



Lars Jaeger

Die Neu-entdeckung der Welt

Wie Genies die Wissenschaften aus ihren tiefsten Krisen in die Moderne führten

SACHBUCH

Springer

Die Neuentdeckung der Welt

Lars Jaeger

Die Neuentdeckung der Welt

Wie Genies die Wissenschaften aus
ihren tiefsten Krisen in die Moderne
führten



Springer

Lars Jaeger
Baar, Schweiz

ISBN 978-3-662-65385-2 ISBN 978-3-662-65386-9 (eBook)
<https://doi.org/10.1007/978-3-662-65386-9>

Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über <http://dnb.d-nb.de> abrufbar.

© Der/die Herausgeber bzw. der/die Autor(en), exklusiv lizenziert an Springer-Verlag GmbH, DE, ein Teil von Springer Nature 2022

Das Werk einschließlich aller seiner Teile ist urheberrechtlich geschützt. Jede Verwertung, die nicht ausdrücklich vom Urheberrechtsgesetz zugelassen ist, bedarf der vorherigen Zustimmung des Verlags. Das gilt insbesondere für Vervielfältigungen, Bearbeitungen, Mikroverfilmungen und die Einspeicherung und Verarbeitung in elektronischen Systemen.

Die Wiedergabe von allgemein beschreibenden Bezeichnungen, Marken, Unternehmensnamen etc. in diesem Werk bedeutet nicht, dass diese frei durch jedermann benutzt werden dürfen. Die Berechtigung zur Benutzung unterliegt, auch ohne gesonderten Hinweis hierzu, den Regeln des Markenrechts. Die Rechte des jeweiligen Zeicheninhabers sind zu beachten.

Der Verlag, die Autoren und die Herausgeber gehen davon aus, dass die Angaben und Informationen in diesem Werk zum Zeitpunkt der Veröffentlichung vollständig und korrekt sind. Weder der Verlag, noch die Autoren oder die Herausgeber übernehmen, ausdrücklich oder implizit, Gewähr für den Inhalt des Werkes, etwaige Fehler oder Äußerungen. Der Verlag bleibt im Hinblick auf geografische Zuordnungen und Gebietsbezeichnungen in veröffentlichten Karten und Institutionsadressen neutral.

Text- und Konzeptberatung: Dr. Bettina Burchardt; Umschlaggestaltung: DeBlik, Berlin

Planung/Lektorat: Christian Gaß

Springer ist ein Imprint der eingetragenen Gesellschaft Springer-Verlag GmbH, DE und ist ein Teil von Springer Nature.

Die Anschrift der Gesellschaft ist: Heidelberger Platz 3, 14197 Berlin, Germany

An meine Tochter Anika Mai

Danksagung

Zahlreiche Personen haben diesen Text gelesen und dabei wertvolle Verbesserungsvorschläge gemacht. Zuallererst möchte ich Bettina Burchardt danken, ohne die das Buch in dieser Form nicht möglich geworden wäre. In vielen Stunden hat sie sich dem Text und seinen Inhalten gewidmet und dies Kapitel in die Form gebracht, die es nun hat. Dann möchte ich meiner Partnerin Yuka Nakamura danken, für die emotionale und inhaltliche Unterstützung über die vielen Wochen des Schreibens. Danken möchte ich auch meiner Agentin, Frau Beate Riess, für all ihre Unterstützung und Ermutigung nicht nur für dieses Buch. Trotz all dieser Hilfe haben sich sicher der ein oder andere Fehler und zahlreiche Auslassungen nicht vermeiden lassen. Ich bitte den Leser um Entschuldigung und übernehme selbstverständlich die volle Verantwortung dafür.

Prolog

„Die Wissenschaft geht nicht immer vorwärts. Es ist ein bisschen wie ein Zauberwürfel. Manchmal musst du mit einem Zauberwürfel mehr Chaos anrichten, bevor du es richtig machen kannst.“

Jocelyn Bell Burnell, Radioastronomin¹

Ende des 19. Jahrhunderts waren fast alle Wissenschaftler davon überzeugt, die Gesetze der Welt und damit ihr Wesen in ihrer gesamten Tiefe ein für alle Mal verstanden zu haben. Die Gesetze Newtons galten als ewig gültige Weltformel, die Erkenntnisse auf den Gebieten des Magnetismus und der Elektrodynamik schienen das Bild aufs Schönste abzurunden. Aus dieser Haltung heraus wurde dem jungen Max Planck, der in den 1870er-Jahren einen seiner Lehrer fragte, ob er Physik studieren sollte, die Antwort gegeben, dass es auf diesem Gebiet nicht mehr viel zu entdecken gebe. Zum Glück hörte Planck nicht auf diesen Rat.

Werner Heisenberg, der in den 1920er-Jahren die Physik revolutionierte, war schon einen Schritt weiter:

„Nur wenige wissen, wie viel man wissen muss, um zu wissen, wie wenig man weiß.“²

¹ Jocelyn Bell Burnell entdeckte die Sternklasse der Pulsare, den Nobelpreis für diese Entdeckung erhielten ihre männlichen Kollegen.

² Quelle: *Fliegende Blätter*, humoristische deutsche Wochenschrift, 1845–1944. Heisenberg griff hier wahrscheinlich auf Sokrates zurück, dessen Satz „Ich weiß als Nicht-Wissender“ bzw. „Ich weiß, dass ich nicht weiß“ oft fälschlicherweise als „Ich weiß, dass ich *nichts* weiß“ zitiert wird.

Sogar das mühsam errungene und als sicher geglaubte Wissen erwies sich als volatil. Was frühere Forschergenerationen für absolut wahr hielten, ist es in den allermeisten Fällen für uns heute nicht mehr. Wissenschaftler haben diese Lektion gelernt, sie gehen heute explizit davon aus, dass Wissen stets nur temporär korrekt sein kann; das Gültige kann sich jederzeit als falsch erweisen.

Diese Abkehr von ewigen Wahrheitsansprüchen begann Ende des 19. Jahrhunderts und löste eine umfassende Krise in den Wissenschaften aus. In den 80 Jahren von 1870 bis 1950, einem Zeitraum, der ein Wimpernschlag in der Geschichte der Menschheit ist und nicht viel mehr als ein Menschenleben umfasst, fand die wohl größte Denkrevolution aller Zeiten statt. Sie war weit einschneidender als die Paradigmenwechsel von Renaissance und Aufklärung (auch wenn man in Geschichtsbüchern der Schule wenig davon erfährt). Begleitet wurde diese Krise der Wissenschaften von zwei Weltkriegen, dem Untergang der tradierten Gesellschaftsordnungen sowie einer Neuordnung der Welt.

Wo die Not groß ist, ist die Rettung nicht fern. Ab Ende des 19. und in der ersten Hälfte des 20. Jahrhunderts wirkte eine Reihe wissenschaftlicher Genies von atemberaubender Kreativität, die letztendlich die Wissenschaften aus dieser Krise führten. Dieses Buch beschreibt ihr Wirken und begleitet die Wissenschaft auf ihrer so aufregenden wie bizarren Reise in die Moderne. Auf ihr begegnen wir unter anderem dem mathematischen und physikalischen Genie James Maxwells, den in schwere psychische Kämpfe verstrickten Geistesgrößen Georg Cantor und Ludwig Boltzmann, dem in Glaubens- wie Wissenschaftsfragen so bewegten Charles Darwin, dem Revolutionär wider Willen Max Planck, dem Schweizer Revolutionär Albert Einstein, zahlreichen genialen Knabenphysikern um Niels Bohr, die im Alter von nicht viel mehr als 20 Jahren die Welt der Physik endgültig umstürzten, und nicht zuletzt den mathematischen Genies John von Neumann, Kurt Gödel, Alan Turing und Emmy Noether, deren revolutionäre Gedanken auch vor den Grundzügen der Logik nicht haltmachten.

Dieses Buch ist in zwei Teile gegliedert. Die Kapitel eins bis fünf beschreiben die Phase, die ungefähr auf den Zeitraum zwischen 1870 und 1925 einzugrenzen ist und in der nahezu zeitgleich in Physik, Mathematik, Biologie bis hin zur Psychologie Entwicklungen stattfanden, die zu den tiefsten Krisen der jeweiligen Fachbereiche führten. Die Kapitel sechs

bis zwölf werfen ein Licht auf die genannten Wissenschaften in den anschließenden Jahren bis 1950, die den Durchbruch in die Moderne brachten. In diese Zeit fällt auch die entscheidende Wende von einer an Theorie und Philosophie ausgerichteten Wissenschaft hin zur ihrer praktischen und anwendungsbezogenen Orientierung.

Inhaltsverzeichnis

Teil I Die große Verwirrung

1	Newton's Weltformel, die keine war	3
2	Der Kampf ums Atom: Von Boltzmann bis Einstein	21
3	Die Mathematik wird paradox	41
4	Darwins Zögern und Mendels Fleiß	63
5	Kein Boden mehr unter den Füßen	81

Teil II Genies erschaffen eine neue Welt

6	Knabenphysik	107
7	Einstein und Schrödinger gegen Bohr und Heisenberg	125
8	Die endgültige Auflösung aller Materie	147
9	Die Mathematik wird zur Supermacht	167
10	Die Architektur des Lebens wird entschlüsselt	191
11	Der Pyrrhus-Sieg der Big Science	211
12	Was ist der Mensch?	233

	Epilog: Die fünfte Tugend der Wissenschaften	255
--	--	-----

	Literatur	259
--	-----------	-----

Teil I

Die große Verwirrung

Mit der Mechanik Newtons stand den Physikern des 18. Jahrhunderts zum ersten Mal eine fundamentale Theorie der Natur auf der Basis von Naturgesetzen zur Verfügung. Sie mussten nun nicht mehr ihren Glauben oder metaphysische Spekulationen bemühen, um die Gegenstände ihrer Naturerfahrung zu erklären, sondern nur noch mathematische Gleichungen lösen. Newtons Gesetze lieferten ihnen die dafür notwendige Weltformel. Die daraus folgende Explosion des naturwissenschaftlichen Wissens ließ im 18. Jahrhundert die Geisteshaltung der europäischen Gesellschaften nicht unberührt: Die Aufklärung war das geistige Kind von Newtons Physik. Und mit den sich aus dem neuen Wissen über die Natur ergebenden technologischen Möglichkeiten entwickelte sich im Verlauf des 19. Jahrhunderts ein immer stärkerer Zukunftsoptimismus.

In dieser Zeit nahmen die Naturforscher auch Phänomene ins Visier, die seit der Antike unerklärt geblieben waren: chemische Umwandlungen, Wärme, Elektrizität und Magnetismus. Dabei erkannten sie, dass sie hier das Verhalten der kleinsten Teilchen erfassen mussten, und machten eine wichtige Annahme: Die Gesetze der Physik sollten auch für den Mikrokosmos, also für Vorgänge jenseits der direkten Beobachtung, gelten, ganz so wie für den Makrokosmos. Hier sollte insbesondere der gleiche Determinismus wirken wie in den Gesetzen Newtons und denen von Elektrizität und Magnetismus. Doch diese Annahme barg philosophischen Sprengstoff: Je näher die Physiker die Eigenschaften der kleinsten Teilchen zu erfassen versuchten, desto klarer wurde, dass ihr Verhalten nicht den bekannten physikalischen Gesetzen folgte. Sie entdeckten hier etwas, für das in der

Physik Newtons überhaupt kein Platz war, aber für das Geschehen im Mikrokosmos eine tragende Rolle zu spielen schien: den Zufall.

Mit der Theorie Charles Darwins sahen sich auch die Biologen einem revolutionär neuen Paradigma ausgesetzt: Auf einmal war der Mensch kein Geschöpf Gottes mehr, sondern eines der Natur. Und auch Darwin musste in seiner Evolutionstheorie eine entscheidende Annahme machen: Wie in der Physik mussten in der Biologie kleinste Teilchen wirken, die sich nach den Regeln des Zufalls verhalten. So betrat zum Ende des 19. Jahrhunderts das antike Rätsel um die kleinsten Teilchen mit voller Wucht die Bühne des naturwissenschaftlichen Denkens. Hatten sich die Physiker im ausgehenden 19. Jahrhundert gerade an den Gedanken gewöhnt, dass sie mit ihren Theorien schon bald die Welt vollständig und in allen Einzelheiten verstehen würden und sie sich nur noch um ein paar letzte kleine Probleme kümmern mussten, da brach ihr Denkgebäude zusammen.

Es waren aber nicht nur die Wissenschaften, die eine Krise traf. Auch die Mathematik geriet Ende des 19. Jahrhunderts aufgrund der nun hervortretenden inneren Widersprüche in eine tiefe Krise und musste in den ersten Jahrzehnten des 20. Jahrhunderts einen nicht weniger harten Kampf um ihre Integrität austragen. Nicht zuletzt in der wissenschaftlichen Erfassung unseres Geistes geschah Revolutionäres: Die Psychologie beschrieb unseren Geist als unkontrollierbare Bestie. Nachdem sie im Ersten Weltkrieg ihre bisher hässlichste Fratze gezeigt hatte, zeichnete sich am Horizont bereits ein neues Zeitalter ab, das die Wissenschaft zum Spielball politischer Interessen machen sollte: der Totalitarismus.



1

Newton's Weltformel, die keine war Wie die Lichtgeschwindigkeit die klassische Physik ins Wanken brachte

Fast die gesamte Menschheitsgeschichte hindurch gab es kaum einen Zweifel daran, dass Gott allein – oder die Götter – darüber bestimmte, was auf der Erde geschah. In allem, was der Mensch beobachtete oder ihm widerfuhr, offenbarte sich sein Wille. Traf ein Pfeil sein Ziel, dann nur deshalb, weil Gott es so gewollt hatte. Auch die von Kopernikus und Kepler gefundenen Gesetzmäßigkeiten der Planetenbewegungen galten als Beweis für die göttliche Allmacht. Zwar hatte schon Galileo Galilei geahnt, dass das „Buch der Natur in der Sprache der Mathematik geschrieben sei“, doch bis zum Jahr 1687 hatte niemand die Tür zu dieser ganz anderen Art der Welterklärung aufgestoßen. In jenem Jahr veröffentlichte Isaac Newton sein Werk *Die mathematischen Prinzipien der Naturphilosophie*. Er war zwar nicht der erste Mensch, der seine Beobachtungen mit mathematischen Berechnungen verknüpfte, doch nie zuvor hatte es eine in sich abgeschlossene wissenschaftliche Theorie gegeben, die für fast alle der zu seiner Zeit bekannten Naturphänomene eine rationale und kausale Erklärung lieferte. Um diese Mammutaufgabe bewältigen zu können, hatte Newton ganz neue Berechnungswege entwickeln müssen. Erst mit der Integral- und Differenzialrechnung wurde es möglich, die Bewegungen und Kräfte, denen alle Geschehnisse der uns erfahrbaren Welt um uns herum unterworfen sind, mathematisch exakt zu berechnen. So wie Galilei es vorhergesagt hatte, erwies sich tatsächlich die Mathematik als das entscheidende Werkzeug zur Beschreibung der Natur.

Naturphilosophie: Der Versuch, die Vorgänge in der Natur zu erklären und in ein einheitliches Weltbild zu fassen.

Dieser Durchbruch war Newton nicht zuletzt deshalb gelungen, weil er die Gravitation als Kraft entdeckt hatte. Alle anderen damals bekannten Kräfte wirken *direkt* von Körper zu Körper. Zum Beispiel kann ein Wagen nur dann von einem Pferd gezogen werden, wenn beides über eine Deichsel miteinander verbunden ist. Doch Gravitation wirkt auch dann, wenn sich die Körper gar nicht berühren. Als Newton verstand, dass die Kraft, die die Planeten auf ihren Bahnen hält, dasselbe ist wie die Schwerkraft, die einen Apfel zur Erde fallen lässt, konnte er sein universelles Gravitationsgesetz formulieren. Mit diesem Gesetz und den drei Grundgesetzen der Mechanik ließen sich fast alle damals bekannten Phänomene rational erklären und sogar vorausberechnen. Die Flugbahn eines geworfenen Steins, die Arbeitserleichterung durch einen Flaschenzug, die Gezeiten, sogar die Planetenbahnen und die Wiederkehr von Kometen waren nun nachvollziehbar. Nun war es nur noch ein kleiner Schritt bis zu einer Erklärung der Welt von Grund auf, die nicht mehr auf einen Willen Gottes oder andere transzendente Wirkungen zurückgreifen musste.

Der letzte Magier

Newton ist diesen Schritt zeit seines Lebens nicht gegangen. Seine mathematischen Gesetze waren rein rational, doch er selbst war kein sehr rationaler Mensch. Tiefreligiös und mit einem starken Hang zum Okkultismus verbrachte er zum Beispiel viel Zeit damit, in der Bibel nach versteckten Hinweisen und Geheimnissen zu suchen. Als 1650 der irische Erzbischof James Ussher durch genauestes Bibelstudium meinte bewiesen zu haben, dass der Tag der Schöpfung der 23. Oktober 4004 v. Chr. gewesen sei, überprüfte Newton dieses Datum anhand astronomischer Konstellationen und kam zu dem Schluss, dass die Welt 534 Jahre jünger sein müsse als von Ussher berechnet.

Okkultismus: Weltanschauung, in der nur wenigen Menschen der Zugang zu verborgenen, mystischen Mächten gegeben ist. Zu den okkulten Wissenschaften gehören unter anderem Alchemie und Astrologie.

Als überzeugter Anhänger der Alchemie glaubte Newton an eine spirituell aktive Substanz namens Äther, die jeden festen Stoff durchdringt und auch zwischen dem Zentrum der Erde und den Himmelskörpern zirkuliert. In seinen Manuskripten nahm er immer wieder Bezug auf den Äther, der seiner Ansicht nach als Urheber der Gravitation alle Materie in Richtung Erd- bzw. Sonnenmittelpunkt drücken sollte. Es ist paradox: Newtons tiefer Glaube an die Alchemie und an das allumfassende Wirken göttlicher, alchemistischer und astraler Kräfte in der Natur führte dazu, dass er eine Vorstellung von einer unsichtbaren Kraft entwickelte, die als Schwerkraft die Dinge auf den Erdboden zieht und auch Planeten auf ihren Bahnen hält. Dass gerade der überzeugte Geheimbündler und Okkultist Newton der modernen, streng rationalen Wissenschaft zu ihrem entscheidenden Durchbruch verholfen hat, ist eine der merkwürdigsten Wendungen in der Geschichte der Wissenschaften.

Am 17. Juli 1946 wurde an der früheren Wirkungsstätte Newtons, dem Trinity College in Cambridge, eine Festrede verlesen, die der nur wenige Wochen zuvor verstorbene John Maynard Keynes, Englands berühmter Wirtschaftswissenschaftler, zu dessen 300. Geburtstag verfasst hatte. In ihr hieß es:

„Im 18. Jahrhundert und immer seither hielt man Newton für den ersten und größten Vertreter des modernen wissenschaftlichen Zeitalters [...] Aber Newton war nicht der erste des Aufklärungszeitalters. Er war der letzte der Magier, der letzte der Babylonier und Sumerer, der letzte große Geist, der auf die sichtbare und intellektuelle Welt mit denselben Augen blickte wie jene, die kaum weniger als tausend Jahre früher unser intellektuelles Erbe aufzubauen begannen.“

Newtons religiöser Glaube war unverrückbar gewesen, doch seine Gesetze waren nun im Umlauf und schwächten die Macht der Religionen. Mit den Erklärungen, die sie gaben, war die Welt kein Ort mehr, an dem der unerklärliche Willen Gottes unverständliche Dinge geschehen lässt. Die Menschen begannen, die Natur – einschließlich des Menschen selbst – als eine Maschine zu verstehen, die allgemeingültigen und nachvollziehbaren Gesetzen folgt und die man mithilfe der Gleichungen Newtons mathematisch berechnen und vorhersagen kann. Newton wurde zum Helden und Idol seines Zeitalters.

Aufklärung: Ab Ende des 17. Jahrhunderts verbreitete sich in Europa ein neues Denken, das auf menschlichen Verstand und Vernunft setzte und Ideologien, Aberglauben und Vorurteile überwinden wollte.

Der Einfluss des neuen Denkens auf Europas Gesellschaften war enorm. Viele Jahrhunderte lang hatten sich zahllose Gelehrte abgemüht, die Geschehnisse in der Natur zu beschreiben und zu verstehen. Vor allem seit der Renaissance hatten sie zunehmend Mut gefasst, religiöse Dogmen infrage zu stellen. Doch da sie Verfolgung fürchten mussten, korrespondierten sie höchstens untereinander. Die Menschen außerhalb der Gelehrtenzirkel – ob Adelliger oder Bauer – waren von deren Denkansätzen ausgeschlossen, ihre Lebens- und Erfahrungswelt blieb dieselbe. Mit Isaac Newton änderte sich das. Nicht ganz unschuldig daran war der große Philosoph Voltaire. Er wollte Newtons Werke gerne in der französischen Sprache haben – die er jedoch aufgrund seiner beschränkten mathematischen Fähigkeiten nicht selber übersetzen konnte. Dies tat schließlich seine langjährige Geliebte und brillante Mathematikerin Émilie du Châtelet in den Jahren 1746–1749. Damit verbreitete sie zuletzt, fast 70 Jahre nach Erscheinung des Newton'schen Werkes, die Begeisterung für dessen Gesetze in Voltaires Heimatland Frankreich. Von dort aus eroberte das neue Denken ganz Europa. In den Kaffeehäusern und Privatsalons von Paris, Berlin und London wurde heiß diskutiert, aber auch an den dörflichen Stammtischen. Von religiöser Deutungshoheit befreit hinterfragte man nun das Wesen politischer Macht. Wenn es nicht Gott ist – wer oder was bestimmt die Stellung und die Rechte jedes Menschen? Wer oder was verleiht politische Macht? Newton und seine Gesetze öffneten die Tür zum Zeitalter der Aufklärung, in der die neue Rationalität auch das gesellschaftliche und politische Denken revolutionierte. Die amerikanische Unabhängigkeitserklärung von 1776 und die Französische Revolution von 1789 hätten ohne die von Newton befeuerte Aufklärung wohl nicht stattgefunden.

Newtons Gebäude aus Naturgesetzen war allerdings nicht vollkommen. Einige Phänomene, mit denen sich die Gelehrten in der folgenden Zeit beschäftigten, ließen sich nicht mit seiner Mathematik erklären:

1. Chemische Umwandlungen
2. Wärme und Kälte
3. Elektrizität und Magnetismus

Doch der Zukunftsoptimismus war groß, die Naturforscher waren überzeugt, dass sie die Newton'schen Gesetze nur durch einige weitere Formeln ergänzen müssten. Es schien nur noch eine Frage der Zeit zu sein, bis der Mensch fähig sein würde, ausnahmslos alles zu verstehen und zu berechnen.

Die weißen Flecken auf der Landkarte der Wissenschaft

Das mystische Treiben der Alchimisten hatte schon einiges Wissen über **chemische Umwandlungen** zusammengetragen, doch die Natur auch der alltäglichsten Substanzen wie Wasser und Luft war den Zeitgenossen Newtons noch gänzlich unbekannt. Das Tor zum Verständnis chemischer Reaktionen war für die Naturforscher die Verbrennung. Dass die Luft bei diesem Prozess eine wichtige Rolle spielen musste, war offensichtlich, denn ohne Luftzufuhr endet jede Verbrennung:

- Ein bedeuteter Schritt gelang 1781 dem Engländer Henry Cavendish. Aus Schwefelsäure, Eisen und Zink gewann er ein Gas, das er „brennbare Luft“ nannte, heute als Wasserstoff bekannt. Seine Entdeckung, dass dieses Gas bei seiner Verbrennung reines Wasser produziert, war ein Schock, denn die antike Lehre hatte Wasser als eine der vier Grundsubstanzen eingeordnet. Wenn aber Wasser aus der „brennbaren Luft“ sowie dem kurz darauf ebenfalls isolierten Sauerstoff besteht, dann musste es auch mehr Elemente als nur Luft, Wasser, Feuer und Erde geben. Eine jahrtausendealte Gewissheit hatte sich als irreführend herausgestellt.
- Lange Zeit waren die Naturforscher davon überzeugt, dass jedes brennbare Material die unsichtbare Substanz Phlogiston (vom griechischen *phlogistós* für „verbrannt“) enthält. Es schien logisch zu sein: Sobald das Phlogiston zum Beispiel verbrennendem Holz entweicht, bleibt Asche zurück. Dem Chemiker Antoine-Laurent Lavoisier gelang 1772 ein entscheidender Durchbruch. In einer Serie von Experimenten verbrannte er Stoffe wie Phosphor und Blei, sogar Diamanten, und konnte dank seiner aufwendigen Laboreinrichtung und des Einsatzes von Präzisionswaagen die Ausgangs- und Endprodukte einer Reaktion sehr genau vermessen. Er stellte fest, dass das Gesamtgewicht aller Produkte vor und nach einer Verbrennung konstant blieb. Es ging also kein Material verloren, nichts kam dazu. Aber wo war das Phlogiston? Nach dieser Entdeckung konnte sich die Phlogistontheorie nicht mehr lange halten.
- Bald darauf entdeckte Joseph-Louis Proust, dass die von ihm untersuchten chemischen Verbindungen ein ganzzahliges Verhältnis der am Reaktionsprozess beteiligten Elemente aufwiesen, also beispielsweise 3:2 oder 2:1. Ein weiterer Franzose, Joseph Louis Gay-Lussac, zeigte 1808, dass dieses Prinzip auch für Gase gilt. Dies waren erste Hinweise darauf, dass kleinste, unteilbare Teilchen an den chemischen Vorgängen beteiligt waren.

Lavoisier erlebte die Erfolge seiner Landsleute nicht mehr, er wurde ein Opfer der Französischen Revolution. Da er früher in Diensten des Königs wichtige Ämter ausgeübt hatte, wurde er verhaftet; sein Schicksal wurde aber durch einen ganz anderen Umstand besiegelt: Einige Jahre zuvor hatte er dem Revolutionsführer Marat den Zugang zur französischen Wissenschaftselite verwehrt. Marat sah nun eine willkommene Gelegenheit zur Rache; Lavoisier wurde 1794 mit der Guillotine hingerichtet. Noch heute grämt sich die große Wissenschaftsnation Frankreich, dass einer ihrer brilliantesten Köpfe auf diese Weise zu Tode gekommen ist.

Dampfkolben und Destillierapparate

Wie die gezielte chemische Umwandlung von Stoffen besaß auch die Beherrschung der Phänomene **Wärme und Kälte** eine große praktische Bedeutung. Vor allem bei den im späten 18. Jahrhundert aufkommenden Dampfmaschinen fehlte ein tieferes Verständnis der Umwandlung von Wärme in mechanische Energie. Dieses Wissen hätte schon damals technische Prozesse und alte Handwerkskünste wie zum Beispiel das Brennen von Whisky entscheidend vorantreiben können. Doch die Newton'schen Gesetze erlaubten auch hier keinen mathematischen Zugang. Lange glaubte man, dass analog zur Phlogistontheorie auch die Wärme ein in allen Materialien enthaltener Stoff sei. Selbst Lavoisier, der in der Chemie die Phlogistontheorie zu Fall gebracht hatte, war ein leidenschaftlicher Vertreter der Ansicht, dass Wärme eine Substanz sei. Er bezeichnete sie als „calorique“.

- Der Amerikaner Benjamin Thompson beschäftigte sich mit dem Zusammenhang von Reibung und Wärme. 1798 beobachtete er in der königlichen Geschützgießerei in München, wie in die gegossenen Bronzekanonen nachträglich die Läufe gebohrt wurden – eine harte Arbeit, die mühsam per Metallbohrer ausgeführt werden musste. Er stellte fest, dass sich die Bronze bei jedem Arbeitsgang immer wieder neu erhitzte, die Reibung also eine unerschöpfliche Wärmequelle war. Ein „Wärmestoff“ hätte aber bei dutzendfacher Wiederholung irgendwann einmal zur Neige gehen müssen. Damit war klar, dass Lavoisiers kalorische Theorie falsch sein musste. Thompson beschrieb die Wärme als eine Form der Energie. Jedoch war er in den Wissenschaften zu wenig bewandert, um Verbindungen zu anderen Bereichen der Physik, insbesondere zur Mechanik, zu ziehen.

- Physiker hatten im 18. Jahrhundert erkannt, dass Gase in einem abgeschlossenen Behälter zusammengedrückt werden können. Dies legte die Vorstellung nahe, dass ein Gas aus Teilchen besteht, die wie kleine Kugeln wild umherwirbeln. Durch äußeren Druck verringert sich der ihnen zur Verfügung stehende Raum. Der Italiener Amadeo Avogadro zog 1811 aus seinen Messungen die Schlussfolgerung, dass gleiche Gasvolumina bei konstant gehaltener Temperatur und gleichem Druck die gleiche Anzahl von Teilchen enthalten. Daraus ergab sich eine für alle Gase gleiche universelle Gesetzmäßigkeit zwischen Volumen, Druck und Temperatur. Newton wäre erfreut gewesen – alles war noch im Einklang mit seinen Gesetzen.
- Rund 50 Jahre nach Thompson gelang es dem britischen Physiker James Joule, eine mathematische Theorie für die Umwandlung mechanischer Energie in Wärmeenergie zu entwickeln. Darin stellte er fest, dass die Wärme in Zusammenhang mit der Bewegung der kleinsten Teilchen steht.

Auf beiden Gebieten – den chemischen Umwandlungen und dem Phänomen von Wärme und Kälte – waren die Naturforscher an einem ähnlichen Punkt angelangt. Noch sprach nichts dagegen, dass Newtons Gesetze auch in diesen Bereichen gültig sind, sie hatten auch schon einige Zusammenhänge gefunden, die Analogien zu den Newton'schen Gesetzen aufwiesen. Doch wenn sie die chemischen Umwandlungen und auch Wärme und Kälte von Grund auf verstehen wollten, mussten sie sich mit den kleinsten Teilchen beschäftigen.

Schon antike Denker wie Demokrit und Aristoteles hatten sich Gedanken über die Bausteine der Welt gemacht. Zu Beginn des 19. Jahrhunderts verließen die kleinsten, unteilbaren Dinge das Feld der Philosophie und wurden zum Gegenstand konkreter wissenschaftlicher Überlegungen und Experimente. Allerdings ließen sich Atome nicht direkt beobachten, auf ihre Existenz und die Gesetzmäßigkeiten ihres Verhaltens konnte nur indirekt mithilfe von Modellen und Hypothesen geschlossen werden. Für den englischen Naturforscher John Dalton waren die ganzzahligen Verhältnisse der Ausgangs- und Endstoffe chemischer Reaktionen konkrete Hinweise darauf, dass alle Materie tatsächlich aus kleinsten, nicht mehr teilbaren Teilchen zusammengesetzt sind. Demokrit zu Ehren nannte Dalton sie Atome.

Um die große Anzahl der bislang gefundenen Grundstoffe zu erklären – darunter Wasserstoff, Sauerstoff, Schwefel und Eisen –, schuf er die Vorstellung von chemischen Elementen, die jeweils aus einer bestimmten Sorte von Atomen bestehen. Ihr Unterscheidungsmerkmal sollte aber nicht, wie

es sich die griechischen Denker vorgestellt hatten, ihre äußere Form oder Farbe sein, sondern ihr Gewicht. Dem Atom des Wasserstoffs gab Dalton das Gewicht eins, das Gewicht der Atome aller anderen Elemente bestimmte er als ein ganzzahliges Vielfaches davon. Nach diesem Schema klassifizierte er 21 verschiedene Elemente; die heutige Chemie kennt weit über 100.

Nun machten die Naturforscher eine nachvollziehbare, aber verhängnisvolle Annahme: Sie gingen davon aus, dass Newtons Gesetze, die ja ihrer Erfahrung nach die Vorgänge im sichtbaren und erfahrbaren Makrokosmos perfekt beschrieben, auch für den Mikrokosmos gelten sollten. Für sie war es selbstverständlich, dass zwei Atome sich ebenso nach Newtons Gesetzen verhalten wie zwei Murmeln. Sie waren überzeugt, dass sie es nur noch schaffen mussten, die Newton'sche Mechanik auf die kleinsten Teilchen anzuwenden, um auch die chemischen Reaktionen und die Wärmephänomene berechnen zu können. Dann würden sie auch den bislang ungelösten Rätseln auf die Spur kommen, zum Beispiel, welche Kräfte die Atome in ihren Verbindungen zusammenhalten.

Die Sache hatte nur einen Haken: Bei dem dritten physikalischen Phänomen, das durch die Newton'schen Gesetze nicht abgedeckt war – Elektrizität und Magnetismus – kam man schnell an die Grenzen des Erklärbaren. Es gab keine Anzeichen für eine Beteiligung von kleinsten Teilchen, und man hatte auch keinerlei Vorstellung davon, wie diese Phänomene zustande kamen.

Das Zucken toter Frösche

Anders als die chemischen Umwandlungen und die Thermodynamik spielten **Elektrizität und Magnetismus** in industriellen Prozessen zunächst keine Rolle. Ganz im Gegenteil: Ein Hauch des Mystischen umgab diese Phänomene. Bei gesellschaftlichen Anlässen des 18. Jahrhunderts dienten sie der Unterhaltung der Gäste, bei der man sich gegenseitig die Haare zu Berge stehen ließ.

- Schon die Griechen hatten erkannt, dass ein an einem Stofftuch geriebener Bernstein bestimmte Gegenstände anzieht. Diese Tatsache gab dem Phänomen der elektrischen Anziehung auch seinen Namen: „Bernstein“ heißt auf Griechisch *elektron*.
- Im 17. Jahrhundert zeigte der deutsche Naturforscher Otto von Guericke, dass sich Elektrizität von einem Körper auf einen anderen übertragen

lässt. Er entdeckte zwei Formen der Elektrizität: eine anziehende und eine abstoßende.

- Die erste Theorie der Elektrizität postulierte wie die Phlogistontheorie eine besondere Substanz, die für alle elektrischen Effekte verantwortlich sei. Ein überzeugter Anhänger dieser Theorie war Benjamin Franklin, der als Kämpfer für die amerikanische Unabhängigkeit berühmt wurde und zugleich der bedeutendste amerikanische Forscher des 18. Jahrhunderts war. Er glaubte, dass zu viel vom „elektrischen Phlogiston“ den Körper „positiv“ werden lässt, zu wenig davon „negativ“. Weil im Labor bei der Entladung von Elektrizität kleine Blitze zu beobachten waren, kam er auf die Idee, dass auch die bei Unwettern auftretenden Blitze mit Elektrizität zusammenhängen könnten. Er konzipierte ein gefährliches Experiment: Während eines Gewitters sollte ein Drachen an einer nassen Hanfschnur in die Luft aufsteigen (eine nasse Hanfschnur leitet den Strom), an deren unterem Ende ein metallischer Gegenstand befestigt war. Franklin beschrieb, dass er, als ein Blitz über den Himmel zuckte, seine Hand an das Metall geführt und einen Schlag bekommen hätte. Vermutlich hatte Franklin nur ein Gedankenexperiment erläutert; viele Naturforscher, die seinen Versuchsaufbau in der Realität nachahmten, kamen ums Leben.
- 1785 vermaß der Franzose Charles-Augustin de Coulomb die Kraft, mit der sich zwei elektrisch geladene Bälle abstoßen bzw. anziehen, denen er eine bestimmte Menge an elektrischer Ladung verabreicht hatte. Diese Kraft hing direkt von der auf den Bällen befindlichen Ladungsmenge ab. Bei dreifacher Entfernung voneinander sank die Kraft auf ein Neuntel. Dieser Zusammenhang, der heute als Coulomb'sches Gesetz bekannt ist, entsprach der Gesetzmäßigkeit von Newtons Gravitationsgesetz! Die Elektrizität war also gar nicht so mystisch wie zunächst angenommen. Auch sie funktionierte nach einfachen, leicht verständlichen Gesetzen, wie auch Newton sie formuliert hatte.

Bis zum Jahr 1780 kannten die Naturforscher Elektrizität nur in Form stationärer Ladungen, mit denen sich bestimmte Materialien, vor allem Metalle, aufladen lassen und die sich bei Kontakt oder Nähe mit anderen Körpern schlagartig, oft unter Funkenbildung, entladen. In jenem Jahr bemerkte Luigi Galvani jedoch Muskelkontraktionen in den Beinen toter Frösche, wenn sie in die Nähe von elektrischen Ladungen kamen. Er kannte die Theorie Benjamin Franklins, dass Gewitterblitze nichts anderes als elektrische Entladungen seien. So hing er die toten Froschbeine vor ein Metallnetz und wartete auf ein Gewitter. Und tatsächlich, als es blitzte, zuckten die Froschbeine. In weiteren Versuchen entwickelte er, ohne dies

zu wissen, Stromkreise aus zwei unterschiedlichen Metallen und dem im Froschschenkel enthaltenen Salzwasser als Elektrolyten.

Galvani interpretierte das Zucken der Froschbeine als den Rest animalischer Kräfte. Ein anderer italienischer Wissenschaftler und Zeitgenosse Galvanis, Alessandro Volta, zog aus dem Froschschenkelexperiment ganz andere Schlüsse. Er folgerte, dass die Wirkung auf die Anordnung der verschiedenen Metalle zurückzuführen sei musste. Um dem Phänomen weiter auf den Grund zu gehen, nahm er eine Silbermünze und ein Stück Blechfolie, verband sie mit einem Draht aus Kupfer und legte sie unter bzw. über seine Zunge. Vielleicht würde seine Zunge genauso zucken wie die Froschbeine, dachte er, denn schließlich war auch sie ein Muskel. Sie zuckte zwar nicht, doch Volta verspürte ein Kribbeln, gefolgt von einem sauren Geschmack. Er folgerte, dass seine Empfindungen im Zusammenhang mit fließender Elektrizität stehen und dass Metalle nicht nur elektrische Ladungen leiten, sondern sie auch produzieren können. Um den Effekt des fließenden Stroms zu verstärken, konstruierte er um 1800 einen Stapel mit sich abwechselnden Schichten aus Metallen und Salzwasserlösungen. Damit hatte Volta die erste elektrische Batterie gebaut! Eine solche Anordnung konnte erstaunliche Dinge hervorrufen, sogar Licht erzeugen, wenn man die beiden Metallenden mit einem dünnen Draht aus geeignetem Material verband.

Doch was genau erzeugte den elektrischen Strom in Voltas Experimenten? Der junge englische Wissenschaftler Humphry Davy vermutete, dass chemische Reaktionen den elektrischen Strom hervorrufen. War es dann nicht auch möglich, dass elektrischer Strom umgekehrt chemische Reaktionen hervorrufen konnte? In einem aufsehenerregenden Experiment steckte er die beiden metallischen Enden der Anordnung Voltas in eine Kalilauge (eine Wasserlösung mit Kaliumhydroxid). Daraufhin bildete sich an einem Ende der Zelle ein Gas, das schnell entwich, am anderen Ende ein Metall, das wie Quecksilber aussah, aber bei Kontakt mit Luft schnell und explosionsartig verbrannte. Es handelte sich um Wasserstoff und das bis dahin unbekannte hochreaktive Metall Kalium. Nun war klar, dass elektrischer Strom tatsächlich chemische Verbindungen zu trennen vermag. Davy zog den Schluss, dass es auch elektrische Kräfte sind, die die Bestandteile chemischer Verbindungen zusammenhalten. Diese neue Kraft, die in Newtons Erklärung der Welt noch fehlte, war nur in ersten Umrissen zu erkennen, man hatte noch kein einheitliches Bild von ihr. Doch aus dem Mysterium Elektrizität war ein berechenbares Phänomen geworden. Die Anstrengungen richteten sich nun eher auf die technische Umsetzung der Ideen, wozu elektrischer Strom gut sein könnte. 1802 hatte Davy mit Holz-

kohlestreifen experimentiert, um per Stromkreis Licht zu erzeugen. Später wurden Papier, Bambus und Platin eingesetzt – mit überschaubarem Erfolg. Es dauerte über 100 Jahre, bis Thomas Alva Edisons Glühlampe die Welt eroberte.

Bis weit ins 19. Jahrhundert hinein konnte man davon ausgehen, dass Newtons Weltbild nur ergänzt werden musste, um auch die letzten Rätsel der Natur zu lösen. Bei allen mysteriösen Kräften, die der Vater der klassischen Physik nicht hatte erklären können, war man auf einem guten Weg, sie in dessen Welterklärung zu integrieren. Nur ein letztes Phänomen sperrte sich noch dieser Vereinnahmung: der Magnetismus. Einem Schüler Davys, Michael Faraday, gelang es, diese Kraft mit der neuen elektrischen Theorie in Verbindung zu bringen. Dies hätte der Schlussstein sein sollen, der das Newton'sche Gebäude komplettiert. Doch es kam anders als erwartet. Statt die nimmermüde Arbeit der unzähligen Naturforscher, die ihr Leben der Wissenschaft gewidmet hatten, abzuschließen und zu krönen, brachte genau dieser Stein alles zum Einsturz.

Magnetische Kräfte und magisches Denken

Wie die Elektrizität war auch der Magnetismus seit der Antike bekannt. Erste Aussagen über ihre Eigenschaft, gewisse Dinge anzuziehen, stammen vom Vorsokratiker Thales von Milet, der im frühen 6. Jahrhundert v. Chr. magnetische Steine aus der Gegend von Magnesia in Thessalien untersuchte. Es war auch bekannt, dass sich Magnetsplitter in Nord-Süd-Richtung orientieren. In China waren schwimmende Kompassnadeln seit Ende des 11. Jahrhunderts in Gebrauch; in Europa setzen sich ab dem 13. Jahrhundert Magnetkomпасse mit aufgehängter Nadel durch. Trotz dieser nützlichen Anwendung behielt das Thema Magnetismus die Aura des Mystischen. Der Grund hierfür liegt wohl darin, dass ein Mensch den Magnetismus – anders als chemische Reaktionen, Wärme und Kälte und auch Elektrizität – mit keinem seiner Sinne direkt erfahren kann und deshalb in besonderem Maße geheimnisumwittert blieb.

- Albertus Magnus, der große Universalgelehrte des 13. Jahrhunderts, schrieb in seinem Buch *Über Minerale*, dass die Fähigkeit des Magneten zur Anziehung beziehungsweise Abstoßung auch in der Ehe von Nutzen sei: „Der Mann (möge) seiner Frau einen Magneten unter das Kopfpolster legen. Sie wird ihn brünstig umarmen, wenn sie ihm treu ist,

hingegen mitten im Schlaf aus dem Bett geschleudert, wenn sie die Ehe gebrochen hat.“

- Der englische Arzt und Physiker William Gilbert, der bereits im Jahr 1600 die Erde als großen Magneten beschrieb, stellte sich den Magnetismus als „die Seele der Erde“ vor.
- In der frühneuzeitlichen Medizin galten Magnete als Symbol für die verborgenen Heilkräfte der Natur; der Magnetismus spielte als okkultes Heilinstrument eine zentrale Rolle.
- Im 18. Jahrhundert begründete Franz Anton Mesmer die Theorie des „animalischen Magnetismus“ (Mesmerismus) und beschrieb spezielle Methoden der Schmerzbekämpfung mithilfe von Magneten.
- Ab der Mitte des 19. Jahrhunderts spielten Magnete in der psychologischen Suggestionstherapie eine bedeutende Rolle. Die „Magnetfeldtherapie,“ in der ein Patient einem äußeren Magnetfeld ausgesetzt wird, ist bis heute eine (aus wissenschaftlicher Sicht fragwürdige) Behandlungsmethode der Alternativmedizin.

Lebensphilosophie: Dieser Versuch einer Welterklärung setzt nicht auf den Verstand, sondern auf Intuition und Gefühle. Natur und Geist werden als „Naturganzes“ aufgefasst, das keineswegs in kleinste Teilchen zergliedert und rational ergründet werden kann.

Wie konnte es sein, dass der Magnetismus auch noch zu Zeiten der Aufklärung und teilweise sogar bis in die heutige Zeit als magische Kraft gesehen wurde? Im 19. Jahrhundert formierten sich die sogenannte Lebensphilosophie und die Romantik als Gegenreaktionen auf den strengen Rationalismus, den Newtons Gesetze in Philosophie und Wissenschaft getragen hatte. Die Idee eines animalischen Magnetismus wie auch einer animalischen Elektrizität passte sehr gut in dieses von Geister- und Wundergläubigkeit geprägte Weltbild, das auch die Vorstellung hervorgebracht hatte, dass in ständigem Kampf miteinander stehende, polare Gegensätze ein Naturganzes in Form eines Kraftfeldes entsteht.

So kam es, dass in der ersten Hälfte des 19. Jahrhunderts die Entwicklung von Theorien zu Elektrizität und Magnetismus in eine größere philosophische Auseinandersetzung eingebettet war. An der Diskussion über die Natur beteiligten sich auch Nichtphysiker wie Goethe und Hegel. Schellings Naturphilosophie, Schopenhauers Metaphysik und Fichtes Denken waren stark von elektrischen und magnetischen Phänomenen beeinflusst. Einer der wenigen Gelehrten, die sich zu jener Zeit auf rationaler Ebene mit

dem Magnetismus befassten, war Carl Friedrich Gauß, einer der größten Mathematiker aller Zeiten. Für seine umfassenden und unbestechlichen Messungen erfand er das Magnetometer, das Richtung und Stärke eines Magnetfelds misst. Am Ende erwies sich das antirationale Denken der romantischen Schule als eine vorübergehende Erscheinung, die die wissenschaftliche Erforschung des Magnetismus nicht verhinderte.

Faraday: Von der Magie zur Wissenschaft

Über den Magnetismus wussten die Physiker bis ins 19. Jahrhundert hinein noch weniger als über die der Elektrizität. Dass beides zusammenhängt, war eine Zufallsentdeckung. 1819 führte der dänische Physiker Hans Christian Ørsted in einer Vorlesung an der Universität Kopenhagen einige Experimente mit elektrischem Strom vor. In der Nähe eines mit Strom durchflossenen Drahts stand eine magnetische Nadel. Als Ørsted den Strom einschaltete, schlug die Nadel senkrecht zum Draht aus. Verdutzt stellte Ørsted die Apparatur um. Doch die Nadel passte sich an und schlug, sobald der Strom begann zu fließen, erneut in einem rechten Winkel zum Draht aus. Auch andere Forscher wie zum Beispiel der Italiener Gian Domenico Romagnosi hatten schon ähnliche Beobachtungen gemacht. Erst Ørsted erkannte die Tragweite seiner Beobachtung. Als überzeugter Anhänger der Naturphilosophie hatte er schon Jahre zuvor gemutmaßt, dass elektrische und magnetische Kräfte aufeinander einwirken, denn auch er besaß einen tiefen Glauben daran, dass alle Kräfte ineinander umwandelbar seien. Nun hatte er den Beweis: Magnetische und elektrische Kräfte durften nicht mehr getrennt untersucht werden, sie mussten gemeinsam gedeutet werden.

Die Naturphilosophen waren in Hochstimmung: Ihre Ansicht, dass alle Kräfte der Natur miteinander verbunden sind oder sogar nur verschiedene Ausdrucksformen einer einzigen Grundkraft sind, hatte eine weitere Unterstützung bekommen. Diese für die Romantik typische Auffassung hatte zeit seines Lebens auch der junge Mann, der just zu diesem Zeitpunkt die Bühne der Physikgeschichte betrat. Seine Herkunft prädestinierte Michael Faraday keineswegs dafür, der bedeutendste Experimentalphysiker des 19. Jahrhunderts zu werden. Mit zwölf Jahren ging der Handwerkersohn, der neun Geschwister hatte, von der Schule, ohne Aussicht, jemals eine Universitätsausbildung zu erhalten. Doch als Lehrling eines Buchbinders bekam er zahlreiche Bücher zu Gesicht, vor allem diejenigen mit naturwissenschaftlichem Inhalt interessierten ihn. Eines Tages gab ihm ein Kunde Eintrittskarten zu einem Vorlesungszyklus des Mannes, der gezeigt hatte, dass elektrischer

Strom chemische Reaktionen verursachen kann: Humphry Davy. Faraday war begeistert. Seine ausführlichen Notizen zu dieser Vorlesung schickte er zusammen mit einer Bewerbung um eine Assistenzstelle an Davy. Es war einer der schicksalsträchtigen Momente der Wissenschaftsgeschichte – Davy gab tatsächlich dem jungen Buchbindergesellen eine Stelle als Hilfskraft in seinem Büro.

Es war schon lange bekannt, dass um einen Magneten herum verstreute Eisenspäne sich in einer charakteristischen Art und Weise um ihn herum anordnen. Faraday war der Erste, der die entstehenden Muster als Kraftlinien eines magnetischen Felds bezeichnete. Er erkannte ebenfalls, dass sich auch um einen Draht, in dem elektrischer Strom fließt, ein Magnetfeld bildet. Durch ihn hielt ein ganz neuer und schon bald zentraler Begriff Einzug in die Physik: der Begriff des Felds.

Dies blieb nicht die einzige bahnbrechende Neuerung, die auf Faraday zurückgeht. Ørsteds Beweis, dass Elektrizität Magnetismus hervorrufen kann, führte ihn zu der Überlegung, ob sich nicht auch aus Magnetismus Elektrizität erzeugen ließe. 1831 wickelte Faraday einen Metalldraht um die Hälfte eines Eisenrings und schloss ihn an einen Stromkreis an, den er mittels eines Schalters ein- und ausschalten konnte. Um den verbliebenen Teil des Eisenrings war ein zweiter Metalldraht gewickelt, ohne dass dieser den ersten Draht berührte. An diesen zweiten Draht schloss er ein Gerät zur Strommessung an. Faraday stellte die Hypothese auf, dass der durch den ersten Draht fließende Strom den Eisenring magnetisieren würde und dieser Magnetismus wiederum einen elektrischen Strom im zweiten Draht erzeugen müsse. Tatsächlich schlug das Strommessgerät am zweiten Draht aus. Zu seiner Überraschung jedoch ging der Ausschlag sofort nach dem Einschaltvorgang im ersten Stromkreis wieder zurück, obwohl weiterhin Strom floss. Noch erstaunlicher war, dass erneut ein Ausschlag auftrat, als Faraday den Strom im ersten Stromkreis wieder abstellte, der ebenfalls sogleich wieder zurückging. Faraday hatte das Prinzip der elektromagnetischen Induktion entdeckt: Nur ein Magnetfeld, das sich zeitlich verändert oder bewegt, ruft einen elektrischen Strom hervor.

In einer weiteren Versuchsanordnung ließ er daher einen aufgerollten Kupferdraht im Feld eines Magneten rotieren. Damit erzeugte er ein sich relativ zum Kupferdraht ständig änderndes Magnetfeld, das einen stetigen (Wechsel-)Strom induzierte. Faraday hatte den Dynamo erfunden und damit einen Weg entdeckt, mechanische Energie in elektromagnetische Energie umzuwandeln. Welche Auswirkungen seine Entdeckung haben