach seinem Tod berühmte Naturwissenschaftler dort gemeinsam forschten und öffentliche Vorträge hielten. Quelle: [3]

Bild VI: Amphitheater des Botanischen Gartens



Source gallica.bnf.fr / Bibliothèque nationale de France

Hier wurden auch naturwissenschaftliche Vorträge gehalten wurden.
Quelle: <http://gallica.bnf.fr/ark:/12148/btv1b7744334r>

Material I: Prinzipien als „allgemeine Regeln in wenigen Sätzen“, Quelle: [1], S.28 unten

Material II: [2], S.258-266, Sprache: Englisch

Material III: [1], S. 28-40

Material IV: [3]

8. Methodisch-Didaktische Hinweise

8.1 Zur Experimentalphase

Je nach Kenntnisstand und Erfahrung der SuS sollte man mehr oder weniger stark überprüfend oder auch steuernd eingreifen. Es muss sichergestellt sein,

dass alle Gruppen eine klare Fragestellung, eine Art *Forschungsfrage* besitzen, die sie beantworten wollen. In diesem Fall dienen die Originalzitate und der Forschungsauftrag (s. Material I & Material II) als Anregung. Man kann die Situation aber auch noch weiter öffnen und die SuS nur mit A-M-A oder der unverhofften Anziehung eines andersartig elektrisierten Teilchens als Phänomen konfrontieren und eigene Fragestellungen, Hypothesen, Experimente und Erklärungen entwickeln lassen.

Möglichkeiten, die SuS stärker zu lenken

- Den Forschungsauftrag zusammen mit Bild I bzw. Bild I und Bild II erteilen.
- Dú Fays kritisches Experiment (s. 5.1.3) zu zwei Arten von Elektrizität vorführen.
- Einige der Experimente E1 - E4 entweder vorschlagen oder aufbauen

8.2 Reflektion auf die Natur der Naturwissenschaften

Unterschied zwischen Theorien und Gesetzen

In einer Erprobung dieser Fallstudie wurde die Reflektion durch eine Aufgabe eingeleitet, die auf der Tabelle in Abschnitt 5.2.2 aufbaut:

1. Die SuS zeichnen eine Tabelle mit den Spalten "Theorien" und "Gesetze"
2. Die SuS ordnen die allgemeinen Eigenschaften von Theorien und Gesetzen nach ihrer eigenen Einschätzung in die Spalten ein.
Die Eigenschaften bekommen sie zum Beispiel einzelne Karten mit jeweils einer Eigenschaft darauf.
3. Die SuS finden die passenden Beispiele aus der Tabelle in Abschnitt 5.2.2 und ordnen sie den allgemeinen Eigenschaften von Theorien und Gesetzen zu.
Die Beispiele bekommen sie als einzelne Karten mit jeweils einem Beispiel darauf.
4. Die SuS erstellen in Gruppen aus ihren einzelnen Ergebnissen eine gemeinsame Tabelle.
5. Die Gruppen stellen ihre Tabellen vor und diskutieren gemeinsam mit dem Lehrer die Abweichungen untereinander.
Der Lehrer hat die Aufgabe, die Diskussion zu leiten und nur bei gravierenden Fehlvorstellungen Nachfragen zu stellen.

Auf diese Weise ist dafür gesorgt, dass alle SuS sich mit den theoretisch relevanten Klassifikationskriterien vor dem Hintergrund ihrer eigenen Vorstellungen auseinandersetzen, ohne dass das Unterscheiden selbst die SuS überfordert. Die Paarung von allgemeinen Kriterien mit konkreten Beispielen aus Dú Fays Forschung unterstützt das Verständnis und dient als Vorbereitung für die Schreibaufgabe (s. Material III).

8.3 Die Reflection Corner - Ein methodisches Hilfsmittel zur expliziten Reflektion über die Natur der Naturwissenschaften.

Die Reflection Corner ist ein methodisches Hilfsmittel, welches den SuS das Reden über Rolle, Funktion, Bedingungen und Eigenschaften von Naturwissenschaft, naturwissenschaftlichem Wissen und dessen Produktion erleichtern und systematisieren soll.

Sie wird von den SchülerInnen schnell anerkannt und sollte an all den Stellen im Unterricht eingesetzt werden, wo etwas ÜBER Naturwissenschaften und Erkenntnisgewinnung gelernt werden soll.

Alle Infos dazu gibts hier...

11. Quellen

[1] *Geschichte und gegenwärtiger Zustand der Elektrizität, nebst eigenthümlichen Versuchen*

/ Priestley, Joseph (Naturforscher) *1733-1804*. - Repr. aus dem Jahre 1772, nach der 2., vermehrten und verb. Ausg. - Hannover : Ed. "libri rari" Schäfer, 1983

[2] *A Letter from Mons. Du Fay, F. R. S. and of the Royal Academy of Sciences at Paris, to His Grace Charles Duke of Richmond and Lenox, concerning Electricity. Translated from the French by T. S. M D.*

In: Philosophical Transactions (1683-1775), Vol. 38, 1753

[3] *Exploratives Experimentieren - Charles Dufay und die Entdeckung der zwei Elektrizitäten.* Friedrich Steinle in Physik Journal, 3 (2004) Nr. 6

Attachments

dufay_priestley_S28-34

dufay_phil_trans_38_s258-266

[exploratives experimentieren bei dufay](#)