

Exploratives Experimentieren

Charles Dufay und die Entdeckung der zwei Elektrizitäten

Friedrich Steinle

Der vielseitige französische Naturforscher Charles Dufay entdeckte, dass Elektrizität in zwei Polaritäten auftritt. Eine Untersuchung seiner Arbeitsweise zeigt, dass Experimentieren mehr ist als das bloße nachträgliche Testen von Hypothesen. Dufays Arbeitsweise zeichnet sich eher dadurch aus, dass sich Spekulation, Versuch und Begriffsbildung gemeinsam entwickeln. Solch „exploratives“ Experimentieren ist auch Bestandteil des modernen Forschungsbetriebs.

Die Bipolarität der Elektrizität „begreifen“ wir im alltäglichen Umgang mit elektrischen Geräten, sei es beim Anschließen eines Voltmeters im Labor oder der Starthilfe für unser Auto nach einer Frostnacht. Dass Elektrizität in zwei entgegengesetzten Polaritäten auftritt, erscheint uns so wenig zweifelhaft wie die Kugelgestalt der Erde. Doch das war nicht immer so. Im frühen 18. Jahrhundert, als Elektrizität ausschließlich das umfasste, was wir heute statische Elektrizität nennen, war der Kreis derjenigen, die sich für diese Phänomene interessierten, zwar klein und disparat, trotzdem war ein bemerkenswerter Wissensbestand zusammengekommen. Der englische Experimentator Francis Hauksbee hatte ein Instrument eingeführt, das sich schnell als Standard durchsetzte: Ein ca. 1 Meter langes, hohles Glasrohr erzeugte, wenn mit Katzenfell gerieben, die elektrischen Effekte viel verlässlicher als zuvor. Die Anziehung kleiner, in der Umgebung befindlicher Körperchen durch das elektrifizierte Material war immer noch der zentrale Effekt und diente als das definitorische Merkmal von Elektrizität. Zwar hatten manche auch von einem Abstoßungseffekt berichtet, am prominentesten vielleicht Otto von Guericke, aber die Experimente erwiesen sich als schwer reproduzierbar und wurden wiederholt bestritten (Abb. 1). 1729 hatte Stephen Gray, ein ehemaliger Färber, der sich in der Naturforschung besser auskannte als viele seiner akademischen Zeitge-



Abb. 1: Otto v. Guericke beobachtete, wie eine Flaumfeder (mit *a* gekennzeichnet) von einer geriebenen Schwefelkugel angezogen und nach Berührung wieder abgestoßen wurde (1672).

nossen, überdies bemerkt, dass sich das „elektrische Vermögen“ durch Kontakt oder enge Annäherung auf andere Körper übertragen ließ, insbesondere auch auf solche, die sich selbst nicht durch Reiben elektrisieren ließen. So rätselhaft dieser Effekt auch war und blieb, änderte er doch nichts am Grundverständnis, demzufolge Elektrizität als etwas Einheitliches aufgefasst wurde.

Um so bemerkenswerter ist es dann, dass schon in den 1740er Jahren ebenso selbstverständlich von zwei Elektrizitäten die Rede war. Die Geschichtsbücher der Elektrizität, vom 18. bis ins 20. Jahrhundert, lehren uns, dass Mitte der 1730er Jahre ein Pariser Akademiker, Charles Dufay, die zwei Elektrizitäten „entdeckt“ habe. Das ist als historischer Befund sicher nicht falsch: Dufay war derjenige, der diese neue Begrifflichkeit vorschlug. Genauer besehen wirft diese kurze Feststellung viel weitergehende Fragen auf. Immerhin wurde hier die komplette begriffliche Grundlage eines Forschungsgebietes verschoben. Noch merkwürdiger, und das ist der Punkt, um den es im Folgenden vor allem gehen soll, ist der Umstand, dass Dufays Innovation im Kontext sehr umfangreichen Experimentierens entwickelt wurde. Wie aber geht ein Experimentieren vor sich, das die begrifflichen Grundlagen, von denen es ausgegangen ist, letztlich selbst in Frage stellt und revidiert? Das weit verbreitete Bild vom Experiment als Hypothesentest wirkt hier steril und unplausibel, wie aber sollten wir das Experimentieren sonst verstehen?

Experimentieren wissenschaftstheoretisch gesehen

Schon ein kurzer Blick auf die Wissenschaftsphilosophie führt zur erstaunlichen Feststellung, dass das Experiment, obgleich gemeinhin als die zentrale Erkenntnisquelle der Naturwissenschaften angesehen, im 20. Jahrhundert über lange Zeit kaum Beachtung erfahren hat. Spätestens mit Pierre Duhem glaubte man den im 19. Jahrhundert noch bisweilen vertretenen Induktivismus überwunden und meinte damit, auch für das Experiment die einzige unter erkenntnistheoretischem Gesichtspunkt relevante Rolle erkannt zu haben.¹⁾ Sie war wichtig, aber doch sehr kurz formulierbar: Das Experiment dient dazu, Hypothesen oder gar ganze Theorien einer empirischen Prüfung zu unterwerfen. Auf welche Weise die Hypothesen zustande gekommen waren, spielt keine Rolle, entscheidend wird die nachträgliche Prüfinstanz des Experimentes. Keiner hat das deutlicher formuliert als der Philosoph Karl Popper, der in seiner berühmten „Logik der Forschung“ der Theorie des Experimentes ganze zwei (!) Absätze widmete und darin betonte, dass das Experiment, als „Magd der Theorie“ ausschließlich die von der Theorie gestellten Fragen zu beantworten habe.²⁾ Die philosophische Diskussion war dadurch auf lange Sicht geprägt: So sehr man sich in vielen Bereichen gegen Popper gewandt hat, in Bezug auf das Experiment gab es bis in die 1980er Jahre kaum Widerspruch.

Die Wissenschaftstheorie des 20. Jahrhunderts nahm sich wesentlich

1) P. Duhem, Ziel und Struktur der physikalischen Theorien, Meiner, Hamburg (1998) [1. Aufl.: Barth, Leipzig (1908)]

2) K. R. Popper, Logik der Forschung, Mohr, Tübingen (1994) [1. Aufl., Springer, Wien (1934)], § 30, Abs. 6 und 7

Priv.-Doz. Dr. Friedrich Steinle, Max-Planck-Institut für Wissenschaftsgeschichte, Wilhelmstr. 44, 10117 Berlin; derzeit Lehrstuhlvertreter am Historischen Institut der Universität Stuttgart. Die Studie zu Dufay wird von der Fritz Thyssen Stiftung gefördert, der an dieser Stelle herzlich gedankt sei!

die Physik als Exempel ihrer Überlegungen und bezog sich überdies meist nur auf einen Teilbereich: auf die Theorieentwicklung oder gar direkt die Theoretische Physik, wie sie gerade zu Anfang des 20. Jahrhunderts entstanden war und sogleich fundamentale Revolutionen ausgelöst hatte. Nicht umsonst hat mit einer Ausweitung des Blickes auf andere Arbeitsbereiche in den letzten zwei Jahrzehnten unter dem Stichwort „Neuer Experimentalismus“ eine Renaissance des Nachdenkens über das Experiment eingesetzt. Man hat u. a. die soziale und materielle Dimension des Experimentierens hervorgehoben und die Frage aufgeworfen, wann und wodurch denn experimentelle Resultate als allgemein akzeptiert gelten.³⁾ Ein Kernbereich allerdings, das Verhältnis von Experiment und Wissensgewinn, ist bis heute weitgehend offen. Wie lernen wir konkret aus Experimenten, und wie prägt das, was wir lernen wollen, umgekehrt unser experimentelles Handeln? Legen wir tatsächlich schon immer, wie es manche Interpretation der „Theoriebeladenheit der Beobachtung“ nahe legt, so viel Theorie zu Grunde, dass wir letztlich doch immer nur Theorien testen? Wie hängt schließlich all das mit den eben genannten materiellen, kulturellen, sozialen Funktionen des Experimentes zusammen? Solche Fragen wurden durchaus benannt, ohne dass allerdings auch schon Antworten gegeben wurden.⁴⁾

Das ist nicht nur für das Verständnis historischer Fälle misslich, sondern auch für die Praxis experimentellen Arbeitens im Labor. Die Standardauffassung vom Experiment als Hypothesentest hat ja nicht nur in der Philosophie Einzugeshalten, sondern wird auch oft ge-

nug in Lehrbüchern und Anfängervorlesungen der Physik vermittelt. Ja selbst physikalische Anfängerpraktika scheinen sie oft zu stützen. Zugleich erscheint sie aber doch unter der Perspektive der Laborpraxis als entschieden zu eng. Im Labor geht es beim Experimentieren oft genug auch um ganz anderes als um das Testen von Hypothesen. Und sollte es für den Vorgang der Wissensgewinnung keinen Unterschied machen, ob es um das Erarbeiten von Regularitäten und Gesetzen, das Bestimmen numerischer Parameter in eher festem Theorierahmen oder das Ausloten ganz unerschlossener Phänomenbereiche geht, um nur ein paar zu nennen? Die Standardauffassung hilft hier ebenso wenig weiter wie ein Rückfall in die zu Recht kritisierte naive induktivistische Sichtweise. Um neue Perspektiven zu eröffnen, ist der Blick auf die Forschungspraxis zentral, der sich hinter die Präsentation der fertigen Resultate richtet, oft genug auch hinter die von den Akteuren selbst gegebenen Darstellungen des Forschungsprozesses. Am erwähnten Fall der zwei Elektrizitäten soll im Folgenden auf einen bisher nicht beachteten Typ experimentellen Arbeitens verwiesen werden, der quer zu den traditionellen Kategorien liegt, aber der Arbeitspraxis sehr viel näher kommt.

Charles Dufay und seine Arbeiten zur Elektrizität

Charles François de Cisternai Dufay (1698–1739) stammte aus adligem Hause und verfolgte, nach einer kurzen, der Familientradition geschuldeten Zeit im Militär, vielseitige akademische Bestrebungen. Vermutlich durch prominente Fürsprache erhielt er 1723 eine Akademiestelle als Chemiker; seine wei-

tere Karriere war ebenso steil wie kurz: 1731 wurde er Vollmitglied der Akademie, 1732 nahm er überdies das Amt des „intendant“ des Pariser Königlich-botanischen Gartens an (Abb. 2). Lange konnte er es allerdings nicht ausüben: Im Alter von 40 Jahren starb er an den Pocken. In den sieben Jahren seiner Intendanz machte er aus dem Garten wieder eines der wichtigsten Forschungszentren Europas mit umfangreichen Ressourcen, eine Grundlage, auf der Dufays Nachfolger Buffon mit wohlbekanntem Erfolg weiterbauen konnte. Diese Ressourcen boten ihm auch die Grundlage für weitgespannte Forschungsarbeiten. Die Liste seiner Themen reichte von der Phosphoreszenz bis zum Tau, vom Magnetismus bis zu Perihelberechnungen, von Feuerwehrspritzen bis zu Färbetechniken für Steine. Selbst in einer Zeit, in der Universalgelehrte noch nicht vollständig verschwunden waren, war diese Breite doch ungewöhnlich. Das Einzelthema allerdings, dem er mit Abstand am meisten Aufmerksamkeit widmete, war die Elektrizität. Hier führte er über eineinhalb Jahre hinweg in außerordentlicher Intensität sehr viele Experimente durch und veröffentlichte sechs Aufsätze. In einer späteren, kürzeren Phase kamen noch zwei weitere hinzu. Für das Resultat seiner Arbeit gilt in noch höherem Maß, was auch über seine Tätigkeit im botanischen Garten gesagt werden kann: Er fand das Forschungsfeld ungeordnet, inkohärent und unübersichtlich vor und verließ es als ein wohlgeordnetes, systematisiertes.⁵⁾

Eines seiner wichtigsten Ergebnisse betraf die Klasse von Materialien, die elektrisch werden können.⁶⁾ Seit William Gilbert im Jahr 1600 erstmals elektrische Ef-

3) A. Pickering, *Constructing Quarks. A Sociological History of Particle Physics*, University of Chicago Press, Chicago (1984); P. Galison, *How Experiments End*, University of Chicago Press, Chicago (1987)

4) I. Hacking, *Representing and Intervening*, Cambridge University Press, Cambridge (1985) [dt.: Einführung in die Philosophie der Naturwissenschaften, Reclam, Ditzingen (1996)]; N. Cartwright, *How the Laws of Physics Lie*, Oxford Univ. Press, Oxford (1983)

5) Eine Übersicht seiner Arbeiten gibt J. L. Heilbron, *Electricity in the 17th and 18th centuries*, University of California Press, Berkeley (1979), Kap. 9.

6) Charles François de Cisternai Dufay, *Second mémoire sur l'électricité. Quels sont les corps qui sont susceptibles de l'électricité*, Histoire de l'Académie Royale des Sciences, avec les Mémoires de Mathématique & de Physique pour la même année (1733), S. 73–84

Abb. 2: Im Pariser Jardin du Roy, den Charles Dufay von 1732 bis 1739 leitete, wurde im 18. Jahrhundert auf den verschiedensten Gebieten experimentiert.



fekte als eigene, vom Magnetismus verschiedene Klasse identifiziert und benannt hatte, gab es eine sich ständig erweiternde Liste von Körpern, die diese „virtus electrica“ annehmen konnten, die also, wenn gerieben, kleine in der Nähe befindliche Körper anzogen. Man sprach einfach von „electrica“ – der Bernstein („elektron“) war damit Pate für eine ganze Klasse von Materialien geworden. Gilbert selbst hatte gleich eine zweite Liste von solchen Körpern hinzugegestellt, die diese virtus gerade nicht hatten. Beide Listen wurden ab dem späten 17. Jahrhundert beständig erweitert. In jesuitischen wie weltlichen Kreisen, in Italien, Frankreich und England gleichermaßen gab es immer wieder einzelne Forscher, die sich für diese Kuriosität der Natur interessierten und neue Materialien ausprobierten. Darunter finden sich auch Namen wie Niccolò Cabeo, Honoré Fabri SJ und Robert Boyle.

Dufay kannte diese Bemühungen wohl, stellte sie in der ersten jemals verfassten „histoire de l'électricité“ zusammen und vermerkte auch, dass manche Forscher Trockenheit und Wärme als fördernde Bedingungen für das Auftreten von Elektrizität angegeben hatten. Die Liste der Materialien allerdings erschien ihm offenbar nicht überzeugend. In ausgedehnten eigenen Experimenten untersuchte er systematisch alle Materialien, deren er habhaft werden konnte, und das waren in den Sammlungen des Jardin Royal nicht wenige. Er fragte sich, welche Substanzen durch Reiben die elektrische Eigenschaft erhalten konnten, und auf welche sich die Eigenschaft dann übertragen ließ. Wie viele vor ihm begann er mit einer Positiv- und einer Negativliste, trieb aber die beiden als förderlich bekannten Bedingungen – Trockenheit und Wärme – konsequent zu ihren Extremen. Unter solchen verschärften experimentellen Bedingungen schrumpfte die Negativliste kontinuierlich, viele Substanzen wanderten von rechts nach links (Abb. 3). Im Resultat formulierte er zwei verblüffende Ergebnisse: Zum einen wurden alle Körper, die sich überhaupt reiben ließen, dabei auch elektrisch, zumindest, wenn sie genügend warm und trocken waren. Die einzige signifikante Ausnahme hier bildeten die Metalle. Durch Übertragung hingegen, und das war das zweite Ergebnis, konnten alle Körper schlechthin elektrisch werden, möglicherweise

mit Ausnahme der Flamme. Dufay war sich wohl bewusst, dass solche All-Behauptungen streng genommen natürlich nicht verifizierbar waren, und sprach deshalb manchmal von „allen Materialien, deren er habhaft

Hinsehen erwies sich das nur als ein Scheineffekt, als Überlagerung verschiedener Anziehungseffekte. In seinen Experimenten ging es Dufay deshalb zunächst um ein stabiles, d. h. reproduzierbares Aufweisen

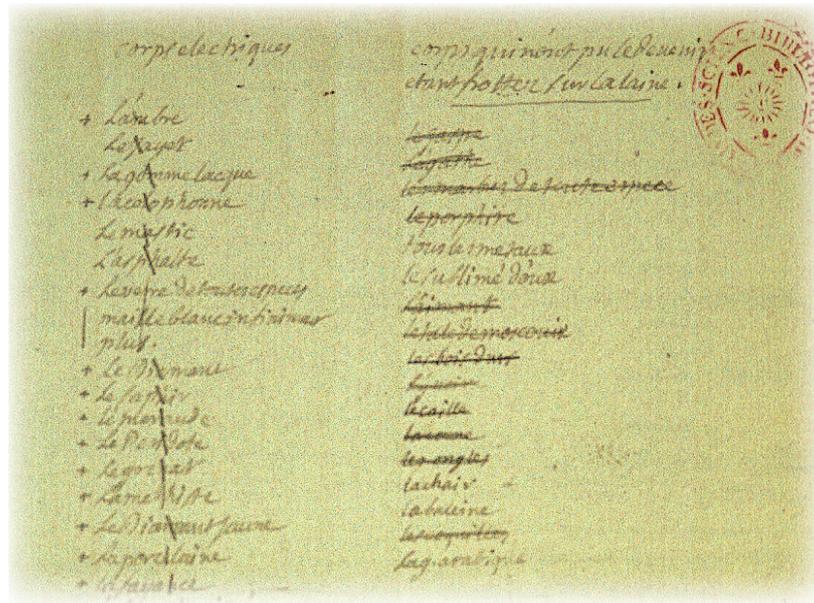


Abb. 3: In seinen Listen von elektrischen (links) und nicht-elektrischen Materialien (rechts) musste Dufay viele, die zunächst rechts eingetragen waren, austreichen und nach links setzen (1733). (Quelle: Archives de l'Académie des sciences, Paris)

werden konnte“. Seine Erfahrungen mit dem Schrumpfen der Negativliste unter sehr konsequenten experimentellen Bedingungen ließen ihm allerdings den Schluss auf Allgemeinheit sehr naheliegend erscheinen.

Mit diesen Ergebnissen bereitete er nicht nur der langen Suche nach immer weiteren Elektrizität schlagartig ein Ende, sondern wies auch die Elektrizität als gewissermaßen universelle Eigenschaft aller Materialien nach, mit dem Sonderstatus der Metalle. Das ergab nicht nur für den Forscher einen völlig anderen Blick, sondern veränderte auch für Außenstehende den Status des Forschungsgebietes: Elektrizität als Eigenschaft aller Materie klang völlig anders als die vormalige Kuriosität weniger Materialien, die nur für eine Handvoll Forscher interessant war. Diesen bemerkenswerten Wechsel hatte Dufay nicht durch einen großen theoretischen Entwurf erreicht, sondern durch äußerst konsequente und intensive experimentelle Arbeit.

Anziehung und Abstoßung

Noch fundamentaler war allerdings Dufays zweite Innovation, die mit der Frage elektrischer Anziehung und Abstoßung zu tun hatte.⁷⁾ Wie schon erwähnt, waren elektrische Abstoßungseffekte von einigen berichtet worden, andere hatten das aber bestritten: Bei genauem

von experimentellen Einzelbefunden. Durch Verändern der Umgebungskonstellationen konnte er den Einwand, dass es sich um Überlagerungen von Anziehungseffekten benachbarter Körper handelte, als nicht haltbar erweisen. Dabei gelang es ihm, den Effekt auch unter Variation vieler experimenteller Parameter zu reproduzieren: elektrische Abstoßung existierte ohne Zweifel. In einem spektakulären Versuch konnte er etwa ein kleines Stückchen Blattgold über beträchtliche Zeit hinweg über dem elektrischen Glasrohr in der Schwebe halten.

Ganz im Sinne seiner Suche nach Gesetzmäßigkeiten stand er damit aber vor der Frage, wann denn genau nun Anziehung auftrat, wann Abstoßung, und von welchen Umständen das jeweils abhing. Wieder war die vornehmliche Strategie Dufays die Variation von Parametern: die Art der Elektrifizierung der Körper (Reiben, Übertragen), der Grad der Elektrifizierung, die Größe der elektrifizierten Körper, ihr Material und die Beschaffenheit der Unterlage. Er variierte den Abstand der Körper und untersuchte den Einfluss dritter, in der Nähe befindlicher Körper. Trotz einem derartig breit angelegten Experimentieren stellte sich das Problem als weitaus schwieriger heraus als die vorigen. Die Resultate blieben verwirrend und fügten sich nicht in eine Gesetz-

7) Ch. Dufay, Quatrième mémoire sur l'électricité. Des l'attraction et répulsion des corps électriques, Histoire de l'Académie Royale des Sciences, (1733), S. 457–476

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

zitäten behielten überdies, wie die Experimente zeigten, ihren jeweiligen Charakter auch beim Übertragen auf andere bei. Damit stellte sich die obige Regularität über das Auftreten von Abstoßung als ein Spezialfall heraus.

Welche Elektrizität ein Körper beim Reiben annahm, hing, so Dufays Befund, nur vom Material des Körpers ab. Damit induzierte die Unterscheidung von zwei Elektrizitäten auch eine Einteilung aller Materialien in zwei Klassen, die eben für die eine oder andere Elektrizität suszeptibel waren. Um-

existierten. Dufays experimentelle Arbeit richtete sich offensichtlich nicht auf den Test von vorher formulierten Hypothesen, sondern verlief nach anderen Richtlinien. Sein Ziel lag darin, zu ermitteln, welche der experimentellen Faktoren den Anziehungs- und Abstoßungseffekt modifizierten oder sich gar als unerlässlich erwiesen. Im Vordergrund der experimentellen Arbeit stand dementsprechend die systematische Variation von möglichst vielen Parametern des experimentellen Aufbaus. Im günstigen Fall ergab sich dabei so etwas wie ein Raster von Bedingungen für den Effekt, und es ließen sich empirische Regeln formulieren, wie etwa im Falle der Liste von Elektrika. Im zweiten Fall aber war die Sache deutlich komplexer: Hier erwiesen sich die vorhandenen Begriffe und Kategorien als nicht geeignet, die Vielzahl experimenteller Befunde in allgemeinen Gesetzen zu formulieren. Dufay stellte sie in Frage und schlug statt ihrer neue vor. Nachdem sich diese bewährt, als stabil erwiesen hatten, nahm sich, zumindest für ihn, das Forschungsfeld in einem neuartigen Licht aus. Es hatte sich die Sprache, die Begrifflichkeit verändert, in der er die Experimente „bedachte“, und die ihrerseits das experimentelle Handeln ja wesentlich prägte. „Exploratives Experimentieren“, wie ich diese Arbeitsweise genannt habe, zeichnet sich gerade dadurch aus, dass sich Handeln und Konzeptualisieren zusammen entwickeln, sich in engem Kontakt gegenseitig stabilisieren oder destabilisieren. Und nicht nur im Fall Dufay waren es dann solche, in mühsamer Arbeit geschaffenen und stabilisierten Begriffe, die später als unproblematische und selbstverständliche Teile der Sprache erschienen.

Exploratives Experimentieren ist in der Entwicklung der Naturwissenschaften viel häufiger zu beobachten als man das üblicherweise gewahrt wird. Typischerweise findet es sich in Situationen, in denen keine Theorie im engeren Sinne zur Verfügung steht, oder nicht einmal eine Begrifflichkeit, in der sich die experimentellen Resultate angemessen formulieren lassen. Um das nur durch wenige Beispiele aus der Elektrizitätsgeschichte zu illustrieren, denke man an die Arbeiten, die etwa Alexander v. Humboldt oder Johann W. Ritter in Reaktion auf Galvanis spektakuläre Entdeckung von Muskel-

Abb. 4: Vorführungen, bei denen ein an isolierten Seidenschnüren hängender Knabe mit dem Glasrohr elektrifiziert wurde und damit wie mit magischen Kräften Papierschnipsel anzog, waren in den 1730er Jahren sehr beliebt. Die ebenfalls auftretenden Abstoßungseffekte wurden erst durch die zwei Elektrizitäten verständlich.



fiziert worden war. Für alle anderen Fälle zeigten sich die Verhältnisse immer noch als verwirrend und scheinbar regellos.

Bei der weiteren Durchführung seiner Variationsmethode ergab sich für Dufay ein entscheidender Hinweis aus einem Experiment, bei dem er wieder das erwähnte Goldblättchen schwebend über dem Glasrohr hielt und nun einen dritten, elektrifizierten Körper hinzubachte. Wenn dieser dritte Körper aus Glas war, wurde das Goldblättchen auch von diesem abgestoßen, wenn es aber aus Kopal⁸⁾ war, wurde es angezogen! Das Ergebnis verwirrte Dufay vollständig,⁹⁾ gab ihm aber einen starken Hinweis auf eine Materialabhängigkeit, und dieser Spur ging Dufay dann ausführlich nach. Die Resultate waren immer verblüffender – es zeigte sich eine sehr klare Materialabhängigkeit in dichotomer Weise. Das bewegte Dufay schließlich zu einem radikalen Vorschlag: Statt von Elektrizität im Allgemeinen sollte man von zwei Elektrizitäten sprechen. Dabei galt dann die Regel, dass ein elektrifizierter Körper alle diejenigen abstieß, die dieselbe Elektrizität trugen, zugleich aber jene anzog, welche die jeweils andere trugen. Die beiden Elektri-

gekehrt konnten die Elektrizitäten nach diesen Klassen bzw. nach prominenten Stellvertretern derselben benannt werden: Dufay sprach deshalb von Glas- bzw. Harz-Elektrizität. Mit diesen neuen Begriffen konnte er, so seine Aussage, nicht nur seine eigenen, wirklich sehr zahlreichen Experimente zu Anziehung und Abstoßung ausnahmslos verstehen, sondern auch die von anderen Forschern.

Das war ein durchweg radikaler Vorschlag, mit Folgen auf vielen Ebenen. Nicht nur konnte sich Dufay berechtigt die Frage stellen, ob die damit gegebene neue Klassifikation von Materialien nicht vielleicht auf tief liegende Materialeigenschaften verwies. Viel unmittelbarer war klar, dass das Feld der Elektrizität nun völlig anders aussah als zuvor, zumindest für Dufay.

Explorative Experimente

Beim Entwerfen, praktischen Durchführen und Bewerten von Experimenten traten nun neue Gesichtspunkte in den Vordergrund, es konnten und mussten nun ganz neue Fragen gestellt und bearbeitet werden, die vorher einfach im wörtlichen Sinne nicht denkbar waren, weil die Begriffe dafür gar nicht

8) Junger Bernstein wird als Kopal bezeichnet.

9) Er schrieb „me déconcerta prodigieusement.“

zuckungen ab 1790 unternahmen, an die hektischen Arbeitswochen, in denen André-Marie Ampère 1820 auf Oersteds Entdeckung des Elektromagnetismus reagierte und neue Darstellungsmethoden für die rätselhaften Effekte entwickelte. Vielleicht am markantesten sind die Arbeiten Michael Faradays zu Elektrizität und Magnetismus, bei denen er in jahrelangen Untersuchungen den Begriff der Kraftlinie als zentrales Darstellungsinstrument entwickelte – ein Begriff, den James Clerk Maxwell ausdrücklich in das Zentrum seiner Arbeiten stellte und der in seiner mathematisierten Form das Kernstück der Maxwellschen Elektrodynamik bildete. Der Mathematiker und Physiker Julius Plücker arbeitete bei seinen grundlegenden Untersuchungen zu elektrischen Gasentladungen in den 1860er Jahren auf lange Strecken explorativ, ebenso Wilhelm Conrad Röntgen in der ersten Arbeitsperiode nach seiner Entdeckung der rätselhaften Strahlung im Jahr 1895. Ähnliche Beispiele ließen sich aus anderen physikalischen Gebieten, aber ebenso aus der Chemie und der Biologie benennen. Als etwa der Physiologe Hans Krebs 1932 erstmals das Konzept einer zyklischen Reaktionskette in organischem Gewebe präsentierte, hatte er lange Phasen explorativen Arbeitens hinter sich; ähnliches gilt für den Mikrobiologen Jean Brachet mit seinen grundlegenden Arbeiten zur Proteinbiosynthese in derselben Periode. Als ein neuerer Fall, wiederum aus der Physik, sei die Entdeckung der Hochtemperatur-Supraleitung durch Georg Bednorz und Alexander Müller 1986 genannt, in deren Folge an vielen Orten und über lange Arbeitsperioden systematisch Materialparameter variiert wurden, um, ganz in explorativem Stil, die Abhängigkeiten und Korrelationen zu erarbeiten – die Theorie der Cooper-Paare konnte nur wenig Hilfestellung geben, und bis heute steht ein umfassendes theoretisches Verständnis noch aus.¹⁰⁾

Ein solches Explorieren kontrastiert zu einem natürlich auch immer wieder zu findenden ganz theorieorientierten Experimentieren, bei dem etwa eine wohlformulierte Theorie getestet werden soll, wie es der lange gehegte Auffassung in der Wissenschaftstheorie entspricht. In diesen letzteren Fällen wird, das hat man oft übersehen, eine stabile Begrifflichkeit schon vorausgesetzt, mit der man die aus

der Theorie folgenden Erwartungen überhaupt so präzise formulieren und vergleichen kann. Um mit dem polnischen Immunologen Ludwik Fleck zu sprechen, der etwa zeitgleich mit Popper eine viel näher an der Praxis erarbeitete Ansicht auf wissenschaftliches Forschen präsentierte, wird hier schon „ein ganzes System voriger Entscheidungen ... mitgeschleppt“.¹¹⁾ Das gilt auch für nicht eigentlich theorie-testende Experimente, sondern auch für solche, in denen etwa die Theorie extrapoliert oder durch Bestimmung

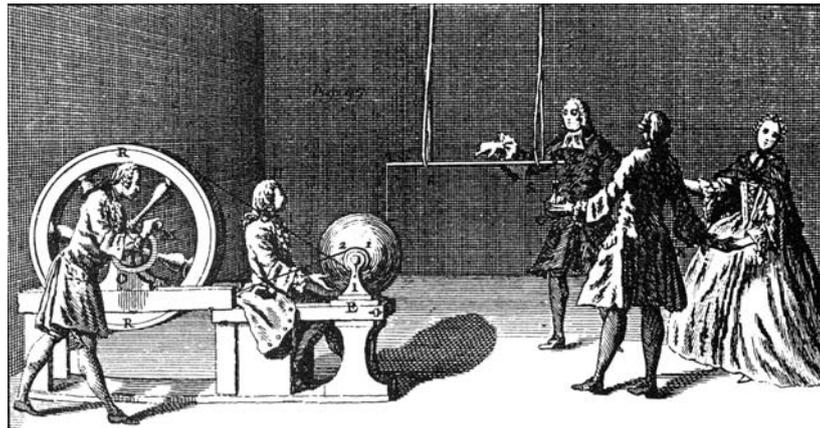


Abb. 5: In der Elektriermaschine von Georg M. Bosc wurde eine Glas-kugel in schnelle Rotation versetzt und durch Reiben mit der Hand viel stärker elektrisch als das vormalige Glasrohr. Mit einer seitlich herabhängenden Metallkette konnte ihre Elektrizität auf große Konduktoren und dann auf Gegenstände oder Personen übertragen werden.

eines numerischen Parameters verfeinert werden soll. Eine genauere Untersuchung zeigt, dass sich die beiden Arbeitsweisen in vielerlei Hinsicht signifikant unterscheiden: nicht nur bezüglich des Erkenntnisziels, sondern auch hinsichtlich des konkreten Arbeitens im Labor, des Umgangs mit Instrumenten, der Charakteristika dieser Instrumente, des Bezuges auf Ressourcen, auf Kommunikationserfordernisse usw.

Das Experiment stellt sich damit auch unter epistemischem Gesichtspunkt weitaus vielfältiger dar als man das lange meinen mochte. Exploratives und eher der traditionellen Auffassung entsprechendes Experimentieren bilden dabei keine scharfe Dichotomie, sondern stellen die Pole eines ganzen Spektrums zunehmender begrifflicher Stabilität dar. Wie im Einzelfall experimentiert wird, hängt stark, wenngleich nicht ausschließlich, von der spezifischen Erkenntnissituation ab, oft genug finden sich verschiedene Arbeitsweisen in raschem Wechsel bei ein und demselben Autor.

Experiment, Begriff, Theorie

Der Charakter experimentellen Arbeitens hat mit dem jeweiligen Erkenntnisziel zu tun, und hier

muss man offenbar genauer differenzieren, als es die klassische Dichotomie von Experiment und Theorie erlaubt und nahe legt. Beim Experimentieren denken wir uns immer etwas, das bestreitet niemand. Ob man aber gut daran tut, jedes Nachdenken auch gleich als Theorie zu bezeichnen, ist wohl fraglich. Zumindest benimmt man sich dann weiterer Differenzierungsmöglichkeiten, die wir vielleicht zu einem Verständnis brauchen.

Dufay ging es darum, ein Gesetz für die Anziehungs- und Absto-

ßungseffekte zu formulieren. Dazu erwiesen sich die bestehenden Begrifflichkeiten und Kategorien als ungeeignet. Bestimmte Differenzierungen, die angesichts der experimentellen Befunde offenbar nötig waren, ließen sich damit nicht erfassen. In dieser Situation probierte Dufay neue, ungewohnte Begriffe und Kategorien aus. Das wesentliche Kriterium, an dem sie sich zu bewähren hatten, war genau der Punkt, an dem die alten versagten: Mit den neuen Begriffen mussten sich stabile und möglichst allgemeine Regularitäten für die Vielzahl der experimentellen Befunde formulieren lassen. Das genau leistete die Begrifflichkeit von zwei Elektrizitäten: Alle experimentellen Befunde von elektrischer Anziehung und Abstoßung ließen sich als Fälle der allgemeinen Regularität verstehen. Das war es, was Dufay von der Tragfähigkeit der neuen Begriffe überzeugte, obgleich er damit eine jahrhundertelange Tradition fundamental zu revidieren vorschlug.

Entscheidend ist hier, dass es um Ordnungsbegriffe, um die Kategorien ging, mit denen die Phänomene gruppiert und beschrieben wurden, also um eine fundamentale Ebene der Sprache. In der Elektrizitätsforschung hatte es ja auch schon immer

10) Für eine ausführlichere Diskussion s. F. Steinle, *Exploratives vs. theoriebestimmtes Experimentieren: Ampères erste Arbeiten zum Elektromagnetismus*, in: M. Heidelberger und F. Steinle (Hg.), *Experimental Essays – Versuche zum Experiment*, Nomos, Baden-Baden (1998), S. 272; F. Steinle, *Experiments in History and Philosophy of Science*, *Persp. on Science* 10, S. 408 (2005)

11) L. Fleck, *Entstehung und Entwicklung einer wissenschaftlichen Tatsache*, Suhrkamp, Frankfurt /M. (1980), S. 141 [1. Aufl.: Schwabe, Basel (1975)]

andere Frageebenen gegeben. Schon früh hatte man sich Gedanken über die verborgenen Vorgänge gemacht, die die elektrischen Wirkungen zustande brachten, und das 17. und frühe 18. Jahrhundert hatte viele verschiedene Theorien hervorgebracht: Elektrische Vorgänge wurden als durch feine Luftzirkulationen bewirkt gedacht, durch Ausströmungen eines feuchten Grundbestandteils aller Materie oder einer sehr feinen spezifischen, eben elektrischen Materie – jedenfalls immer durch hinter der Erscheinungsebene liegende Vorgänge, für die man Strömungen, Effluviolen oder dergleichen postulierte – die Wissenschaftstheorie würde von „theoretischen Entitäten“ sprechen. Dufay war mit solchen Theorien wohlvertraut, hielt sich allerdings hier auffällig zurück. Das war eben gerade nicht der Bereich, um den es ihm ging: Er zielte nicht auf die solchermaßen gedachten „Ursachen“ der Elektrizität, sondern auf eine regelmäßige Ordnung innerhalb der Erscheinungsebene. Das war nach seiner Auffassung eine wesentliche Voraussetzung für die Suche nach den Ursachen: „Es hieße Unmögliches versuchen“, so betonte er, wollte man die Ursachen suchen, ohne zuvor die Vielzahl der experimentellen Befunde zu überschauen und die „wenigen einfachen Prinzipien“ erarbeitet zu haben, nach denen sie sich ordneten.¹²⁾ Und bei der Suche nach Gesetzen hatten die im engeren Sinne theoretischen Überlegungen keinen Platz.

Eine solche Unterscheidung zwischen Begriffen, in denen wir Gesetze formulieren, und physikalischen Annahmen, mit denen wir sie erklären wollen, ist uns bis heute ganz geläufig, gerade im Fall der Elektrizität. Wir müssen bei der Rede von „plus“ und „minus“ keinesfalls gleich an die physikalische Existenz von zwei elektrischen Materien denken. Aus der Wissenschaftsgeschichte wissen wir, dass diese Frage sehr lange kontrovers diskutiert wurde und die Meinungen weit auseinander gingen. Die Bipolarität wurde dabei aber nie in Frage gestellt, im Gegenteil sind die Diskussionen nur vor der fraglosen Anerkennung dieses Faktums überhaupt denkbar. Vielleicht das markanteste Beispiel hierzu ist Benjamin Franklin, der in den 1750er Jahren erstmals eine Fluidatheorie der Elektrizität vorschlug. Er ging von der Existenz nur eines einzigen Fluidums aus, durch dessen Überschuss oder

Mangel die makroskopische Bipolarität der Elektrizität zustande kam. Konsequenterweise führte er auch eine neue Terminologie ein: Statt wie Dufay die beiden elektrischen Zustände als „glasartig“ oder „harzartig“ zu bezeichnen, sprach er von „positiv“ und „negativ“. Nicht um ein Bestreiten der Bipolarität ging es ihm, sondern um eine mikroskopische Erklärung für dieses Verhalten. Diese Erklärung, die er präsentierte, wurde in der zweiten Jahreshälfte dann höchst kontrovers diskutiert und gegen eine mögliche Zwei-Fluida-Theorie gestellt, ohne dass es zu einer Lösung kam. Noch im 19. Jahrhundert war die Frage, ob es im mikroskopischen Bereich wirklich zwei unterschiedliche Ladungstypen gab, keineswegs abschließend beantwortet.

Vom Begriff zum Fakt

Dass es sich bei Dufays Vorschlag um etwas anderes als um eine neue „Theorie“ im engeren Sinne handelte, wird auch an der Art und Weise deutlich, in der die zwei Elektrizitäten von seinen Zeitgenossen aufgenommen wurden. Schon 1739, sechs Jahre nach Dufays Vorschlag, stellte der Leydener Naturforscher Pieter van Musschenbroek in seinem äußerst einflussreichen Lehrbuch das Konzept als unproblematisch vor: „die Erfahrung hat uns gelehrt, dass die elektrische Kraft von einer zweifachen Art sey...“.¹³⁾ In dem ersten ganz der Elektrizität gewidmeten Lehrbuch, fünf Jahre später, ging der Petersburger Akademiker Johann Gabriel Doppelmayr noch einen Schritt weiter und nahm die zweifache Natur der Elektrizität direkt in die Definition derselben auf.¹⁴⁾ Das war charakteristisch für viele: Dass es zwei Elektrizitäten gäbe, wurde als Tatsache gleich zu Beginn eingeführt, und erst später die Gesetze der Anziehung und Abstoßung formuliert. Wenn überhaupt eine nähere Begründung gegeben wurde, geschah das meist durch einen einfachen Verweis auf „die Erfahrung“.¹⁵⁾ Der Wittenberger Professor Georg M. Bosc, der die Elektrifiziermaschine in einer Form rekonstruierte, die elektrische Effekte allerorten reproduzierbar machte (Abb. 5) und in kürzester Zeit eine veritable elektrische Manie durch ganz Europa auslöste, berief sich bei seinen Arbeiten ausdrücklich auf Dufay und seine zwei Elektrizitäten.¹⁶⁾ Gegen die Jahrhundertmitte hatten die zwei Elektrizitäten einen Status, der

dem heutigen schon ziemlich nahe kam: Sie stellten keine theoretische Größe dar, die man diskutieren und argumentativ einführen musste, sondern eine Tatsache, die jeder gleich zu Anfang der Beschäftigung mit Elektrizität lernte und die alles Denken über Elektrizität ebenso prägte wie das praktische Hantieren.

Die zwei bemerkenswertesten Charakteristika dieser Entwicklung – der Übergang von einem Begriff zu einer Tatsache und das fast vollständige Ausbleiben einer expliziten Diskussion des Themas – hängen eng zusammen und unterscheiden die Entwicklung markant von der Rezeptionsgeschichte einer eigentlichen Theorie. Was Dufay vorgeschlagen hatte, war eben eine neue Begrifflichkeit, eine neue Art, über Elektrizität zu sprechen. Und Ordnungsbegriffe sind nicht wahr oder falsch; sie müssen sich vielmehr bewähren oder auch nicht. In unserem Fall bestand die Bewährungsprobe vor allem im praktischen Gebrauch, den sie wie nichts anderes zu erleichtern und stabilisieren vermochten. Welche Materialien für das Reibekissen der Elektrifiziermaschine verwendet wurden, welche für den Ableiter, und welche Effekte man damit dann am besten erreichen konnte – all solche Fragen waren durch die Ordnung in zwei Elektrizitäten und die einhergehende Klassifikation von Materialien in ein völlig neues Licht gerückt. Die neuen Ordnungsbegriffe bestanden diese Bewährungsprobe so gut, dass das Bewusstsein rasch verschwand, dass sie in aufwändiger Arbeit zu einem bestimmten Zweck geprägt worden waren. Stattdessen galten sie als Fakten, die als solche keinerlei weiterer Diskussion bedurften.

Wissenschaftliche Tatsachen sind von komplexerer Natur als die des Alltags, und der Prozess, der zu ihrer Etablierung führt, ist mit dem Wort „Entdeckung“ bestenfalls verkürzt oder gar leicht irreführend bezeichnet. Wieder ist es der schon erwähnte Ludwik Fleck, der an einem ganz anderen Fall – die Nachweisreaktion für Syphilis in der Immunologie – Begriffsentwicklungen von einem solchen Typ beschrieben hat und mit dem viel treffenderen Titel „Entstehung und Entwicklung einer wissenschaftlichen Tatsache“ bezeichnet hat. Fälle wie der der zwei Elektrizitäten machen deutlich, dass das nicht nur in den Lebenswissenschaften gilt, sondern auch in der vermeintlich härteren Physik.

12) Ch. Dufay, *Quatrième mémoire sur l'électricité*, S. 457–476

13) P. van Musschenbroek, *Essai de physique – Beginsels der natuurkunde*, Leyden 1739, S. 242; zitiert nach der deutschen Übersetzung, Leipzig (1747)

14) J. G. Doppelmayr, *Neu-entdeckte Phaenomena von bewunderungswürdigen Wirkungen der Natur*, Nürnberg (1744), S. 1

15) J. Frercks, *Disziplinenbildung und Vorlesungsalltag. Funktionen von Lehrbüchern der Physik um 1800 mit einem Fokus auf die Universität Jena*, *Berichte zur Wissenschaftsgeschichte* 27, S. 27 (2004)

16) G. M. Bosc, *Tentamina electrica in academijs regijs Londinensi et Parisana primum habita, omni studio repetita*, Wittenberg (1744)