

Michael Faraday und die Feldtheorie

Über die Schwierigkeiten der Durchsetzung einer
neuen naturwissenschaftlichen Theorie

Zum Beitrag Michael Faradays an der Entwicklung der Feldtheorie

Mein Name ist Jochen Sicars. – j.sicars@t-online.de

Labor-Romantik in England Anfang des 19. Jahrhunderts

Michael Faradays Arbeitsräume in der Royal Institution of Great Britain (RI) in London

Hier arbeitete Faraday 49 Jahre, von März 1813 bis März 1862 (vom 21. bis zum 70. Lebensjahr).



Arbeitszimmer Faradays



Arbeitstisch Faradays (Faraday Museum)



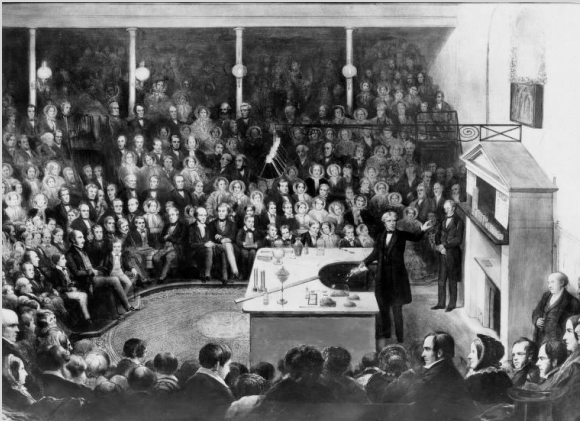
Laboratorium Faradays in der Royal Institution (Aquarell 1852 von Harriet Moore)

Quelle: Royal Institution – <http://www.rigb.org/our-history/michael-faraday/>

Faradays Lebensleistung: 49 Jahre an der Royal Institution (RI)



Freitagabendvorlesung Faradays 1846

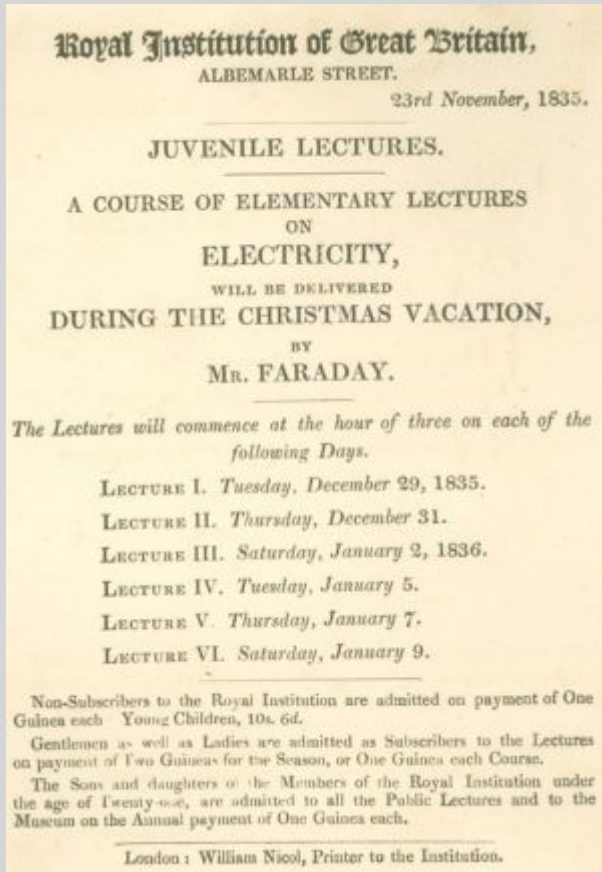


Weihnachtsvorlesung 1856 (mit Prinz Albert)

- 1813 Beginn** (März) als Laborgehilfe an der RI mit 21 Jahren
 4 000 Seiten Tagebuch mit 16 000 Eintragungen
 30 000 Experimente und 450 wissenschaftliche Artikel
 5 053 Briefe im Rahmen seiner wissenschaftlichen Korrespondenz¹
 36 Jahre (1826-1862) ca. 126 **Freitagabendvorlesungen** in der RI
 34 Jahre (1825-1861) **Weihnachtsvorlesungen** mit je 6 Lektionen für Kinder und Jugendliche (Christmas Lectures)
 23 Jahre (1829-1852) jährlich 25 Vorlesungen an der Militäarakademie in Woolwich
 95 Ehrentitel und Auszeichnungen
 1827 **Ablehnung einer Professorenberufung** an die **University of London**
 1848 und 1858 **Ablehnung der Präsidentschaft der Royal Society**
- 1821 Elektromagnetische Rotation (Faraday-Motor) nach Oersted (1820)
1831 Elektromagnetische Induktion (Faraday-Generator)
 1833 **Faradaysche Gesetze** zur Elektrolyse
 1836 Faraday-Käfig • 1840-1844 **Laborpause** wg. gesundheitlicher Probleme
 1845 Faraday-Effekt: **Magnetfeld wirkt auf Licht** • zunehmend **spekulative** Artikel
 1846 Entdeckung des **Diamagnetismus** ($\mu_r < 1$: Wismut, Gold) und zunehmende Verwendung des **Kraftlinienbegriffs**
- 1862 Letztes Experiment** in der RI am 12. März 1862 im Alter von 70 Jahren
 1867 starb Faraday am 25. August in seinem Haus in Hampton Court

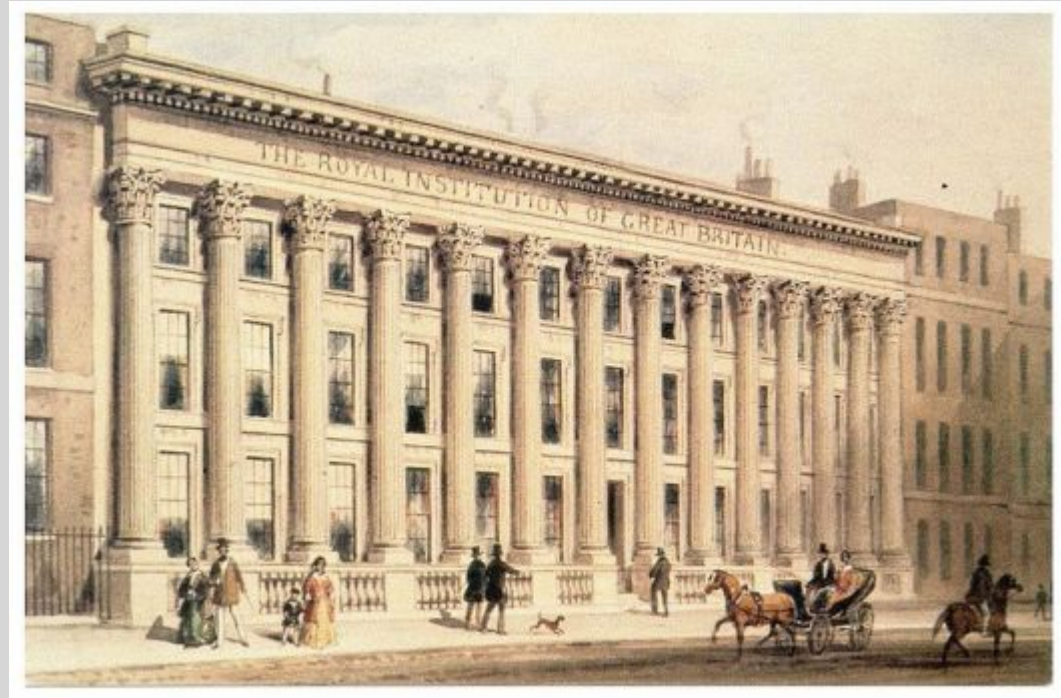
¹ Vgl. Royal Institution: <http://www.rigb.org/our-history/michael-faraday/michael-faraday-correspondence>

Royal Institution of Great Britain (Ri)



Programm der Weihnachtsvorlesung Faradays im Winter 1835/36

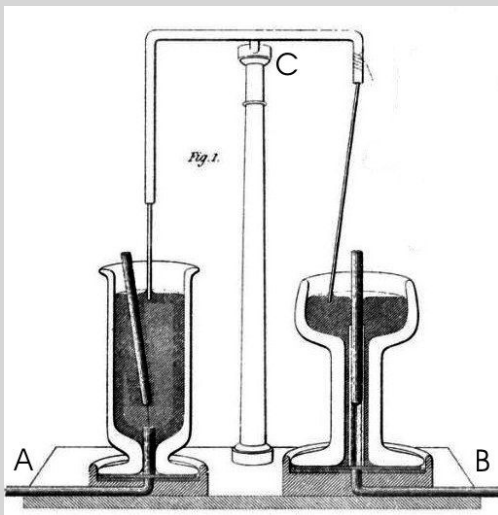
¹ James, Frank: Guides to the Royal Institution of Great Britain : 1 History, London o.J., S. 3.



Aufgabe der Royal Institution

Gründung 1799 auf Betreiben von Graf Rumford. Mit privaten Mitteln unterhaltene öffentliche »Institution zur **Verbreitung des Wissens** und zur Erleichterung der allgemeinen Einführung von nützlichen mechanischen Erfindungen und Verbesserungen sowie zur Unterrichtung durch **Kurse mit philosophischen Vorträgen und Experimenten der angewandten Wissenschaft** für alltägliche Zwecke des Lebens.«¹

Lebenslauf Michael Faraday



Faradays elektromagnetischer Rotationsapparat von 1821

- 1791** **Geboren** am 22. Sept. in Newington Butts (heute südl. Stadtteil Londons) als Sohn eines Grobschmieds (Vgl. Tyndall (1870), S. 2 f. u. S. 163 ff.)
- 1798 (ca.) **Elementarschule:** Lesen • Schreiben • Rechnen (keine Mathematik!)
- 1804 **Laufbursche** bei Buchbinder George Ribeau (Vgl. Tyndall (1870), S. 164)
- 1805 7-jähriger Lehrvertrag als **Buchbinderlehrling** bei George Ribeau
- 1812 **Buchbindergeselle** bei Henri De La Roche (409 wiss. Mitschriften!)
- 1813 **Laborgehilfe** an der Royal Institution (RI) bei Sir Humphrey Davy
- 1813-15 **Reise** als Gehilfe und **Diener** von Davy u.a. nach Frankreich und Italien
- 1816 Erste Veröffentlichung und Vorlesungen vor Freunden in der RI
- 1820 Experimente zum Elektromagnetismus nach der Oersted-Entdeckung
- 1821 **Heirat** mit Sarah Barnard (Die Ehe blieb kinderlos.)
- Elektromagnetischer Rotation – Vorwurf der wiss. Unredlichkeit**
Dr. William Wollaston und später Humphrey Davy. (Vgl. Tyndall (1870), S. 188 ff.)
- 1824 Wahl in die **Royal Society gegen das Votum von Davy**, regelmäßige Vorlesungen an der Royal Institution (Vgl. Tyndall (1870), S. 195 ff.)
- 1825 **Direktor des RI-Laboratoriums:** erstmals gutes Einkommen von ca. 300 Pfund pro Jahr (Stahlarbeiter damals ca. 100 Pfund, Lehrer 40 Pfund)
- 1831** **Elektromagnetische Induktion:** Internationaler Durchbruch
- 1833 John-Fuller-**Stiftungsprofessor** für Chemie an der RI
- 1836 Wissenschaftl. Berater am **Trinity House** (staatl. Leuchtfeuerverwaltung)
- 1840 **Erste gesundheitliche Probleme:** Gedächtnisschwund, Schwindel u.a. durch Überarbeitung und Anzeichen von Quecksilbervergiftung (Tyndall, S. 72 ff.)
- 1865 **Ruhestand:** Aufgabe der Tätigkeit in der RI und dem Trinity House
- 1867** **Gestorben** am 25. August in seinem Haus in Hampton Court (SW London)

Europareise Faradays mit Sir Humphrey Davy 1813-1815

Begegnungen u.a. mit André-Marie **Ampère** und Joseph Louis **Gay-Lussac** in Paris, Alessandro **Volta** in Pavia und Gaspard **de la Rive** in Genf.

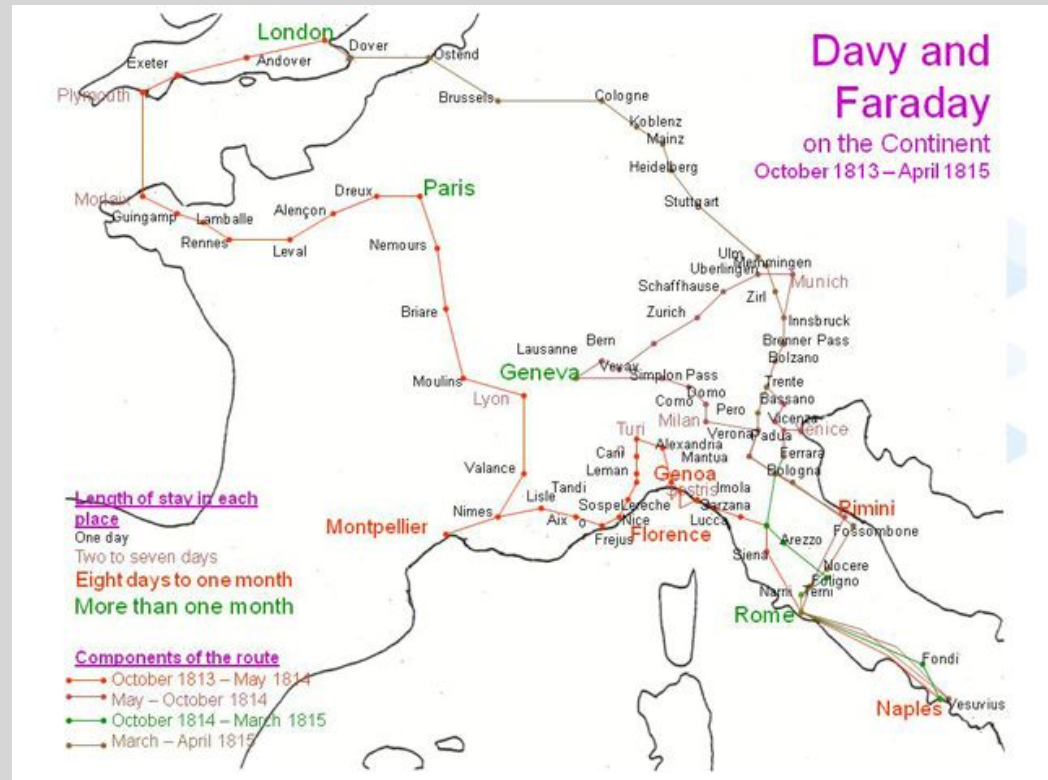
Demütigungen:

In Genf waren Davy und Faraday von de la Rive, der Faraday sehr geschätzt hatte, zum Essen eingeladen. **Davy lehnte es ab, »an einem Tisch mit Faraday zu speisen,** worauf de la Rive gesagt haben soll, dann müsse er eben zwei Essen geben.«¹

»Seine Stellung als Sekretär ... und Kammerdiener war anfänglich keine sehr glückliche und brachte ihm mancherlei persönliche Kränkung ein. ... So hatte **Lady Davy Freude daran, ihre Autorität zu zeigen und ihn zu demütigen.**«²

Faradays Zwischenbilanz seiner Reise:

»Ich glaube, wenn ich England wieder betrete, werde ich es nie wieder verlassen; denn ich finde Dinge in der Nähe besehen so anders, als ich voraussetzte, daß ich **London sicherlich niemals verlassen hätte,** wenn ich alles was vorgefallen ist, hätte voraussehen können.«³



Route der **Europareise** Faradays mit Humphrey Davy von 1813-1815

¹ Emmerich (1991), S. 51. Vgl. auch Tricker, R.A.R.: Die Beiträge von Faraday und Maxwell zur Elektrodynamik (1974), S. 26. ² Schütz (1982) S. 17. ³ Faraday an seinen Freund Benjamin Abbott am 6.9.1814 zit. nach Schütz, ebenda.

Nach dem Rußlandfeldzug Napoleons beginnen 1813 die **Befreiungskriege** u.a. von Österreich, England und Preußen gegen Frankreich; **Waterloo 1815**.

Michael Faraday und Ada Lovelace

Über die Beziehung zwischen Faraday und Ada Lovelace

»1844, mit gerade 28 Jahren begann Ada Lovelace einen k oketten Briefwechsel mit dem größten Experimentator Englands, Michael Faraday (damals 53) und **empfahl sich ihm als seine Muse und feengleiche Elfendame**. ... Vielleicht ist es Adas Schmeicheleien zu verdanken, dass er einen Schritt weiter ging und in einem eleganten Beweis aufz eigte, dass der E lektromagnetismus selbst in engstem Zusammenhang mit dem Licht steht.«¹



Lady Ada Lovelace
1815-1852

Gemälde von A. E.Chalon 1840

Ada Lovelace in einem Brief an Michael Faraday (1844):

»Ich werde der schöne Geist sein, der in Farbe und Beredsamkeit erglüht, wenn Sie mir ein solches empfehlen. Doch sodann werde ich ein kleiner stiller grauer Vogel an Ihrer Seite, und will Sie freundlich mich lehren lassen, wie ich Sie kennenlernen und Ihnen hilfreich sein kann. Doch mein Z auerberstab ist mit Vergnügen der Ihre, und in Ihre Hände lege ich ihn zu Ihrem Gebrauch.«²

Jean-Baptiste Dumas (1800-1884, französ. Chemiker) über Faradays Charakter

Michael Faraday, Humphrey Davys »chemischer Assistent, hat lange bevor er durch seine eigenen Arbeiten zur Berühmtheit gelangte, sich durch **Bescheidenheit, Liebenswürdigkeit** und **Klugheit** viele Freunde in Paris, Genf und Montpellier erworben. ... Davy haben wir bewundert, **Faraday aber haben wir geliebt**.«³



Michael Faraday
1791 – 1867

Gemälde von Th. Phillips 1842

¹ Johnson, George (2009), S 86. ² ebenda. Vgl. auch Bönt, Ralf (2009), S.236 ff. sowie Emmerich (1991), S. 169 f. ³ Dumas, zit. nach Schütz (1982), S. 58. Vgl. auch Tyndall (1870), S. 34 ff. und S.141 ff.

Kurzer Filmbeitrag über Michael Faraday (ca. 4 min)

»Michael Faraday und der Strom aus Magneten« aus der ARD-Reihe »Meilensteine von Naturwissenschaft und Technik« (15 min – Im Internet abrufbar: <https://www.youtube.com/watch?v=NS4hIrM0q2I>)



Technik und Wissenschaft im Entwicklungszusammenhang von M. Faradays Werk

Wissenschaft im Entwicklungskontext Faradays

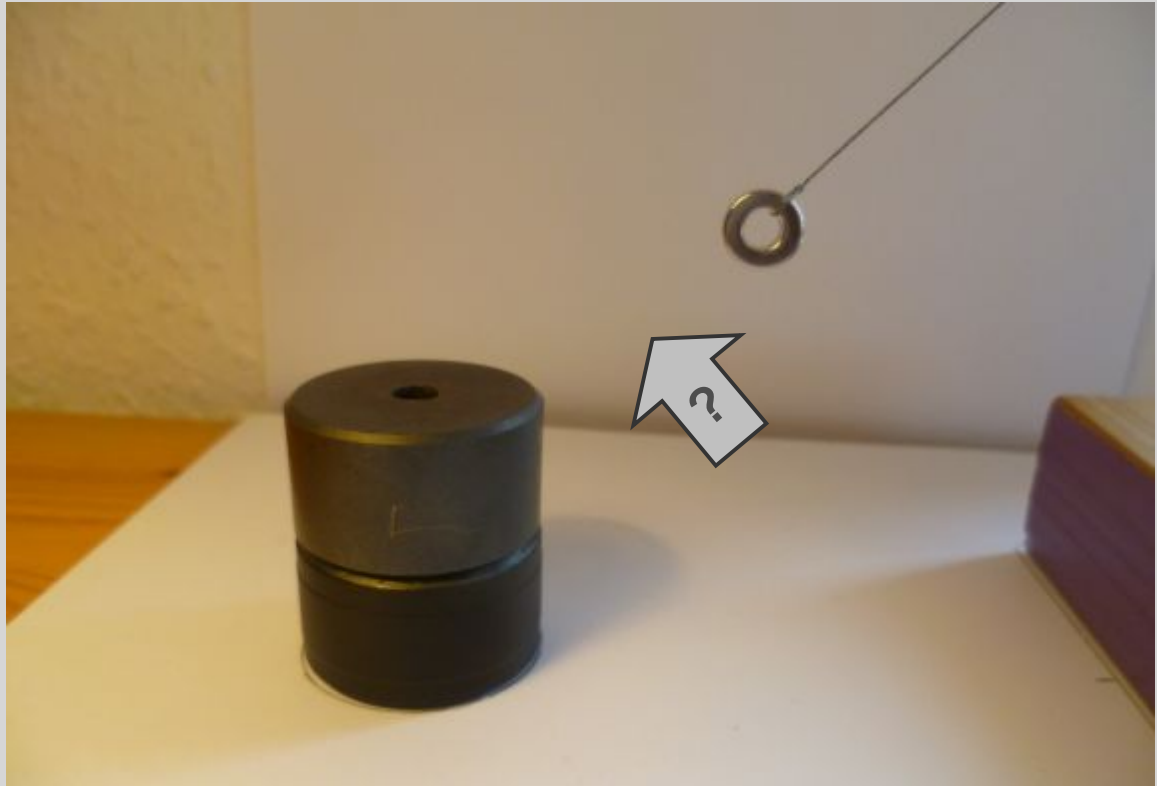
- 1638 Galilei: Kinematik • Trägheit • Relativität
- 1686 Newton: Mechanik-Theorie • Kraftgesetz für Massen
- 1785 Coulomb: Kraftgesetz für elektrische Ladungen
- 1782 Kant: Erkenntnis über Wahrnehmung und Denken
- 1803 Schelling: Einheit der Naturkräfte** (Dynamismus)
- 1820 Oersted: Elektrizität ⇒ Magnetismus**
- 1820 Ampère: Strombegriff und Elektromagnetismus
- 1827 Ohm: Gesetz über Strom und Spannung
- 1831 Faraday: Magnetismus ⇒ Elektrizität (Induktion)**
- 1845 Kraftlinien-Begriff**
- 1840 Joule: Gesetz über Stromwärme
- 1845 Mayer: Energieerhaltungssatz
- 1859 Darwin: Evolutionstheorie
- 1865 Maxwell: Theorie der Elektrizität • Verschiebungsstrom • Elektromagnetische Wellen** (1873: »A Treatise ...)
- 1867 Marx: Analyse der inneren Bewegungsgesetze der kapitalistischen Produktionsweise (Das Kapital)
- 1886 Hertz: Nachweis elektromagnetischer Wellen**
- 1887 Ätherwind-Experiment von Michelson und Morley
- 1905 Einstein: **Spezielle Relativitätstheorie** knüpft an die **Elektrodynamik von Faraday und Maxwell** an

Technik im 18. und 19. Jahrhundert

- 1764 Spinnmaschine »Spinning Jenny« von James Hargreaves
- 1765 Niederdruck-**Dampfmaschine von James Watt** (Glasgow)
- 1769 Spinnmaschine mit Wasserkraftantrieb von Richard Arkwright
- 1785 Mechanischer Webstuhl von Edmond Cartwright
- 1800 Hochdruck-Dampfmaschine von Richard Trevithick
- 1803 Schienenlokomotive von Richard Trevithick
- 1808 Elektrische Lichtbogenlampe von Humphrey Davy
- 1821 Elektromotor-Prinzip** (Faraday-Motor)
- 1831 Induktion: Dynamo- und Transformator-Prinzip** (Faraday-Gen.)
- 1833 Schreibtelegraf Wilhelm Weber u. Carl Friedrich Gauß
- 1835 Elektromagnetisches Relais von Joseph Henry
- 1836 Faradayscher Käfig von Michael Faraday**
- 1837 Elektrischer Telegraph William Cooke u. Charles Wheatstone
- 1850 Internationales Unterseekabel Jacob u. John Brett
- 1854 Glühlampen-Prinzip von Heinrich Goebel
- 1861 Schallfernübertragung (Fernsprecher) von Johann Philipp Reis
- 1866 Elektrodynamischer Generator mit Selbsterregung von Henri Wilde, Werner v. Siemens, Charles Wheatstone**
- 1879 Elektrische Glühlampe von Thomas Alva Edison
- 1897 Marconi: Übertragung elektromagnetischer Wellen über 4 km

Achtung! – Physik!

1. Experiment: Anziehung zwischen zwei Dauermagneten



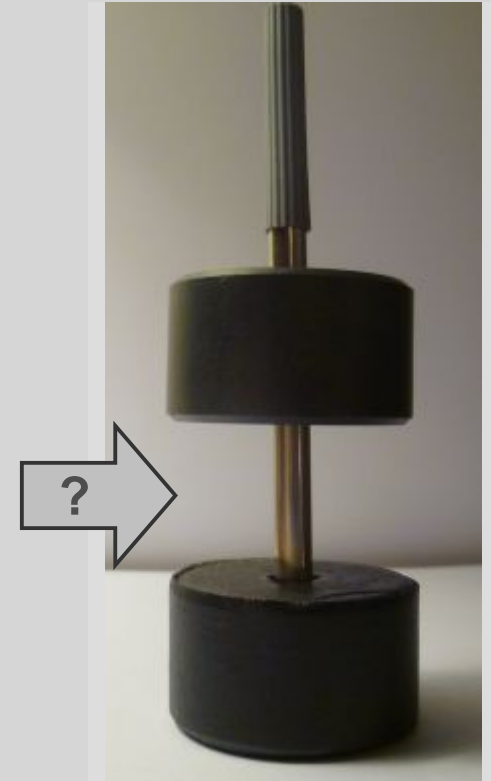
Experimentelle Erfahrung (Faraday 1851 u.a.)¹
Die **Anziehung** zwischen den Magneten erfolgt **auch im Vakuum!**

¹ Vgl. Lemmerich (1991), S. 194 und Südbeck (1988), S. 40.

Was ist in dem Raum zwischen den Magneten?

1. nichts außer Luft (Anhänger Newtons, nach 1667)
2. magnetisches Fluidum (u.a. Ampere, 1820)
3. magnetische Kraftlinien (Faraday ab ca. 1823)

2. Experiment: Abstoßung zwischen zwei Dauermagneten



Auch hier gilt die experimentelle Erfahrung
(Faraday u.a.)

Die **Abstoßung** zwischen den Magneten erfolgt
auch im Vakuum!

Und auch hier die Frage: **Was ist in dem Raum zwischen den Magneten?**

1. nichts außer Luft (Anhänger Newtons, nach 1667)
2. magnetisches Fluidum (u.a. Ampere, 1820)
3. magnetische Kraftlinien (Faraday ab ca. 1823)

Gemeinsamkeit: Ursache und Wirkung der Kräfte sind räumlich voneinander entfernt.

Masse 1 **zieht** Masse 2 an,
d.h. Masse 2 wird **beschleunigt**
bis sich ein neuer Gleichgewichtszustand einstellt.

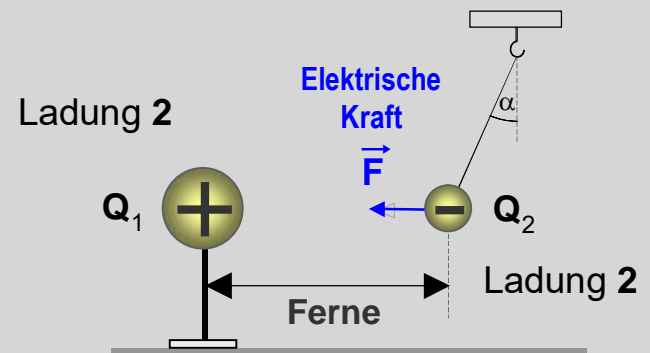
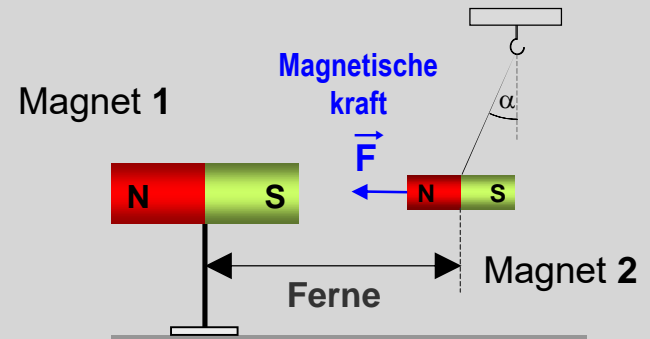
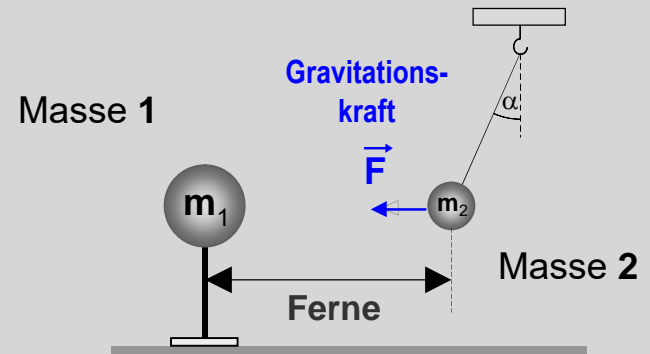
Gravitation

Magnet 1 **zieht** Magnet 2 an,
d.h. Magnet 2 wird **beschleunigt**
bis sich ein neuer Gleichgewichtszustand einstellt.

Magnetismus

Ladung 1 **zieht** Ladung 2 an,
d.h. Ladung 2 wird **beschleunigt**
bis sich ein neuer Gleichgewichtszustand einstellt.

Elektrizität



Nachtrag: Wie das neue Gleichgewicht entsteht ($\Sigma \vec{F} = 0$)

Zur erkenntnistheoretischen Bedeutung dieser Darstellung:

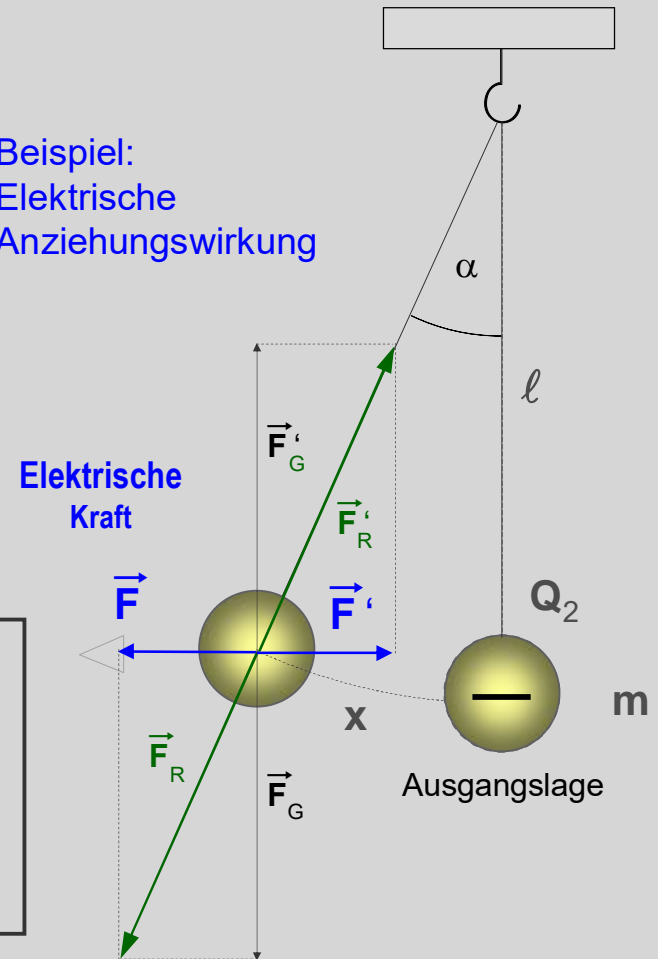
1. Sie unterstreicht noch einmal die Relevanz der **Newton-schen Theorie** als logische und historische Voraussetzung der Feldtheorie.
2. Diese Anordnung kann mit einer punktförmigen Ladung prinzipiell zur quantitativen Bestimmung der **elektrischen Kraft** mit Hilfe der gemessenen Werte von α (aus x und l) und F_G (aus m und g) verwendet werden. Diese Messung der elektrischen Kraft ist für die experimentelle Bestimmung der **elektrischen Feldstärke E** eine notwendige Voraussetzung.

Elektrische Feldstärke $E = \frac{F_{el}}{Q}$

Die experimentelle Bestimmung der elektrischen **Ladung Q** ist prinzipiell mit Hilfe des **Coulombschen Gesetzes** (übernächste Folie!) möglich. Darin liegt auch dessen historische Bedeutung für die Entwicklung des Ladungsbegriffs als quantitativ bestimmbare physikalische Größe begründet.

- \vec{F} ... elektrische Kraft
- \vec{F}_G ... Gravitationskraft
- \vec{F}_R ... resultierende Kraft
- \vec{F}'_R ... Reaktionskraft im Faden
- \vec{F}' ... Gegenkraft zu \vec{F}
- \vec{F}'_G ... Gegenkraft zu \vec{F}_G

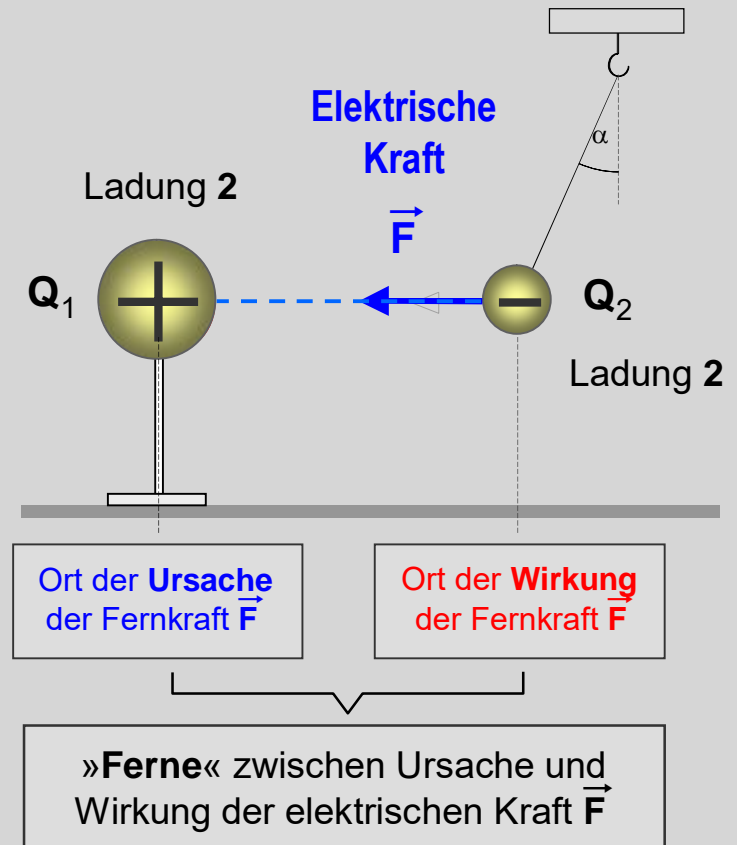
Beispiel:
Elektrische Anziehungswirkung



Nach der im 18. Jhdt. von Anhängern Newtons wie Coulomb, Biot, Savart u.a. vertretenen **Fernwirkungstheorie** sind folgende **Eigenschaften von Fernkräften** zu unterscheiden¹:

1. **Ursache** und **Wirkung** von Fernkräften treten an verschiedenen, **voneinander entfernten Orten** auf.
2. Die Fernkraft erscheint **gleichzeitig** an **verschiedenen Orten**, nämlich dem Ort ihrer **Entstehung** (Körper mit der Ladung Q_1) und dem Ort ihrer **Wirkung** (Körper mit der Ladung Q_2). Sie wirkt **instantan** am anderen Ort.
Schlußfolgerung: Ihre **Ausbreitungsgeschwindigkeit** ist **unendlich groß**.
3. Die Ausbreitung einer Fernkraft erfolgt stets **geradlinig**, also auf dem **kürzesten Weg** zwischen dem Ort ihrer Entstehung und dem Ort ihrer Wirkung.
4. Es gibt **keinen Übertragungsmechanismus**, der die Fernkraft vom Ort ihrer Entstehung zum Ort ihrer Wirkung überträgt, d.h.: der Raum zwischen den Ladungen ist an der Übertragung der Fernkraft nicht beteiligt.

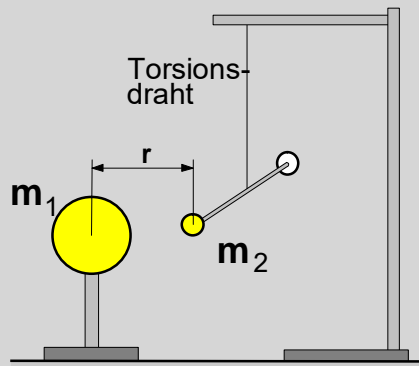
Erläuterungen zur sog. »Fernkraft« am Beispiel der Elektrischen Anziehung



¹ Newton selbst hat diese Theorie nicht vertreten: »Hypothesen erdenke ich nicht.«, war seine Antwort in dieser Sache. Newton, a.a.O. S. 511. Vgl. auch Hermann, Armin: Weltreich der Physik, Frankfurt a.M. 1983, S. 63.

Zwei empirische Gesetze zur Berechnung von Fernkräften

► **Mechanik** : Fernwirkung zwischen Massen



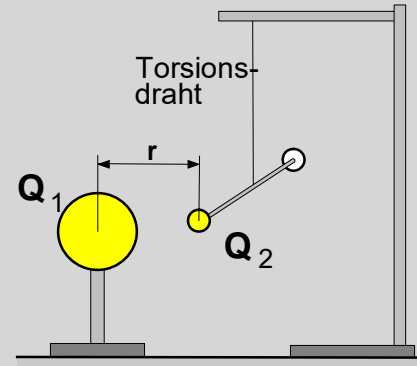
Mechanische
Drehwaage
(Prinzip)

Gravitationskonstante:
 $\gamma = 6,67 \cdot 10^{-11} \frac{\text{m}^3}{\text{kg} \cdot \text{s}^2}$

Gravitationsgesetz von Newton

Mechanische Kraft F zwischen zwei Körpern mit den **Massen m₁** und **m₂** :

► **Elektrik** : Fernwirkung zwischen Ladungen



Elektrische
Drehwaage
(Prinzip)

Konstante:

$$K = \frac{1}{4 \cdot \pi \cdot \epsilon_0}$$

$$K = 9,0 \cdot 10^9 \frac{\text{N} \cdot \text{m}^2}{\text{C}^2}$$

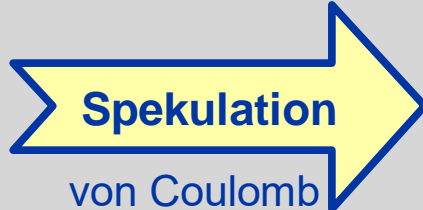
Coulombsches Gesetz

Elektrische Kraft F zwischen zwei Körpern mit den **Ladungen Q₁** und **Q₂** :



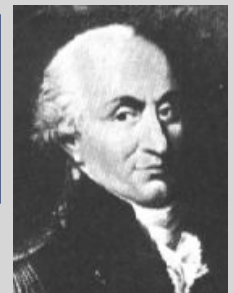
$$F = \gamma \cdot \frac{m_1 \cdot m_2}{r^2}$$

Isaac **Newton** (1666)



$$F = K \cdot \frac{Q_1 \cdot Q_2}{r^2}$$

Charles A. **Coulomb** (1785)



- **1. Beobachtung im Experiment:** Das **Isoliermaterial in dem Raum** zwischen zwei elektrisch geladenen Körpern beeinflusst die Größe der elektrischen Kraft zwischen den beiden Ladungen.

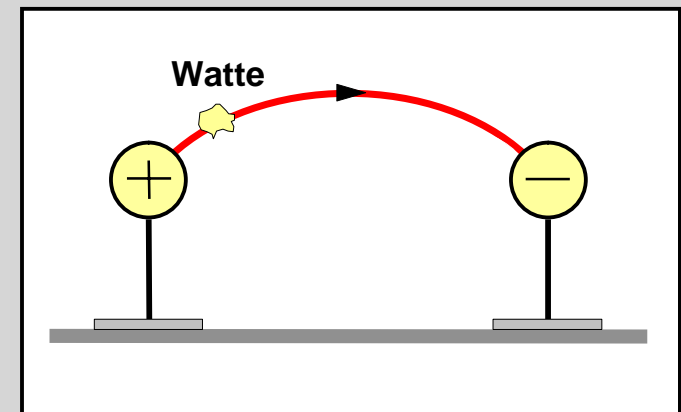
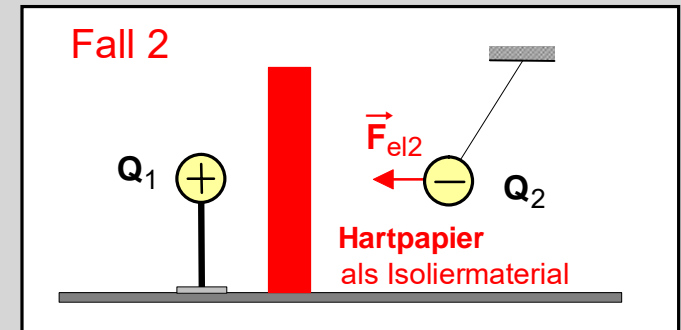
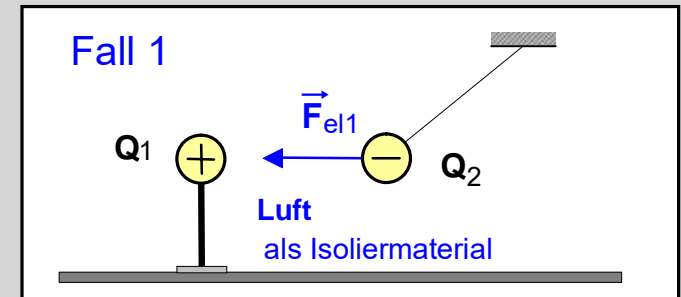
Für unser **Fallbeispiel** ergäbe sich:

$$F_{el2} < F_{el1}$$

- **Schlußfolgerung Faradays:** Der **Raum** zwischen den elektrischen Ladungen **muss an der Übertragung der elektrischen Kraft** vom Ort ihrer Ursache zum Ort ihrer Wirkung **beteiligt sein**.

- **2. Beobachtung im Experiment:** Elektrische Kräfte wirken nicht nur entlang gerader Linien auf geladene Körper und breiten sich daher **nicht nur geradlinig aus**, wie es die Fernwirkungstheorie behauptet, sondern auch auf » **krummen Linien**«.

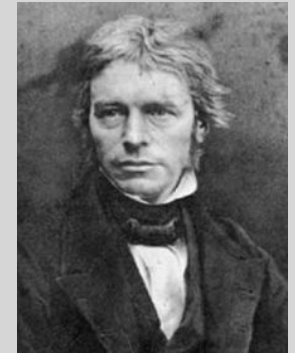
- **Schlußfolgerung:** Elektrische Kräfte überspringen den Raum zwischen dem Ort ihrer Ursache und dem Ort ihrer Wirkung **nicht geradlinig mit unendlich großer Geschwindigkeit**, sondern werden in dem Raum **von Raumpunkt zu Raumpunkt mit einer endlichen Geschwindigkeit** übertragen.



Philosophisch-spekulativer Einwand Faradays

- »**Fernkräfte**« sind für Faraday wie schon zuvor für den Physiker Christian Huygens der »**Gipfel der Unvorstellbarkeit**«, denn von ihnen wird behauptet, sie könnten **gleichzeitig** (instantan) an zwei verschiedenen Orten sein, dem Ort ihrer Ursache und dem Ort ihrer Wirkung. Selbst für Newton waren sie eine »große Absurdität«. ¹
- In Anlehnung an den sog. »**Dynamismus**« in der Naturphilosophie **Friedrich Schellings** war Faraday vielmehr der Überzeugung, es gäbe so etwas wie eine »**Einheit der Naturkräfte**« ².
- Von daher müsse, so die Schlussfolgerung Faradays, konsequenterweise angenommen werden, dass auch bei den elektrischen Erscheinungen **Ursache und Wirkung stets eine räumliche Einheit** bildeten.
- Dazu eine Einschätzung des Physikhistorikers Armin Hermann:

»In den Händen von Michael Faraday wurde diese philosophische Spekulation vollends zu einem Zauberstab. Der Dynamismus führte zur Entdeckung wichtiger Effekte wie zur Formulierung des Energieprinzips.«³



Michael Faraday
1791 – 1867

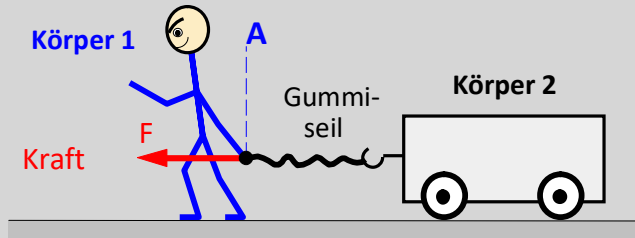


Friedrich Schelling
1775 – 1854

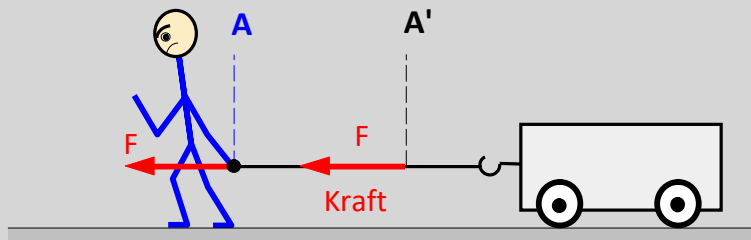
¹ Faraday bezog sich dabei stets auch auf Newton. Vgl. Tyndall (1870), S. 64. ² Hermann, Armin (1983), S. 129. ³ ebenda, S. 14.

In einer **ersten Annäherung** an die **Nahewirkungstheorie Faradays** betrachten wir die

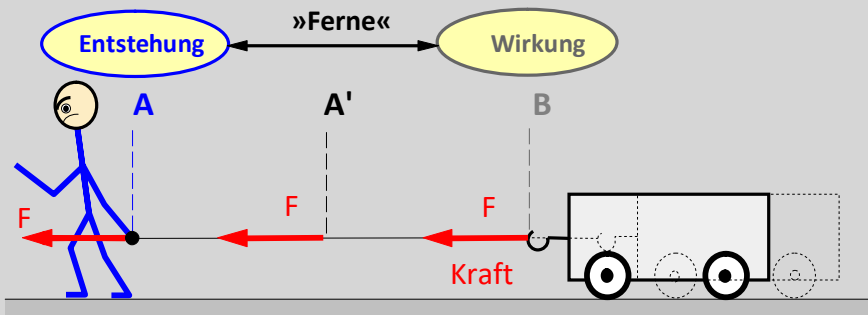
- Mechanische Wechselwirkung zwischen zwei Körpern, die durch ein Gummiseil verbunden sind.



- ▶ Das Gummiseil ist **noch nicht gespannt**.
- ▶ Die (Muskel-) **Kraft F** entsteht im **Punkt A** (Ort der **Entstehung** der Kraft).



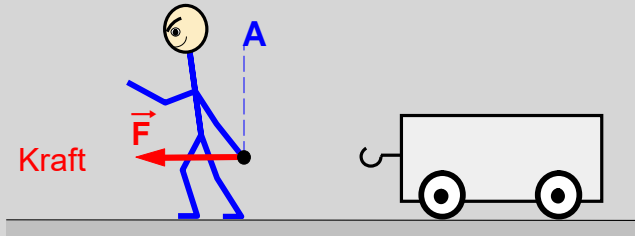
- ▶ Das Gummiseil ist »halb« **gespannt**, der Körper bleibt noch im Ruhezustand.
- ▶ Die **Kraft F** indessen ist **bis Punkt A'** durch das Seil »gewandert«.



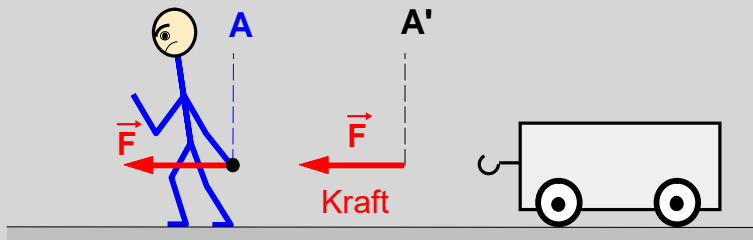
- ▶ Das Gummiseil ist jetzt »voll« gespannt und der Körper bewegt sich.
- ▶ **Fazit:** Die **Kraft F** ist durch das Seil vom **Entstehungsort A** zum **Wirkungsort im Punkt B** übertragen worden.

Eine **zweite Annäherung** an die **Nahewirkungstheorie von Faraday**

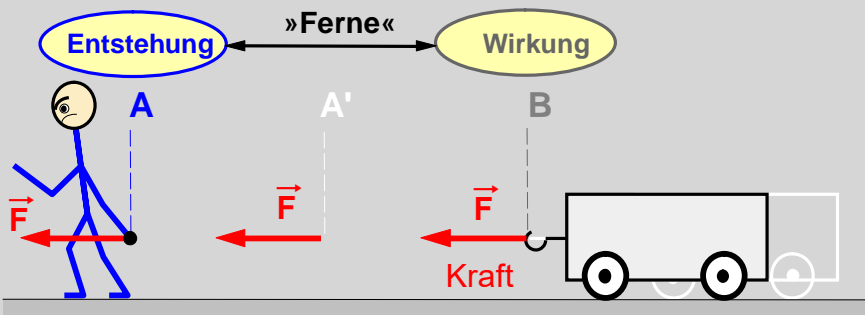
- Übertragung einer Kraft durch eine (unsichtbare) »**Kraftlinie**« (line of force).



- ▶ Die (Muskel-) **Kraft F** entsteht im **Punkt A** (Ort der **Entstehung** der Kraft).
- ▶ Die »Kraftlinie« ist **noch nicht gespannt**.



- ▶ Die »Kraftlinie« ist »**halb**« **gespannt**, der Körper bleibt noch im Ruhezustand.
- ▶ Die **Kraft F** indessen ist entlang der »Kraftlinie« **bis Punkt A'** »gewandert«.



- ▶ Die »Kraftlinie« ist jetzt »**voll**« **gespannt** und der Körper bewegt sich.
- ▶ **Fazit:** Die **Kraft F** ist entlang der »Kraftlinie« vom **Entstehungsort A** zum **Wirkungsort B** von Punkt zu Punkt übertragen worden.

Faradays **Experiment** zu Veranschaulichung von elektrischen Feldlinien

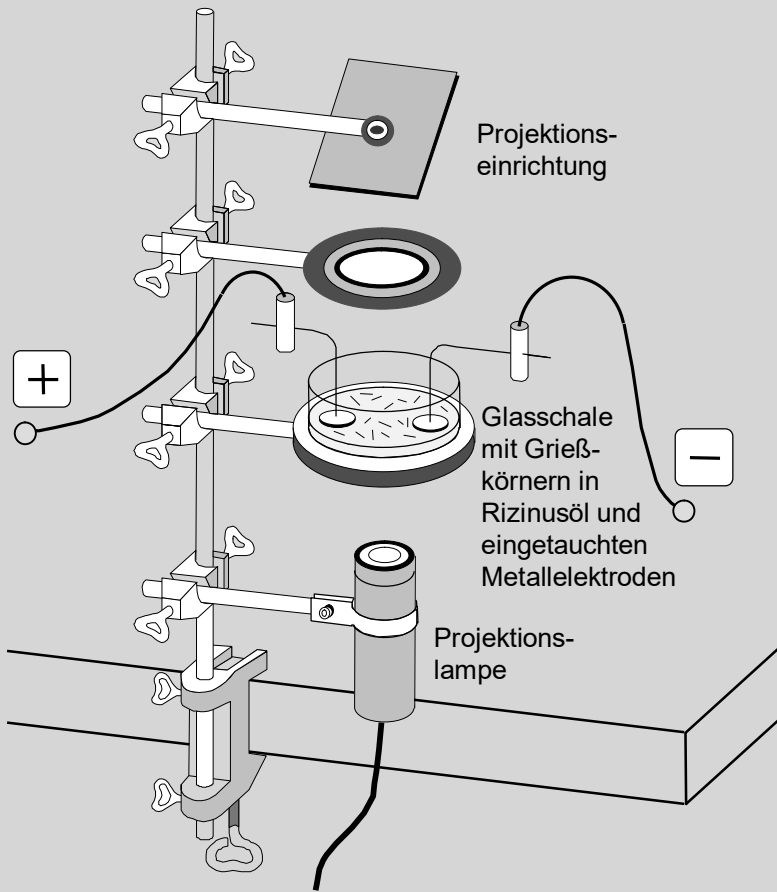


Bild 1 : Geräteanordnung des Experiments

Wahrnehmung:

Körner richten sich aus

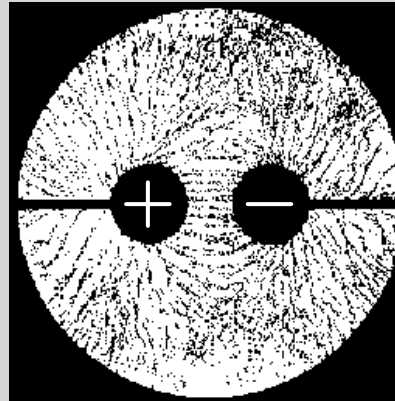


Bild 2 : Grießkörnerbild entsteht im Experiment

Denken:

Linien durch die Körner

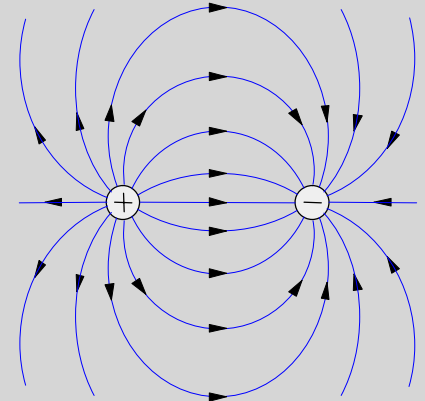


Bild 3 : Feldlinienbild entsteht im Kopf

Vernunft: Ursache des Grießkörnerbildes ist das elektrische Feld

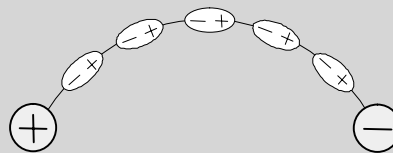
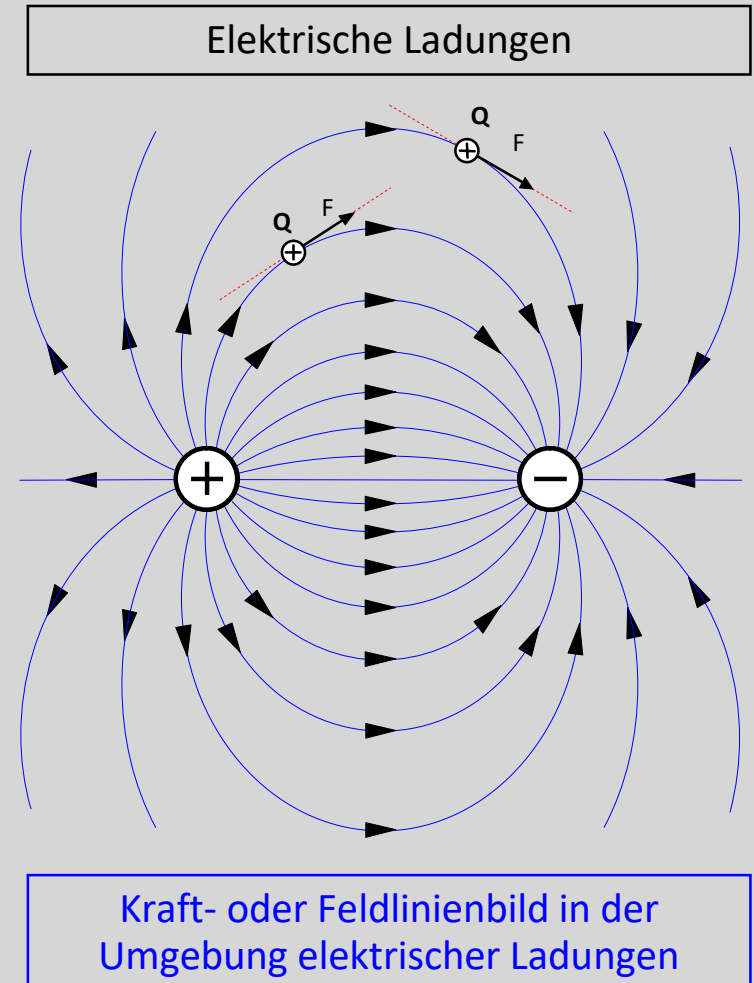


Bild 4 : Ausrichtung der Körner durch das el. Feld

Durch das **elektrische Feld** ändert sich in den Grießkörnern die Verteilung der dort vorhandenen Ladungen (Polarisation). Dadurch werden die **Grießkörner zu elektrischen Dipolen**. Die entgegengesetzten Ladungen benachbarter Dipole ziehen sich an und reißen sich so kettenförmig aneinander.

• Die Feldlinien-Modell von **Michael Faraday** und **James Cl. Maxwell**

- ▶ Das **elektrische Feld** ist der Raum, der elektrisch **geladene Körper** umgibt. Es kann auch im materielosen Raum (Vakuum) existieren.
- ▶ Das **elektrische Feld** ist nicht an Materie gebunden, ist aber gleichwohl etwas Reales, auch wenn wir es mit unseren Sinnen nicht wahrnehmen können.
- ▶ In **jedem** Raumpunkt eines elektrischen Feldes erfahren elektrische **Ladungen** elektrische **Kräfte**.
- ▶ Zur anschaulichen Beschreibung dienen die Faradayschen »**Kraftlinien**«. Sie wurden später als »**Feldlinien**« bezeichnet.
- ▶ **Elektrische Feldlinien** sind **Symbole**. Die Tangenten an die elektrischen Feldlinien geben in jedem Punkt des Feldes die **Richtung** der elektrischen Kräfte an, die eine **positive** Probeladung in dem jeweiligen Punkt erfährt. Mit der Feldliniendichte wird dessen **Stärke** in verschiedenen Raumgebieten gekennzeichnet.



Zur wissenschaftshistorischen Bedeutung des Feldbegriffs von Faraday

»Langsam und **in zähem Ringen** eroberte sich der Kraftfeldbegriff den Vorrang in der Physik, und so zählt er bis heute zu den physikalischen Grundbegriffen. **Das elektromagnetische Feld ist für den modernen Physiker nicht minder wirklich als der Stuhl, auf dem er sitzt.** « (Einstein, 1950)¹



Hans C. Oersted 1777 - 1851 Michael Faraday 1791 - 1867 James C. Maxwell 1831 - 1879

In dem Buch »Große Physiker – Von Aristoteles bis Heisenberg« von Carl Friedrich von Weizsäcker wird Michael Faraday an keiner Stelle erwähnt, auch nicht in dem 3-seitigen Personenverzeichnis.³ Gustav Mie (1910): »So stehen die experimentellen Lehrbücher noch immer auf dem alten Standpunkt der sog. Fernwirkung, und die Maxwell-Faradaysche Anschauungsweise wird als bloße „Theorie“ nun mehr oder weniger anhangsweise erwähnt.«⁴

1831 entdeckte Michael Faraday auf Grund eines Experimentes die **Induktion – ein großes Ereignis in der Geschichte der Naturwissenschaften.** ...

Die Aufstellung dieser Gleichungen (1864 von Maxwell, J.S.) **ist seit Newton das bedeutendste Ereignis in der Physik** gewesen, und zwar nicht nur wegen der Fülle ihrer Anwendungsmöglichkeiten, sondern auch deshalb, weil sie typisch sind für eine ganz neue Gattung von Gesetzen. ...

Oersteds und **Faradays** Experimente bildeten die Grundlage, auf der **Maxwell** seine Gesetze aufbauen konnte. Alle bisher besprochenen Erkenntnisse entstammen einer gründlichen Analyse eben dieser Gesetze mit den Mitteln der **Kraftfeldsprache.** ...

Die **rein theoretische Entdeckung elektromagnetischer Wellen**, die sich mit der Lichtgeschwindigkeit fortpflanzen, **gehört zu den Großtaten der Naturwissenschaft.** «²

¹ Einstein, Albert und Infeld, Leopold (1987), S. 138 ² ebenda, S. 131 ff. ³ Weizsäcker, Carl Friedrich (2004). ⁴ Mie, Gustav (1910), S. VII.

Faradays Kraftlinien zwischen Bedenken und Selbstbewußtsein

»Ich wünsche die Bedeutung des Ausdrucks *Kraftlinie* so zu beschränken, daß er nicht mehr enthalte als den Zustand der Kraft hinsichtlich ihrer Stärke und Richtung an einer gegebenen Stelle und (einstweilen) keine Vorstellung über die Natur der physischen Ursache der Erscheinungen in sich schließe, oder mit einer derartigen Vorstellung verknüpft oder von ihr irgend abhängig sei. **Doch liegt in dem Ver suche, auf diesem Wege die Erregung, das Dasein und die Fortpflanzung der physikalischen Kräfte zu begreifen, nichts Unstatthaftes. ...**

Wie die magnetische Kraft sich durch die Körper oder den Raum fortpflanzt, ob es nach Art einer reinen Fernwirkung geschieht, wie bei der Schwere, oder durch ein intermediäres Agens, wie beim Licht, der Wärme, dem elektrischen Strome und (wie ich glaube) der elektrostatischen Wirkung, **wissen wir n icht**. Die Vorstellung von **magnetischen Fluidis**, wie sie manche anwenden, oder von magnetischen Kraftzentren, begreift nicht die der letzteren Fortpflanzungsart in sich, **aber wohl tut dies die Vorstellung von Kraftlinien.**«¹ (Faraday, 1851)

»Wie wenige verstehen die **physikalischen Kraftlinien**! Sie wollen sie nicht sehen, obwohl alle Untersuchungen die Ansicht darüber bestätigen, die ich seit vielen Jahren entwickelt habe.«² (Faraday, 1855)

»Diese erfolglosen Bemühungen (wie etwa die Wechselwirkung zwischen Licht und Electricität nachzuweisen, J.S.) nebst vielen anderen, die niemals veröffentlicht wurden, konnten meine aus **philosophischen Betrachtungen** gewonnene Ueberzeugung nicht umstossen, und ich nahm daher neuerdings die experimentelle Untersuchung in in einer sehr strengen und eindringlichen Weise wieder auf, und es ist mir schließlich gelungen, einen Lichtstrahl zu magnetisiren und zu elektrisiren.«³ (Faraday, 1845)

¹ Faraday, Michael: Experimental-Untersuchungen über Elektrizität in 3 Bänden, Band 3 (1891), Nachdruck: Frankfurt am Main 2004, XXVIII. Reihe, Artikel 3075., S. 299 f.

² Michael Faraday in einem Brief an seine Nichte, zit. nach Bürhke, Thomas (2008), S. 59. ³ Faraday (1891), ebenda, XIX. Reihe, Artikel 2148., S. 2.

Fernwirkung und Fluida contra materiellose Nahewirkung

»Ich suchte nach einer unzweideutigen Probe meiner Ansicht, nicht bloß in der Übereinstimmung bekannter Tatsachen mit ihr, sondern in den aus ihr, wäre sie richtig, hervorgehenden Folgerungen, besonders in denen, die mit der Theorie einer **Wirkung in die Ferne** nicht vereinbar seien. Eine solche Folgerung schien mir die Richtung der Verteilung darzubieten. Wäre sie nur in **geraden Linien** zu bewerkstelligen, so würde dies, obwohl vielleicht nicht entscheidend, gegen meine Ansicht sprechen; geschähe sie aber auch in **krummen Linien**, so wäre dies eine natürliche Folge der Wirkung angrenzender Theilchen, und, wie ich glaube, ganz unverträglich mit der, von den bestehenden Theorien angenommenen **Wirkung in die Ferne**, welche nach allen uns bekannten Tatsachen und Analogien immer in geraden Linien ausgeübt wird.«¹ (Faraday, 1838)

Von Newton über dessen Epigonen zum Positivismus

»So sehen wir aus dem schlichten „**Hypothesen erfinde ich nicht**“ von Newton eine ganze Erkenntnistheorie sich entwickeln. Wie fast immer **Epigonen** übersteigerten und dogmatisierten auch die Physiker die Lehre des Meisters. d’Alembert und Auguste Comte und später Ernst Mach und Gustav Kirchhoff entwickelten aus dem empirischen Rationalismus Newtons den sogenannten Positivismus. Die Hypothesenfeindlichkeit Newtons ist hier auf die Spitze und ... bis zur Absurdität getrieben.«²

So dogmatisierten »die Epigonen Newtons das Konzept der **Fernkraft** und beriefen sich dabei, subjektiv, aber nicht objektiv berechtigt, auf den Meister. Erst Farady und Maxwell führten, 150 Jahre nach Newton, die Physik auf neue Wege.«³

Positivismus »In der zweiten Hälfte des 18. Jahrhunderts stand die Wissenschaft im Zeichen des Positivismus. Aus der Physik wurde alles verbannt, was man als „metaphysisches Beiwerk“ ansah. Der Amputation fiel auch das universelle Gesetz der Erhaltung der Kraft (von Leibniz) zum Opfer.«⁴

¹ Faraday, Michael: Experimental-Untersuchungen über Elektrizität, Elfte Reihe erschienen 1838, Nachdruck der Ausgabe von 1901, Darmstadt 1985, S.48. ² Hermann, Armin (1983), S. 63. ³ ebenda, S. 64. ⁴ ebenda, S. 87

Verteufelung von spekulativer Physik und Dynamismus

»Seit langem habe ich, vermutlich mit vielen anderen Freunden der Naturkunde, die an **Überzeugung** streifende Meinung gehegt, dass die **verschiedenen Formen, unter denen die Kräfte der Materie auftreten, einen gemeinschaftlichen Ursprung haben**, oder, mit anderen Worten, so in direktem Zusammenhange und gegenseitiger Abhängigkeit stehen, **dass sie gleichsam ineinander verwandelt werden können und aequivalente Kräfte in ihren Wirkungen besitzen.** « (Faraday, 1846)¹

Dynamismus (Oersted, Novalis, Schelling, Faraday, Ritter)

Der **Dynamismus** »war ein Weltbild, in dem der Zusammenhang zwischen Elektrizität und Magnetismus als fundamental angesehen wird.«² ... **Oersted** war der Überzeugung, »daß man Galvanismus, Elektrizität, Magnetismus, Licht und Wärme nur als verschiedene Tätigkeitsformen ein und derselben Naturkraft ansehen müsse.«³ »Für einen guten Physiker wie **Oersted** oder gar für einen genialen wie **Faraday** war der **Dynamismus** tatsächlich ein ungeheuer fruchtbares heuristisches Prinzip.«⁴

»**Schelling** betrachtete die **Spekulation als den Königsweg zur Erkenntnis.** ... Die **Spekulation** galt damals mehr als in sonstigen Zeiten als **Staatsverbrechen im Weltreich der Physik.**«⁵ Justus **Liebig** (ca. 1840): »Kann man solche Schwindler Naturforscher oder Philosophen nennen, die den ersten Grundsatz der Naturforschung und Philosophie, nur das Beweisbare und Bewiesene für wahr gelten zu lassen, auf die gewissenloseste Weise verletzen?«⁶

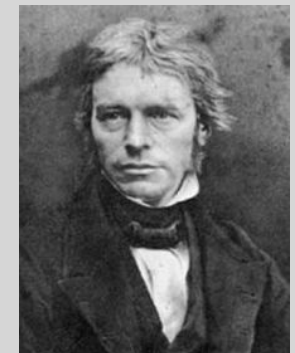
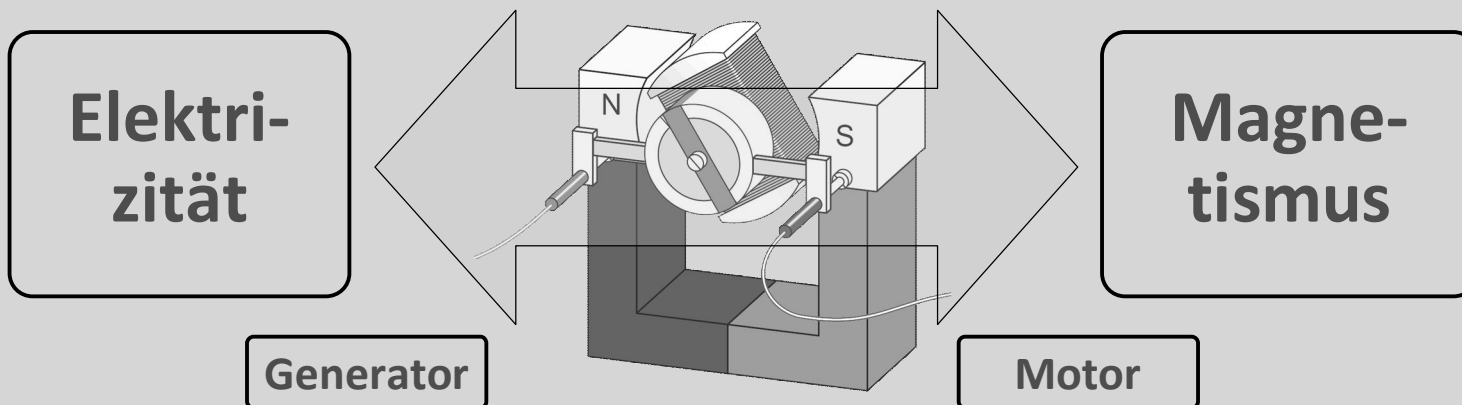
Über die Schwierigkeiten Faradays, spekulative Auffassungen im Sinne des Dynamismus zu veröffentlichen

»Faraday war zeit seines Lebens von einem metaphysischen Glauben an die **Einheit der Naturkräfte** erfüllt. ... In diesem Zusammenhang ist es von Interesse, daß sein letzter Artikel den er 1860, also bereits gegen Ende seines Lebens geschrieben hat, auf Betreiben von **George Stokes** (1854-1885 Sekretär der Royal Society) **niemals veröffentlicht worden ist.** Dieser Artikel basiert wiederum auf seiner Überzeugung von der Einheit aller Naturkräfte und befaßte sich mit einer möglichen Verbindung zwischen Elektrizität und Gravitation.«⁷

¹ Faraday, Michael: Experimentaluntersuchungen über Elektrizität, XIX. Reihe (1846), Nachdruck Darmstadt 1985, Absatz 2146. ² Hermann (1983) S. 122. ³ ebenda, S. 106
⁴ ebenda, S. 128. Vgl. auch Meya (1990), S. 116 ff. ⁵ Hermann (1983), S. 108 und 109. ⁶ ebenda, S. 125. ⁷ Tricker, R.A.R.: Faraday und Maxwell (1974), S. 38.

Faradays wissenschaftliche Standpunkte im Kontext der Feldtheorie

- Es gibt keine Wirkung in die Ferne zwischen zwei Körpern. Fernkräfte erscheinen uns nur als solche. In Wahrheit sind sie Erscheinungsformen einer Nahewirkung.
- Fernkräfte werden realiter in endlicher Geschwindigkeit von Raumpunkt zu Raumpunkt vom Ort ihrer Entstehung zum Ort ihrer Wirkung übertragen.
- Auch im leeren Raum ist nicht nur Nichts, es fehlt lediglich an Materie.
- Physikalische Felder existieren auch im materielosen Raum (Vakuum).
- Für die reale Existenz eines Feldes bedarf es weder eines Fluidums noch eines Äthers.
- Gravitations-, Elektrizitäts- und Magnet-Kräfte sind Wirkungen von physikalischen Feldern. Sie treten als mechanische, elektrische oder magnetische Kräfte in Erscheinung.
- Alle Naturkräfte haben einen gemeinsamen Ursprung. Sie treten nur in verschiedenen Formen in Erscheinung und können daher ineinander umgewandelt werden, wie Elektrizität in Magnetismus und umgekehrt



Michael Faraday
1791 – 1867

Fragen und Thesen für die Diskussion

1. **Nur das Beobachtbare ist real !?** – Soll sich die **Wissenschaft auf das Beobachtbare beschränken?**
2. **Spekulation** gehört an die Börse oder in die Philosophie, **nicht aber in die Naturwissenschaften.**
3. Die **Wertung** und die Abschätzung der **Anwendungsmöglichkeiten** wissenschaftlicher Erkenntnisse ist **nicht Sache der Wissenschaft.** – Sie ist aus dem wissenschaftlichen Forschungsprozess auszublenden, weil sonst die Gefahr der Parteilichkeit entstehen kann.
4. **Wissenschaft** ist eine Hoheitsaufgabe. Sie gehört in die **Hand des Staates**, insbesondere die Finanzierung und deren demokratisch Kontrolle.

Denn der Staat ist die einzige gesellschaftliche Institution, die die **Freiheit der Wissenschaften** zu garantieren vermag.

»Mit der Abschaffung der Muße und des Ichs gibt es kein nutzloses Denken mehr. ... Sie haben im Guten wie im Schlechten den Sinn für Spekulationen verloren. **Es ist schlecht um die Philosophie bestellt.** Kein philosophischer Gedanke ist vorstellbar, der nicht Muße erfordert, um gedacht und verstanden zu werden zu können, während heute schon das Wort Muße obsolet und muffig klingt. ... Der erkennbare Übergang von der praktischen Beobachtung zur Theorie entfällt. ... Daß das physikalische Wissen in eines von Handgriffen und eines von Feldern aufgespalten ward, ist ein Spezialfall der Arbeitsteilung. ... *Anstelle des Ergründens der Bedeutung tritt überall die Feststellung der Funktion.* ... Technik kommt ohne Physik aus, wie der Filmstar ohne Lehrzeit und der faschistische Staatsmann ohne Bildung.«¹

¹ Horkheimer, Max: Vernunft und Selbsterhaltung (1942), Frankfurt am Main 1970, S. 28, S. 38 und S. 40.

Vielen Dank
für Ihre Aufmerksamkeit.

Falls Ihnen später noch Fragen einfallen:

j.sicars@t-online.de

Anhang 1

Erkenntnistheoretische Aspekte der Faradayschen Wissenschaftspraxis

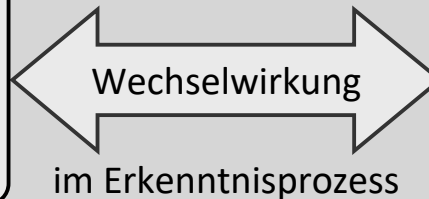
Über die Dialektik von Wahrnehmung und Denken in der wissenschaftlichen Arbeit Michael Faradays

»Faraday hatte eine Methode. ... Niemand wie er verstand die Kunst, sich des Konkreten zu bedienen, um das Abstrakte zu erreichen, und das Abstrakte der Kontrolle des Konkreten zu unterwerfen.«¹

Grundquellen der Erkenntnis

Wahrnehmung

der Sinne zur Gewinnung von
Gegenstand und **Erfahrung**



Denken

zur theoretischen Reflexion des Gegen-
standes mit Verstand und Vernunft

- Nach KANT gehören „zur Erkenntnis zwei Stücke: erstlich der **Begriff**, dadurch überhaupt ein Gegenstand gedacht wird, und zweitens die **Anschauung**, dadurch er gegeben wird.“²
- Weiter heißt es bei KANT: „Alle unsere Erkenntnis hebt von den **Sinnen** an, geht von da zum **Verstande** und endigt bei der **Vernunft**.“³
- Und: „**Vernunft** ist das Vermögen, von dem Allgemeinen das Besondere abzuleiten und dieses letztere also nach Prinzipien und als notwendig vorzustellen.“⁴

¹ Dumas, Jean-Baptiste zit. nach Schütz (1982), S. 68. ² Kant, Immanuel: Kritik der reinen Vernunft, Werkausgabe Bd. III, Frankfurt am Main 1982 (Suhrkamp), S. 145. Vgl. auch ebenda, S. 97 f. und S. 131 f. ³ ebenda, S. 311. ⁴ Kant, Immanuel: Anthropologie in pragmatischer Absicht, 1. Buch, § 43 (VII200).

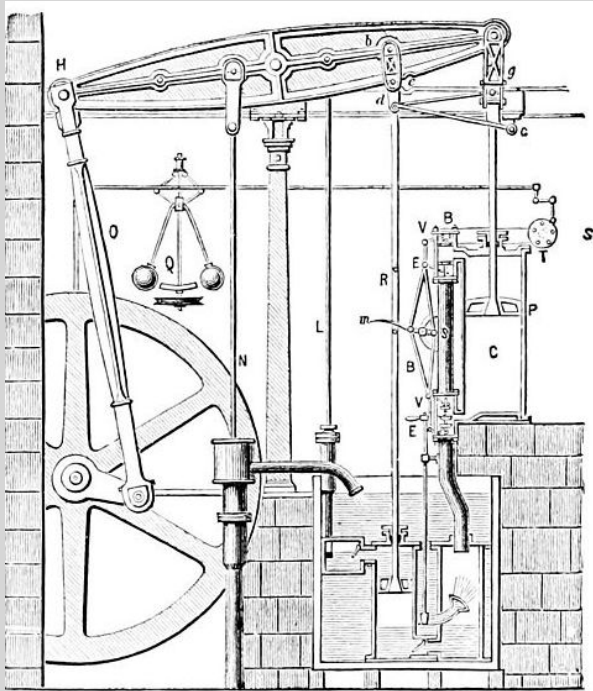
Anhang 2

Michael Faraday und die Geschichte seiner Zeit

Zu Lebzeiten Michael Faradays war England bereits auf dem besten Wege eine industrielle Weltmacht zu werden. In den Textilfabriken wurden um 1850 mehr als die Hälfte der Weltbaumwollernte verarbeitet und der englische Anteil an der Weltproduktion aller Waren war auf über 40% angestiegen. Durch den zunehmenden Einsatz von Dampfmaschinen als zentrales Antriebssystem und die Mechanisierung der Textilproduktion konnte die Arbeitsproduktivität zwischen 1800 und 1850 fast verzehnfacht werden. Im gleichen Zeitraum stieg die englische Stahlproduktion um das 11-fache. Beschleunigt wurde die Industrialisierung in England durch den enormen Bedeutungszuwachs der Produktion von Maschinen durch Werkzeugmaschinen (»machine tools«). Das Fabrikssystem hatte sich in dieser Zeit weitgehend etabliert. Die Schere zwischen »Arm« und »Reich« klaffte immer weiter auseinander, die Arbeits- und Lebensbedingungen der Arbeiterfamilien wurde zunehmend schlechter, während die Fabrikbesitzer enormen Reichtum anhäuften. Soziale Konflikte waren unausweichlich geworden.¹

¹ Vgl. u.a. Gurland (1986), S. 291 ff., Rauter (1977), S. 147 und Bohnsack (1989), S. 236 ff.

Industrialisierung: Entwicklung der Produktivkräfte



Dampfmaschine von Watt & Boulton 1784

Quellen: Wikipedia »Industrielle Revolution«,

 »Dampfmaschine« und »Transmission (Maschinenbau)«

Produktionsanlage mit zentralem Dampfmaschinen-Antrieb und Transmissionssystem zur Energieverteilung auf einzelne Werkzeugmaschinen (Fa. Pratt & Whitney, 1873)

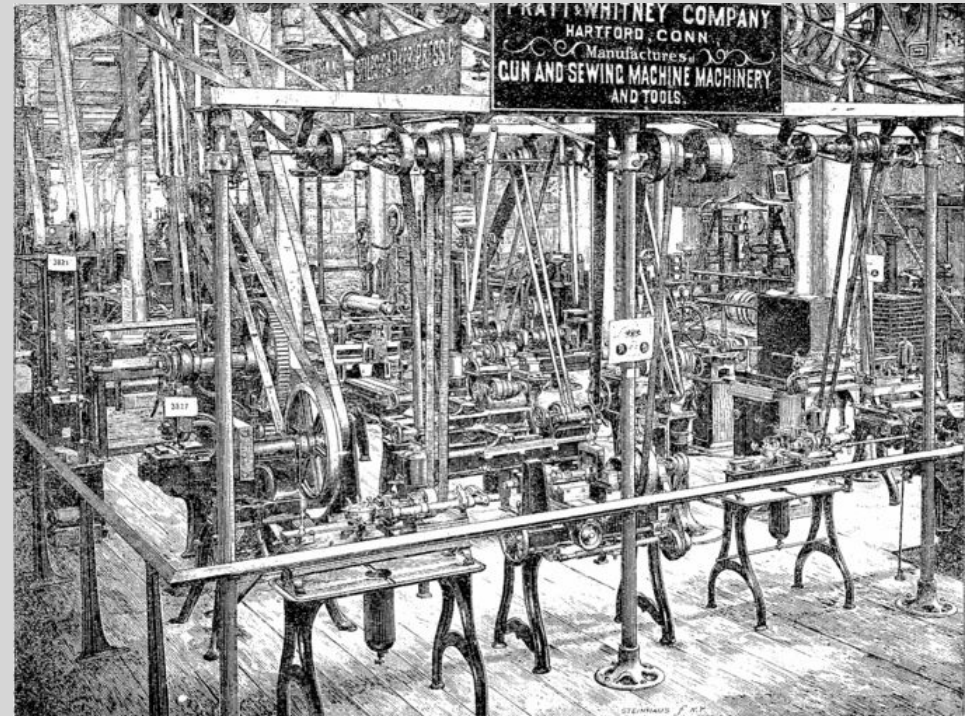
Installierte Leistung von

 Wind-, Wasser- und

 Dampfkraftanlagen in Groß-

 britannien 1760-1870

Jahr	Wind		Wasser		Dampf	
	PS	Änderung	PS	Änderung	PS	Änderung
1760	10.000		70.000		5.000	
1800	15.000	50 %	120.000	71 %	35.000	600 %
1830	20.000	33 %	165.000	38 %	165.000	371 %
1870	10.000	-50 %	230.000	39 %	2.060.000	1.148 %



Industrialisierung: **Entwicklung kapitalistischer Unternehmen**

Gründungen großer Industrieunternehmen in England¹



Mechanische Textilmaschinen 1834 bei der Firma Swainson & Co.

- 1771 Arkwright gründet seine erste mechanische Spinnerei
- 1774 Soho - Maschinenfabrik Boulton & Watt
- 1797 London-Lambeth - Maschinenfabrik Maudslay
- 1790 Swainson & Co. Baumwollspinnerei in Preston
- 1823 Newcastle - Lokomotivfabrik Stephenson
- 1828 Millsands - Waffenfabrik Vickers
- 1833 Manchester - Maschinenfabrik Whilworth
- 1840 Liverpool - Reederei Cunard Line
- 1847 Newcastle - Waffenfabrik Armstrong
- 1860 Greenford - Green Teerfarbenfabrik W. H. Perkin

Textilfabrik Swainson Birley & Co. in Preston 1834

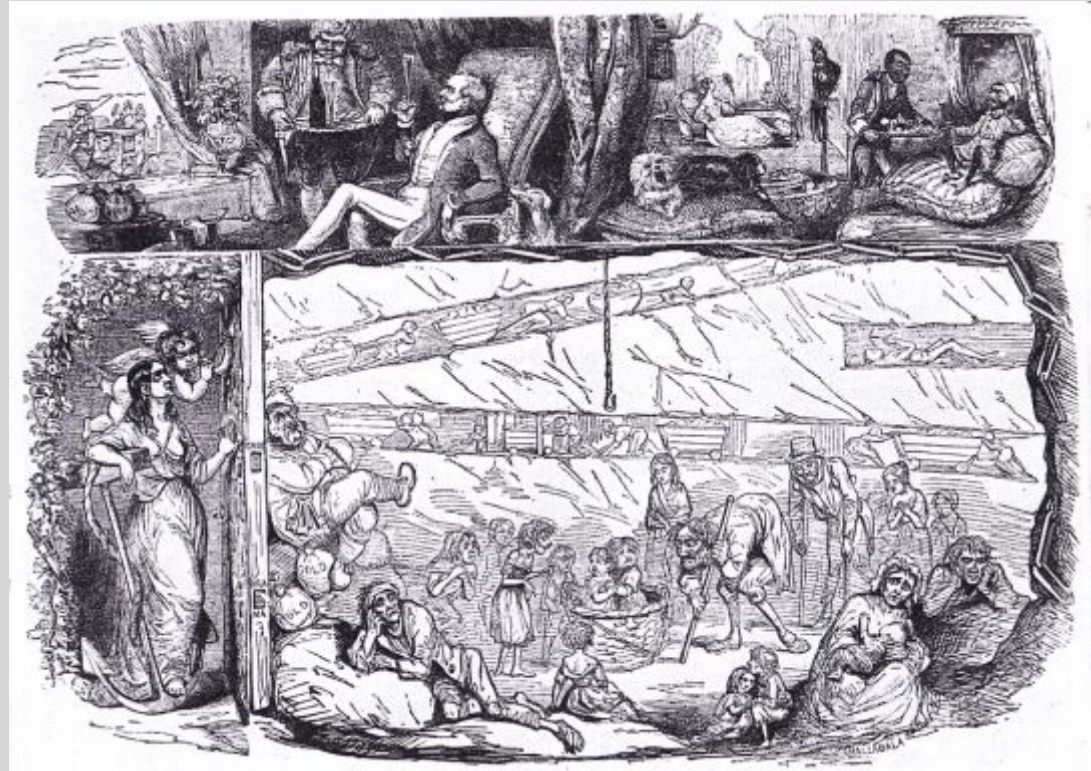
Preston (Lancashire) war der Geburtsort von **Richard Arkwright**, dem Erfinder der Waterframe-Spinnmaschine und einem der ersten großen Textilunternehmer. Lancashire und Manchester waren im 18. Jhdt. die Zentren der englischen Baumwollindustrie.



¹ Gurland (1986), S. 296. Bild-Quellen: Science Museum London und Bohnsack (1989), S.236 ff.



Such a Luck – Proletariat und Bourgeoisie.
Karikatur aus dem englischen Magazin
»Punch« 1870 (Wikipedia)



Capital and Labour – Karikatur aus dem englischen Magazin »Punch« 1843

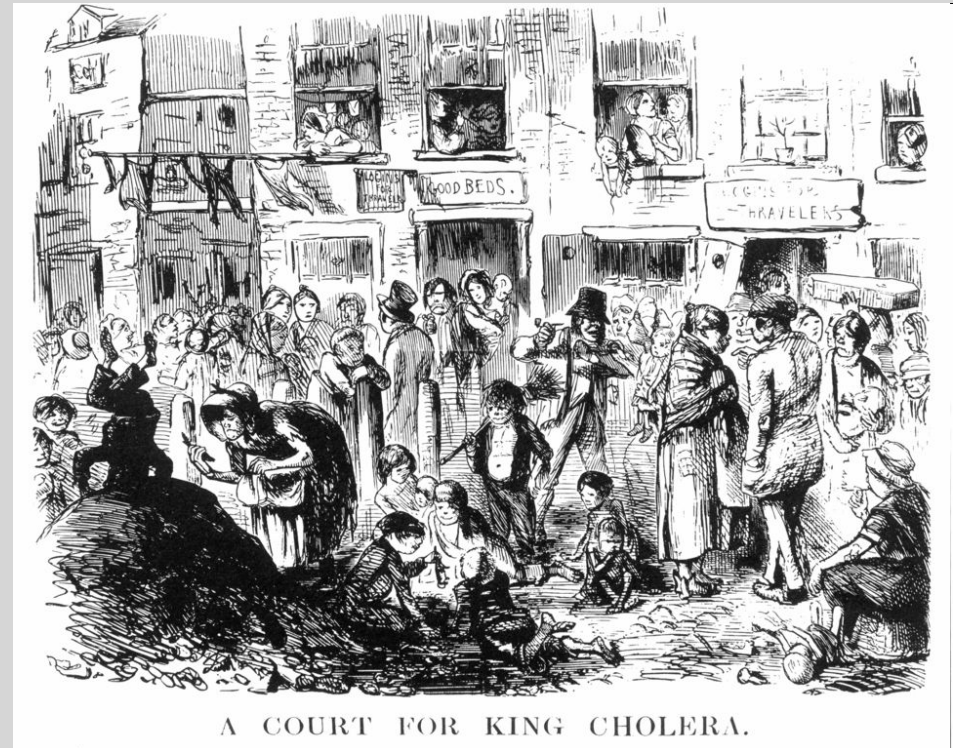
»Was sich da vollzog, war nicht nur eine technische, sondern auch eine gesellschaftliche Revolution: die »Proletarisierung«, die Verwandlung unzähliger Männer, Frauen und Kinder in Fabrikklaven bei miserabler Bezahlung und faktisch ohne Begrenzung der Arbeitszeit. Ein Arbeitszeitgesetz von 1802 sah einen Normalarbeitstag von fünfzehn Stunden vor; erst 1833 verfügte der Staat die Begrenzung der Arbeitszeit von Kindern und Jugendlichen.«¹

¹ Gurland (1986), S. 292. Bildquellen: Wikipedia

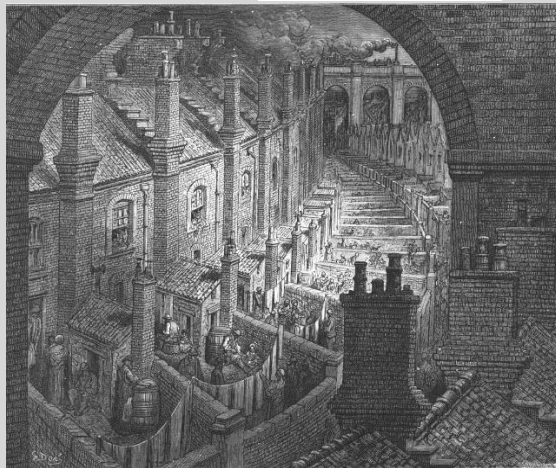
Industrialisierung: Lage der Industriearbeiter

Lebenserwartung der Menschen um 1840 in England¹

	Ländliche Grafschaften Rutland und Wiltshire	halb-industriell Leeds	Industriestädte Manchester und Liverpool
Wohlhabende	51	45	36,5
Bauern + Händler	44,5	27	21
Arbeiter	33,5	19	16



Der Hof von König Cholera – Karikatur aus dem Magazin »Punch« von 1852. Eine Straßenszene in einem Elendsviertel. Links ist ein Müllhaufen dargestellt. (Wikipedia)



Arbeiterwohnviertel in London 1870 (Wikipedia)

¹ Krautkrämer, Elmar und Radbruch Eberhard: Wandel der Welt – Von der großen Französischen Revolution bis zur Gegenwart, Bad Homburg 1972, S. 66.

Industrialisierung: **Arbeiteraufstände**

Arbeiteraufstände zwischen 1800 und 1850¹

- 1811/12: Nottingham – Aufstände der Textilarbeiter, Maschinenstürmer
- 1812: Lancashire – Aufstände der Textilarbeiter, Maschinenstürmer
- 1819: Arbeiterunruhen auf dem Petersfeld bei Manchester (»Peterloo«-Massaker)
- 1829: Manchester u. Rochdale – Aufstände der Textilarbeiter, Maschinenstürmer
- 1831, 1843: Lyon – Aufstände der Seidenarbeiter
- 1832, 1848: Paris – Arbeiteraufstände (auch 1834)
- 1832: Uster – Kampf der Arbeiter gegen die Spinnmaschinen
- 1832: Schaffhausen – Kampf der Schiffer gegen ein Dampfschiff
- 1837: Glasgow – Aufstände der Baumwollspinner

Faraday über die Arbeiteraufstände in Paris 1848

»Faraday war nur in seiner Wissenschaft ein Revolutionär.«² Über die Ereignisse der 1848er Revolutionen in Paris im Februar und Juni zeigte er sich befremdet: »Was für unglaubliche Szenen überall, was für wertlose Motive regieren den Augenblick, mit welchen hochtrabenden Phrasen, und zuletzt: Was für eine widerliche Revolution.«³



Juni 1848 in Paris: Barrikaden der Arbeiterschaft

»Am 24. Juni 1848 kam es zu einem erneuten Aufstand der Arbeiterschaft anlässlich der Schließung der französischen Nationalwerkstätten. ... Der Pariser Juniaufstand wurde jedoch bald nach heftigen Kämpfen von der französischen Armee und der Nationalgarde blutig niedergeschlagen. Am Ende waren 3.000 Arbeiter tot, etwa 15.000 wurden in die Straflager der überseeischen Kolonien verbannt.«⁴

¹ Gurland (1986), S. 296. ² Lemmerich, S. 183. ³ Faraday in einem Brief an sein Freund Christian Schönbein vom 15.12.1848, zit. nach Lemmerich, ebenda. ⁴ Wikipedia »Februarrevolution 1848«

Anhang 3

Literaturverzeichnis und Internetquellen

Literaturverzeichnis Teil I

- Bönt, Ralf: Die Entdeckung des Lichts, Lebensroman (über Faraday und Einstein), Köln 2009.
- Bohnsack, Almut: Spinnen und Weben, Entwicklung von Technik und Arbeit im Textilgewerbe, Reinbek bei Hamburg 1989.
- Faraday, Michael: Experimental-Untersuchungen über Elektrizität in drei Bänden, Ostwalds Klassiker der exakten Wissenschaften Band 292-294, Einleitung von Friedrich Steinle, Deutsche Übersetzung Salomon Kalischer, erschienen 1889, 1890 und 1891, Nachdruck: Frankfurt am Main 2004 (Verlag Harri Deutsch).
- Gurland, A.R.L.: Wirtschaft und Gesellschaft im Übergang zum Zeitalter der Industrie, in: Golo Mann (Hrsg.), Propyläen Weltgeschichte, Band VIII, Das neunzehnte Jahrhundert, Berlin Frankfurt a.M. 1986, S.280–336.
- Hermann, Armin: Weltreich der Physik, Von Galilei bis Heisenberg, Frankfurt a.M. Berlin Wien 1983.
- James, Frank: Guides to the Royal Institution of Great Britain: 1 History, London o.J.,
Online: http://www.rigb.org/docs/brief_history_of_ri_1.pdf
- Johnson, George: Die zehn schönsten Experimente der Welt, Von Galilei bis Pawlow, München 2009.
- Kühne, Ulrich: Die Methode des Gedankenexperiments, Frankfurt am Main 2005.
- Lemmerich, Jost: Michael Faraday 1791-1867 – Erforscher der Elektrizität, München 1991.
- Maxwell, James Clerk: Über physikalische Kraftlinien, Deutsch herausgegeben von Ludwig Boltzmann, Ostwald's Klassiker der exakten Wissenschaften, Band 102, Leipzig 1898, Reprint: Darmstadt 1976.
- Meya, Jörg/Sibum, Heinz Otto: Das fünfte Element, Wirkungen und Deutungen der Elektrizität, Reinbek bei Hamburg 1987.
- Meya, Jörg: Elektrodynamik im 19. Jahrhundert, Rekonstruktion ihrer Entwicklung als Konzept einer redlichen Vermittlung, Wiesbaden 1990.
- Newton, Isaac: Mathematische Prinzipien der Naturlehre, Nachdruck der Erstausgabe von 1687 in deutscher Übersetzung 1872 hrsg. von J.Ph. Wolfers, Nachdruck: Darmstadt 1963. Online: http://de.wikisource.org/wiki/Mathematische_Principien_der_Naturlehre
- Royal Institution: Faraday's London – Online: http://www.rigb.org/docs/faradays_london_0.pdf
- Sambursky, Shmuel: Der Weg der Physik, 2500 Jahre physikalischen Denkens, Texte von Anaximander bis Pauli, München 1978.

- Rauter, E.A.: Vom Faustkeil zur Fabrik, München 1977.
- Schelling, F.W.J.: Ideen zu einer Philosophie der Natur, Landshut 1807, Nachdruck: Berlin 2013.
- Schütz, Wilhelm: Michael Faraday, Leipzig 1982.
- Südbeck, Walter: Maxwellscher Verschiebungsstrom – Eine physikhistorische Analyse, Köln 1988.
- Tricker, R.A.R.: Frühe Elektrodynamik (Oersted, Biot, Savart, Ampère), Braunschweig 1974.
- Tricker, R.A.R.: Die Beiträge von Faraday und Maxwell zur Elektrodynamik, Braunschweig 1974.
- Tyndall, John: Faraday und seine Entdeckungen, Übersetzung von Hermann Helmholtz, Braunschweig 1870. Online-Version: <http://gdz.sub.uni-goettingen.de/en/dms/loader/toc/?PPN=PPN309201888>
- Waldmann, Ludwig: Probleme des naturwissenschaftlichen Unterrichts, in: Falk Rieß (Hrsg.), Kritik des mathematisch-naturwissenschaftlichen Unterrichts, Frankfurt 1977, S. 393 – 409.

Internet: Quellen und Adressen

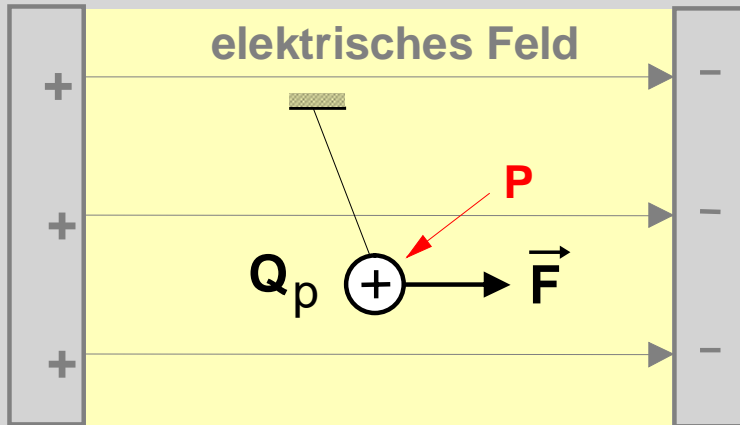
- Faraday, Michael: Experimental-Untersuchungen über Elektrizität (1831-1855), in: Poggendorff's Annalen der Physik und Chemie, erschienen 1832-1857. Online-Version: http://de.wikisource.org/wiki/Experimental-Untersuchungen_%C3%BCber_Elektricit%C3%A4t (Achtung: Leider noch nicht vollständig!)
- *Michael Faraday und der Strom aus Magneten*, Film aus der ARD-Reihe »Meilensteine von Naturwissenschaft und Technik«, Im Internet abrufbar unter: <https://www.youtube.com/watch?v=NS4hrM0q2I>
- Maxwell, James Clerk: A Treatise on Electricity and Magnetism, Oxford 1873. Online-Version: http://en.wikisource.org/wiki/A_Treatise_on_Electricity_and_Magnetism
- Royal Institutionen »Explore Michael Faraday«: <http://www.rigb.org/our-history/michael-faraday> sowie <http://www.rigb.org/visit-us/faraday-museum> und <http://www.rigb.org/our-history/history-of-research>
- Wikipedia Michael Faraday: http://de.wikipedia.org/wiki/Michael_Faraday und http://en.wikipedia.org/wiki/Michael_Faraday
http://de.wikipedia.org/wiki/Experimental-Untersuchungen_%C3%BCber_Elektrizit%C3%A4t
- Schelling, Friedrich Wilhelm Joseph: Ideen zu einer Philosophie der Natur als Einleitung in das Studium dieser Wissenschaft, Erstdruck: Jena und Leipzig (Breitkopf und Härtel) 1797. Zweite Ausgabe: Landshut (Krüll) 1803. Online-Version: <http://www.zeno.org/Philosophie/M/Schelling,+Friedrich+Wilhelm+Joseph/Ideen+zu+einer+Philosophie+der+Natur>

Anhang 4

Feldtheoretische Begründung des Coulombschen Gesetz

Damit soll exemplarisch die Leistungsfähigkeit der Feldtheorie von Faraday und Maxwell aufgezeigt werden.

- Wir betrachten einen beliebigen **Raumpunkt P** in einem elektrischen Feld.



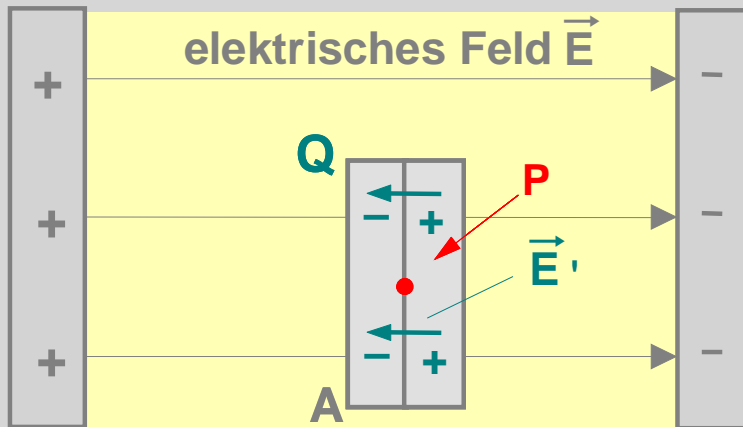
- ▶ Daraus folgt für die Definition (Messvorschrift) der **elektrischen Feldstärke E** als **Wirkungsgröße** des elektrischen Feldes:

$$E = \frac{F}{Q_P}$$

- ▶ Zum Nachweis des elektrischen Feldes im **Raumpunkt P** platzieren wir dort eine Probeladung Q_p .
- ▶ Das elektrische Feld im Raumpunkt P übt auf die positive Probeladung Q_p eine elektrische Kraft \vec{F} aus und lenkt sie in Feldrichtung ab.
- ▶ Die **Probeladung** muss **punktförmig** und so klein sein, dass sie das Feld nicht »merklich stört« (Maxwell).
- ▶ Unter dieser Voraussetzung gilt nach Maxwell: »Die auf den Probekörper wirkende **Kraft** ist **proportional** zu seiner **Ladung**«, d.h.:

$$F \sim Q_P \Rightarrow \frac{F}{Q_P} = \text{konstant}$$

- Wiederum betrachten wir einen beliebigen **Punkt P** in einem elektrischen Feld.

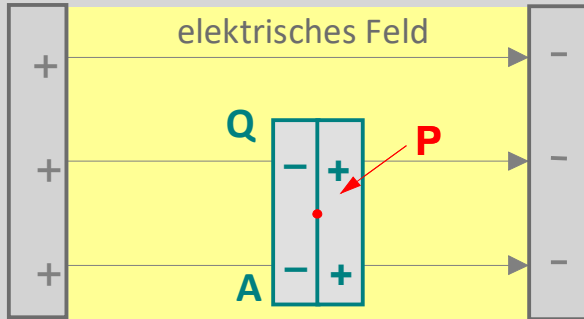


- ▶ Daraus folgt für die Definition (Messvorschrift) der **elektrischen Erregung D** als **Ursachengröße**:

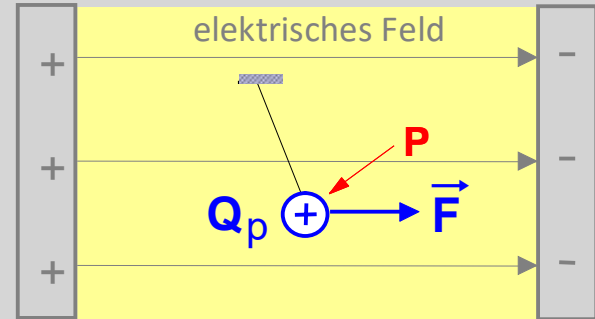
$$D = \frac{Q}{A}$$

- ▶ **Problem:** Im **Punkt P** befindet sich **keine Feld-Ursache**, also keine feldverursachende Ladung Q.
- ▶ Zur Erzeugung einer Ladung im **Punkt P** bringen wir dorthin zwei metallische **Probeplatten** mit der Plattenfläche **A**.
- ▶ Durch **Influenz** wird auf den Probe-Platten eine **Ladung Q** und damit eine **Feld-Ursache** im Punkt **P** erzeugt.
- ▶ Die in diesem einen **Punkt** wirksame **Influenzladung Q** wird als **Ursache** des elektrischen Feldes bestimmt, denn deren **Feld E'** ist dem Betrage nach genauso stark wie das **Feld E** d.h. es gilt für die Beträge: **E' = E** .
- ▶ Diese **punktwirksame** Ladung (»Ladung pro Punkt«) ist nichts anderes als die **Flächenladungsdichte (Q/A)** auf den **Influenzplatten**.

- ▶ Elektrische **Erregung D** als Größe der **Ursache** des elektr. Feldes im Punkt P



- ▶ Elektrische **Feldstärke E** als Größe der **Wirkung** des elektr. Feldes im Punkt P



Elektrische Erregung

$$D = \frac{Q}{A}$$

Kausalitätsprinzip:
Ursache $\uparrow(\downarrow) \Rightarrow$ Wirkung $\uparrow(\downarrow)$

$$D \uparrow(\downarrow) \Rightarrow E \uparrow(\downarrow)$$

$$D \sim E$$

Grundgesetz der Elektrostatik

$$D = \epsilon \cdot E$$

Elektrische Feldstärke

$$E = \frac{F}{Q_P}$$

Dielektrizitätskonstante (Materialkonstante):

$$\epsilon = \epsilon_0 \cdot \epsilon_r$$

- ▶ **Gedankenexperiment:** Wir denken uns eine dünne Metallplatte mit der Plattenfläche A so in einem homogenen elektrischen Feld angeordnet, dass die gesamte Fläche A vollständig von dem Feld mit der Feldstärke E durchsetzt wird und die Feldlinien **senkrecht** zur Plattenfläche verlaufen.
- ▶ Durch die Influenzwirkung des elektrischen Feldes E wird dann auf der Metallplatte eine Ladung Q erzeugt.
- ▶ Nach dem **Grundgesetz** des elektrostatischen Feldes gilt dann für die **elektrische Erregung D** des Feldes (im Vakuum):

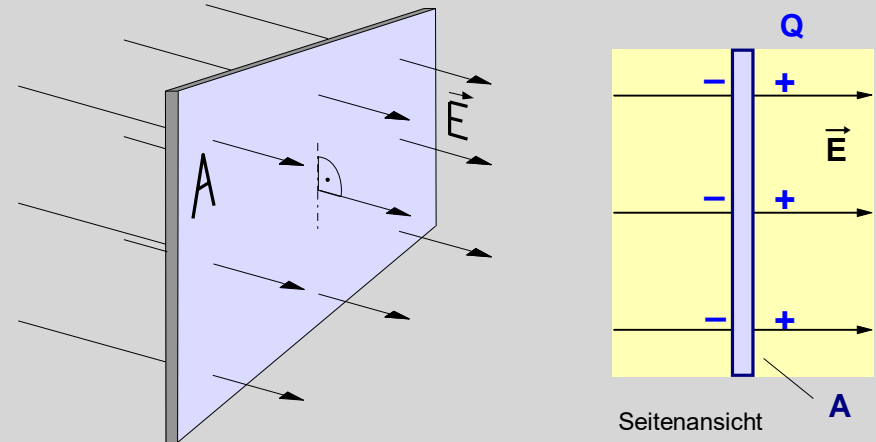
$$D = \epsilon_0 \cdot E \quad \text{mit} \quad D = \frac{Q}{A}$$

$$\frac{Q}{A} = \epsilon_0 \cdot E$$

Bringt man die das Feld beschreibenden Größen E und A auf die rechte Seite, so ergibt sich:

$$\frac{Q}{\epsilon_0} = \underbrace{E \cdot A}_{= \Phi_{el}} \quad \Leftarrow \quad \text{Gaußscher Satz}$$

Hier wird deutlich, dass sich Ladung und Feld wechselseitig voraussetzen. Vgl: Laue, Max von: Geschichte der Physik, Berlin 1966, S. 65.



- ▶ Das **Produkt** » $E \cdot A$ « auf der rechten Seite der Gleichung definieren wir als den sog. »**elektrischen Feldfluss Φ_{el}** «.

$$\Phi_{el} = E \cdot A$$



Carl Friedrich Gauß
 dt. Mathematiker
 und Physiker
 1777 - 1855

Zur Erinnerung: Die Spekulation von Coulomb

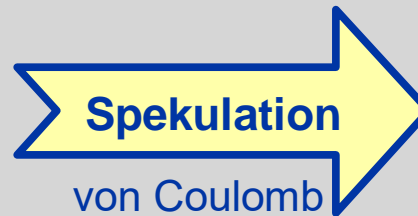
Gravitationsgesetz von Newton

Mechanische Kraft F zwischen zwei Körpern
mit den **Massen m_1** und **m_2** :



$$F = \gamma \cdot \frac{m_1 \cdot m_2}{r^2}$$

Isaac **Newton** (1666)

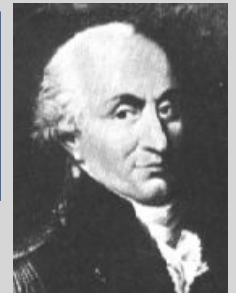


Coulombsches Gesetz

Elektrische Kraft F zwischen zwei Körpern
mit den **Ladungen Q_1** und **Q_2** :

$$F = K \cdot \frac{Q_1 \cdot Q_2}{r^2}$$

Charles A. **Coulomb** (1785)



- ▶ Gegeben sei eine positive **Punktladung** Q_1 .
Die Punktladung erzeugt in ihrer Umgebung ein radialsymmetrisches Feld.
Wir **konzentrieren** unsere Überlegungen auf einen **Feldpunkt** P_x im **Abstand** r von der Punktladung Q_1 .

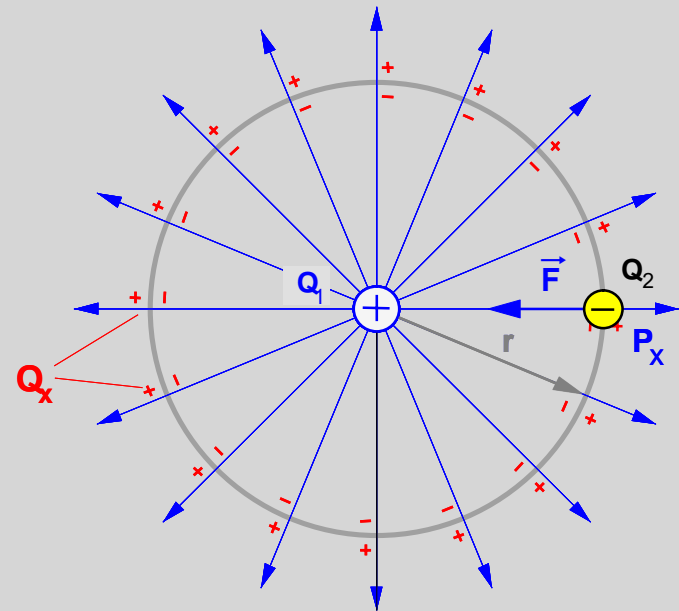
- ▶ Zur Berechnung der elektrischen **Erregung** D (Feld-Ursache) im Punkt P_x denken wir uns eine **metallische Hüllkugel** mit dem Radius r konzentrisch um die Ladung Q_1 angeordnet.
- ▶ Durch die Influenzwirkung des elektrischen Feldes wird auf der Hüllkugel eine **Influenz-Ladung** Q_x erzeugt. Damit ergibt sich für die elektr. Erregung im Punkt P_x :

$$D_x = \frac{Q_x}{A} \quad \text{mit } A = 4 \cdot \pi \cdot r^2 \quad (\text{Kugeloberfläche})$$

- ▶ Da der gesamte, von Q_1 ausgehende Feldfluß von der Hüllkugel erfaßt wird, ist $Q_x = Q_1$ und im Punkt P_x gilt:

$$D_x = \frac{Q_1}{4 \cdot \pi \cdot r^2} \quad \text{und mit } D_x = \epsilon_0 \cdot E_x$$

- ▶ gilt für die **Feldstärke** E_x im Punkt P_x :
- $$E_x = \frac{Q_1}{4 \cdot \pi \cdot r^2 \cdot \epsilon_0}$$



- ▶ Denkt man sich jetzt eine **zweite Punktladung** Q_2 in den Punkt P_x , so **übt das Feld** auf Q_2 eine **elektr. Kraft** F aus. Es gilt:

$$F = E_x \cdot Q_2 \quad \text{und mit } E_x = \frac{Q_1}{4 \cdot \pi \cdot r^2 \cdot \epsilon_0}$$

- ▶ ergibt sich das **Coulombsche Gesetz**:

$$F = \frac{1}{4 \cdot \pi \cdot \epsilon_0} \cdot \frac{Q_1 \cdot Q_2}{r^2}$$