

Otto von Guericke und die Schwefelkugel – Elektrische Abstoßung und wissenschaftliche Instrumente

1 Titel & Stichworte

„Otto von Guericke und die Schwefelkugel – Elektrische Abstoßung und die Funktion wissenschaftlicher Instrumente“

(Episode 2 der Serie: Historisch-Genetische Einführung in die Elektrizität)

Statische Elektrizität, elektrische Abstoßung, Otto von Guericke, Schwefelkugel, wissenschaftliche Instrumente, Analogien

2 Autor(en) & Institution(en)

Andreas Henke, Universität Bremen / Deutschland

Dietmar Höttecke, Universität Hamburg / Deutschland

3 Kurzfassung

Curriculumsanbindung, Einsatzbereich, Zielgruppe, historische & philosophische Inhalte

Diese Fallstudie über Otto von Guericke's Experimente zur elektrischen Abstoßung ist die zweite Episode in einer Reihe über die Geschichte der Elektrizität. Sie zielt darauf ab, den SuS sein experimentelles Vorgehen näherzubringen, welches in der Beschreibung des elektrostatischen Abstoßungseffektes mündete. Diese Episode ist geeignet für Schüler der Sekundarstufe 1 (12 – 15 Jahre).

Kern dieser Episode ist der Nachvollzug von Versuchen zu elektrischen Phänomenen an der Schwefelkugel (oder einem einfach zu realisierenden Nachbau). Die SuS erhalten Einblick in die Rolle und Funktion von wissenschaftlichen Instrumenten und entwerfen selbst welche als Guericke's Instrumentenbauer. Sie setzen sich mit Qualitätskriterien wissenschaftlicher Instrumente auseinander und erfahren, wie Guericke mit seinem Instrument auf Skepsis gestoßen ist. In diesem Zusammenhang wird deutlich, dass Wissenschaftler ihre Ergebnisse untereinander kritisch bewerten. Als Instrumentenbauer können sie ihre Erkenntnisse direkt umsetzen, indem sie einen Werbetext für ihr Instrument verfassen.

Otto von Guericke's Vorgehen selbst bietet Einblicke in die Rolle von Analogiedenken in der frühen Wissenschaft, da er sein Instrument als Abbild der Erde konstruierte.

Anhand eines Videos, welches Guericke's Schwefelkugel "in Action" zeigt und die zugehörigen experimentellen Handlungen darstellt, lässt sich die Diskussion um wichtige Aspekte der naturwissenschaftlichen Erkenntnisgewinnung wie Rechtfertigung von Ergebnissen vor Kollegen, Qualität und Rolle von wissenschaftlichen Instrumenten und prinzipielle Wiederholbarkeit von Untersuchungen sehr gut unterstützen.

4 Beschreibung und Ablaufvorschlag

Die Durchführung dieser Fallstudie sollte mit einer kurzen **Information zu Otto von Guericke** beginnen. Folgende Aspekte wären hier wichtig: Seine **mehrfache Rolle** als Wissenschaftler, Politiker und Festungsbauer und seine verschiedenen Betätigungs- bzw. Forschungsfelder (Verfassen von detaillierten Stadtplänen, Wetterforschungen und Unwettervorhersage, Luftdruck und Vakuum, Elektrizität, Astronomie/Kometen). (s. 5.1) Wichtig zu nennen ist ebenfalls sein **Forschungsmotiv** in dessen Kontext diese Ergebnisse zur Abstoßung zu sehen sind: **alle wirksamen Kräfte der Natur zu finden und zu ordnen**. Guericke forschte demnach nicht mit dem Ziel vor Augen, die elektrische Abstoßung zu finden. Erst heutzutage spricht man ihm dies zu. Seine Leistung liegt darin, den Effekt eindeutig als elektrischen Effekt darzustellen und andere davon zu überzeugen. Über den genauen Aufbau Guerickes (Bild III und V) sollten die SuS NOCH NICHT aufgeklärt werden, denn:

Nun können die SuS mittels Schülermaterial I in der Rolle eines Instrumentenbauers **ein wissenschaftliches Instrument entwerfen**, mit dem man die Kräfte durch Elektrizität untersuchen kann. Sie sollen erste Ideen notieren, was ihr Instrument zu einem guten wissenschaftlichen Instrument macht.

Reflektionsfragen können sein:

Was macht euer Instrument zu einem guten wissenschaftlichen Instrument?

1

Hintergrund Forschungs-vorhaben

2

Ein wissenschaftliches Instrument entwerfen

Reflektion: Kriterien guter Instrumente

3

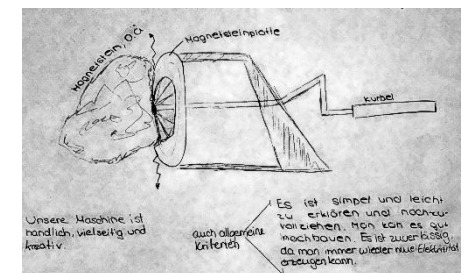
Guerickes Schwefelkugel als Abbild der Erde

4

Untersuchung: "Die schwebende Feder"

5

Boyle, die Schwefelkugel und die Skepsis der Royal Society



Was müssen gute wissenschaftliche Instrumente alles können?

Erst jetzt sollte **Guerickes Handzeichnung** (s. Bild I) aus seinem Labortagebuch vorgestellt werden, sowie die Abbildung aus seiner Veröffentlichung (s. Bild III) und die Replikation bzw. deren Abbildung (s. Bild V). Die SuS können kurz darüber spekulieren, warum Guericke diese Art und Form des Aufbaus wählte. Die **Weltkugel steht als Beispiel für die Natur**, daher konstruiert er auch sein Instrument zur Erzeugung elektrischer Effekte in Kugelform und drehbar, ganz wie die Erde. Diese zielgerichtete Konstruktion ist jedoch eine Erwähnung wert, denn sie ist zu dieser Zeit relativ gebräuchlich, wenn man Aussagen über Phänomene machen will, die auf die gesamte Erde zutreffen sollen. Außerdem spielt das Thema „Konstruktion von guten wissenschaftlichen Instrumenten“ noch eine zentrale Rolle in dieser Fallstudie als wichtiges Element der Natur der Naturwissenschaften (s. 5.2). Jetzt kann sich eine **Experimentierphase** anschließen, in der die SuS Guerickes Vorgehen forschend nachvollziehen. In Abschnitt 7.1 sind die Experimente „Nachvollzug der bekannten Anziehungsphänomene“, „Abstoßungseffekt mit Flaumfeder und anderen leichten Körpern“, „Schwebenlassen der Feder“ und „Ableiten der Ladung“ und „Stille elektrische Entladung / Elektrolumineszenz“ beschrieben.

Es gibt nun mehrere Möglichkeiten:

a) Die Fragestellungen sind den SuS vorgegeben

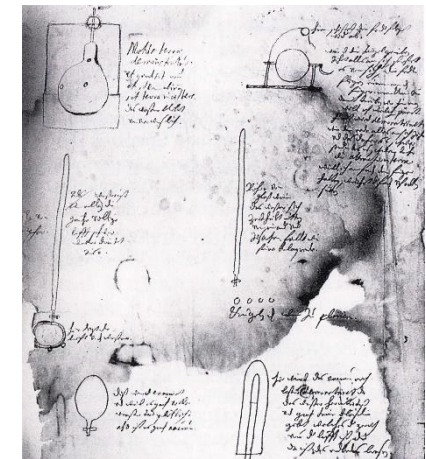
„Funktionieren bekannte Effekte an diesem Instrument

6

**Reflektion:
Warum so skeptisch?**

7

**Kauf mich!
Werbung für
wissenschaftliche
Instrumente**



erwartungsgemäß?“ oder „Welche Kräfte übt die elektrisierte Kugel auf andere Körper aus?“ (In Originaltext I findet sich Guerickes Beschreibung des Abstoßungseffektes). Ein Forschungsfragestellung könnte lauten:

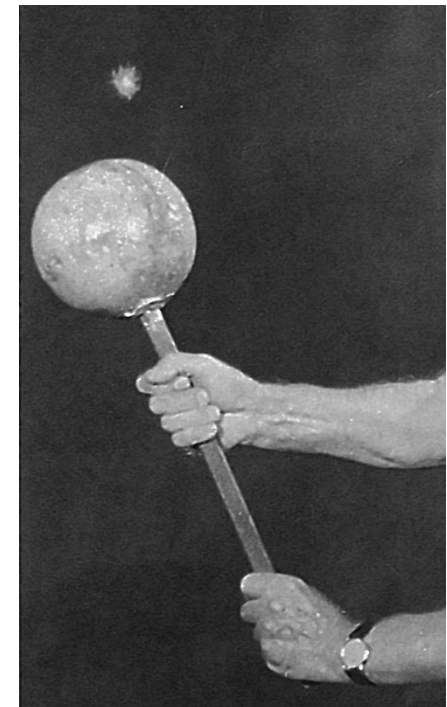
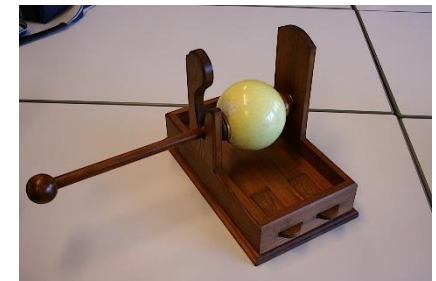
„Guericke vermutete, dass Elektrizität auch abstoßend wirken kann. Plant eine Untersuchung an Guerickes Instrument, mit der ihr die zeigen könnt, ob es Abstoßung gibt oder eben nicht.“

b) Oder die Fragestellungen werden von den SuS selbst entwickelt,

indem Guerickes Ansinnen, alle Kräfte der Natur aufzudecken als Grundlage dient. Hier können auch Fragestellungen aus der Mechanik bzw. Kinematik aufgegriffen werden. Nach der experimentellen Phase sollten die grundlegenden inhaltlichen Ziele gesichert werden. Eine offene Reflektion in der Reflection Corner wie in Abschnitt 8.1 – „Offenes Reflektieren“ beschrieben sollte jetzt die SuS dazu anregen, über die Natur der Naturwissenschaften zu diskutieren.

Im Anschluss stehen die Glaubhaftigkeit und Qualität von Guerickes Forschungen im Mittelpunkt. Wie in Schülermaterial II dargestellt, war man zuerst nicht von der Qualität von Guerickes Instrument überzeugt. Dies betrifft dann in gleichem Maße seine damit erzielten Ergebnisse. Ein [Video](#) demonstriert, welche Geduld und Übung nötig ist, um den Abstoßungseffekt erleben zu können.

Das Material soll Anlass sein, darüber zu reflektieren, was gute wissenschaftliche Geräte ausmacht vor dem Hintergrund, dass damit erzielte Ergebnisse vor anderen gerechtfertigt werden müssen. Informationen zu diesem



Thema finden sich in Abschnitt 5.2. Eine kurze Zusammenfassung für SuS liefert Schülermaterial III.

Reflektionsfragen können sein:

Was hätte Boyle tun müssen, wenn er gewollt hätte, dass die Schwefelkugel und Guerickes Ergebnisse anerkannt werden?

Warum stellen sich Naturwissenschaftler untereinander Ergebnisse und Instrumente vor?

Warum waren die anderen Wissenschaftler skeptisch bei der Vorführung von Guerickes Instrument?

Was sollten Naturwissenschaftler beachten, wenn sie ihre Ergebnisse vor anderen vorstellen?

Wozu benutzt man in den Naturwissenschaften wissenschaftliche Instrumente?

Da Elektrisiermaschinen in der Zeit nach Guericke eine große Rolle in der Elektrizitätsforschung spielten, können mit den Abbildungen VI, VII, VIII und X einige Bauweisen von Reibungselektisiermaschinen dargestellt werden. Hier soll eine typische Funktion wissenschaftlicher Instrumente deutlich werden, nämlich dass sie natürliche Effekte im Labor stärker und kontrolliert reproduzieren, um sie untersuchbar zu machen. Auch diese Instrumente unterliegen technischen Entwicklungen. Der Unterschied dieser Maschinen zu Guerickes Schwefelkugel kann hier diskutiert werden - **Guericke untersucht Phänomene direkt an der Maschine selbst, Elektrisiermaschinen andererseits stellen die Elektrizität für weitere Versuche bereit.**

Jetzt können die SuS zu ihren Entwürfen zurückkehren und sie daraufhin analysieren, ob sie die Qualitätskriterien erfüllen und sie gegebenenfalls noch abändern. Danach sollen sie einen kurzen Werbetext verfassen, in dem sie darstellen, welche besonderen Qualitäten ihr Instrument aufweist (zum Beispiel als Hausaufgabe).

5. Hintergründe

5.1 Historisches

5.1.1 Zur elektrischen Abstoßung von Gilbert bis Guericke

Nach Gilberts scharfer Trennung der elektrischen und magnetischen Anziehungsphänomene blieb die Frage nach der Ursache der Anziehung weiterhin unbefriedigend beantwortet. Für das Elektrisieren selbst will man bisher hauptsächlich die durch das Reiben entstandene Erwärmung der Körper verantwortlich wissen. Weiterhin geschehe die *Anziehung* allgemein durch „feine Ausflüsse“, wie sie in der Folgezeit immer wieder in modifizierter Form herangezogen werden um dann doch mit der – von Gilbert übrigens klar abgelehnten – *elektrischen Abstoßung* an Erklärungsgrenzen zu geraten. So fiel auch Nicolaus Cabeus im Jahre 1629, wie später auch Otto von Guericke, neben der altbekannten Anziehung ein abstoßender Effekt ins Auge. Cabeus' erklärt diesen jedoch als mechanisches Phänomen, nämlich über ein Abprallen der zunächst angezogenen (von der durch die Ausflüsse verdünnten Luft mitgerissenen) leichten Körper am Elektrisierten. Damit bleibt bis Guericke die Anziehung das ausgezeichnete elektrische Phänomen und die Abstoßung ein rein mechanisches.

Was Gilbert nie erwähnte wird von Cabeus kurz darauf gleich zur Unmöglichkeit erklärt: die Übertragbarkeit der Anziehungsfähigkeit durch Berührung. Guericke führt aber bald eindeutige Indizien für eine stattfindende Übertragung an: Nach Kontakt mit der Schwefelkugel zieht die Feder, die er bei vielen Experimenten benutzte *nämlich alles, was sich in ihrer Nähe befindet, entweder gern an oder schmiegt sich, wenn das nicht möglich ist, selbst daran an* ([1], S.167). *Dú Fay* (siehe die entsprechende Etappe in dieser Unterrichtseinheit) wird dies später als allgemeines Prinzip formulieren Guericke's Schwefelkugel selbst stellt in gewisser Weise ein *Novum* der experimentellen Elektrostatik dar. Zuvor fanden nur schon vorhandene oder bei der Bearbeitung zufällig entstandene Stücke von Elektrizität für Versuche Verwendung. Die Planung und Konstruktion eines geeigneten Gerätes ist ein neuartiges Vorgehen – die Elektrisierbarkeit von Schwefel war schon vorher bekannt. (vgl. [2], S. 36)

Guericke's Erklärungsversuche des Abstoßungseffektes fußen auf Analogieschlüssen und einer durch und durch animistischen Weltansicht. Die Kugel, mit Bedacht als verkleinertes Modell der Erde konstruiert, habe wie die Erde selbst das Bestreben, alle zu ihr gehörigen Dinge zusammenzuhalten – in der Umkehrung musste also auch ein Abstoßen der abträglichen Dinge möglich sein. Überhaupt diente ihm die Schwefelkugel als Modell aller Kraftwirkungen, die er sich aus seinem Weltbild heraus im Universum wirksam dachte. Historisch korrekt muss man also sagen, dass die Schwefelkugel KEINE ELEKTRISIERMASCHINE darstellte, wie sie zu späteren Zeiten benutzt wurden.

Auch erste Ansätze einer Entdeckung der Elektrizitätsleitung und Influenz hat es

bei Guericke schon gegeben, doch finden sie bei ihm als solche keine nennenswerte Erwähnung und eine systematische Untersuchung ließ bis Stephen Gray auf sich warten.

Zu Guericke's Erkenntnissen zur Elektrizität kann man sagen, dass sie beinahe alle in Vergessenheit gerieten. Vielleicht auch, weil er sie nicht als solche ausgab, sondern als Bestätigung seiner Ideen über die Kräfte im Universum. Er stellte seine Erkenntnisse noch nicht einmal selbst der Royal Society vor. Sein Freund und Kollege Boyle tat dies am 27. November 1672, wurde jedoch mit Skepsis bedacht. (s. Schülermaterial II).

5.1.2 Zu Otto von Guericke

Otto von Guericke (*30.November1602 in Magdeburg; †21.Mai1686 in Hamburg) war ein deutscher Politiker, Jurist, Naturwissenschaftler, Physiker, Tierarzt und Erfinder.

Otto von Guericke studierte von 1617 bis 1619 an der Universität in Leipzig an der Artistenfakultät, der Ausweitung des dreißigjährigen Krieges geschuldet einige Wochen in Helmstedt und im Fachstudium Jura an der Universität Jena von 1621 bis 1623 sowie 1623 bis 1624 in Leiden Jura und Festungsbau. Im Jahr 1631, im Zuge der Belagerung Magdeburgs durch das kaiserliche katholische Heer, wurde Guericke zum Schutzherrn der Stadt. Er geriet jedoch mitsamt seiner Familie in Gefangenschaft, musste sich freikaufen und zog daraufhin nach Braunschweig. Ab 1632 war Guericke maßgeblich am Wiederaufbau der im Krieg zerstörten Städte Leiden und Magdeburg beteiligt. Letztere ernannte ihn im Jahre 1646 zum Bürgermeister – er hatte als Gesandter der Stadt große diplomatische Erfolge bei den sächsischen Besatzern erreichen können, die Magdeburg viele Vorteile brachten.

Guericke widmete sich in seiner freien Zeit und besonders im Alter den naturwissenschaftlichen Forschungen. Er ist bekannt durch seine Erfindung der Vakuumluftpumpe um 1650 und besonders den darauf aufbauenden, spektakulären Versuchen mit den sog. „Magdeburger Halbkugeln“ (s. Bild II und XI). Diesen, wie viele seiner anderen Versuche führte er mit Belieben den Bürgern der Stadt Magdeburg vor.

Am Abschluss einer Forschungen widmete er sich den erwähnten Experimenten zur Elektrizität und veröffentlichte sie zusammen mit all seinen anderen Ergebnissen im Jahre 1663 auf Drängen befreundeter Wissenschaftler wie Gottfried Wilhelm Leibniz oder Gaspar Schott.

5.2 Lernen über die Natur der Naturwissenschaften

5.2.1 Rechtfertigung von Ergebnissen und Anforderungen an Experimentalaufbauten

Häufig steht in den Naturwissenschaften ein besonderes (neues) Phänomen im Mittelpunkt der Forschung. In Guericke's Fall ist es dasjenige der abstoßenden Wirkung von elektrisierten Körpern. Im Bestreben, diesen **Effekt und seine Eigenschaften genauer zu untersuchen**, soll er **gezielt hergestellt** und **einfach** sowie **sicher (re)produzieren** werden. Dazu muss ein **spezielles Instrumentarium entwickelt** und **experimentelle Fertigkeiten im Umgang damit** aufgebaut werden.

Wenn mit diesen Apparaten der Effekt untersucht werden soll (z.B. die Reichweite der Abstoßung, ihre Wirkung auf verschiedene Stoffe, etc.), dann hängt die Qualität der Ergebnisse dieser Untersuchungen kritisch von der Apparatur ab (aber natürlich auch weiterhin von dem Vorgehen des Untersuchenden).

Und natürlich müssen Erkenntnisse, die an den Apparaturen gewonnen wurden auch **von anderen Wissenschaftlern anerkannt** werden. Dies ist um so eher der Fall, wenn ein Gerät eine hohe Qualität nach anerkannten Kriterien aufweist.

Einige Qualitätskriterien sind:

1. **Einfache Handhabbarkeit** und dadurch **Nachvollziehbarkeit durch Andere**
2. **Sichere** und **wiederholbare** Produktion des gewünschten Effekts
3. **Ausschalten von störenden Nebenerscheinungen** – nur der Effekt wird untersucht
4. Sie sind **wirkungsvoll**, was das Erzeugen des Effektes angeht, also A. der Effekt **entsteht immer, wenn man es möchte** und B. der Effekt ist dann auch **stark genug** um untersuchbar zu sein.
5. Sie sind so konstruiert, dass die **Ursache des Effektes absolut einsichtig** ist. Deshalb gibt es einen Kernbereich des Aufbaus, dessen Veränderung ein Auftreten des Effektes verhindern müsste.

Natürlich gehen auch ganz **pragmatische Überlegungen** mit ein – welches Material steht zur Verfügung, wie teuer sind die Einzelteile, kann ich alte Aufbauten abändern statt völlig neue zu entwerfen. Einige dieser Kriterien erwähnt Guericke in seinem fiktiven Brief in Schülermaterial I. Die meisten anderen sind in Schülermaterial III dargestellt und können über eine kreative Schreibaufgabe (Schülermaterial II) erlernt werden.

5.2.2 Phänomene erzeugen

Guericke's Experimente sind ein gutes Beispiel für ein bewusstes, kontrollierbares Herstellen eines Phänomens (im Labor) zu dessen näherer Untersuchung ([Video](#)). Beispiele aus der Forschung sind u.a. Schallerzeugung mittels Lautsprechern zur Untersuchung der Schallausbreitung, das Züchten von Drosophila-Fliegen im Labor zur Untersuchung der Vererbung.

Das ist aber nicht immer möglich. In der Meeres- und Umweltwissenschaft ist es oft umgekehrt – dort transportiert man die Instrumente zum Phänomen (Meeresströmungen), so lange sich das Phänomen nicht im Labor nachstellen lässt.

Man hier zwischen dem **Phänomen an Sich** (unbeeinflusstes Auftreten in der Natur) und seinem **Laboräquivalent** (gezielte Erzeugung an speziellen Apparaturen) unterscheiden. Wissenschaftler versuchen prinzipiell, Aussagen über die Phänomene an sich zu treffen, ihre Eigenschaften, Entstehungsbedingungen etc. Unterucht werden die Phänomene jedoch zu einem großen Teil im Labor.

Spitzfindig kann man sich nun fragen, ob denn die Erkenntnisse gewonnen an dem Laborphänomen auch für das Phänomen an sich gelten müssen. Eine Lösung für dieses scheinbare Problem ist die Vorstellung vom Experiment als geplanter Vorgang des **Zähmens eines Phänomens**. Der Experimentator holt sich „ein Stück Natur“ ins Labor und macht es **einfacher, regelmäßiger** und **leichter zu manipulieren**. Und wenn im Prozess des Forschens plötzlich ein neuer Aspekt (wie die Abstoßung) auftritt, der in der Natur so nicht beobachtbar war, so fasst man dies auf als **Realisierung von potentiell in der Natur Möglichem** (das Labor und die Geräte sind schließlich auch ein Stück Natur...)

5.2.3 Nützliche und Gefährliche Irrationalität (Ähnlichkeit/Analogie und Vollständigkeit)

Es ist ein Trugschluss, dass sich Wissenschaftler bei ihren Forschungen immer nur von rein rationalen Ansichten leiten lassen. Viele Wissenschaftler lassen sich z.B. davon leiten, dass naturwissenschaftliche Theorien „schön“ sein sollen, d.h. besonders einfach oder elegant. Oder aber Menschen nehmen an, dass wenn sich bestimmte Dinge in einigen Merkmalen ähneln, ihre anderen Merkmale auch übereinstimmen. Dies bestimmt auch Guerickes Vorgehen:

Guericke Beispiel 1: Schwefelkugel<->Erdkugel

Guericke konstruierte die Schwefelkugel nicht mit dem Ziel, elektrostatische Phänomene zu untersuchen – so kann man nur denken, wenn man vom heutigen Wissensstand ausgeht. Es ging ihm darum, die Kräfte zu untersuchen, die im Universum wirken. Dabei ging es ihm besonders darum, alle möglichen Kräfte auf und um die Erde herum zu finden und somit ein eingängiges Weltbild zu erstellen. Aus diesem Grund **konstruierte er die Schwefelkugel so erdähnlich wie möglich**. Alle seine Ergebnisse bezieht er wegen dieser **Ähnlichkeit** auch auf die Vorgänge auf der Erde und in ihrer Umgebung:

Die geriebene Kugel zieht leichte Körper an, diese haften auf ihrer Oberfläche

und drehen sich mit <-> Die Erde zieht alles auf ihr befindliche an und führt es im 24 Stunden Rhythmus mit sich mit.

- Die Feder wird von der geriebenen Kugel abgestoßen, bleibt einige Zeit lang in gleicher Entfernung, zeigt immer mit derselben Seite auf die Kugel und die Kugel kann man unter ihr drehen <-> Der Mond verhält sich zur Erde exakt wie die Feder zur Kugel

Guericke Beispiel 2: Elektrizität<->Magnetismus

Der Phänomenbereich der Elektrizität wird durch Guericke's Entdeckung des Abstoßungseffektes sicherlich erweitert aber in einem gewissen Sinne auch **vervollständigt**, wenn man den Magnetismus als Vergleich heranzieht. Guericke's Weltansicht war stark von dem Gedanken der Ganzheit und Vollständigkeit geprägt, und so wäre es für ihn verwunderlich gewesen, wenn das Gegensatzpaar Anziehung-Abstoßung in der Elektrizität nicht auch so auftreten würde wie beim Magnetismus.

Wo liegen also die Gefahren, wo der Nutzen, wenn Wissenschaftler sich von diesen eher „gefühlsmäßigen“ Überlegungen wie Ähnlichkeit, Symmetrien, Gegensatz oder Einfachheit leiten lassen?

Nützlich ist es, wenn es die Kreativität antreibt und man auf diese Weise zu neuen Hypothesen oder Erklärungen gelangt und diese **kritisch testet**.

Gefährlich kann es sein, wenn man sich dadurch derart beeinflussen lässt, dass man eigene Beobachtungen oder die Ergebnisse anderer Wissenschaftler ignoriert, wenn sie den eigenen Vorstellungen widersprechen.

Auf diese Weise lässt sich das Zerrbild des Wissenschaftlers als rationalem, logischem und jegliche Subjektivität ablehnenden Menschen etwas abschwächen. Er lässt sich sehr wohl von irrationalen Prinzipien leiten, bleibt den daraus gewonnenen Ideen gegenüber aber immer kritisch.

6. Zielgruppe, Curriculare Bezüge und Lernhindernisse

Diese Fallstudie über Otto von Guericke's Experimente zur elektrischen Abstoßung ist die dritte 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.

6.1 Lernziele

Das Phänomen der elektrischen Abstoßung wird als weitere grundlegende Eigenschaft elektrisierter (elektrisch geladener) Körper erkannt und dem der Anziehung beigeordnet.

Die SuS erfahren, dass das gezielte Herstellen und Reproduzieren physikalischer

Phänomene auf dedizierten Apparaturen zu Forschungszwecken eine bedeutsame Praxis wissenschaftlichen Arbeitens ist.

Die SuS erfahren, dass Naturwissenschaftler ihre Ergebnisse vor Kollegen rechtfertigen müssen und welche Anforderung sich daraus an die von ihnen verwendeten Apparaturen ergeben.

6.1.1 Erkenntnisgewinnung / Natur der Naturwissenschaften

Die SuS sollen...

- darlegen können, dass Entwurf, Herstellung und Nutzung wissenschaftlicher Instrumente eine Facette wissenschaftlichen Arbeitens darstellt
- Kriterien nennen können, nach denen die Qualität wissenschaftlicher Instrumente beurteilt werden kann
- Eigenschaften von wissenschaftlichen Instrumenten nennen können, die die Qualität der Ergebnisse beeinflussen
- die Rolle der Rechtfertigung der Ergebnisse vor anderen Wissenschaftlern für die Benutzung wissenschaftlicher Instrumente darlegen können
- die kontrollierte Produktion von natürlichen Phänomenen als eine Funktion wissenschaftlicher Instrumente angeben können
- angeben können, dass die Erkenntnisse, für die Wissenschaftler heute bekannt sind, nicht unbedingt ihre ursprüngliche Forschungsmotivation darstellten.

6.1.2 Prozessbezogene Kompetenzen

Die SuS sollen...

- Aufgaben in Gruppen bearbeiten
- ihre Ergebnisse im Vergleich mit anderen Gruppen überprüfen
- den Einfluss von Fehlerquellen auf die Gültigkeit ihrer Ergebnisse einschätzen
- einfache Skizzen anfertigen
- in „je...desto“ Form argumentieren
- eigenständig oder angeleitet Vermutungen über Zusammenhänge oder Ursachen äußern
- eigenständig oder angeleitet Ansätze zur Überprüfung von Vermutungen entwickeln
- einfache Experimente in verschiedenen Selbstständigkeitsgraden planen und durchführen

- ihre Beobachtungen angeleitet protokollieren und (unter Anleitung) Messtabellen anlegen
- ihre Beobachtungen unter Anleitung zur Überprüfung von Vermutungen verwenden
- selbstständig mit den Experimentiermaterialien umgehen

6.1.3 Inhaltsbezogene Kompetenzen

Die SuS sollen

- verschiedene Stoffe nennen können, die sich durch Reiben elektrisieren lassen
- Abstoßung als Kraftwirkung zwischen geladenen (elektrisierten) Körpern nennen
- Abstoßung leichter Körper als Nachweismöglichkeit für elektrische Ladung (elektrisierte Körper) nennen können
- die Kraftwirkung in der Umgebung geladener (elektrisierter) Körper qualitativ beschreiben können

6.2 Schüler(fehl)vorstellungen & Lernhindernisse

Die Handhabung des Instruments ist diffizil und muss erst eingeübt werden: Leichte Körper bleiben häufig haften und werden nicht wieder abgestoßen, s. Anmerkungen zu den Experimenten. Dies ist aber auch eine Chance zu sehen, dass wissenschaftliche Instrumente im Allgemeinen keine Antwortmaschinen sind. Außerdem kann dieser Punkt (Übung, Geduld) in die Diskussion um Verlässlichkeit und Rechtfertigung von Ergebnisse mit einbezogen werden.

7. Lerneraktivitäten und Medien

7.1 Experimente

7.1.1 Benötigtes Material

- Replikationen / Experimentalaufbauten
- Ein oder mehrere Exemplare von Guerickes Elektrisier-Aufbauten
- Alternative: An einen aufgeblasenen, möglichst runden Luftballon auf gegenüberliegenden Seiten zwei Papprollen kleben. (s. Bild IX)
- Materialien für weitere/vergleichende Elektrisierversuche
- Bernstein, Siegellackstangen, Glasstangen
- Reibzeug
- Woll-, Baumwoll- und Seidentücher, Katzenfell
- Leichte Körper
- Flaumfedern (unbehandelt, ohne harten Kiel)
- Baumwollfäden, Papierschnipsel, Blattmessing, Eisenspäne oder -pulver

7.1.2 Mögliche Untersuchungen

Nachvollzug der bekannten Anziehungsphänomene

Wird die trockene Schwefelkugel – im Aufbau befestigt oder freihändig – mit der trockenen Hand, jedoch besser mit einem Fell oder Tuch gerieben so wird sie elektrisiert und danach die leichten Körper schnell elektrostatisch anziehen. Dazu legt man diese auf den Aufbau unter die Schwefelkugel oder auf eine andere Unterlage.

Auch Wassertropfen erfahren eine Anziehung, wenn man die Schwefelkugel ihnen nähert, welche sich in einer Verformung des Tropfens hin zur Kugel äußert.

Abstoßungseffekt mit Flaumfeder und anderen leichten Körpern

Guericke beschreibt dieses Experiment unter Verwendung einer Flaumfeder. Lässt man diese auf die Kugel fallen, haftet sie kurz an ihr und wird nach leichtem Schütteln der Kugel wieder abgestoßen. Dies ist der neue Effekt, dessen ausführliche Untersuchung wir Guericke verdanken.

Bleibt die Kugel im Aufbau und streut man Papierschnipsel o.Ä. unter sie, so werden sie immer wieder angezogen und abgestoßen. Dieses Spiel kann über einige Stunden lang fort dauern.

Den Abstoßungseffekt erkennt man auch, wenn man ein kleines Stück Kork an einem dünnen Faden als Elektroskop benutzt. Nach dem Anziehen und Berühren wird es abgestoßen.

Dieses Experiment lässt sich prinzipiell auch mit Glasstangen durchführen. Hier bietet sich ein Verweis auf die zukünftigen Elektrisiermaschinen an, wo hauptsächlich Glas als geriebenes Material eingesetzt wurde. (s. Bild VI,VII,VIII,X,XII)

Schwebenlassen der Feder und Ableiten der Ladung

Die Feder lässt sich mit der frei in der Hand gehaltenen Kugel schwebend durch den Raum dirigieren – stößt sie mit einem geerdeten Gegenstand zusammen wird sie erneut angezogen, bis sie die Kugel berührt hat. Auch dieses Phänomen beschreibt Guericke.

Stille elektrische Entladung / Elektrolumineszenz

Guericke beschreibt eine oberflächliche Leuchterscheinung auf der Schwefelkugel, wenn sie vorher gut gerieben wurde. Sie ist nur in absoluter Dunkelheit und unter idealen (trockenen) Bedingungen zu erzielen. Diesen Effekt konnte er erst 9 Jahre nach seinen ersten Versuchen mit der Kugel so sicher wahrnehmen, dass er darüber schrieb.

7.1.3 Technische Anmerkungen:

1) Bei zu starker Aufladung der Kugel überwiegt der Effekt der Influenz und die Feder wird nicht wieder abgestoßen. 2) Alle Versuche funktionieren am Besten mit einer vollständig durchgetrockneten Schwefelkugel auf Zimmertemperatur oder wärmer. Man sollte es daher vermeiden, sie länger als nötig außerhalb zu belassen, oder sie mit feuchten Händen anzufassen. 3) Die Länge der Härchen der

Flaumfeder kann entscheidend sein. Sind sie zu lang, bleibt die Feder haften und löst sich nicht. Man muss sie also unter Umständen mit einer Schere etwas(!) kürzen.4) Ein Anhauchen der Feder kann helfen, indem so ihre Leitfähigkeit ein wenig erhöht und der Ladungsübertrag von der Kugel auf die Feder manchmal überhaupt erst möglich wird.5) Das vorherige Abreiben der Schwefelkugel mit feiner(!) Stahlwolle ist empfehlenswert.

7.2 Schülermaterialien

Material I: Aufgabe zum Entwerfen eines wissenschaftlichen Instruments

Stell dir vor, du bist ein Mechaniker in Otto von Guericke's Heimatort Magdeburg. Du entwirfst und baust wissenschaftliche Apparaturen in Zusammenarbeit mit Wissenschaftlern.

Du erhältst von ihm folgenden Brief:

„Mein lieber Kollege, wir arbeiten nun schon eine recht lange Zeit zusammen und Sie waren mir immer sehr hilfreich und voller Ideen bei meinen anderen Apparaturen. Wie sie wissen untersuche ich die Kräfte, die auf unserer Erde wirken. Mich drängt es dazu, die Kräfte zu untersuchen, die durch das Phänomen der Electricisierung von Körpern entstehen. Dort haben schon andere vor mir gute Arbeit geleistet.

In der Natur treten die elektrischen Phänomene nur selten und unkontrolliert auf oder sind zu schwach, um sie genau zu untersuchen. Alle heutigen Arten, die Phänomene auf natürlichem Weg zu erzeugen dazu nicht verlässlich und kräftig genug. Ich brauche ihr handwerkliches Geschick und ihre Kreativität, denn ich benötige eine Maschine an der ich elektrische Phänomene kontrolliert im Labor erzeugen und untersuchen tun kann.

Bitte erstellen sie für mich einen Entwurf für eine solche Maschine – ich werde Sie in einiger Zeit besuchen um darüber zu beraten.

Nun hast du von Guericke den Auftrag bekommen, einen Apparat zu entwickeln, mit dem man das *Elektrisieren durch Reibung* gut im Labor durchführen kann. Man soll mit ihrer Hilfe dann wissenschaftliche Experimente durchführen können.

Benutze deine Kenntnisse aus den vorangegangenen Elektrisierungsexperimenten.

1) Fertige eine grobe Skizze so einer Maschine an.

2) Notiere kurz: Was macht deine Maschine zu einem guten wissenschaftlichen Instrument?

Denke daran, dass wir uns im Jahr 1660 befinden – es gibt also zum Beispiel noch keine Elektro- oder andere Motoren.

Material II: Infotext über die Skepsis gegenüber Guericques Instrument

Ein Erlebnis bei der Präsentation von Ergebnissen mit Guericques Instrument macht deutlich, dass Wissenschaftler untereinander streng bewerten, was gute wissenschaftliche Instrumente sind und ob man den Ergebnissen trauen kann:

Robert Boyle (1627-1691), der wie Guericke übrigens auch noch zum Thema Luftdruck forschte, führte die Schwefelkugel und Guericques Ergebnisse damit am 27. November 1672 vor der Londoner Royal Society vor. Dies ist eine wichtige und angesehene Wissenschaftlergemeinschaft, deren Mitglieder die Forschungsergebnisse untereinander sehr kritisch prüfen. Bei der Schwefelkugel waren sie besonders skeptisch. Sie lehnten die Ergebnisse, die Guericke damit erhalten hatte, vorläufig ab. Sie wollten die Qualität des Gerätes erst selbst prüfen, bevor sie die damit gewonnenen Ergebnisse anerkennen und veröffentlichen

Material III: Infotext über Qualitätskriterien von wissenschaftlichen Instrumenten

Wissenschaftler sind sich einig darüber, was für Eigenschaften gute Instrumente aufweisen sollten. Ergebnisse anderer Wissenschaftlern, die sie mit „schlechten“ Instrumenten erhalten haben, werden eher angezweifelt.

- Man muss genau sagen können, wie der Effekt, den man untersuchen will (zum Beispiel elektrische Abstoßung), im Instrument entsteht
- Das Instrument sollte auch von anderen Wissenschaftlern bedient werden können.
- Immer wenn man mit dem Instrument den Effekt erzeugen will, soll es auch funktionieren.
- Der Effekt muss eindeutig erkennbar sein und nicht von anderen Erscheinungen gestört werden.
- Ein Experiment, das an dem Instrument einmal ein bestimmtes Ergebnis gebracht hat, muss bei seiner Wiederholung wieder das gleiche Ergebnis bringen.

Ganz praktische Dinge, die man beachten sollte

- Es sollte nicht zu teuer sein
- Es sollte mehrmals benutzbar sein

...

Manche Dinge kann man erst dann beachten, wenn man das Instrument wirklich baut.

Material IV: Kreative Schreibaufgabe: Werbetext zum eigenen Instrument verfassen

Aufgabe:

Schreibt als Instrumentenbauer einen kurzen Werbetext, in dem ihr darstellt, warum eure Elektrisiermaschine ein gutes wissenschaftliches Instrument ist.

Der Werbetext könnte so beginnen:

Eine Revolution in der Elektrizitätsforschung!

Die Royal Society zweifelte an der Eignung von Guericke's Schwefelkugel als gutes wissenschaftliches Gerät. Völlig zu Recht, denn sie war schwer zu bedienen und produzierte nur schwache elektrische Effekte.

Mein wissenschaftliches Instrument jedoch ...

7.3 Bildmaterial und Medien

Video: Guerickes Handhabung der Schwefelkugel. Zuerst wird Reibung und Anziehung demonstriert, danach Reibung und Abstoßung der Flaumfeder, sowie deren Erdung durch Kontakt mit der Hand.

Bild I: Auszug aus Guerickes Forschertagebuch um 1660 – Handskizze zu seinen Überlegungen über Elektrisierapparate (oben rechts)

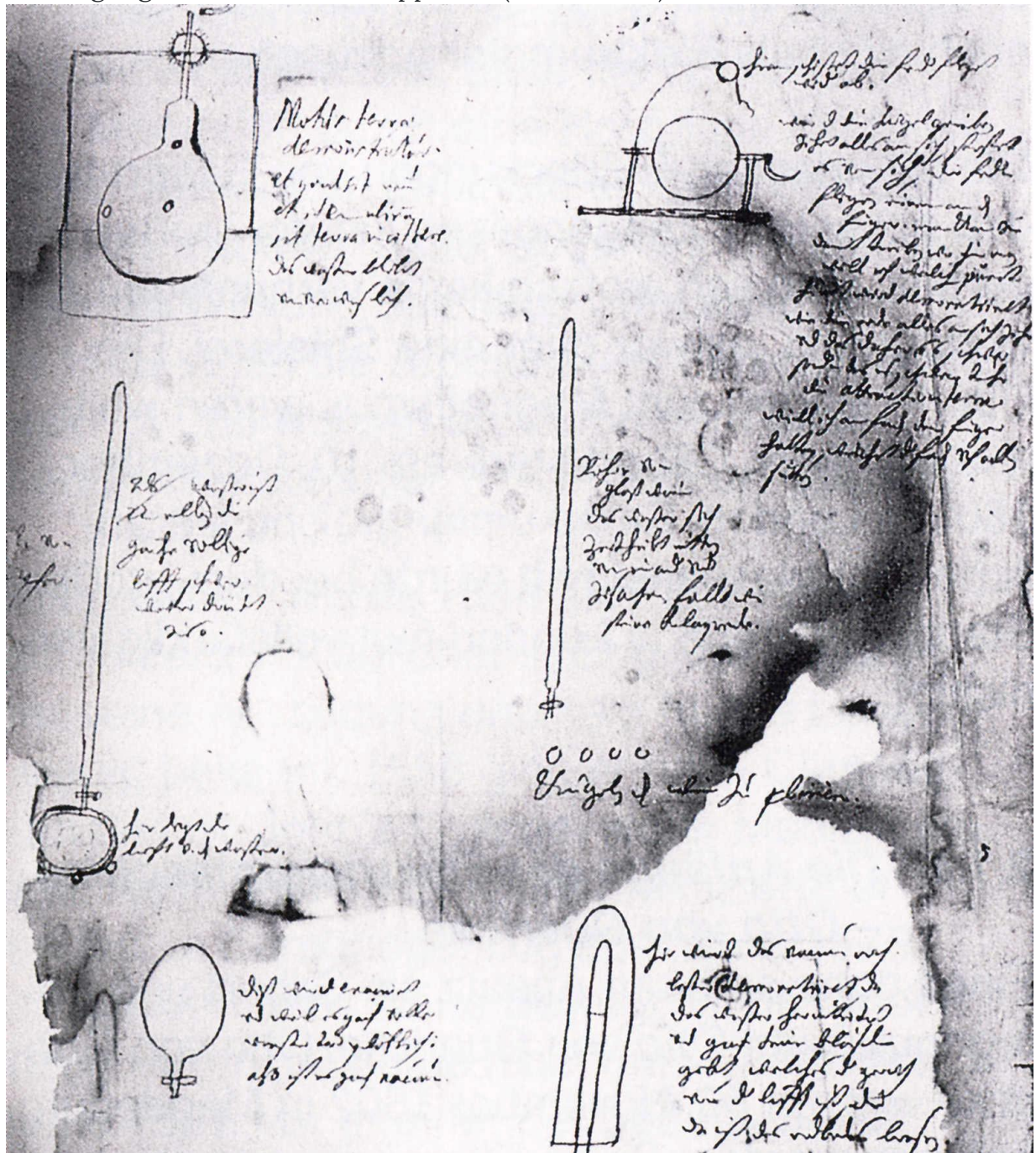


Bild II: Versuch über die „Magdeburger Halbkugeln“ – Illustration von Caspar Schott (um 1660)



Bild III: Guerickes Elektrisier-Aufbau (r.), Guericke mit Schwefelkugel (l.), aus [1], S. 166

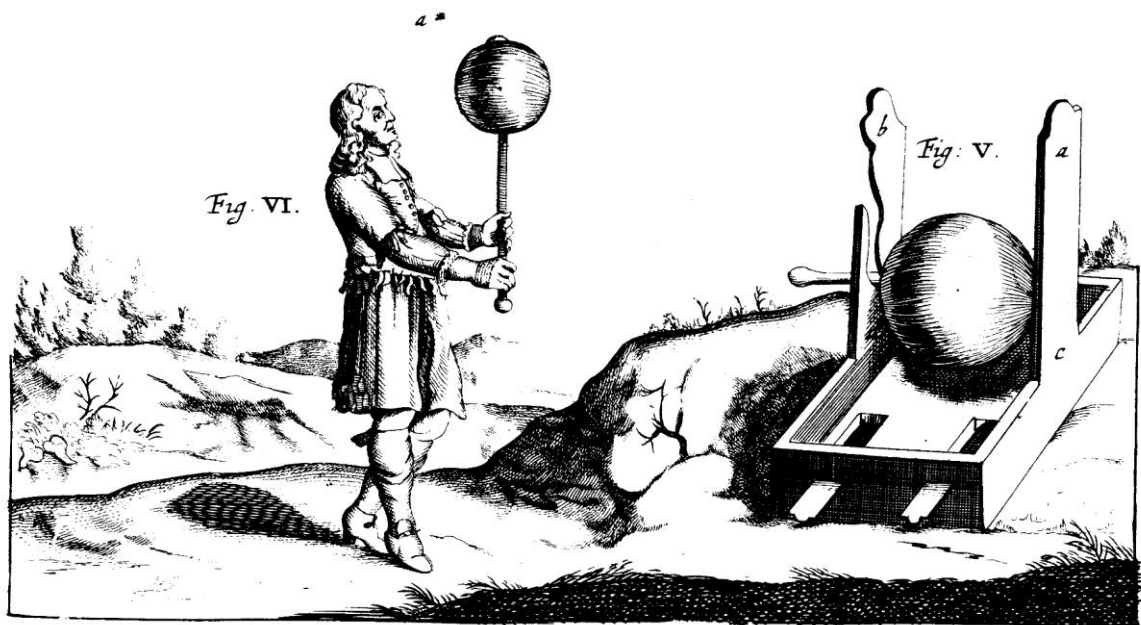


Bild V: Nachbau von Guerickes Schwefelkugel-Aufbau (Universität Oldenburg)

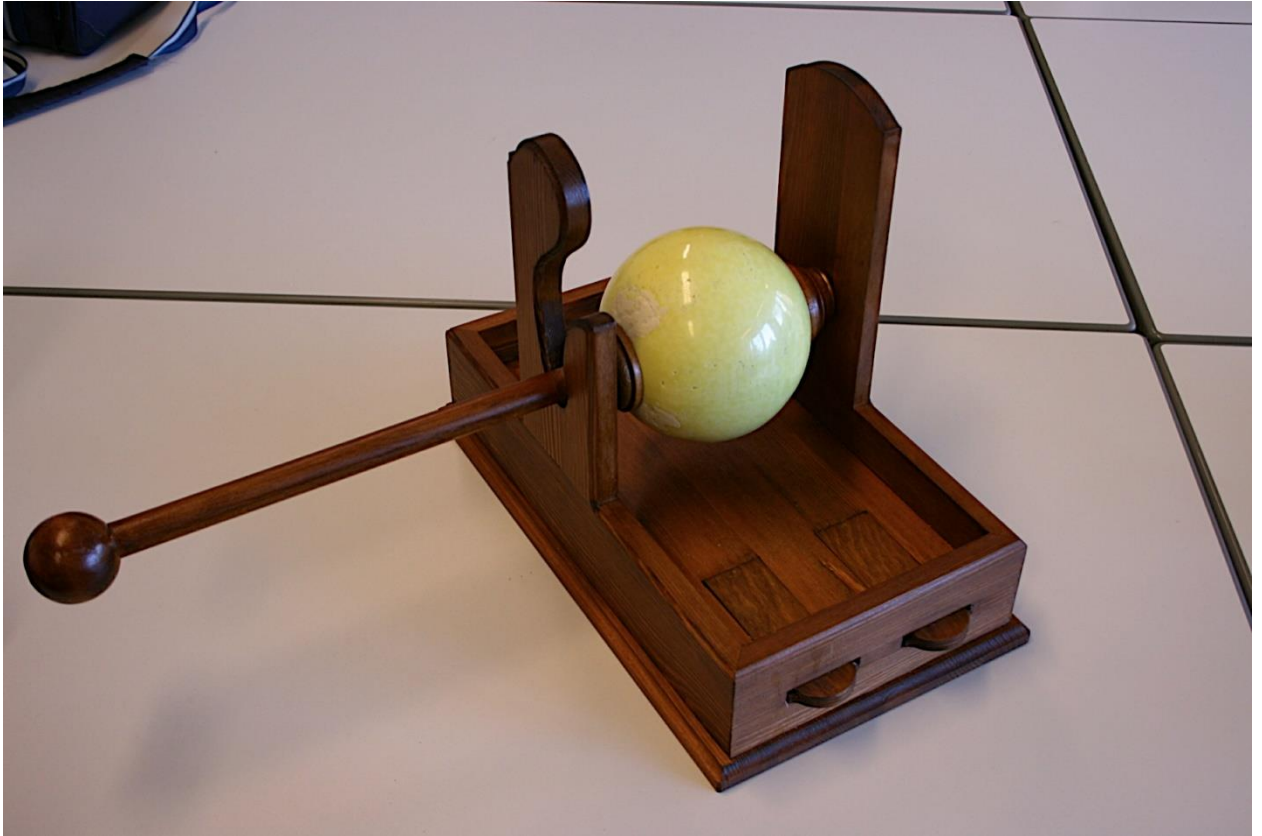


Bild VI: Reibungselektrisiermaschine – Glaskugel mit der Hand gerieben

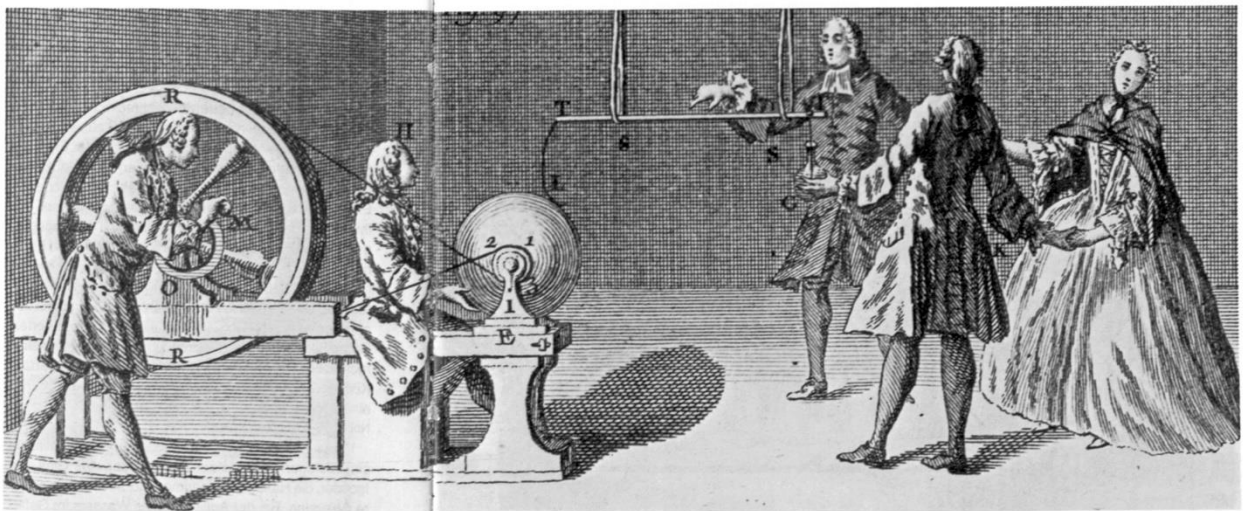


Bild VII: Reibungselektrisiermaschine – Glaskugel auf einem Seidenkissen gedreht

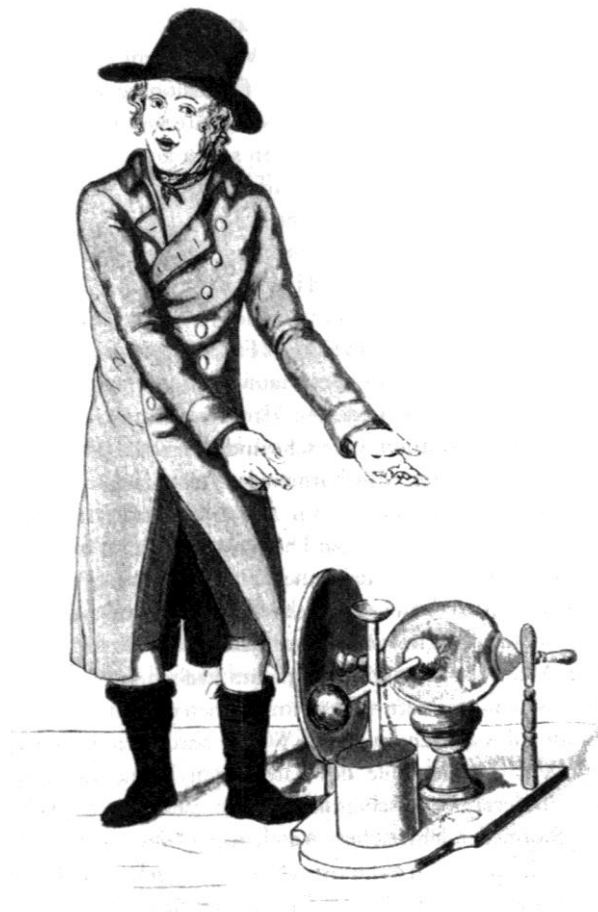


Bild VIII: Reibungselektrisiermaschine – Glaszylinder, auf dem ein Wolltuch gespannt ist

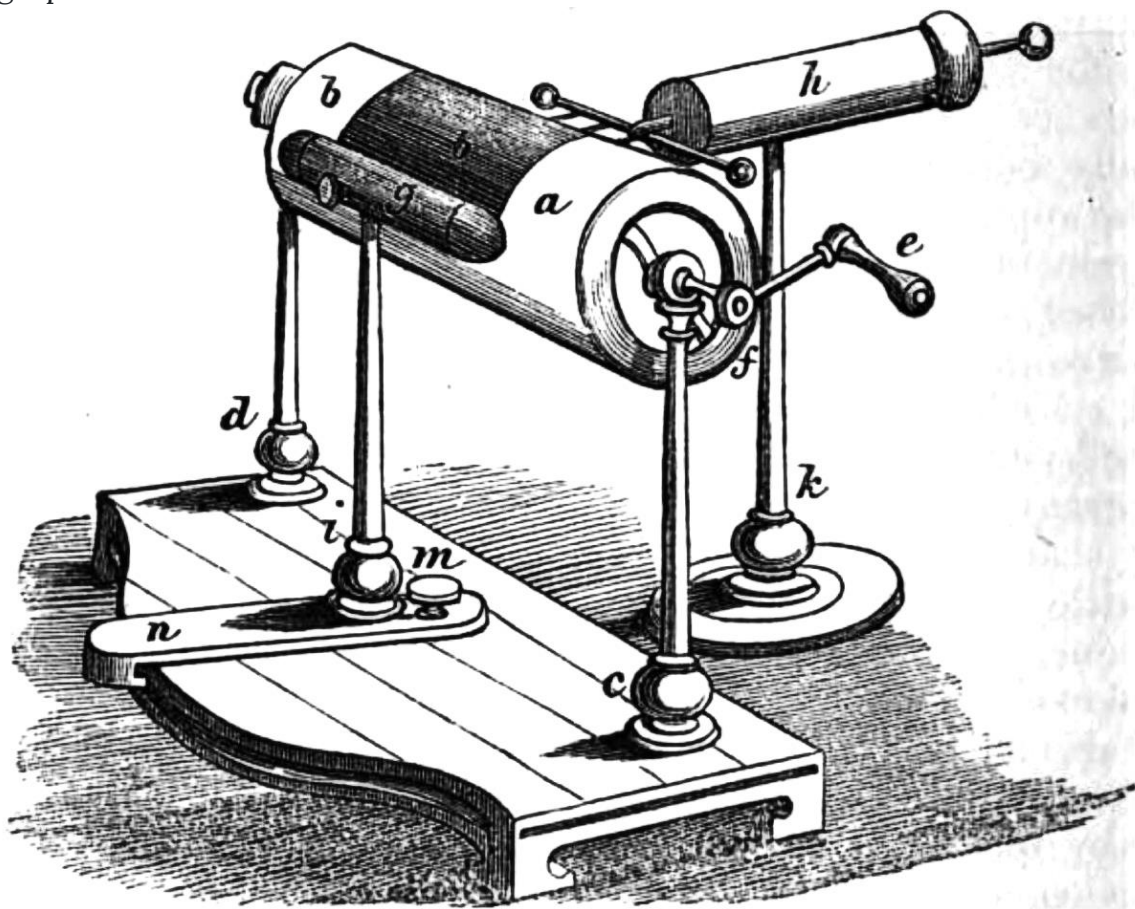


Bild IX: Einfacher Nachbau von Guericques Apparat

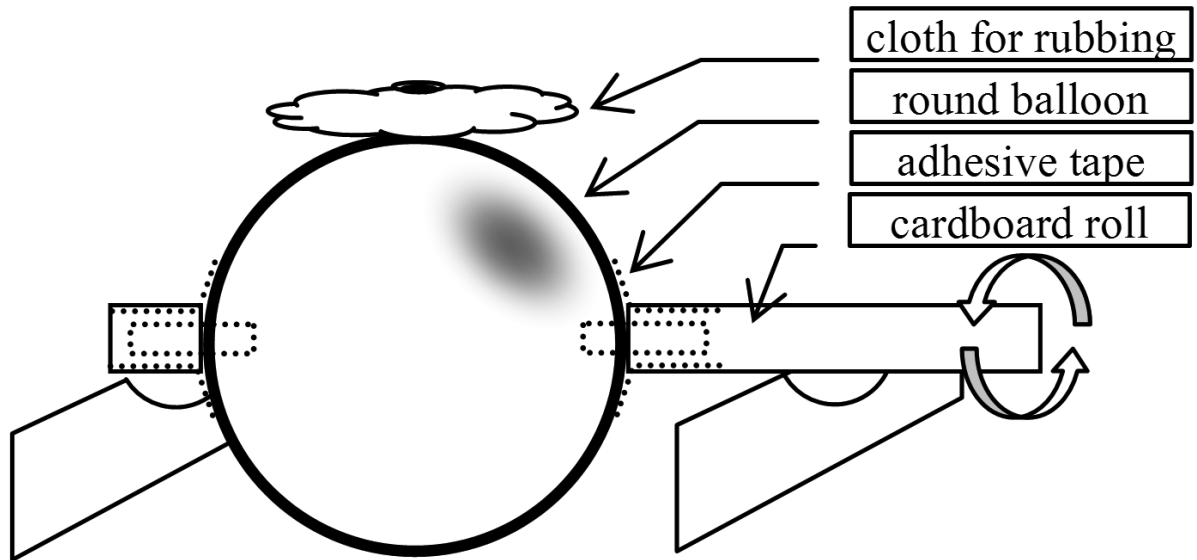


Bild X: Skizze einer Scheibenelektriermaschine. Links der Konduktor, der die Ladungen aufnimmt, in der Mitte die Glasscheibe mit Handkurbel, rechts zwei Stoffkissen, zwischen denen die Scheibe reibt

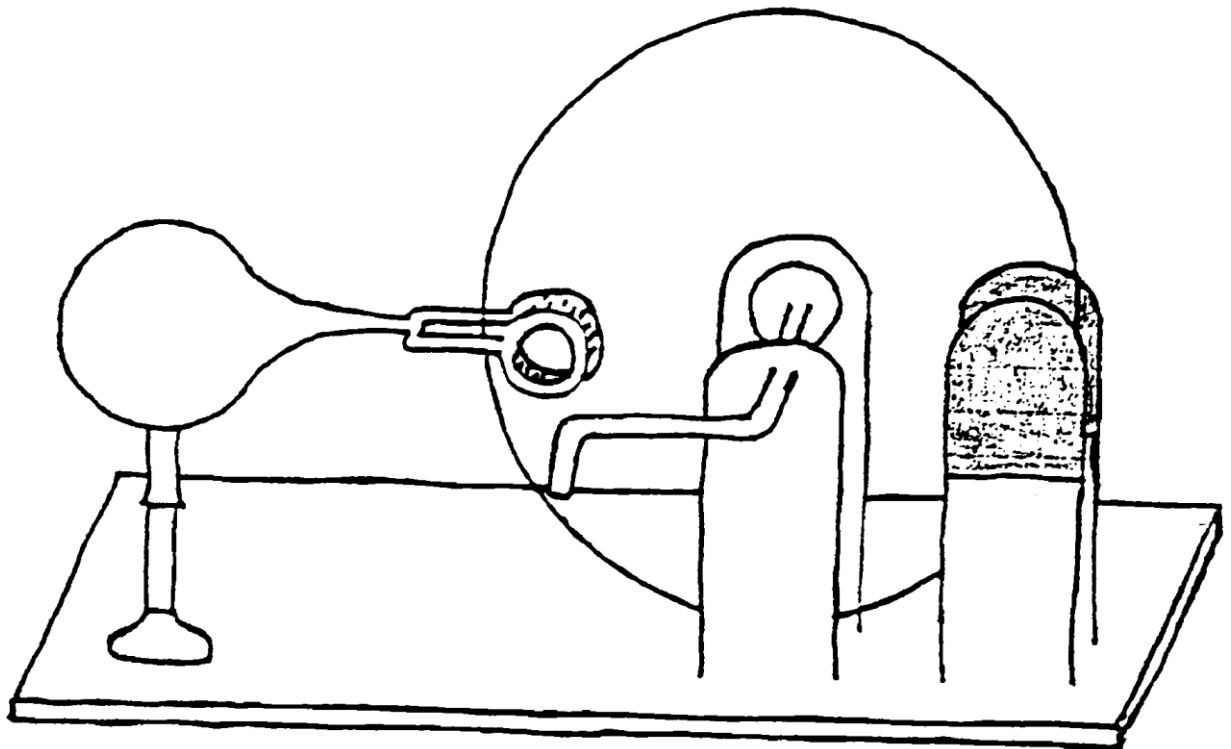


Bild XI: Nachstellung des Versuch mit den Magdeburger Halbkugeln 1963, [2] S.28



Bild XII: Elektrisiermaschine nach Francis Hauksbee (um 1700) für 2 Personen
(Eine zum Kurbeln, die andere presst die Hände an die Kugel)

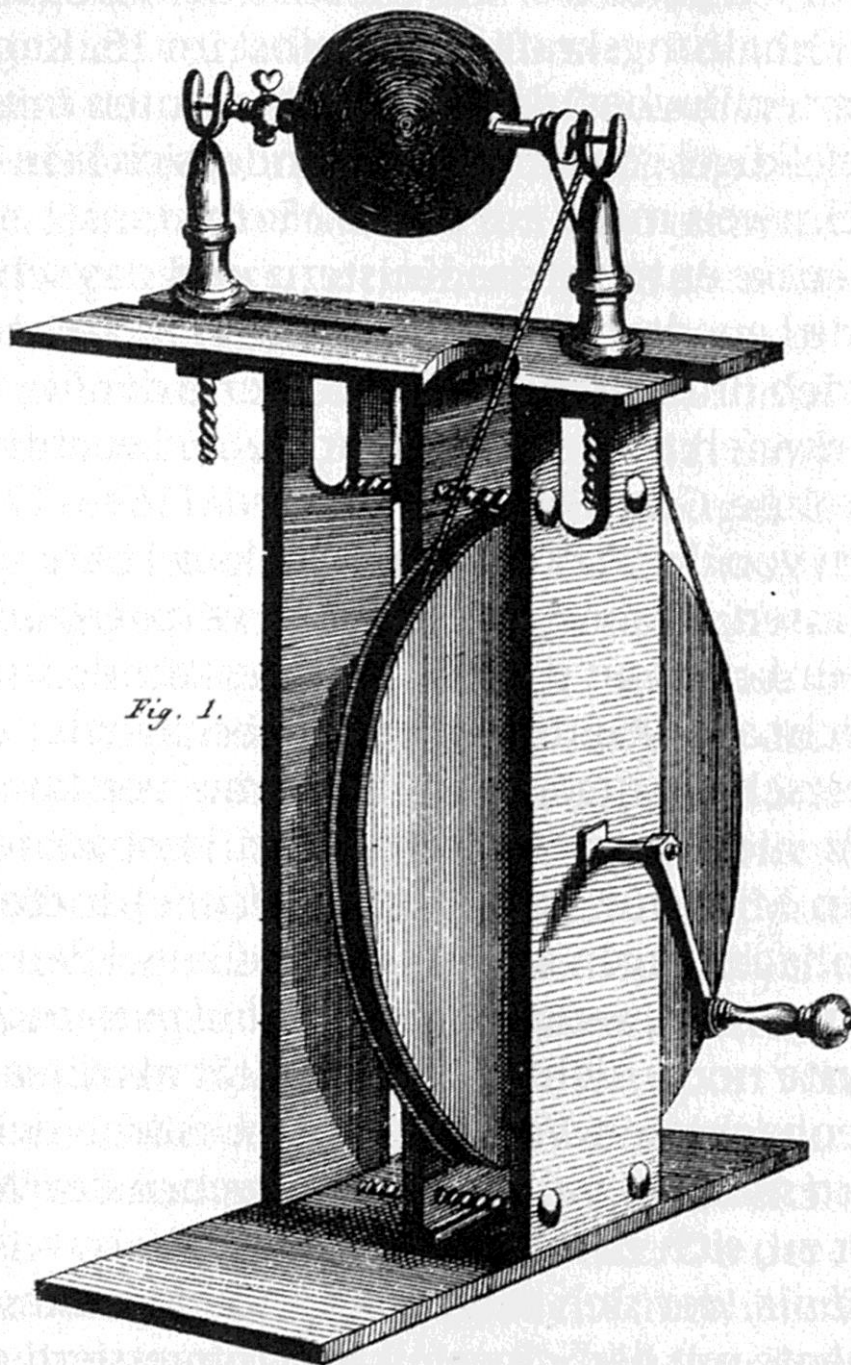


Bild XIII: Wiederholung des Versuchs zur schwebenden Feder von einem Mitglied der Otto-von-Guericke-Gesellschaft.

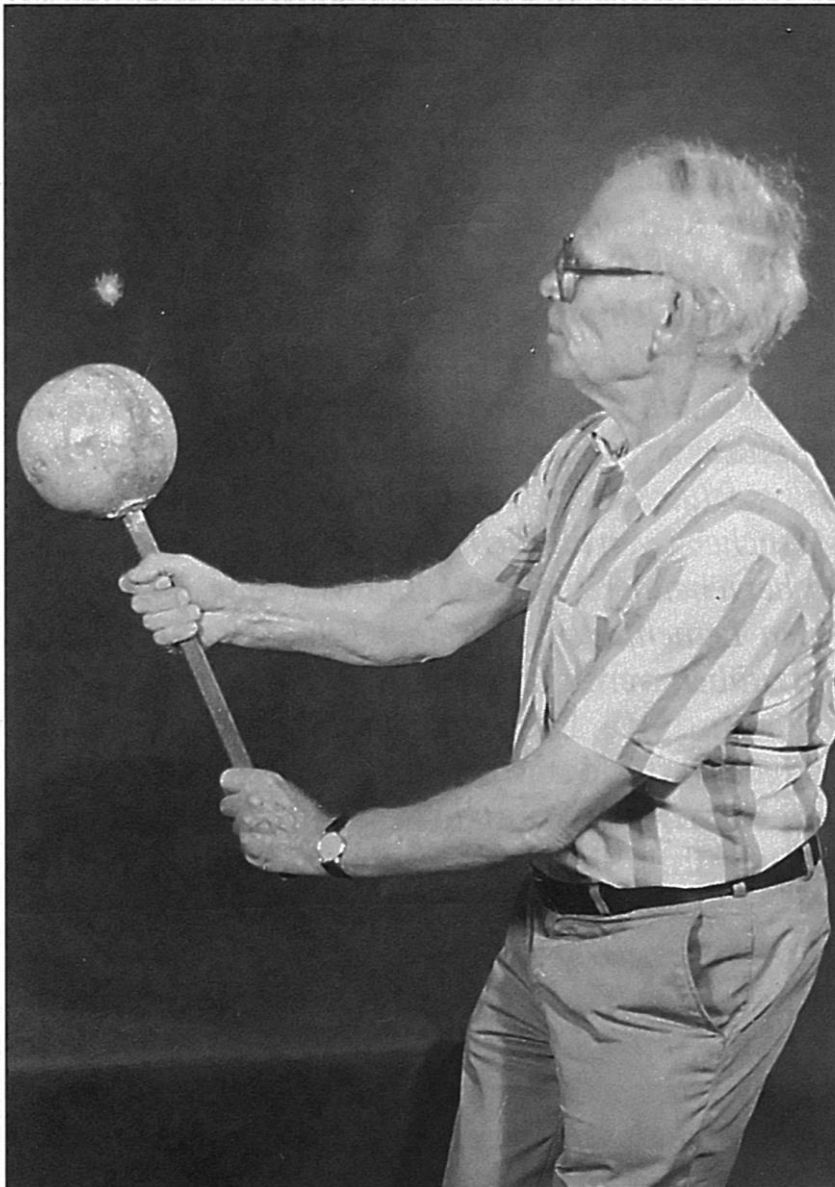


Bild 6
Schwebeversuch mit einer Feder, Dr. Moewes bei einem
Demonstrationsexperiment [31]

Video: Otto von Guericke und die Schwefelkugel

8. Mögliche Lernschwierigkeiten (inkl. Erprobungsergebnisse)

8.1 Chance statt Problem - Geschick und Übung versus Wiederholbarkeit und Objektivität

Der Umgang mit der Schwefelkugel (oder einem Nachbau) ist schwieriger als es scheint. Die experimentellen Handlungen, die am Ende zu verlässlichen Ergebnissen führen, müssen **geübt und verinnerlicht** werden. Leichte Objekte

kleben viel eher an der Kugel, als dass sie abgestoßen werden (s. 7.1.3). Diese "Probleme" (es sind nur welche, wenn man das Ergebnis schon kennt!) sind eine Chance, darüber zu diskutieren, ob wissenschaftliche Instrumente problemlos beim ersten Versuch eindeutige Daten/Effekte produzieren, welche sich sofort erklären lassen oder eben (naiv) Fehler sind. Einige Wiederholungen sind nötig, um den Effekt der schwebenden Feder zu erzeugen und viel Übung und Handlungswissen, um ihn sicher reproduzieren zu können. Dieser Aspekt sollte mit den SchülerInnen diskutiert werden, bspw. über Fragen wie **"Welche Rolle spielt Übung und Geschick in der naturwissenschaftlichen Forschung/beim Experimentieren?"** Die SchülerInnen können verstehen, dass auch in der Forschung Übung den Meister macht, wenn man verlässliche Ergebnisse produzieren will. Der **Übergang also vom wiederholten Üben zu Wiederholbarkeit als Qualitätskriterium von Forschung ist hier sehr gut möglich** und die Erprobung zeigt sogar, dass sich SchülerInnen auf diese Weise mit geringer Anleitung den Bereich **"Rechtfertigung von Ergebnissen" als Charakteristikum der Erkenntnisgewinnung** in den Naturwissenschaften erschließen können. Eine **lebhaft Diskussion** kann ausgelöst werden, wenn man auf folgenden **Widerspruch** hinweist:

- Übung und Erfahrung sammeln mit einem Versuchsaufbau sind eine zwingende Notwendigkeit für verlässliche Ergebnisse (oder überhaupt Ergebnisse)
- ABER das prinzipiell mögliche Wiederholen der Untersuchung durch andere, unbeeinflusste Forscher ist ebenfalls für verlässliche Forschungen notwendig (Objektivität).

8.2 Instrumente als Antwortmaschinen?

Diskussionen über das WARUM? und WOZU? von wissenschaftlichen Instrumenten sollten von Guerickes Auftragsbrief (Material I) angeleitet sein. Die Schüler bringen eigene Ideen mit, welche Rolle Instrumente in der naturwissenschaftlichen Erkenntnisgewinnung spielen:

- Überwindung von menschlichen Unzulänglichkeiten (Mikroskop, Taschenrechner)
- Verbesserung von Ergebnissen (diffus als "Instrumente machen Ergebnisse genauer")
- Eindeutiges Beweisen von Vermutungen

Die letzten beiden Punkte sind undifferenziert bis naiv und sollten ausgearbeitet werden. Diese Vorstellungen rühren wahrscheinlich von der Art und Weise der Nutzung wissenschaftlicher Instrumente im Physikunterricht. Hier werden Daten und Evidenz meist direkt aus Beobachtungen gebildet, **OHNE Probleme bei der Beobachtung zu diskutieren, alternative Interpretationen zu thematisieren oder gar die Verlässlichkeit der Untersuchungsmethode oder**

des Instruments anzuzweifeln. All dies ist aber ausgesprochen **typisch für den realen Prozess der naturwissenschaftlichen Erkenntnisgewinnung.**

BEVOR allerdings die Nutzung der Instrumente im speziellen untersucht wird, sollte ein wichtiger Punkt klar geworden sein, der die o.g. Funktionen wissenschaftlicher Instrumente **ergänzt**: Der Experimentator holt sich „ein Stück Natur“ (= Elektrizität) ins Labor, wo er es am oder mit dem Instrument untersuchen will.

Dort macht er dieses Stück Natur durch Optimierung des Instruments und der eigenen Arbeitsweisen **einfacher, regelmäßiger und leichter zu manipulieren** (oder erzeugt ihn überhaupt erst, z.B. Quantenteleportation)

Und wenn im Prozess des Forschens plötzlich ein neuer Effekt (wie die Abstoßung) auftritt, der in der Natur so nicht beobachtbar war, so fasst man dies auf als **Realisierung von potentiell in der Natur Möglichem** (das Labor und die Geräte sind schließlich auch ein Stück Natur...).

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 Aktivitäten, die Lernen über Erkenntnisgewinnung und die Natur der Naturwissenschaften fördern sollen, sollten sich an die grundlegenden Ideen der Reflection Corner anlehnen, denn:

Viele Untersuchungen haben gezeigt, dass diese Art von Wissen nicht nebenbei in sonst gut gemachten, inhaltsbasierten Unterrichtsphasen erworben wird!

Die zu lernenden Konzepte der Erkenntnisgewinnung müssen offengelegt und bezogen auf ganz konkrete Unterrichtshandlungen reflektiert und diskutiert werden.

Ein Weg, auf dem das effektiv geschehen kann, zeigt diese Methode auf:

Alle Infos dazu gibts hier...

9. Pädagogisch-didaktische Kompetenzen

Das **Moderieren offener Schüleraktivitäten und Diskussionen**, wie hier zur Qualität wissenschaftlicher Instrumente und in den Reflektionsphasen, mag zuerst Unsicherheit erzeugen. Derartige Aktivitäten lassen sich gut durch schriftliche oder mündliche Hilfen unterstützen, nach denen SchülerInnen im Bedarfsfall fragen.

Offene Diskussionen treten im naturwissenschaftlichen Unterricht seltener auf, als bspw. im Sprachunterricht.

Eine Diskussion kann man moderieren, wenn der Lehrer/ die Lehrerin **Schülerideen aufnimmt** und **strukturiert** sowie **zu weiteren Lösungsvorschlägen oder Kommentaren zu Zwischenergebnisse auffordert**. Nur minimale Lenkung wird empfohlen. Die **grafische Darstellung und Strukturierung** wirkt unterstützend.

Erst nach Abschluss dieser Darstellung haben alle SchülerInnen die Gelegenheit **das Ergebnis zu kommentieren oder abzuändern**.

Im letzten Schritt kann nutzt der Lehrer/ die Lehrerin diese Ergebnissen als Arbeitsgrundlage, um sie

- zu **vertiefen** ("was bedeutet "genau sein" bei Instrumenten?"),
- zu **vervollständigen** ("können Instrumente beliebig teuer sein?", "Sind Instrumente nur zum Messen da?"),
- auf Fehlvorstellungen hinweisen/zu **hinterfragen** ("Gibt es wissenschaftliche Forschung ohne Instrumente?")
- oder **Falsches als solches von allen anerkennen zu lassen**.

Mit diesem Ablauf kommt man weg vom bekannten Lehrer-Schüler-Dialog, in welchem die SchülerInnen erfahrungsgemäß ihre Rolle häufig darin sehen, die einzig richtige, versteckte, Antwort auf Lehrerfragen zu finden und notfalls zu raten.

10. Research evidence

siehe Punkt 8.

11. Literatur & Quellennachweise

[A] Homepage of the Otto-von-Guericke-Society:

<http://www.uni-magdeburg.de/org/ovgg/welcome.html>

[1] Guericke, Otto von (1994). The new (so-called) Magdeburg experiments of Otto von Guericke. Dordrecht [u.a.]: Kluwer Acad. Publ.

[2] Monumenta Guericiana: Magazine of the Otto-von-Guericke-Gesellschaft e.V. / [edited by the President of the Otto-von-Guericke-Society], (26), Issue No. 3, Magdeburg 1996

[3] Priestley, Joseph. The History and Present State of Electricity, with original experiments. London: Printed for J. Dodsley, J. Johnson and T. Cadell, 1767. (Third edition, 1775 at Google Books)

[4] I. Bernard Cohen (1951). Guericke and Dufay. Annals of Science, Volume 7, Issue 2, Pages 207 – 209