

Stephen Gray – Elektrische Leitung auf dem Holzweg

1. Titel und Stichworte

Stephen Gray – Elektrische Leitung auf dem Holzweg

(Episode 4 der Serie: Historisch-Genetische Einführung in die Elektrizität)

Statische Elektrizität, elektrische Abstoßung, elektrische Anziehung, elektrische Leitung, Stephen Gray,

2. Autor(en) und Institution(en)

Andreas Henke, University of Bremen / Germany

Dietmar Höttecke, University of Hamburg / Germany

3. Kurzfassung

Diese Fallstudie über Stephen Grays Experimente zur Leitung von Elektrizität ist die vierte Episode in einer Reihe über die Geschichte der Elektrizität.

Kernthema dieser Etappe ist die Entdeckung und Untersuchung der elektrischen Leitfähigkeit von Stoffen durch Stephen Gray. Diese Episode ist geeignet für Schüler der Sekundarstufe 1 (12 – 15 Jahre). Angeleitet durch Grays Vorgehen erleben die SuS welche Entwicklung seine Experimentalaufbauten im Laufe seiner Forschungen durchmachten und wie er trotz vorschneller Schlüsse und Irrwege eine Trennung in leitende und nichtleitende Materialien vornehmen konnte. Die SuS können diesen Prozess nachvollziehen und darüber reflektieren, dass unter solchen Voraussetzungen das wissenschaftliche Wissen als vorläufig und hypothetisch angesehen werden sollte. Sie können den Prozess der Entwicklung seiner Experimentalaufbauten selbst im Experiment oder anhand von Material nachvollziehen. Ein Video demonstriert alle relevanten Stadien und Varianten von Grays Untersuchungen und kann den Unterrichts strukturieren, anleiten oder abschließen. Es soll mit dieser Fallstudie eine realistische Sicht darauf vermittelt werden, welche Rolle Experimentalaufbauten im Forschungsprozess spielen.

Weitere Grundideen der Elektrizität, die in dieser Etappe am Beispiel von Grays Forschungen behandelt werden können, sind elektrische Influenz sowie die Superposition elektrischer und magnetischer Wirkungen.

4. Beschreibung und Ablaufvorschlag

In dieser Etappe können die SuS die Ursprünge der Idee, dass Elektrizität sich in Materialien ausbreiten bzw. fortbewegen kann, nachvollziehen. Dazu nehmen sie teil an Grays Forschungen und damit auch an seinen Irrwegen dabei.

Zu Beginn kann eine kurze **Einführungsphase** in Leben und Forschung Stephen Grays stehen. Die Details dazu finden sich in **Abschnitt 5.1.1 und 5.1.2**.

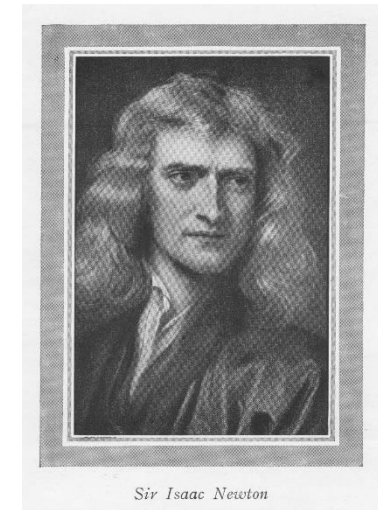
Dabei sind folgende Punkte wichtig:

- Seine Herkunft, ursprünglicher Beruf und durchgängig prekäre finanzielle Lage
- Sein Interesse und seine erfolgreiche Beschäftigung als Astronom
- Die Unterdrückung von Grays Ergebnissen durch Isaac Newton und deren Auswirkungen
- Grays Unterkunft im Londoner Bedürftigenheim und der dortige Beginn seiner elektrischen Experimente
- Die enge Zusammenarbeit Grays mit anderen Wissenschaftlern seiner Zeit wie bspw. Granville Wheeler oder Charles dú Fay (möglicher Bezug zur dritten Etappe dieser Unterrichtsreihe)
- Die Notwendigkeit, in ganz London spektakuläre Vorführungen („fliegender Knabe“, „Leitung über weite Distanzen“) zur Elektrizität zu geben, um sich ein wenig Geld für seine Forschungen zu verdienen
- Der unverhoffte Beginn von Grays Untersuchungen zur Leitfähigkeit an seinem ersten Aufbau mit der Glasröhre.

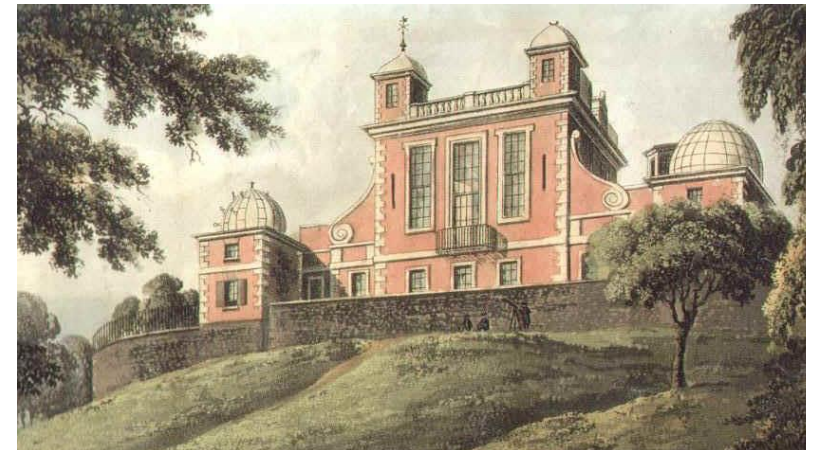
Den letzten Punkt kann man auch mit einem **Originaltext** Stephen Grays (s. Quelle 1) oder über **Demonstrationsexperimente** zu Aufbau 1, 2 und 3 (s. Abschnitt 5.1.2) unterstützen. Die SuS können



Es existiert
wahrscheinlich
kein Portrait
von Stephen Gray.



Sir Isaac Newton

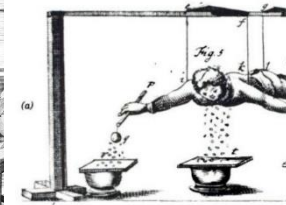
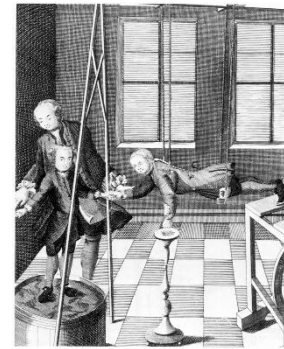


sich auch selbst, bspw. in Gruppen, über die o.g. Punkte informieren und ihre Ergebnisse präsentieren. Für diesen Zweck ist Material IV vorgesehen.

Hinterher können die SuS in einer kurzen **Reflektion** auf die Natur der Naturwissenschaften (s. „Reflection Corner“) dazu Stellung nehmen, inwiefern Grays Leben und Forschung **typische Elemente von Naturwissenschaft** enthalten (s. dazu Abschnitt 5.2). Mögliche Reflektionsfragen können sein:

- Aus welchen Gründen stellt Stephen Grays seine Versuche der Öffentlichkeit vor? Wo findet heutzutage so etwas statt? Wozu dient so etwas heute?
- Isaac Newton versuchte bis zu seinem eigenen Tod, die Forschungsergebnisse Stephen Grays zu unterdrücken. Gray konnte sie deswegen lange nicht veröffentlichen. Kann so etwas in den Naturwissenschaften häufiger vorkommen oder ist das eine Ausnahme?

In der folgenden Experimentalphase können die SuS Grays Weg zur **Leitfähigkeit als Materialeigenschaft** nachvollziehen. Die Versuchsaufbauten und deren logische Verbindung Grays sind unter 5.1.2 beschrieben, die zugehörigen Experimente in Abschnitt 7. Ein wichtiges Merkmal in Grays Forschungsverlauf ist die **zufällige Bekräftigung der aus heutiger Sicht falschen Hypothese**, nämlich dass elektrische Leitfähigkeit allein von der Dicke (Querschnittsfläche) eines Stoffes beeinflusst wird. Erst als er – schon mitten in der Untersuchung der nächsten Fragestellung – durch **zufällige mechanische Probleme** (das Reißen eines dünnen Seidenfadens) gezwungen ist, seinen Aufbau zu ändern, bemerken er und ein Kollege ihren Irrtum. Die Rekonstruktion dieses Ablaufes



für den Unterricht zielt außerdem darauf ab, die Verwendung und Bedeutung der Begriffe **Vermutung, Beobachtung, Experiment und Versuchsaufbau** zu klären und zu üben.

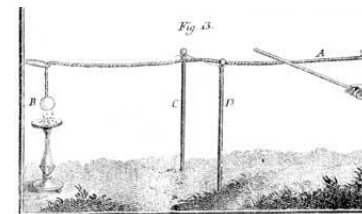
Vor der eigentlichen Experimentalphase sollten

- die SuS über Grays ursprüngliches Forschungsinteresse informiert werden (Untersuchung der Elektrisierbarkeit einer hohlen Glasröhre).
Bspw. über Demonstrationsexperimente zu Aufbau 1, 2 und 3 (s. Abschnitt 5.1.2)
- die fachlichen Voraussetzungen geklärt werden (Elektrisieren durch Reibung, Verlust der Elektrisierung durch Erdung)
- eine konkrete Forschungsfrage aufgestellt werden, die für die gesamte Experimentalphase gilt (bspw. „**Wovon hängt es ab, ob ein Material Elektrizität weiterleitet oder nicht?**“)

Informationen über die möglichen Untersuchungen in der Experimentalphase und die zugehörigen Versuchsaufbauten finden sich in Abschnitt 7.1.

Eine Möglichkeit, **die Schüler bei ihren Untersuchungen anzuleiten**, ist die Nutzung von **Schülermaterial I & II**.

Hier werden sie über eine **fiktive Korrespondenz** mit Stephen Gray Schritt für Schritt über seine Versuchsaufbauten, Fragestellungen, Vermutungen und Beobachtungen informiert. Weiterhin steht ein [Video](#) zur Verfügung, das in einzelnen Abschnitten alle relevanten Teiluntersuchungen Grays und deren Ergebnisse (inklusive der fehlgeschlagenen Leitung) erkennen lässt.



Durch **begleitende Aufgaben** werden sie zum **Selber-Forschen** oder zu kurzen **Reflexionen** auf naturwissenschaftliches Arbeiten angeregt.

Am Ende eines Forschungsschrittes können die SuS ihre **Ergebnisse vorstellen** oder **diskutieren** oder auch **Hilfe vom Lehrer einfordern**. Einige Vorschläge für **Reflexionsfragen** zum Lernen über die Natur der Naturwissenschaften finden sich ebenfalls in **Schülermaterial I & II**.

Die jeweils folgende Korrespondenz kann als **Ergebnissicherung** der vorhergegangenen Forschungsaufträge dienen, oder als Hilfekarte, welche die SuS während der Experimentalphase nach Bedarf erhalten.



Als spannender Exkurs oder separate Lerneinheit kann Grays Idee eines elektrischen Planetariums dienen. Sie wird in Abschnitt 5.1.3 ausführlich beschrieben. Ein Vorschlag zur unterrichtlichen Umsetzung findet sich in Abschnitt 7.1 unter E5.

Die Lerngelegenheiten in Bezug auf die Natur der Naturwissenschaften (Einfluss von Vorerfahrungen, Subjektivität und Voreingenommenheit von Naturwissenschaftlern) sind in Abschnitt 5.2.6 dargestellt.

5. Hintergründe

5.1 Geschichtliches

5.1.1 Stephen Grays steinige Karriere

Stephen Gray (* Dezember 1666 in Canterbury; † 7. oder 15. Februar 1736 in London) und Charles dú Fay sind zwischen 1729 und 1740 die Hauptpersonen der Elektrizitätsforschung. Beide machen sie den Schritt von der Untersuchung statischer Phänomene aufgeladener Körper hin zu Untersuchungen, die auf der **Bewegung von Elektrizität** basieren. Während die Mitteilung von Elektrizität bei Dufay noch allein über einen *Transportkörper* möglich war, ist es bei Gray die Elektrizität selbst, die in Bewegung gerät und sich über weite Strecken *selbst* mitteilt. Stephen Gray begann nach einer **rudimentären Schulbildung** recht schnell als Assistent seines Vaters im **Stofffärbergewerbe** zu arbeiten (dies könnte ein Grund dafür sein, dass er später die Hypothese vertrat, dass die Farbe eines Körpers über dessen Elektrisierbarkeit bestimmt). Damit war allerdings nicht viel Geld zu machen und seine Interessen in Naturwissenschaften, insbesondere **Astronomie** konnte er nur durch konsequentes **Selbststudium** und **wohlhabende Freunde** verfolgen, die ihm Zugang zu ihren Bibliotheken und wissenschaftlichen Instrumenten gewährten.

Gray begann Teleskoplinsen zu schleifen und wurde schnell für seine außerordentlich gute Arbeit und genauen **astronomischen Beobachtungen** bekannt, durch die man zu einigen neuen Erkenntnissen über **Sonnenflecken** und **Monde** anderer Planeten des Sonnensystems kam. Ein herber Rückschlag für Gray war die **Pleite eines Observatoriums** bei dem er angestellt war (an der vermutlich Isaac Newton nicht ganz unschuldig war – siehe unten). Diese zwang ihn dazu, für einige Zeit in die Färberei zurückzukehren. Wegen gesundheitlicher Probleme ließ er sich darauf ein, unentgeltlich als **Assistent von John Desaguliers** zu arbeiten (er bekam allerdings Speisen und Unterkunft gestellt). Dieser arbeitete für die Royal Society (Königliche Gesellschaft - eine britische Gelehrten-gesellschaft zur Wissenschaftspflege, u. a. Verleger von physikalischen Zeitschriften) um in Vorlesungen in ganz England die neusten wissenschaftlichen Erkenntnisse darzustellen.

Die Armut beschränkte Grays Möglichkeiten aber weiterhin und erst nachdem er mit Hilfe seiner Freunde zu einer Unterkunft in einem **Heim für Bedürftige** und einer kleinen Pension in Anerkennung seiner Entdeckungen in der Astronomie gelangte, begann er mit seinen **Experimenten zur Elektrizität** – meist in seinem Zimmer oder in den Fluren des Heims (s. Bild VIII).

Grays wissenschaftliche Anerkennung litt zeitlebens (und bis heute) **erstens** unter seiner **Armut**, wegen der er seine Erkenntnisse meist über Dritte

veröffentlichen lassen musste, **zweitens** unter seinem Status als **Amateurwissenschaftler**, der erst spät seiner Berufung gefolgt ist, und **drittens** und am schwerwiegendsten unter dem Einfluss **Isaac Newtons** (s. Bild unter den Mitgliedern der Royal Society).

Newton befand sich in einem langen Streit mit einem guten Freund und Unterstützer Grays, John Flamsteed, in dessen Folge er viele ihrer Artikel nicht zur Veröffentlichung zuließ. Für Gray, der auf Bekanntheit und Unterstützung dringend angewiesen war, hatte dies fatale Konsequenzen: Die meisten seiner Artikel konnten erst **nach Newtons Tod** 1727 veröffentlicht werden, woraufhin Gray in den Jahren 1731 und 1732 die ersten beiden Copley-Medaillen in Anerkennung seiner Entdeckungen verliehen wurden – nur vier Jahre vor seinem Tod.

Noch auf dem Totenbett schilderte Gray seinem Doktor all die Versuche und Entdeckungen, die er noch vor sich hätte.

Bis heute ist Stephen Gray weit weniger Ehre zuteil geworden als beispielsweise Benjamin Franklin oder vielen anderen Forschern aus dem Bereich der Elektrizitätswissenschaften, obwohl er noch viele weitere Untersuchungen anstellte, die hier gar nicht dargestellt werden können. Man geht davon aus, dass er in einem Massengrab für die Bewohner des Bedürftigenheims begraben wurde. Ein tragisches Ende eines eigentlich bedeutsamen Wissenschaftlers.

5.1.2 Stephen Grays Experimente zur Weiterleitung von Elektrizität: Elektrizität als Form- oder Materialeigenschaft?

Vorgeschichte und Hinweise

Ursprünglich wollte Gray untersuchen, ob die Elektrisierbarkeit einer hohlen Glasröhre davon abhängig sei, ob ihre Enden beim Reiben und danach offen oder verschlossen sind. Ausgehend von der **Entdeckung der Weiterleitung** der Elektrisierung (s. Material A) weitete er seine Untersuchung unter stetiger **Abänderung seiner Aufbauten** immer weiter aus und konnte feststellen, dass die **Leitfähigkeit von Stoffen** weniger von deren Form (Dicke bzw. Querschnittfläche) als vom Material selbst abhängt. Man kann nun also **Leiter und Isolatoren** als verschiedene Materialien voneinander unterscheiden. Unter Punkt 8 ist eine strukturierte **Rekonstruktion** von Grays Forschungen für den Unterricht dargestellt.

Der Begriff **Isolator** wurde von **Charles dú Faye** geprägt (s. Etappe 4), entstand aber erst durch die guten Kontakte zwischen Gray und dú Fay. Weil laut dú Fay die leitenden Schnüre Grays immer auch etwas Elektrizität an die Luft abgaben, forderte er, man müsse sie durch eine schützende Ummantelung von der Luft *isolieren*.

Entwicklung von Grays Experimentalaufbauten (Video)

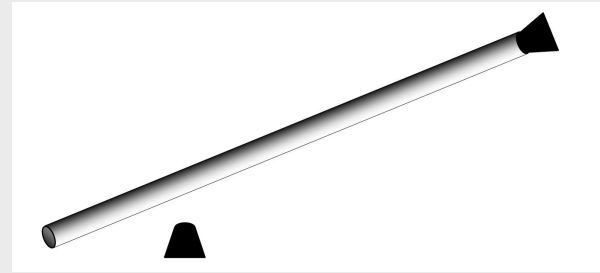
Im Verlauf von Grays Forschungen wandelte er seine Experimentalaufbauten ständig ab. Nur dadurch gelangte er – eher durch **Zufall** – zu der Erkenntnis, dass Weiterleitung von Elektrizität doch eine Material- statt eine Formeigenschaft ist. Die wichtigsten sechs Stationen und Grays Vorgehen sind hier dargestellt:

1. Glasröhre mit Korkstopfen

Elektrizität wird weitergeleitet 1 – Bild II

Die Glasröhre wird von einer oder beiden Seiten verkorkt und dann gerieben. Es zeigt sich, dass nicht nur die Röhre, sondern vor allem die Korken elektrisiert zu sein scheinen.

([2], S. 20 Mitte, [1], S.18 unten)

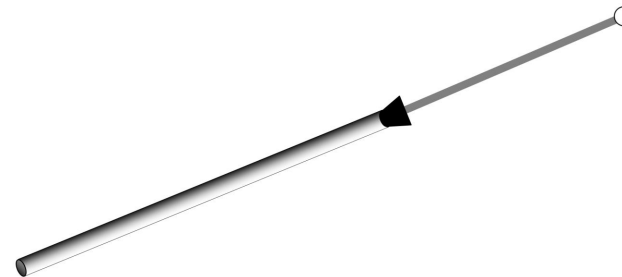


2. Glasröhre mit Korkstopfen & Stab mit Kugel

Elektrizität wird weitergeleitet 2 – Bild III

In einen Korken wird ein Stab gesteckt, an dessen einem Ende eine Elfenbeinkugel befestigt ist. Steckt man den Korken in die Glasröhre und reibt diese, so wird auch die Kugel elektrisiert

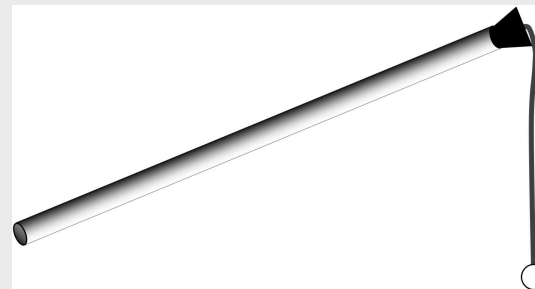
([2], S. 20 Unten, [1], S 19 Oben)



3. Glasröhre mit Korkstopfen & Schnur mit Kugel

Elektrizität wird weitergeleitet 3 – Bild IV

Dieser Aufbau stellt den Übergang zu den Hanfschnur-Experimenten dar. Hierbei wird ein etwa 1m langes Stück Hanfschnur am Korken befestigt, an deren Ende die bekannte Elfenbeinkugel befestigt wird. Lässt man die Schnur herabhängen und reibt die Glasröhre, so wird die



Kugel ebenfalls elektrisiert.

In der zweiten Variante verlängert er die Schnur und lässt sie von einem Balkon herab. Auch dann wirkt die Kugel am Ende anziehend.

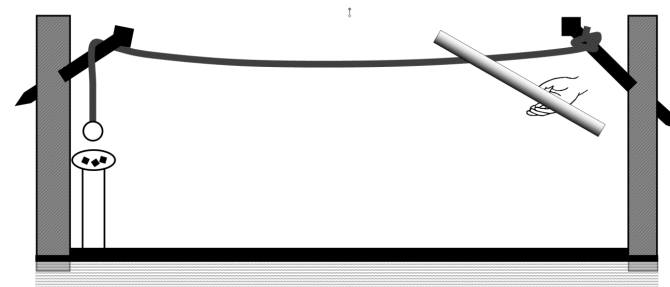
([2], S. 21 Mitte, [1], S 19 Oben)

4. Hanfschnur horizontal, mit Glasröhre elektrisiert

Dicke Körper leiten – Bild V

Dabei wird eine Hanfschnur horizontal aufgespannt, ähnlich wie es in Material C zu erkennen ist. *Gray gibt an, dass die Leitung fehlschlägt.* Der Grund: Als Befestigung für die Schnur nutzt er *dicke Nägel in Balken*. Er erkennt selbst, dass dadurch die Ladung über die Balken fortgeleitet wird und ändert seinen Aufbau.

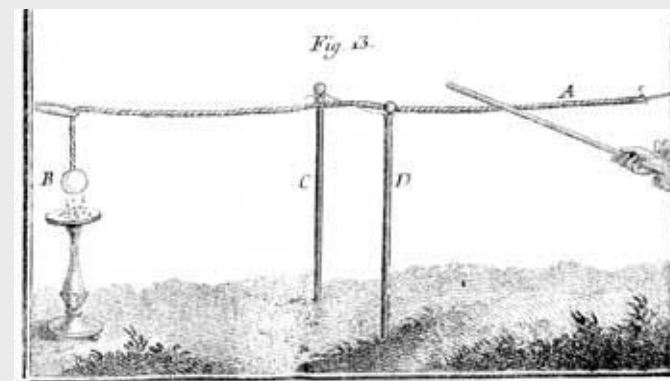
([2], S. 25 Mitte)



5. Hanfschnur horizontal an Seidenfäden befestigt

Dünne Körper leiten nicht – Bild VI

Grays Hypothese: Es hängt mit der Dicke der Schnur zusammen, ob sie leitet oder nicht. (Die Balken waren dick.) Daraufhin legt er die Hanfschnur auf dünne Seidenfäden und hat Erfolg. **Somit wird die falsche Hypothese bestätigt** (nur dünne Körper leiten nicht), denn Seide ist ein Isolator. Ob dick oder dünn spielt gar keine Rolle! Erst eine weitere Änderung des Aufbaus unter einer neuen Fragestellung wird



diese Vorstellung berichtigen.

([2], S. 26 Mitte)

6. Lange Hanfschnur - Leitung über weite Distanzen

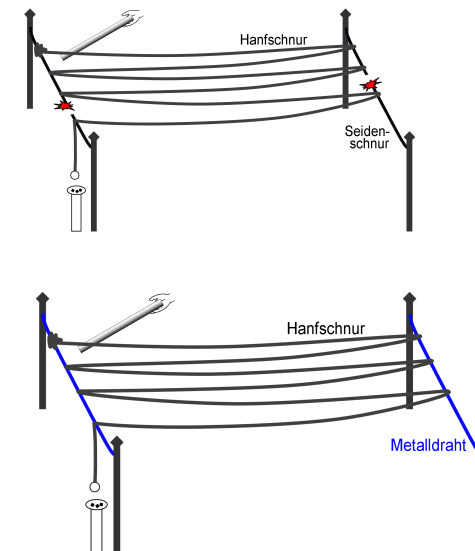
Dünne Körper leiten doch! Leiter und Nichtleiter.

Zusammen mit seinem Freund Granville Wheeler dehnt er die Länge der Hanfschnur immer weiter aus, um zu überprüfen, **wie weit sich Elektrizität leiten lässt.**

Bei Variante 6A wird die Hanfschnur mehrfach über ein Paar gespannte Schnüre hin- und hergelegt. (Bild VII, Bild XIII)
Hier geschieht es, dass durch das Gewicht der Hanfschnur **die Seide reißt**. Wheeler schlägt vor, **stattdessen dünnen Metalldraht** zu nehmen, der nach der zuvor gestützten Hypothese (dünne Materialien leiten nicht) ebenfalls **nicht leiten dürfte**. Beide waren noch der Meinung, die Elektrizität könne nur über sehr dünne Materialien nicht abfließen. Doch als sie statt der Seide einen noch dünneren, aber festeren Metalldraht verwenden **leitet dieser wider Erwarten**. ([1], S.21 unten – S.22 oben).

Sie folgern, dass nicht die Dicke für elektrische Leitung ausschlaggebend ist, sondern das Material.

Ähnlich, wie man bereits elektrisierbare und nicht elektrisierbare Stoffe unterscheidet, kann man nun zwischen **Leitern und Nichtleitern** trennen.



Sie nutzen dieses Wissen für **Variante 6B**, bei der sie sehr viele parallele Seidenschnüre verwendet wurden, um eine Hanfschnur zu unterstützen. (Bild VIII, Bild IX)



5.1.3 Stephen Grays elektrische Erklärung der Planetenbewegung - Das elektrische Planetarium

Kurz vor seinem Tod im Februar 1736, manche sagen sogar noch auf seinem Totenbett, kam Gray die Idee eines elektrischen Planetariums. Miniatur-Planetarien als bewegliche Modelle des Sonnensystems waren bekannte und verbreitete astronomische Gerätschaften und beeindruckendes und oft kunstvolles Spielwerk. Im Gegensatz zu bisherigen mechanischen oder pneumatischen Modellen, wie Gray sie aus seiner Zeit als Astronom gut kannte (s. Bild XV a und b), wollte Gray elektrische Effekte nutzen.

Die elektrische Abstößung zweier elektrisierter Körper als Grundlage, war Grays Ansatz von bestechender Einfachheit (s. Bild XI):

Ein elektrisierter Körper liegt auf einer nichtleitenden Unterlage (oder ein Metallkörper auf einer elektrisierten Unterlage). Ein zweiter, leichter und gleichartig elektrisierter Körper wird an einem dünnen, nichtleitenden Faden langsam von oben dem ersten genähert. Der leichte Körper wird beginnen, am Faden um den liegenden Körper zu kreisen mit diesem im Mittelpunkt oder - bei einer elliptischen Bahn des kreisenden Körpers - in einem der Brennpunkte der Ellipse. Die Rotationsrichtung entspricht der Richtung, in der die Planeten um die Sonne (und der Mond um die Erde) kreisen.

Gray sah diesen (natürlich nur aus größtenteils unwillkürlichen Bewegungen der den Faden haltenden Hand hervorgerufenen) Effekt nicht einfach nur als nützlich zur Konstruktion einer neuen Art von Planetarien an. (Tatsächlich wurde nach Grays Tod erhebliche Arbeit in die Konstruktion elektrischer Planetarien gesteckt, die nach diesem Prinzip funktionieren.) Gray nahm diesen Effekt zudem als Hinweis auf die zentrale Rolle, die Elektrizität (zeitgemäß: das elektrische Fluidum) in der Planetenbewegung und somit in der Bewegung aller Körper im Universum spielen sollte. Dies galt verständlicherweise als gewagter Schluss, widerspricht es doch in großen Teilen den Newtonschen Vorstellungen der Himmelmechanik, die nach seinen Vorstellungen durch rein mechanische Vorgänge und Kräfte bestimmt wird.

Grays Freund, Forscherkollege und Unterstützer Granvill Wheler hatte genau dies - nämlich das Einnehmen einer Gegenposition zu Newton- im Sinne, als er sich kurz vor Grays Tod daran machte, dessen Ideen zum elektrischen Planetarium in die Tat und in ein funktionierendes Modell umzusetzen.

Im Mai 1737 präsentierte er seinen Forscherkollegen der Royal Society Grays Überlegungen zur Rolle der Elektrizität und erste Entwürfe eines elektrischen Planetariums. Auch wenn der Sekretär der Royal Society, Bernard de Fontenelle, in diesen Ideen "neue und unermessliche Hoffnungen für die Astronomie" witterte, müssen hier auch erste Zweifel kund getan worden sein:

Schon im Februar 1738 ist sich Wheler sicher, dass die Effekte, die Gray zu der Idee des Planetariums führten, hervorgerufen werden durch "eine verborgene

Bewegung der Hand, die durch den Willen zum Erfolg unmerklich den kreisenden Körpern mitgegeben wird."

Diese Episode allein ist schon Stoff genug für eine eigene Lerneinheit zum Thema elektrische Abstoßung, Leitung und Influenz sowie zur Voreingenommenheit von und äußeren Einflüssen auf Naturwissenschaftler. Ein Vorschlag zur unterrichtlichen Umsetzung findet sich in der Beschreibung des Versuchs zum Planetarium, E5.

5.2 Lernen über die Natur der Naturwissenschaften

5.2.1 Irrwege der Forschung – Vorläufiges Wissen – Zufall

Grays experimentelles Vorgehen und die dabei gewonnenen Erkenntnissen verdeutlichen die Kernbestandteile des wissenschaftlichen Erkenntnisprozesses und zeigen zudem, dass Wissenschaftler selbst dann auf die falsche Spur geraten können, wenn ihre Beobachtungen zu ihren Hypothesen passen.

Nach seiner ersten Entdeckung beginnt Gray sehr stringent zu forschen. Er **beobachtet** und **misst** und stellt daraufhin **durch Beobachtungen gestützte Vermutungen** auf. Er entwirft immer neue **Experimente** um diese **Vermutungen** zu **testen**. All dies sind wichtige Elemente der experimentellen naturwissenschaftlichen Forschung. Dass dieses **nicht als eine perfekte Methode** zu verstehen ist, die als solche immer zu sicherem Wissen führt, zeigt der Fall, in welchem sich durch Zufall und fast unvermeidbarer Fehlinterpretation die **aus heutiger Sicht falsche Vermutung bestätigt** (die – unzutreffende – allgemeine Regel, dass alle dünnen Materialien nicht leiten bzw. die Leitfähigkeit nur von der Dicke des Materials determiniert ist).

Hier trägt natürlich nicht der „unwissende alte Forscher“ die Schuld, wie eine häufige Vorstellung von SuS lautet. Solche Dinge passieren auch im heutigen Forschungsprozess ständig und immer wieder.

Daraus folgt direkt, dass heute als bestätigt geltendes physikalisches Wissen (wie bspw. die Idee der Endlichkeit des Universums) **vorläufig** ist, da es **in naher Zukunft widerlegt oder geändert** werden muss. Schließlich ist dieses Wissen auch nicht mehr als durch Beobachtungen gestützten Vermutungen.

Zwischen Experiment und Theoriebildung liegt immer ein interpretatorischer Prozess, der offen bleiben muss für zukünftige Revisionen.

5.2.2 Entwicklung von Experimentalaufbauten

Im Laufe der Forschung an einem bestimmten Gegenstand/Phänomen findet (neben völligen Neukonstruktionen) fast immer eine **graduelle Entwicklung** der jeweiligen Experimentalaufbauten statt. Diese ist geleitet von der **ursprünglich**

hen Fragestellung, neuen **Beobachtungen** und **Vermutungen**, **Fehlschlägen** und der **Kreativität** des Forschers. Ein gutes Experiment entsteht nicht fix und fertig am Reißbrett oder im Kopf des Wissenschaftlers, sondern entwickelt sich mit den Fragestellungen und auftretenden Problemen immer weiter. Bis es am Ende vielleicht gar nichts mehr mit dem ursprünglichen Aufbau gemeinsam hat.

Bei Gray fand eine Entwicklung von der ursprünglichen **Glasröhre mit Stopfen** zu einem **Aufbau mit hunderten Metern Seidenschnur** statt. Der Forschungsbereich (Weiterleitung von Elektrizität) blieb dabei aber immer gleich. Mit der Veränderung des Experimentalaufbaus ging auch eine Verschiebung von Forschungszielen einher.

5.2.3 Die materielle Kultur der Wissenschaften

Die von Gray bei seinen Versuchen benutzten Materialien sind völlig andere als sie heutzutage für ähnliche Experimente z.B. in Schulsammlungen benutzt werden. Mehr noch: zu vielen der verwendeten Materialien hat man in der heutigen Zeit überhaupt keinen Kontakt (bspw. Seiden- und Hanfschnüre). Eine Kontrastierung der unterschiedlichen materiellen Kulturen der damaligen und heutigen Menschen macht den SuS deutlich, wie Wissenschaftler (und damit Wissenschaft) durch die Kultur, in der sie aktuell leben, beeinflusst wird. Diese Art der Beeinflussung ist immer – auch heute – gegeben und kann von den SuS über eine gezielte Reflexion auch realisiert werden.

Als materielle Kultur einer Zeit bezeichnet man üblicherweise *die Gesamtheit der natürlich und künstlichen Materialien, Geräte, Werkzeuge, Bauten, Kleidungs- und Schmuckstücke und ähnliches, die sich zu dieser Zeit im Gebrauch befinden*. Auch die Rolle, welche diese Dinge für die Menschen spielen, ist ein Teil dieser Kultur.

Die materielle Kultur der Elektrizitätsforschung hat Gray mit seinen Entdeckungen und den von ihm verwendeten Materialien und Geräten nachhaltig beeinflusst: Die Glasröhre erhielt schnell einen festen Platz im Repertoire anderer Forscher. Auch das Aufhängen an Seidenfäden zur elektrischen Isolation von Gegenständen blieb lange Zeit die Methode der Wahl um einen Körper elektrisch zu isolieren.

5.2.4 Technik, Experiment und Theorie

In der handfesten Forschung spielen drei Dinge eine wesentliche Rolle, die sich in der Arbeit eines Naturwissenschaftlers immer gegenseitig beeinflussen und aneinander weiterentwickeln:

1. Die Technik

– das sind z.B. typische **handwerkliche Tätigkeiten** der Zeit und die in der jeweiligen Zeit **zur Verfügung stehenden Materialien** – wird benutzt, um einen gedachten Experimentalaufbau in einen funktionierenden umzusetzen. Also bspw. einen, der geeignet ist, die aktuelle Vermutung zu prüfen.

2. Das Experiment

– das sind die für den Aufbau benötigten **Materialien** und ihre ganz besondere **Anordnung** sowie die **praktische Erfahrung** des Forschers im Umgang mit dem Aufbau – ist das Kernstück der Forschung, hat aber ohne Technik und Theorie keinerlei Bedeutung und muss immer im Zusammenhang mit diesen gesehen werden.

3. Die Theorie

– das sind das **Vorwissen** des Forschers, seine **Vorannahmen** über die Existenz und den Zusammenhang von Messobjekten und Messgrößen, die **Erklärungen**, die er aufstellt, um seine Vermutungen miteinander zu verbinden und die Beobachtungen zu klären, und die **Vermutungen** selbst. Sie beeinflussen, was er am Experiment ändert und wie er es deutet.

Kein *reales* Experiment im *realen* Forschungsprozess ist so beschaffen, dass es ohne **Übung** bedient werden kann. Diese Übung bedeutet eben nicht nur zu verstehen, welche Störungen auftreten können und die Fertigkeit, sie geschickt zu unterdrücken oder zu verhindern. Wissenschaft ist oft genug ebensoviel Handarbeit wie Kopfarbeit!

SuS sollten verstehen, dass reale Experimente nicht „fertig“ erfunden werden, auf Knopfdruck funktionieren und dann sofort Hypothesen testen oder sichere Messergebnisse liefern.

Experimentieren umfasst einen Entwicklungs- und Verfeinerungsprozess der verwendeten Instrumente und der Fertigkeiten, sie erfolgreich zu bedienen.

Dies sind mindestens genau so wichtige Aufgaben eines Wissenschaftlers, wie das Entwickeln von erklärenden Theorien, das Aneignen von Wissen oder das Präsentieren von Ergebnissen.

5.2.5 Streit, Intrigen und Schicksale in der Wissenschaft

Der Einfluss des berühmten Isaac Newton aufs Grays Leben durch die **lebenslange Blockadehaltung gegenüber seinen Veröffentlichungen** macht deutlich, wie stark die menschliche Komponente in den Wissenschaften ist. Durch diesen Umstand blieben Grays Erkenntnisse lange der Öffentlichkeit verborgen. Seine finanzielle Lage wurde immer dramatischer.

Die Bedeutung von Bekanntheit und Anerkennung tritt ebenso hervor, wie all die menschlichen Schwächen, gegen die eben auch brillante und erfolgreiche Wissenschaftler wie Newton nicht immun sind (Näheres s. „Historischer Rahmen“).

5.2.6 Subjektivität und Wille zum Erfolg als Aspekte naturwissenschaftlichen Arbeitens (s. E5)

Das elektrische Planetarium (5.1.3 und Versuch E5) und vor allem Grays Aussagen dazu zeigen deutlich den **Einfluss der Persönlichkeit des Forschers** mit all seinen Lebenserfahrungen auf die **Interpretation von Beobachtungen**, und in diesem Fall sogar auf die **unbewusste Erzeugung des zugehörigen Phänomens zur Bestätigung der Vermutung**.

Grays lange **Beschäftigung als Astronom**, sein starkes **Interesse** für und **Vorwissen** von der Lage und Bewegung der **Sterne und Planeten** und sein Wunsch nach mehr **Bekanntheit** nach der langen Phase der **Unterdrückung durch Newton** mag in diesem Fall zur unbewussten Erzeugung der gerichteten Drehbewegung des Pendels geführt haben. Schließlich kannte Gray die Umlaufrichtung der Planeten sehr gut. Vielleicht ist Gray am Anfang auch vereinzelt eine andere Drehrichtung untergekommen, aber in seiner **tiefen Überzeugung der Wahrheit seiner Vermutung** hat er a) diese unerwarteten Ergebnisse unbewusst unterdrückt, wie es bei dieser Art Pendelversuch möglich ist und b) diese unerwarteten Ergebnisse als experimentelle Fehler angesehen und auf andere Ursachen zurückgeführt (z.B. unruhige Hände).

Zwei weitere Gründe mögen dazu geführt haben, dass Gray nur eine Umlaufrichtung wahrnahm:

1. Die **Sicherheit**, den **Effekt zum Bau eines elektrisch-mechanischen Modells des Sonnensystems nutzen** zu können, mit dem er große **Bekanntheit** erlangen könnte.
2. Die **Hoffnung**, dass sich aus diesem Effekt eine (**elektrische**) **Theorie** ableiten lässt, welche die **Planetenbewegungen im gesamten Universum erklärt (und der Newtonschen Theorie widerspricht!)**.

Diese Art von Subjektivität - die Voreingenommenheit gegenüber seinen Vermutungen - ist in der Wissenschaft alltäglich. Sie führt manchmal zur

unbewussten Beeinflussung der Messung durch den festen Glauben an die Richtigkeit der eigenen Vermutung.

Messwiederholungen, Replikationen zweifelhafter Versuche durch andere oder Doppelblindstudien sind alte und neue Methoden, mit denen diese Voreingenommenheit umgangen werden soll.

5.2.7 Wissenschaft und Öffentlichkeit

Gray und Wheeler treten mit ihren **groß angelegten Experimenten** recht schnell in den öffentlichen Raum ein – so lassen sie beispielsweise eine Hanfschnur **von der Spitze eines Kirchturms** herab, um an Länge zu gewinnen. Weiterhin avanciert das Experiment mit einem **elektrisierten und an Seidenschnüren aufgehängten Knaben** (s. Material), der leichte Gegenstände mit Gesicht und Händen anziehen vermag, in London zum Publikumsrenner, immer wenn Gray es vorführt.

Hieran lässt sich deutlich machen, dass Wissenschaftler immer auch auf die **Akzeptanz und Unterstützung der Bevölkerung** angewiesen sind. Grade im Falle Stephen Grays wird dieser Umstand besonders sichtbar (s. 5.2.5 Streit, Intrigen und Schicksale in der Wissenschaft).

Wenn Gray und Wheeler also Eindruck mit großen Aufbauten oder spektakulären Experimenten und Ergebnissen beeindrucken wollen, so ist das ganz in ihrem Sinne. Diese Verbindung von Gesellschaft und Wissenschaft spiegelt sich heutzutage beispielsweise in Forschungsförderung und -politik wider, die auch von der öffentlichen Sichtbarkeit von Forschung abhängt. Wissenschaftskommunikation und -popularisierung sind auch moderne Anliegen. Großexperimente bzw. -aufbauten haben auch heute noch repräsentativen Charakter; als Beispiele seien hier der weithin sichtbare Fallturm der Bremer Universität oder die – oberirdisch sichtbaren – Gebäude des Cern in Genf genannt. Über den Bau des milliardenteuren LHC wurde weltweit berichtet, das Hubble Teleskop hat mittlerweile mehrere Fanseiten im Internet. Weitere Beispiele aus der Geschichte sind die Pendelversuche Foucaults im größten Planetarium in Paris, zu denen er explizit alle Pariser Wissenschaftler einlud. Eine weitere Vorstellung für alle Bürger im Panthéon, dem höchsten Gebäude in Paris, wurde daraufhin sogar von Frankreichs Präsident angeordnet (um seine Unterstützung der Wissenschaften zu demonstrieren).

6. Zielgruppe, curriculare Bezüge und didaktische Überlegungen

6.1 Lernziele & Kompetenzen

Fachwissen

- Elektrizität kann sich innerhalb von Materialien ausbreiten
- Die Leitfähigkeit wird durch das Material bestimmt – man unterscheidet Leiter und Nichtleiter.
- Nichtleiter nennt man Isolatoren.
- Influenzeffekt (lat. „Einfluss“): Elektrizität kann durch elektrische Anziehung und Abstoßung die Elektrizität in Leitern verschieben
- Elektrische und magnetische Kraftwirkungen überlagern sich störungsfrei.
- Elektrizität fließt in den Erdboden ab. Die Erde ist ein extrem großes Ladungsreservoir.

Erkenntnisgewinnung / Natur der Naturwissenschaften

Die SuS sollen...

- erfahren, dass wissenschaftliches Arbeiten oft durch die graduelle Veränderung von Versuchsaufbauten bestimmt ist.
- erfahren, dass wissenschaftliche Erkenntnis nicht zwangsweise an einem fertigen Versuchsaufbau gewonnen wird, sondern oft erst die Veränderung von Experimenten neue Phänomene hervorbringt.
- nachvollziehen, dass naturwissenschaftliches Wissen immer nur vorläufig sein kann, es aber trotzdem in Maßen verlässlich ist, da es von Beobachtungen gestützt wird.
- erkennen, dass naturwissenschaftliche Forschung kein abschließender Prozess des Beweisens, sondern ein nie endender Prozess des Stützens oder Abschwächens von Vermutungen ist.
- erkennen, dass Forschen subjektiven Einflüssen unterliegen kann, die sowohl förderlich als auch hinderlich sein können.
- nachvollziehen, dass Wissenschaftler ihre Hypothesen selten „aus dem hohlen Bauch“ gewinnen, sondern von ihren vorigen Untersuchungen beeinflusst sind.
- nachvollziehen, dass der Prozess naturwissenschaftlicher Forschung stark von Improvisation, Kreativität und Übung geprägt ist.

Kommunikation

Die SuS sollen...

- u.a. am Beispiel von Grays öffentlichen Vorträgen eine Möglichkeit der Interaktion von Wissenschaft und Öffentlichkeit kennen lernen.

Bewertung

Die SuS sollen...

- den Einfluss externer, nicht-rationaler Faktoren auf den Verlauf naturwissenschaftlicher Forschung am Beispiel der Unterdrückung von Grays Ergebnissen durch Newton einschätzen.
- die Bedeutung weltlicher Motive von Naturwissenschaftlern am Beispiel Grays Reaktionen auf seine prekäre finanzielle Lage nachvollziehen
- die Bedeutung der materiellen Kultur auf die Wissenschaft einer Epoche nachvollziehen und dabei verstehen, dass historische Wissenschaft andere Materialien zur Verfügung hatte. Dieses bedeutet jedoch nicht eine Einschränkung oder Minderwertigkeit der Forschung

7. Lehr-Lern-Ressourcen

7.1 Experimente

Benötigtes Material

Die Materialien lassen sich in Baumärkten oder Bastelläden beschaffen:

- (Flint-)Glasrohr, Durchmesser ca. 3cm, Länge ca. 1m, Korkstopfen für beide Enden
- Seidenschnur, Hanfschnur in verschiedenen Stärken, Metalldraht
- Kleine Kugeln mit Öse oder Loch (Kork, Elfenbein, Messing o.Ä.)
- Befestigungsmöglichkeiten für Seiden- und Hanfschnur (z.B. Holzstangen)
- Metallteller oder andere leitende Unterlage
- evtl. Pendelelektroskope
- Reibzeug:
Woll-, Baumwoll- und Seidentücher, Katzenfell
- Magnete/Magneteisensteine
- leichte Körper:
Spreu, Holz (Splitter und dünne Stangen), trockene Erde, kleine Steinchen, Salz (lose), Rauch (z.B. der einer ausgeblasenen Kerze), Baumwollfäden, Papierschnipsel, Messingspäne (Abfall aus metallverarbeitenden Werkstätten), Eisenspäne oder -pulver.

E1: Elektrische Anziehung und Abstoßung funktioniert auch weiterhin nach Leitung.

Dieses Experiment führte Gray an beinahe **allen seinen Aufbauten** durch (s. 7.1.2), um zu prüfen, ob die Leitung durch verschiedene Materialien und über verschieden lange Strecken nicht etwa Auswirkungen auf die schon bekannten elektrischen Phänomene hat. Dazu wird unter dem Ende der Röhre bzw. des Fadens, zu welchem die Leitung erfolgen soll, auf einem Teller (Metall!) o.ä. ein Häufchen der leichten Körper positioniert, welche bei erfolgreicher Leitung angezogen werden.

Hinweise

Da man auf diese Weise die Abstoßung nur schwer deutlich machen kann, bietet sich ein Nachvollzug von Guericques Abstoßungsversuchen an. Dabei kann man mit dem Ende der Röhre (Stopfen oder Kugel, s. u.) eine Flaumfeder schweben lassen.

Die Abstoßung lässt sich wegen der hohen Empfindlichkeit auch sehr gut über ein Pendelelektroskop oder einen einfachen Seidenfaden nach der Methode von dú Fay nachweisen.

E2: Leitfähigkeit als Stoffeigenschaft anstatt Formeigenschaft.

Als das Gewicht der Hanfschnur bei den Experimenten zur Leitung über weite Distanzen zu groß wurde, riss die Seidenschnur und Gray suchte nach einem Ersatz. Er war nach **Aufbau 4 und 5** der Meinung, die Elektrizität könne nur über sehr dünne Materialien nicht abfließen, doch als er in **Aufbau 6** statt der Seide einen noch dünneren, aber festeren **Metalldraht** verwendete, leitet dieser wider Erwarten. ([1], S.21 unten – S.22 oben). **Er folgert, dass nicht die Dicke ausschlaggebend ist, sondern das Material.** Ähnlich, wie man bereits elektrisierbare und nicht elektrisierbare Stoffe unterscheidet, kann man nun zwischen Leitern und Nichtleitern trennen.

An den Aufbauten 5 oder 6 kann man die Leitfähigkeit verschiedener Materialien untersuchen. Gray knotet beispielsweise ein Stück Seidenschnur in die Mitte der Hanfschnur. Man kann auch längere Holz-, Glas- und Metallstäbe über die Seidenschnüre legen und testen. Bei dieser Gelegenheit zeigt sich, dass die Nichtleiter diejenigen sind, die sich am leichtesten durch Reiben elektrisieren lassen und umgekehrt. **Der Begriff „Leiter (conductor)“ wurde von Grays Kollegen John Desaguliers geprägt.**

E3: Influenz – Elektrisierung wirkt aus der Ferne ([1], S.28 Mitte):

Bei guter Witterung und starker Aufladung der Röhre kann man bemerken, dass sich **auf der anderen Seite der Schnur schon Anziehung einstellt, wenn man die Röhre dem einen Ende nur nähert.** Dass hier keine Übertragung von Elektrizität stattfindet, erkennt man daran, dass die Anziehung nur so lange anhält, wie die Röhre der Schnur nahe ist.

Gray selbst nutzt kleine Metallringe, die die Leitungsschnur umschließen. An diesen ist über ein Stück Hanfschnur wieder eine Kugel befestigt, bei welcher er nach Aufladung der Leitungsschnur Anziehung feststellt.

E4: Ungestörte Überlagerung der Kraftwirkungen.

Statt der Kugel wird ein Magnet angehängt. Erst zieht er nur die bekannten Stoffe wie Eisenspäne an, wird er jedoch über die Schnur elektrisiert, kann er alle Stoffe anziehen. Die bekannten Eigenschaften der jeweiligen Phänomene bleiben erhalten – Magnetismus und Elektrizität stören sich offenbar nicht.

„Funkenziehen“

Gray stellte auch, beinahe zur selben Zeit wie dú Faye, erste systematische Versuche über das „elektrische Feuer“ an. Damit sind die uns heute als elektrische Funken bekannten Überschläge gemeint – zu Grays Zeit war wegen der Helligkeit und des mit dem Funken verbundenen Schmerzes ein Vergleich mit Feuer sehr naheliegend und wurde häufig geäußert. Er untersuchte unter anderem, aus welchen Körperteilen die hellsten Funken zu ziehen sind (Aufbau wie Material E).

Zur Umsetzung im Unterricht lassen sich verschiedene Formen von Entladungspunkten untersuchen und die von der Form abhängenden, unterschiedlichen Phänomene beschreiben.

E5: Elektrizität und Planetenbewegung – Grays Analogie-Trugschluss (s. Bild XI)
Zuerst hat Gray dazu eine kleine Kugel (ca. 3 cm Durchmesser) mittig auf einer isolierenden Unterlage (ebenfalls rund!) über seine Glasröhre oder durch direktes Reiben elektrisiert.

Nun elektrisiert man auf die gleiche Weise ein kleines Stück Kork an einem ca. 20 cm langen, dünnen Seidenfaden. Dann hält man diesen ca. 50 cm möglichst genau mittig über der Kugel und senkt das Korkstück ganz langsam ab bis knapp über die Kugel. Das Korkstück am Faden wird bald anfangen, sich im Kreis um die Kugel zu drehen – laut Gray „von der Rechten zur Linken“, also auf dieselbe Weise wie die Planeten um die Sonne (linksherum, von oben auf die Ebene der Ekliptik geschaut).

Hinweis:

Sehr effektiv lässt sich diese **unbewusste Beeinflussung durch Voreingenommenheit** im Unterricht verdeutlichen:

Es erhalten zwei getrennte Gruppen von SuS den Text aus Mat. G, allerdings spricht der eine von *linksherum*, der andere von *rechtsherum*.

Bei dem Versuch, Grays Ergebnisse nachzuvollziehen, werden beide(!) Gruppen zu einem positiven Ergebnis kommen. Die anschließende Verwirrung kann dazu genutzt werden, auf die unter 5.2.5 genannten Punkte zu reflektieren und diese zu verallgemeinern. Die SchülerInnen sollten auch einige Möglichkeiten erarbeiten, wie in diesem Fall die Beeinflussung verhindert werden kann und darüber diskutieren, ob so auch die Voreingenommenheit des durchführenden

Forschern umgangen werden kann (eher nicht, denn ohne fremde Kontrolle oder Ehrlichkeit kann man immer noch diejenigen Daten herausuchen, die für die eigene Vermutung sprechen).

7.2 Schülermaterial

Material I & II: Korrespondenz mit Gray / Stationen von Grays Forschung

Die folgende Auflistung dient zur Strukturierung der Experimentalphase.

Sie kann zum Beispiel als **Korrespondenz mit Stephen Gray** umgesetzt werden.

Die SuS versetzen sich in die Rolle zeitgenössischer Forscher, an die ein fiktiver Brief Grays gerichtet ist:

Meine geschätzten Kollegen,

*ich freue mich sehr, dass sie so viel Interesse an meinen Untersuchungen zur Elektrizität haben! In den kommenden Wochen und Monaten werde ich sie über den Gang meiner Forschungen auf dem Laufenden halten. Ich werde Ihnen meine **Experimentalaufbauten** darstellen und warum ich sie verändert habe. Außerdem werde ich darüber berichten, zu welchen **Vermutungen** mich meine Forschung anregt, mit welchen **Experimenten** ich diese untersuche und welche **Beobachtungen** danach meine Vermutungen **stützen** oder **schwächen**. Sollten sie Fehler in meinen Untersuchungen entdecken oder mich bei vorschnellen Schlüssen ertappen, so bitte ich sie freundlichst, mich darüber zu informieren*

*Mit allen nur erdenklichen Grüßen,
Stephen Gray*

Die SuS können in den fünf hier dargestellten Schritten die jeweiligen Darstellungen der Versuchsaufbauten, die Korrespondenz mit Stephen Gray und die Aufgaben erhalten.

Aufbau und Material	Grays Kommentar (zum Beispiel als Korrespondenz oder Hilfekarte)	Aufgabenvorschlag/ methodische Fragen
1 Aufbau 1, 2, 3, 4 Bild II-V	<i>Meine Vermutung lautet, dass alle Stoffe die Elektrizität weiterl</i>	1) Notiert die Forschungsfrage, die Gray und ihr beantworten wollten.

eiten, wenn sie dick genug sind. Schließlich war der Korken in meinem ersten überraschenden Versuch recht dick. Auch der Holzstab in meinem zweiten Aufbau und die Hanfschnur in meinem dritten Aufbau waren relativ dick. Und mein letztes Experiment mit dieser Schnur an Nägeln in Balken zeigt keine Weiterleitung: Ich kann am Ende der Schnur keine Anziehung beobachten. Die Elektrizität muss also über die dicken Nägel und die dicken Balken in die Erde weitergeleitet worden sein, statt über die Schnur. Deswegen wird die Weiterleitung von Elektrizität vermutlich von der Dicke der Stoffe bestimmt.

2) Welche Vermutung hat Gray zu dieser Frage und welche Beobachtungen stützen diese Vermutung?

3) Plant eine Untersuchung, mit der ich Gray's Vermutung überprüfen könnte. Entwerft dazu einen Aufbau, wie auch Gray ihn benutzt haben könnte.

Mögliche Reflexionsfrage(n):

Welche Geräte und Materialien hat Stephen Gray bei seiner Forschung benutzt?

Welche würden Wissenschaftler heute dazu benutzen?

Wie beeinflussen die zur Lebenszeit der Forscher verfügbaren Materialien die Forschung?

Manche Menschen sagen "Wissenschaftler konnten früher nicht gut forschen, weil sie keine vernünftigen Materialien und Geräte hatten" - Was sagst du dazu?

2 Aufbau 5
Bild VI
und XII

Ich habe statt der Nägel jetzt eine Seidenschnur benutzt, an der ich die Hanfschnur

Stephen Gray hat bei Experimenten an seinen verschiedenen Aufbauten

befestige. Nun beobachte ich, dass die darauf gelegte Hanfschnur die Elektrizität weiterleitet. Es wird also keine Elektrizität mehr über die Seidenschnur in die Erde abgeleitet. Das unterstützt meine Vermutung, die ich am vorigen Aufbau gewonnen habe, denn die Hanfschnur ist

recht dick und die Seidenschnur sehr dünn. Ich bin mir nun schon recht sicher, dass es an der Dicke des Stoffes liegt, ob er leitet oder nicht. Ich kann nun mit einiger Sicherheit sagen, dass dünne Körper den Fluss der Elektrizität behindern und dicke Körper ihn ungehindert lassen, egal aus welchem Material sie sind - eine wahrlich neue Erkenntnis!

Ich arbeite nun mit meinem Freund und Kollegen Granville Wheeler

zusammen. Unsere weiteren Forschungen sollen nun bestimmen, wie weit sich Elektrizität weiterleiten lässt. Dazu legen wir die Hanfschnur viele Male über die Seidenfäden hin und her.

Aber durch die große Last reißt uns zu allem Unglück häufig die Seidenschnur!

Beobachtungen gemacht. Diese stützen seine Vermutung, dass alle Stoffe die Elektrizität leiten, wenn sie nur dick genug sind.

1) Welche Beobachtungen sind das?

2) Wie sicher kann Gray sich nun sein, dass seine Vermutung richtig ist? Begründe deine Antwort.

Aufbau
3 6A
Bild XIII

Versetze dich in Stephen Gray hinein: Er ist sich sicher, dass nur sehr dünne Stoffe Elektrizität nicht weiterleiten! Wie würde er mit diesem Wissen das Problem des reißenden Seidenfadens beheben?

Wir haben einen sehr dünnen Metalldraht benutzt. Dieser ist stark genug. Ich habe erwartet, dass er die Elektrizität nicht ableiten kann, weil er sehr dünn ist.

Aber mit dem Metalldraht kann ich keine Weiterleitung mehr feststellen!

Ich kann mir das nicht erklären, deshalb habe ich mit meinem Kollegen Wheeler beraten und das Experiment nochmals gemeinsam mit ihm durchgeführt – mit dem gleichem Ergebnis!

Wir waren sicher, dass es von der Dicke des Stoffes abhängt, ob er Elektrizität leitet. Das scheint vielleicht falsch zu sein, wenn wir annehmen, dass unser dünner Metalldraht die Elektrizität in den Boden ableitet!

*Wir glauben, dass wir uns schon vorher geirrt haben, denn die neuen Beobachtungen widerlegen unsere Vermutung. Vielleicht haben unsere vorigen Beobachtungen unsere Vermutung eher **durc**
h Zufall bestätigt.*

Wir müssen wohl damit leben, dass alles, was wir für sicheres Wissen halten, in Zukunft vielleicht auch als falsch erkannt werden kann! In unserem Fall geschah dies zum Glück recht schnell.

1) Was tut Gray, als er von der Leitfähigkeit des Metalldrahtes überrascht wird?

Was könnte sich Gray von diesem vorgehen erhoffen?

2) Wieso ist Gray der Meinung, dass alles

naturwissenschaftliche Wissen nur vorläufig ist, also in Zukunft auch als falsch erkannt werden kann?

3) Gray meint, dass er nun aber endgültig weiß, wovon die Weiterleitung abhängt. Was sagst du dazu?

Mögliche Reflexionsfrage(n):

Wenn Gray das Experiment mit dem dünnen Metalldraht nicht durchgeführt hätte, wäre man sich dann heute sicher gewesen, dass alle dünnen Materialien Nichtleiter sind – auch Metalle?

Alles naturwissenschaftliche Wissen scheint nur vorläufig zu sein. Warum verlässt man sich trotzdem darauf, z.B. wenn man auf der Grundlage unseres verfügbaren naturwissenschaftlichen Wissens Astronauten ins Weltall schickt?

*Nach einigem Überlegen
konnten wir uns auf eine ganz
neue Vermutung
einigen: **Vielleicht liegt es an
der Art des Stoffes selbst, ob er
leitet – und nicht an seiner
Dicke! Dann gibt es vielleicht
eine Art von Stoffen, die
Elektrizität weiterleiten, und
eine andere Art, die das nicht
tun.***

*Diese neue Vermutung wird
von unseren alten **und** von
unseren neuen Beobachtungen
gestützt.*

*Bevor ich mich noch einmal zu
schnell überzeugen lassen,
muss ich dazu weitere
Forschungen anstellen.*

5

- 1) Welche Beobachtungen stützen Grays und Wheelers neue Vermutung?
- 2) Plant eine Untersuchung, mit denen ihr Grays Vermutung überprüfen könnt. Entwerft dazu einen Aufbau, wie auch Gray ihn benutzt haben könnte.

Material III: Schreibaufgabe – Kritischer Leserbrief

Das folgende Schülermaterial kann als Abschluss der Fallstudie dienen. Es handelt sich um einen fiktiven Lexikoneintrag über Steven Grays Forschung, der einige falsche Informationen enthält. Die SuS sollen diese Fehler mit ihrem in der Fallstudie erworbenen Wissen entdecken und einen Leserbrief mit Korrekturvorschlägen entwerfen.

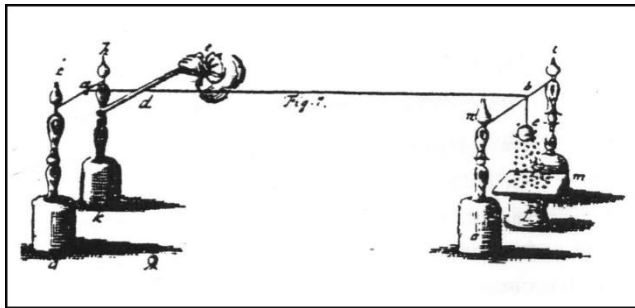
Lexikoneintrag: Internationales Online-Lexikon

Stephen Gray (geboren Dezember 1666 in Canterbury; gestorben 7. Februar 1736 in London) war ein englischer Naturwissenschaftler.

Zu Stephen Grays Forschung

Stephen Grays Forschung ist ein gutes Beispiel für naturwissenschaftliche Forschung.

Er führte all seine Experimente an folgendem Aufbau durch, den er direkt am Anfang seiner Forschung entwarf.



Stephen Gray war bei seinen Forschungen immer darauf bedacht, sich über seine Erkenntnisse nicht zu schnell sicher zu sein. Seine Forschung war sogar so gut, dass er keine Hilfe in Anspruch nehmen musste. Deswegen konnte er auch ohne Umwege zeigen, dass es zwei verschiedene Arten von Materialien gibt – Leiter und Nichtleiter. Nur durch Grays Forschungen können wir uns darüber für alle Zeiten sicher sein.

...

Deine Aufgabe

Dieser Lexikoneintrag über Stephen Grays Forschung muss auf jeden Fall verbessert werden!

Zwei Dinge fallen auf:

1. Grays Forschung ist wirklich sehr typisch für die Naturwissenschaften – aber nicht so wie es dort steht!
2. Gray erkannte, dass es leitende und nichtleitende Materialien gibt – nur nicht auf die beschriebene Art und Weise!

Du weißt es ganz sicher besser.

Finde heraus, was nicht stimmt und schreibe dem Verfasser eine Email. Schreibe ihm, was deiner Meinung nach nicht stimmt und schlage ihm vor, was er stattdessen schreiben sollte.

Dein Brief könnte so beginnen:

"Liebe Redakteure des Internationalen Online-Lexikons. In dem Beitrag zu Stephen Gray sind mir einige Fehler aufgefallen. Es stimmt zwar, dass man über Grays Forschung etwas darüber lernen kann, wie Naturwissenschaftler arbeiten. Es stimmt auch, dass Gray herausfand, dass manche Materialien Elektrizität leiten und manche nicht. Aber mir sind in dem Abschnitt zu Stephen Grays Forschung auch sehr viele Fehler aufgefallen. Zum Beispiel"

Material IV: Informationstexte über Stephen Gray
Das Material befindet sich im Anhang zu dieser Seite.

Über folgende Themen können sich die SuS mit diesem Material informieren:

1. Stephen Gray: Herkunft, Beruf, finanzielle Lage
2. Gray und die Astronomie – vom Handwerk zur Forschung
3. Gray und Newton – Wissenschaftler sind auch nur Menschen
4. Grays Zusammenarbeit mit anderen Wissenschaftlern – Teamwork und Unterstützung
5. Spektakuläre Vorführungen – Grays Nebeneinkünfte
6. Grays erste Untersuchungen mit der Glasröhre

7.3 Bildmaterial & Medien

Überblick

- Video: Rekonstruierter Ablauf von Grays Untersuchungen
- Bild I: Portrait Stephen Grays
- Bild II: Aufbau 1 - Glasröhre mit Korkstopfen – Elektrizität wird weitergeleitet 1
- Bild III: Aufbau 2- Glasröhre mit Korkstopfen & Stab mit Kugel - Elektrizität wird weitergeleitet 2
- Bild IV: Aufbau 3- Glasröhre mit Korkstopfen & Schnur mit Kugel - Elektrizität wird weitergeleitet 3
- Bild V: Aufbau 4 - Hanfschnur horizontal, mit Glasröhre elektrisiert – Dicke Körper leiten.

- Bild VI: Aufbau 5 - Hanfschnur horizontal an Seidenfäden befestigt - Dünne Körper leiten nicht.
- Bild VII: Aufbau 6A - Leitung über weite Distanzen - Leitender Metalldraht
- Bild VIII: Aufbau 6B - Grays Versuche zur Leitung über weite Distanzen mit seinem Freund Wheeler in einem Gang des Bedürftigenheims.
- Bild IX: Aufbau 6B - Nachbau von Grays Versuch, Elektrizität über weite Strecke zu leiten (Universität Oldenburg).
- Bild X: Grays Versuche mit an Seidenschnüren aufgehängten Knaben.
- Bild XI: Darstellung von Stephen Grays Versuch zur Drehung kleiner geladener Körper um Größere.
- Bild XII: Eine weitere Variante von Aufbau 5 - Hanfschnur horizontal an Seidenfäden befestigt. Sie ist noch näher an Aufbau 4 als die in Bild VI gezeigte.
- Bild XIII: Aufbau 6A - Leitung über weite Distanzen - Gerissener Seidenfaden
- Bild XIV: Portrait Sir Isaac Newtons

Video: Rekonstruierter Ablauf von Grays Untersuchungen

Angefangen von den ersten Untersuchungen zur Anziehung offener gegenüber verkorkter Glasröhren, über Weiterleitung auf den Korken, durch Holz und durch Hanf, über erfolgreiche und fehlschlagende Versuche an der Hanfschnur aufgehängt an Nägeln, Hanfschnur und Seidenfäden über das Reißen der dünnen Hanfschnur und den fehlgeleiteten Ersatz durch Metalldraht bis hin zur Erkenntnis, dass nicht die Dicke die Weiterleitung bestimmt, sondern das Material (Metall leitet, Seide nicht unabhängig von der Dicke).

Bild I: Portrait Stephen Grays

Soweit bekannt ist, existiert kein Portrait von Stephen Gray.



Bild II: Aufbau 1 - Glasröhre mit Korkstopfen - Elektrizität wird weitergeleitet 1

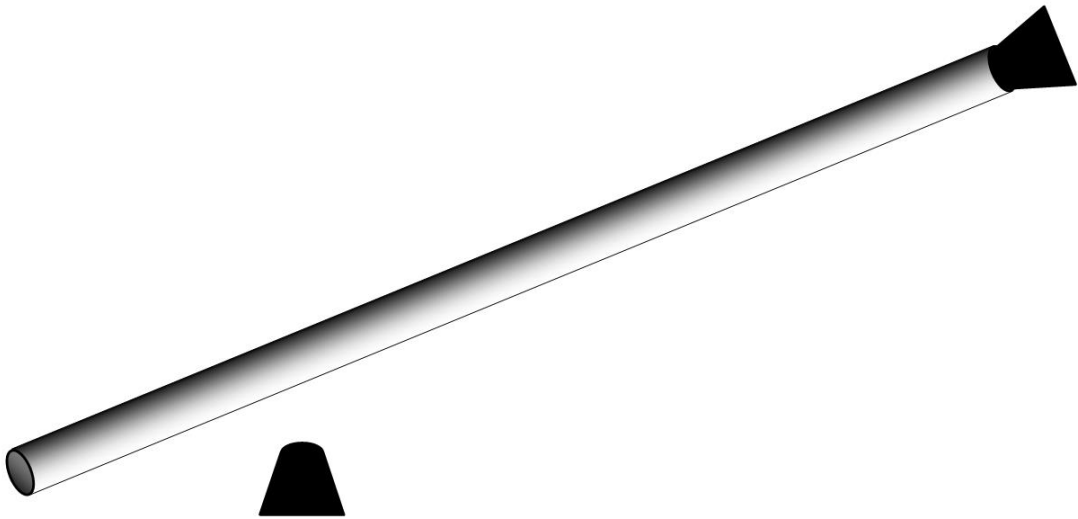


Bild III: Aufbau 2- Glasröhre mit Korkstopfen & Stab mit Kugel - Elektrizität wird weitergeleitet 2

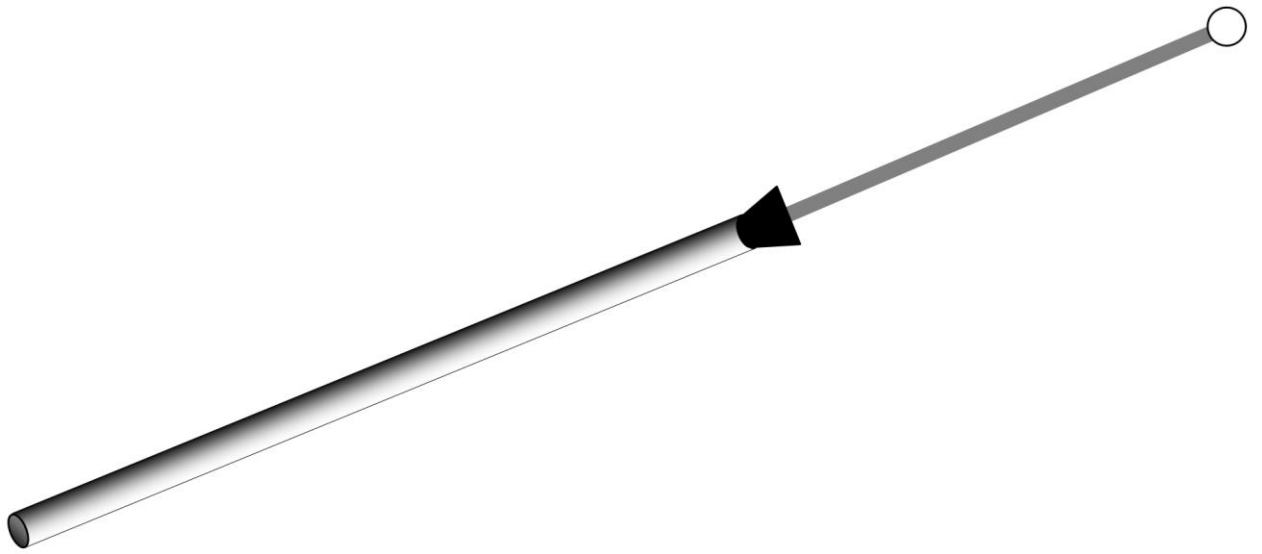


Bild IV: Aufbau 3- Glasröhre mit Korkstopfen & Schnur mit Kugel - Elektrizität wird weitergeleitet 3

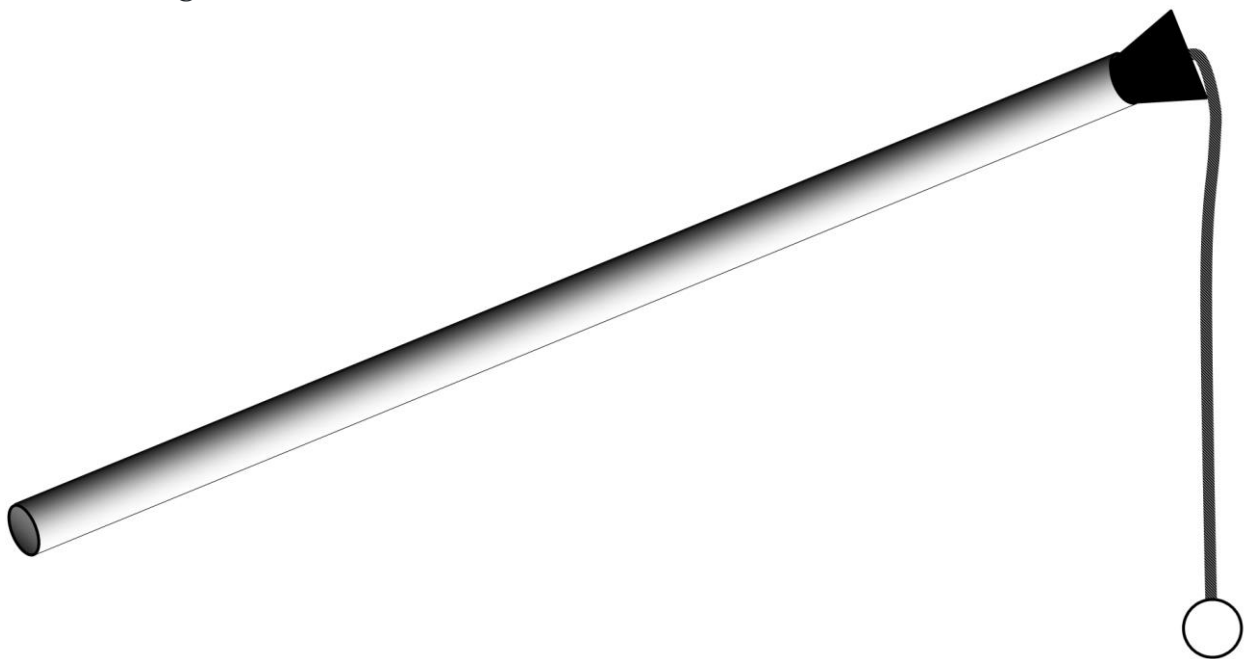


Bild V: Aufbau 4 - Hanfschnur horizontal, mit Glasröhre elektrisiert - Dicke Körper leiten.

Wird die Hanfschnur an dicken Nägeln/Balken befestigt, kann man am anderen Ende der Hanfschnur keine elektrischen Effekte mehr feststellen.

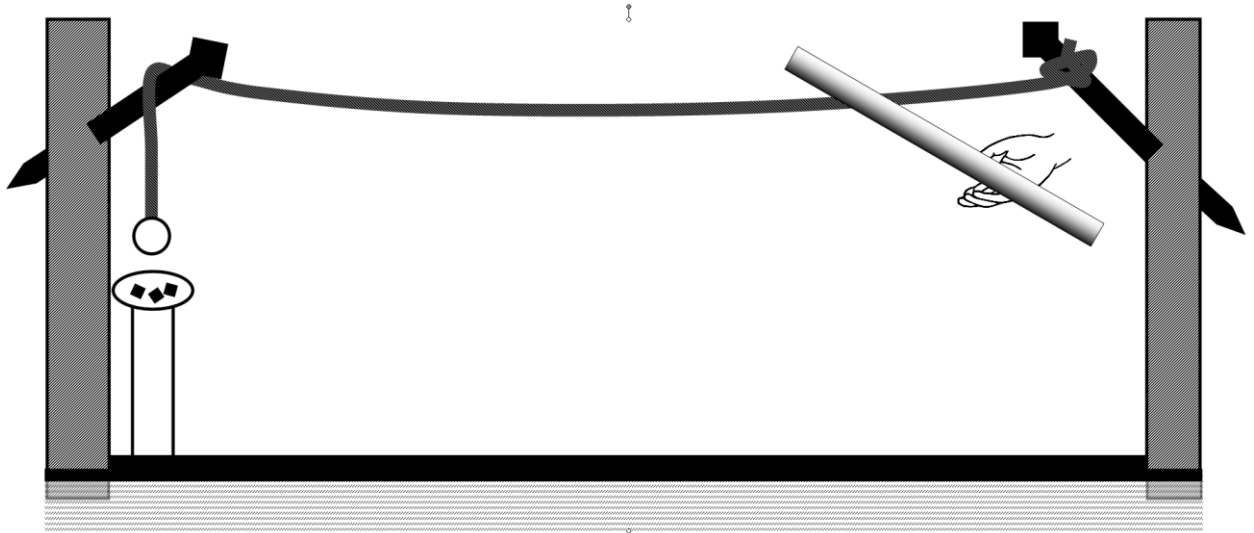


Bild VI: Aufbau 5 - Hanfschnur horizontal an Seidenfäden befestigt - Dünne Körper leiten nicht.

Wird die Hanfschnur über dünne Seidenfäden gelegt, kann man am anderen Ende der Hanfschnur elektrische Effekte feststellen (angezogene Papierschnipsel). Die dünnen Seidenfäden leiten also nicht.

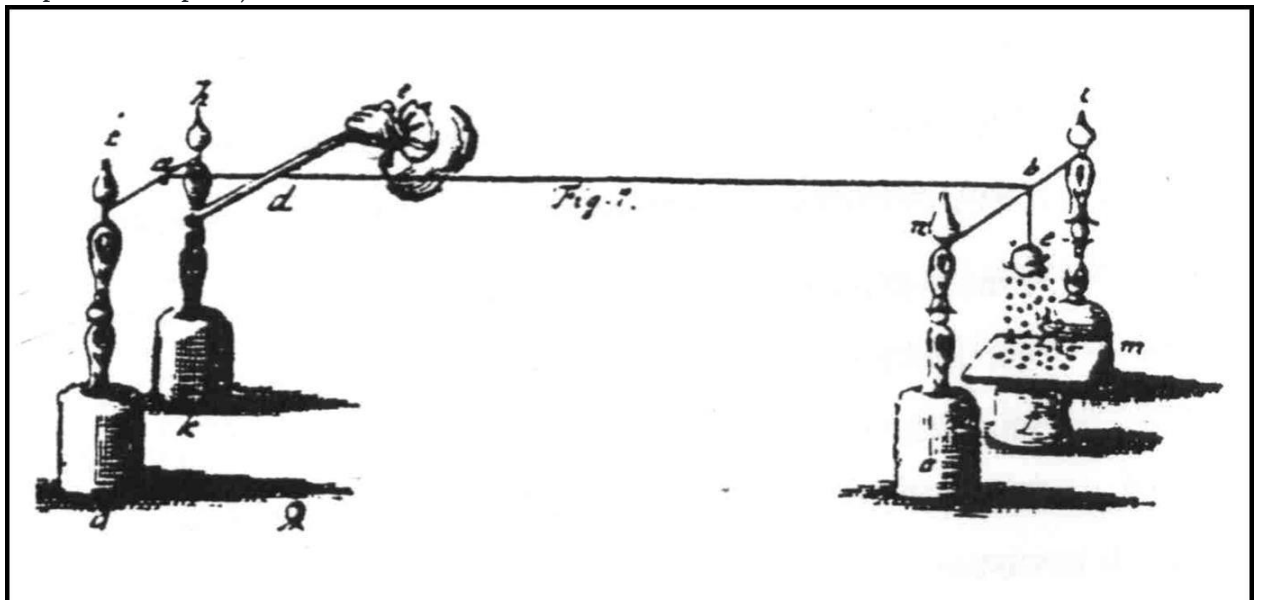


Bild VII: Aufbau 6A - Leitung über weite Distanzen - Leitender Metalldraht
Wird die Hanfschnur auf Metalldraht statt auf Seidenfaden gelegt, kann man am anderen Ende der Hanfschnur keine elektrischen Effekte mehr feststellen.

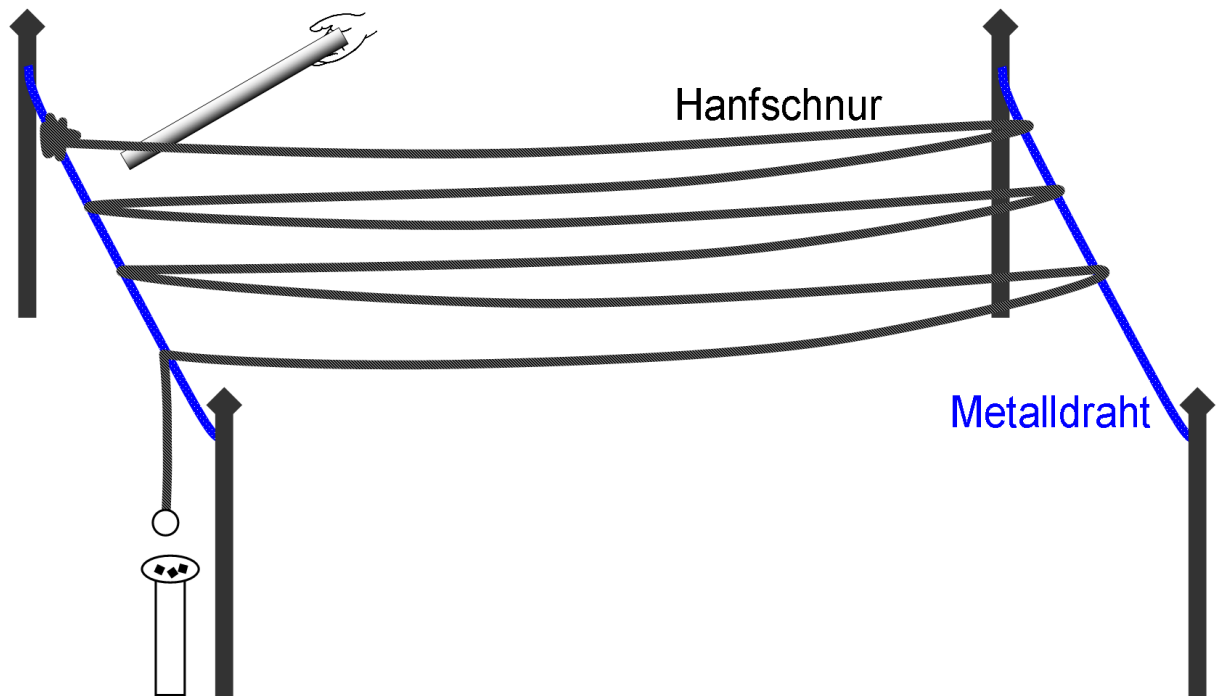


Bild VIII: Aufbau 6B - Grays Versuche zur Leitung über weite Distanzen mit seinem Freund Wheeler in einem Gang des Bedürftigenheims.
Gray im Vordergrund mit dem Glasstab und der hineingesteckten Hanfschnur. Die Hanfschnur liegt auf Seidenfäden. Im Hintergrund testet eine dritte Person mit einer Feder auf Weiterleitung der Elektrizität.



Bild IX: Aufbau 6B - Nachbau von Grays Versuch, Elektrizität über weite Strecke zu leiten (Universität Oldenburg).

Im Vordergrund ein Teller, auf dem Papierschnipsel liegen und über dem eine Messingkugel am Ende der Hanfschnur hängt. Quer gespannt sind die Seidenschnüre auf denen die Hanfschnur liegt. Die Seidenschnüre werden von Holzpfählen gespannt, die im Boden stecken.



Bild X: Grays Versuche mit an Seidenschnüren aufgehängten Knaben.

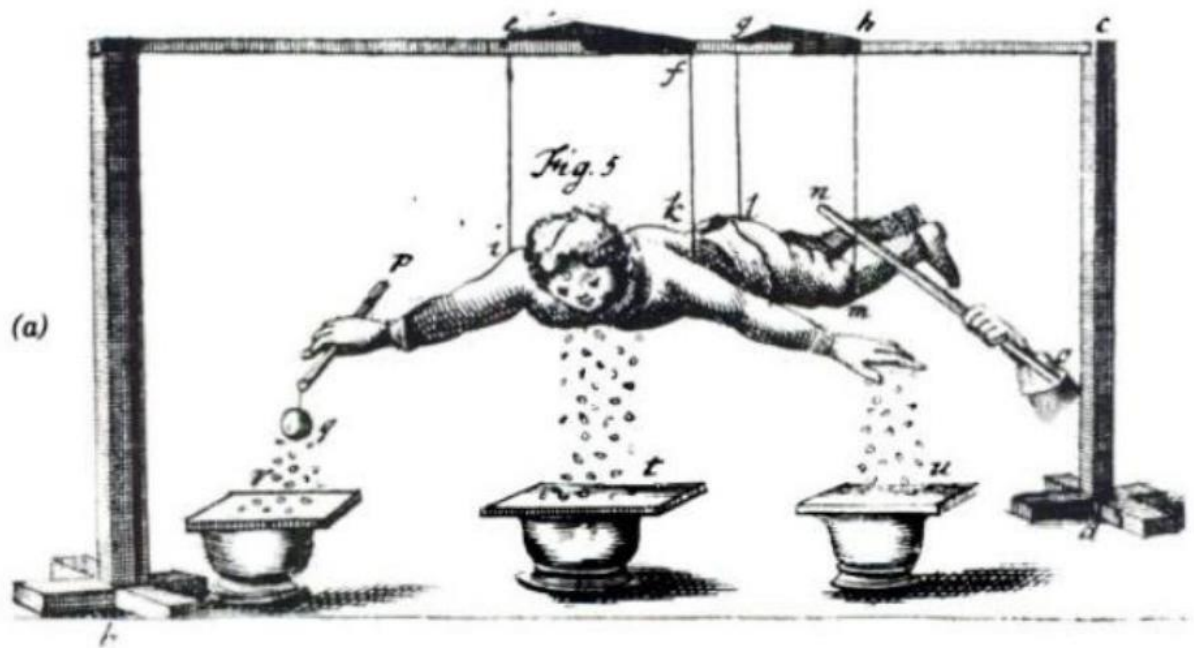


Bild XI: Darstellung von Stephen Grays Versuch zur Drehung kleiner geladener Körper um Größere.

Nach langsamem Absenken des Fadens beginnt das Kreisen – je nach vorheriger Erwartung des Experimentators in die eine oder andere Richtung.

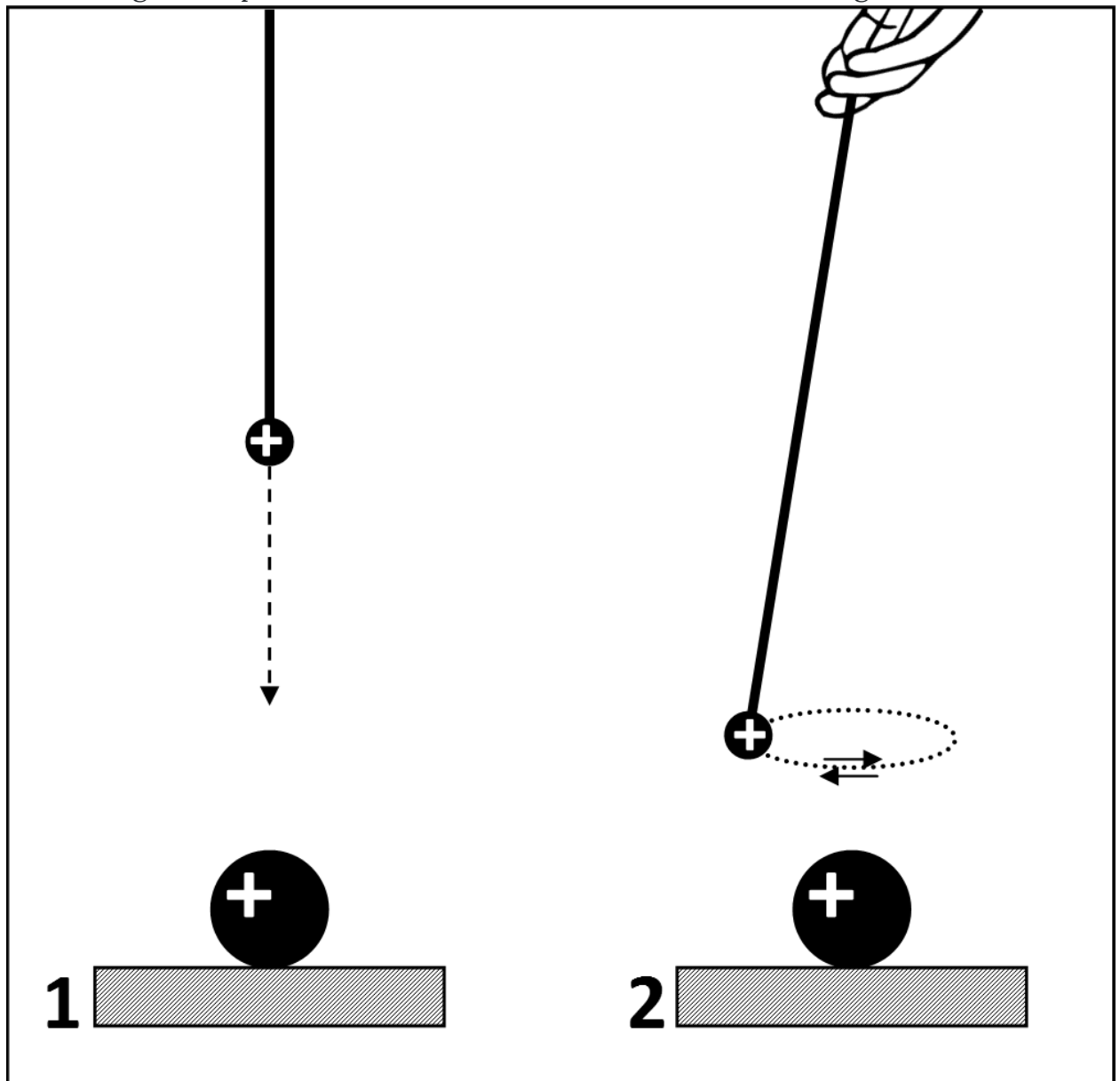


Bild XII: Eine weitere Variante von Aufbau 5 - Hanfschnur horizontal an Seidenfäden befestigt. Sie ist noch näher an Aufbau 4 als die in Bild VI gezeigte.

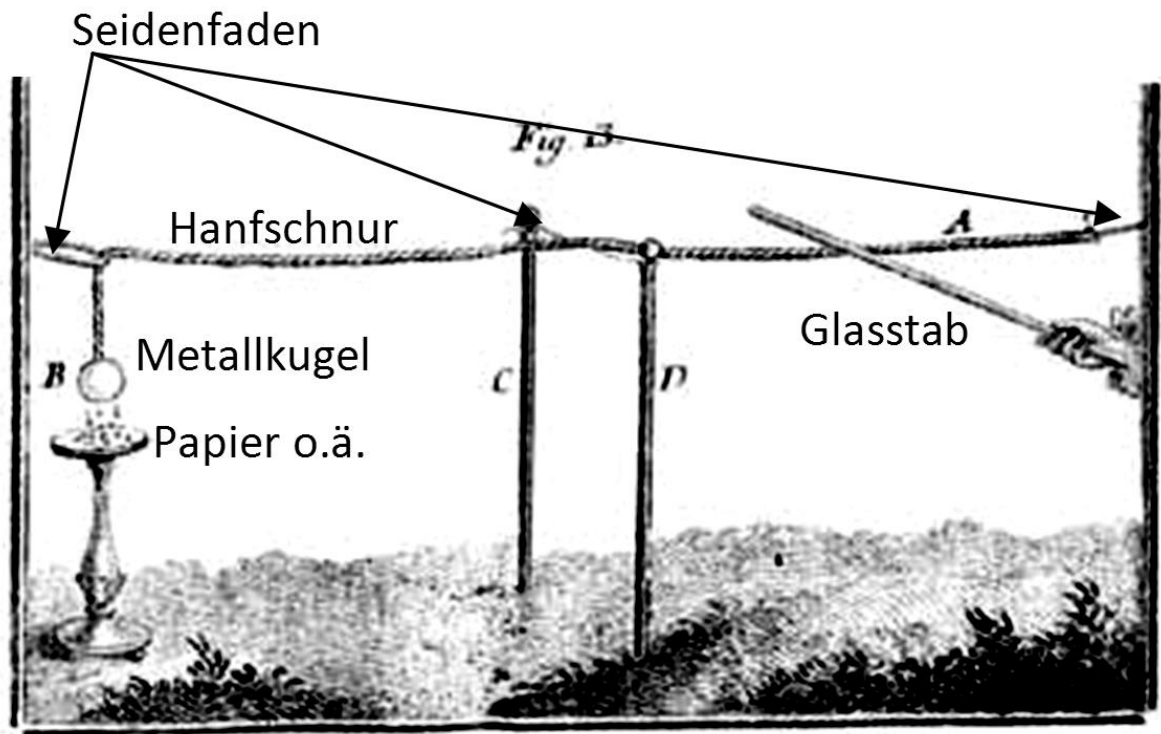


Bild XIII: Aufbau 6A - Leitung über weite Distanzen - Gerissener Seidenfaden
 Wird die Hanfschnur auf Seidenfäden gelegt, kann man die Länge der Hanfschnur nicht beliebig erhöhen. Der Seidenfaden reißt durch das Gewicht der Hanfschnur.

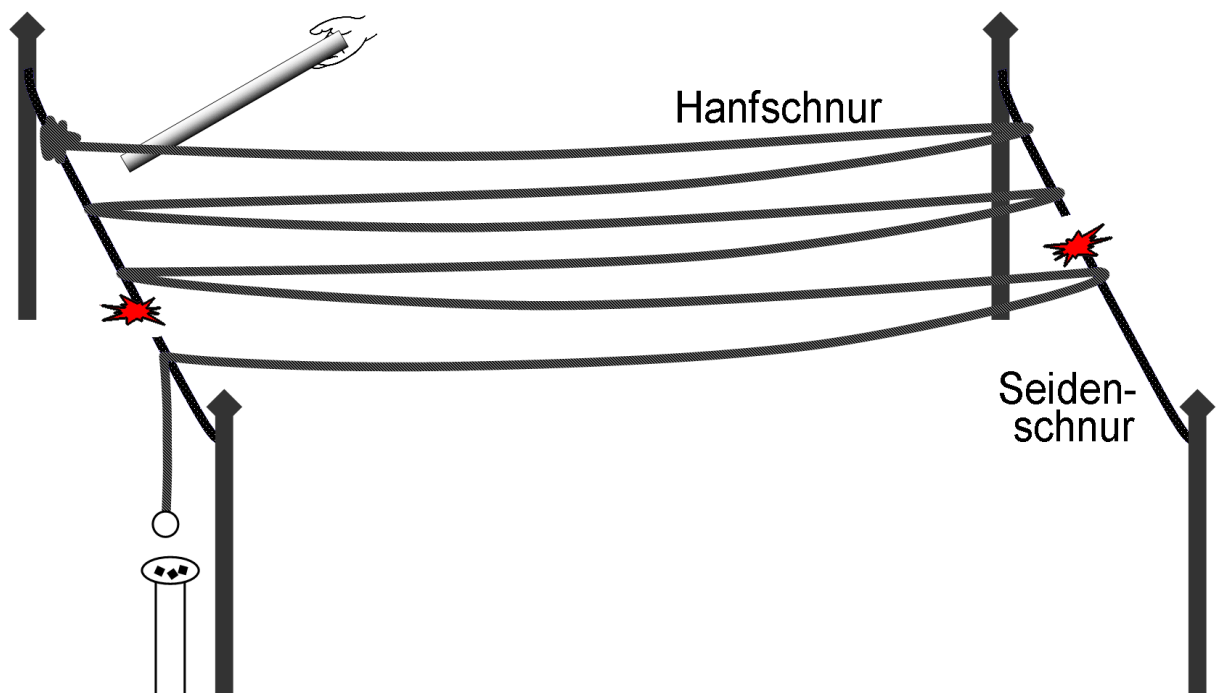
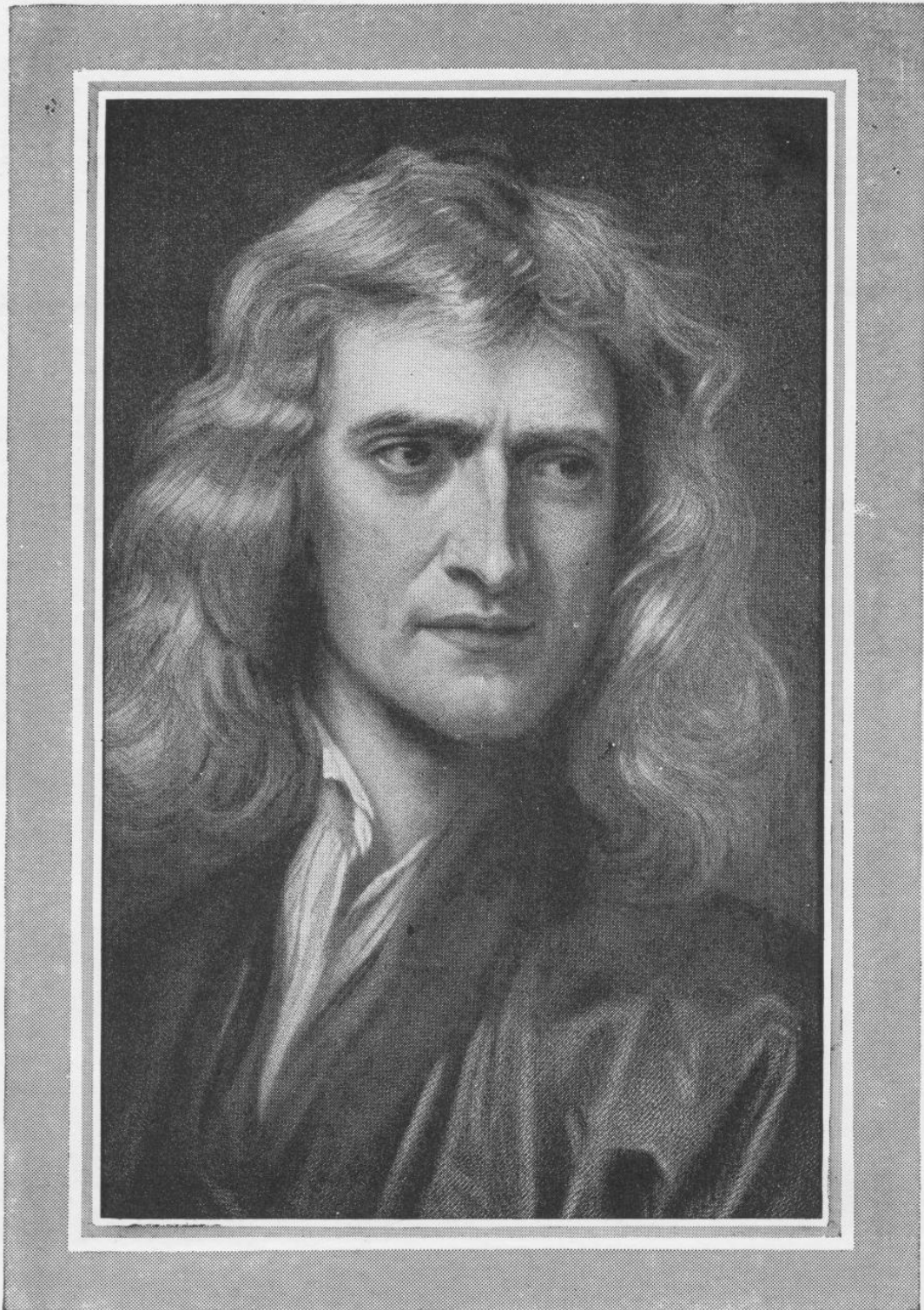


Bild XIV: Portrait Sir Isaac Newtons

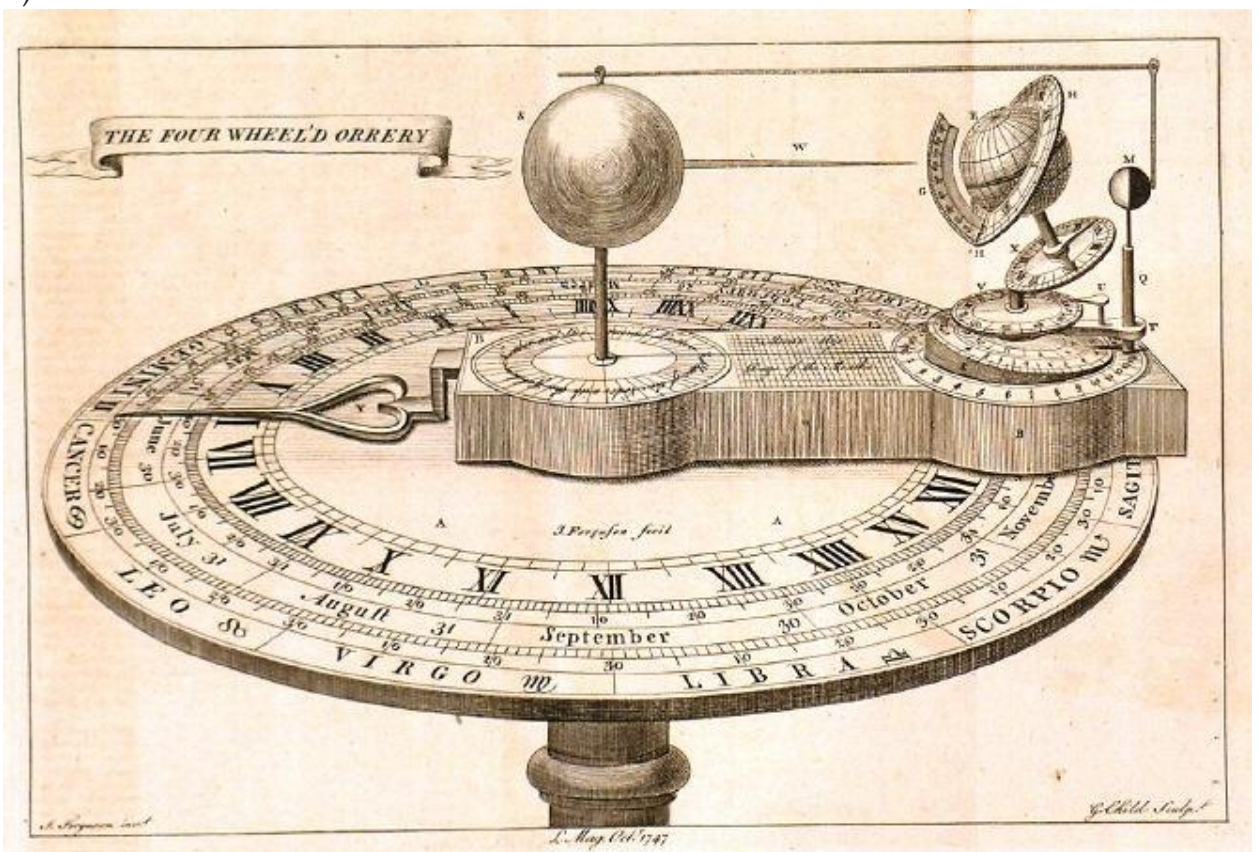


Sir Isaac Newton

Bild XV a) und XV b): Zwei mechanische Planetarien (um 1790) zur Veranschaulichung und Vorhersage der Planetenstellungen im Sonnensystem.
a)



b)



7.4 Weitere Quellen

Quelle I: Zur überraschenden Entdeckung des „Mitteilungseffektes“ – Übersetzung von [2], S.20 Mitte

Das erste Experiment, welches ich durchführte, geschah um herauszufinden ob die Röhre unterschiedlich anziehend wirkt, je nachdem ob sie mit Korkstopfen verschlossen ist oder wenn sie offen gelassen wird. Als ich aber eine Feder nahe an ein Ende der Röhre hielt sah ich, dass sie zum Korkstopfen flog und von ihm angezogen und abgestoßen wurde, genau wie von der unverschlossenen elektrisierten Röhre. [...] Darüber war ich äußerst erstaunt und schloss, dass sicherlich eine Anziehungskraft von der Röhre auf den Kork mitgeteilt wurde.

Quelle II: Stephen Gray über die Drehung kleiner Körper um größere elektrisierte und die Analogie zur Planetenbewegung. Angepasste Übersetzung aus [3]

Ich habe vor kurzen verschiedene neue Experimente über die Bewegung kleiner Körper durch die Elektrizität angestellt. Kleine Körper können durch größere in Bewegung gesetzt werden, und zwar in Kreisen oder Ellipsen, so dass sie etliche Male um denselben herumlaufen. Diese Bewegung ist genau dieselbe, in welcher die Planeten um die Sonne kreisen, nämlich linksherum, oder von West nach Ost; ich darf sie also kleine Planeten nennen. Ich bin über diese unvermuteten Ergebnisse bestürzt, und doch beobachte ich sie, so oft ich das Experiment wiederhole.

Ich zweifle nicht daran, dass ich in einiger Zeit die Welt mit einer neuen Art von Planetarium erstaunen kann, an das noch niemand zuvor gedacht hat. Und vielleicht kann man aus diesem Experiment eine sichere Theorie für die Planetenbewegungen gewinnen.

7.5 Weitere Ressourcen

Quelle [1], frei online zugänglich, Deutsch:

<http://echo.mpiwg-berlin.mpg.de/ECHOdocuView/ECHOzogiLib?ww=1&start=1&mode=imagepath&url=/mpiwg/online/permanent/library/T89UN1R5/pageimg&pn=7&wy=0.3034&wh=0.6068>

Quelle [1], andere Ausgabe, frei online zugänglich, Englisch:

<http://echo.mpiwg-berlin.mpg.de/ECHOdocuView/ECHOzogiLib?mode=imagepath&url=/mpiwg/online/permanent/library/DYSHP3NB/pageimg>

8. Lernschwierigkeiten

Aus Schülersicht - und im Kontext des erlebten Physikunterrichts verständlich - machte Gray einfach einen "Fehler", als er die Leitfähigkeit mit der Dicke erklärte. **Dieses Verständnis reicht aber nicht aus**, denn die SchülerInnen sehen das "berichtigte" Ergebnis dadurch als endgültig wahr und unhinterfragbar an. Es sollte klar werden, welche typischen Eigenarten von Forschung hier sichtbar werden. Nämlich:

- dass man für eine Vermutung, die sich später als unpassend herausstellt, zu Beginn trotzdem plausible Begründungen und Daten haben kann und
- dass man immer offen bleiben muss, seine als passend geglaubte Vermutung bei ausreichend verlässlichen widersprechenden Daten zu hinterfragen und notfalls zu widerlegen.

9. 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...

10. Erprobungsergebnisse

In der realen Umsetzung hat es sich als sehr effektiv herausgestellt, Grays Vorgehen **anhand der Korrespondenz zusammen mit allen SchülerInnen** an

einem oder zwei zentral aufgebauten Versuchsaufbauten nachzuvollziehen. Auf diese Weise wird der **Entwicklung der Experimentalaufbauten von der Glasröhre hin zur Langstreckenleitung** Rechnung getragen.

Zudem kann so **jeder Schritt der Veränderung der Aufbauten mit jeder Veränderung in der Forschungsperspektive** verbunden werden.

Jeder dieser Schritte kann dann dazu genutzt werden anhand der **methodischen Fragen** und anhand der **Reflektionsvorschläge** alle SchülerInnen in eine Diskussion einzubinden.

Dadurch wird sowohl der Ablauf aufgelockert als auch eine durchgehende Verständniskontrolle möglich.

Außerdem lässt sich so leichter gemeinsames Lernen unterstützen in den Bereichen:

- Aspekte der Erkenntnisgewinnung (Hypothesen aufstellen, Testen, Beobachten, Schlüsse ziehen, Experimentalaufbau variieren, Hypothesen in Frage stellen etc.) und
- Aspekte der Natur der Naturwissenschaften (Zusammenarbeit und Beratung, gemeinsame Evolution von Aufbau und Forschungsinteressen, Vorläufigkeit von Wissen, finanzielle Randbedingungen, Vorwissen/-erfahrung etc.)

Die Lexikon-Aufgabe wird sehr gut angenommen und ermöglicht den SchülerInnen, all ihre Diskussions- und Experimentalergebnisse selbstsicher zu vertreten. In einer Erprobung nach der o.g. Struktur konnten nahezu alle SchülerInnen die Aufgabe absolut zufriedenstellend lösen, haben sich extensiv schriftlich geäußert und zeigten einen deutlichen Kompetenzerwerb im Bereich Natur der Naturwissenschaften/Erkenntnisgewinnung.

11. Quellen

[1]

Geschichte und gegenwärtiger Zustand der Elektrizität, nebst eigentümlichen 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 to Cromwell Mortimer, M. D. Secr. R. S. Containing Several Experiments concerning Electricity; By Mr. Stephen Gray, Philosophical

Transactions, Vol.37 (1733), S.18-31, von Stephen Gray, Sprache: Englisch

[3]

Mr. Stephen Gray, F. R. S. His Last Letter to Granville Wheler, Esq; F. R. S. concerning the Revolutions Which Small Pendulous Bodies Will, by Electricity, Make Round Larger Ones from West to East as the Planets do Round the Sun, Philosophical Transactions (1683-1775) Vol.39 (1735/1736), S.220, Sprache: Englisch