

Abbildung 5.8: Zu Ampères zweitem Versuch

len Einheitensystem (SI) ist die Einheit der Stromstärke, das *Ampere*, folgendermaßen definiert:

*„Das Ampere ist die Stärke eines konstanten elektrischen Stroms, der, durch zwei parallele, geradlinige, unendlich lange und im Vakuum im Abstand von 1 Meter voneinander angeordnete Leiter von vernachlässigbar kleinem, kreisförmigen Querschnitt fließend, zwischen diesen Leitern je 1 Meter Leiterlänge die Kraft  $2 \cdot 10^{-7}$  Newton hervorrufen würde.“*

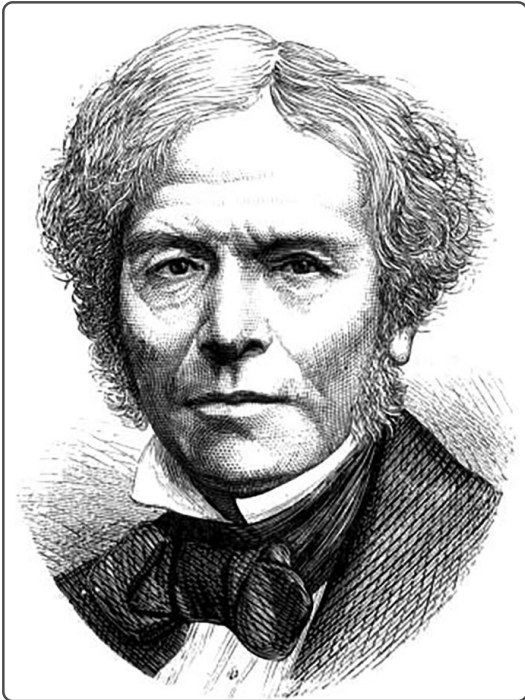
Internationales Einheitensystem (SI) [23]

Das von Ampère entdeckte Phänomen lässt sich, wie wir weiter unten sehen werden, ebenfalls durch die Existenz eines magnetischen Felds erklären. Zu der Zeit, als Ørsted und Ampère ihre großen Entdeckungen machten, war der Begriff des physikalischen Felds aber noch völlig unbekannt. Ersonnen wurde er von einem Mann, der als einer der größten experimentellen Forscher in die Wissenschaftsgeschichte einging und eine wesentliche Rolle in der Entschlüsselung der elektrischen und magnetischen Phänomene spielte: Michael Faraday. Mit der Geschichte dieses Mannes setzen wir unsere Reise fort.

## 5.2 Das geometrische Feldkonzept

### 5.2.1 Michael Faraday

Michael Faraday wurde am 22. September 1791 im englischen Newington, vor den Toren Londons geboren. Er war der Sohn eines einfachen Hufschmieds und wuchs

**Abbildung 5.9****MICHAEL FARADAY**

1791 – 1867

A handwritten signature of Michael Faraday in cursive script. The letters are fluid and connected, with a prominent 'M' at the beginning and a long, sweeping tail at the end.

als das drittgeborene von insgesamt vier Kindern in bescheidenen Verhältnissen auf. Faraday war ein ungewöhnlich wissbegieriger Junge, doch die finanziell angespannte Situation seiner Familie zwang ihn dazu, die Schule früh zu verlassen. Als Vierzehnjähriger zog er nach London, um in der Buchhandlung von George Riebau eine Lehre als Buchbinder zu beginnen. Die gewählte Ausbildungsstätte war ein Glücksfall für den Jungen. Ihm fielen dort zahlreiche wissenschaftliche Abhandlungen in die Hände, die er in seinen freien Stunden mit Eifer verschlang. Seinem aufmerksamen Dienstherrn blieb die Hingabe zur Wissenschaft nicht verborgen, und als Faraday 20 Jahre alt war, bedankte sich Riebau bei seinem Gesellen mit einer Eintrittskarte für den Besuch einer Vorlesung an der Royal Institution. Dieses kleine Geschenk sollte Faradays Leben nachhaltig verändern.

Die Vorlesung wurde von dem Chemieprofessor Humphry Davy gehalten, einem charismatischen Mitglied der Royal Society. Davy war ein begnadeter Redner und sein Auditorium stets bis auf den letzten Platz gefüllt. Auch Faraday war von Davys Vorlesung begeistert. Er besuchte diese nun regelmäßig, brachte das Gehörte feinsäuberlich zu Papier und versah sein Manuskript zusätzlich mit zahlreichen Skizzen. Das Ergebnis war ein dreihundert Seiten starkes Buch, das Faraday mit einem edlen Einband versah und als Dank für die Vorlesung an Davy sandte. Die Antwort des Professors kam prompt. Dieser war von Faradays Arbeit so angetan, dass er ihm wenig später die freigewordene Stelle eines Laborgehilfen anbot.

Im Jahr 1813 nahm Faradays Leben erneut eine unerwartete Wendung. Napoleon lud Davy für eine Audienz nach Paris ein, um den Chemiker für dessen Beiträge zur

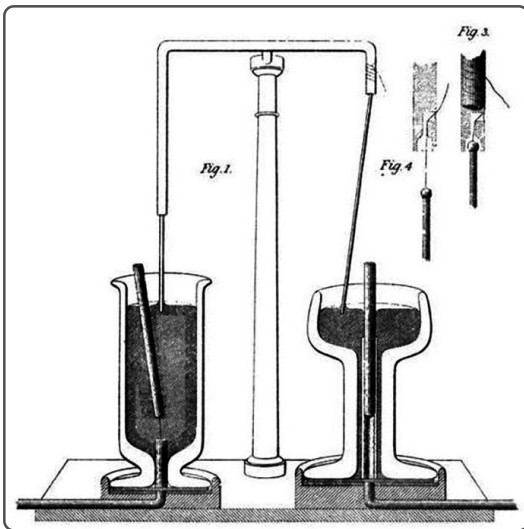
Elektrochemie zu ehren. Davy entschied, den Besuch in der französischen Hauptstadt mit einer mehrjährigen Reise durch Kontinentaleuropa zu verbinden, und suchte für diesen Zweck einen Amanuensis, einen Sekretär, der ihm auf der Reise assistieren sollte. Als die Wahl auf Faraday fiel, konnte dieser sein Glück kaum fassen. Als armer Junge vor den Toren Londons aufgewachsen, sollte er alsbald Städte bereisen und Gelehrte treffen, die er bisher nur aus Erzählungen und seinen geliebten Büchern kannte.

Am 13. Oktober 1813 war es so weit: Als Teil einer fünfköpfigen Delegation machte sich Faraday nach Plymouth auf, um von dort mit dem Segelschiff nach Frankreich überzusetzen. Die Route durch Kontinentaleuropa führte Faraday zunächst nach Paris, danach an die französische Mittelmeerküste und anschließend über die Alpen nach Italien. Nach dem Besuch der großen italienischen Städte bereiste Faraday mehrere Stationen in der Schweiz und Süddeutschland. Von dort aus ging es zurück nach Italien, wo Faraday und Davy mehrere Monate in Rom verweilten. Am 23. April 1815 kehrten die Wissenschaftler nach London heim.

Nach seiner Rückkehr war Faraday zunächst ohne Beschäftigung, erhielt aber nach kurzer Zeit seine Anstellung als Laborassistent zurück. Mit viel Fleiß erarbeitete er sich in den Folgejahren eine Reputation als analytischer Chemiker. Als Faraday im Jahr 1821 von Ørsteds Entdeckung erfuhr, ging er sofort daran, die Versuche zu reproduzieren, und noch im gleichen Jahr gelang ihm eines seiner spektakulärsten Experimente. Faraday führte einen an eine Spannungsquelle angeschlossenen Draht so von oben in ein Quecksilberbad ein, dass dieser um einen senkrecht darin platzierten Dauermagneten zu kreisen begann (Abbildung 5.10). Mit dieser *elektromagnetischen Rotation* hatte er gezeigt, wie sich magnetische und elektrische Kräfte in Bewegung umsetzen lassen, und damit die Grundlage für den Bau des Elektromotors gelegt.

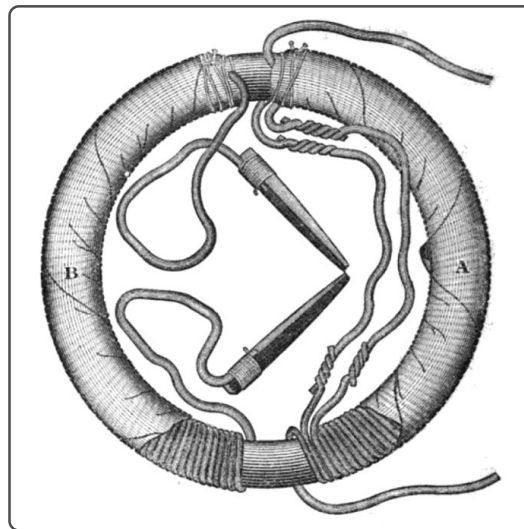
In den Folgejahren hatte Faraday zahlreiche Aufgaben zu erledigen, die ihm nur wenig Zeit für die weitere Erforschung des Elektromagnetismus ließen. Er kümmerte sich um die mineralogische Sammlung und beschäftigte sich intensiv mit Chemie und der Herstellung optischer Gläser. In jener Zeit erlebte Faraday einen rasanten wissenschaftlichen Aufstieg. 1824 wurde er in die Royal Society aufgenommen und ein Jahr später zum Labordirektor der Royal Institution ernannt.

1831 setzte Faraday seine physikalischen Experimente fort. In den Jahren, die seit der Entdeckung der elektromagnetischen Rotation vergangen waren, hatte der englische Physiker William Sturgeon den ersten Elektromagneten gebaut. Von Joseph Henry wurde das Prinzip sukzessive verbessert, und es dauerte nicht lange, bis Magnete mit einer Tragkraft von mehreren Tonnen gefertigt werden konnten. Der Fortschritt in diesen Jahren war immens, und die Elektrizität wurde nun insgesamt viel besser verstanden. So entdeckte Georg Simon Ohm im Jahr 1825 jenen elementaren Zusammenhang zwischen Stromstärke, Spannung und Widerstand, den wir heute als *Ohm'sche Gesetz* bezeichnen.



Faradays Versuchsaufbau zum Nachweis der *elektromagnetischen Rotation* [59]

**Abbildung 5.10**



Zu Faradays Induktionsversuch

**Abbildung 5.11**

Die Arbeiten von Sturgeon und Henry hatten Faraday gezeigt, wie sich mit stromdurchflossenen Spulen starke magnetische Kräfte erzeugen lassen, und im Jahr 1831 stellte er sich die Frage, ob dieser Zusammenhang auch in der umgekehrten Richtung gilt. Sind magnetische Kräfte in der Lage, einen Stromfluss hervorzurufen? Um die Frage zu beantworten, ließ er einen etwa 15 cm großen Eisenring anfertigen, den er an zwei Seiten mit isoliertem Draht umwickelte (Abbildung 5.11). Als er eine der beiden Spulen an eine Stromquelle und die andere an ein Galvanometer anschloss, konnte er Erstaunliches beobachten: Immer dann, wenn er den Stromkreis schloss, zeigte das Galvanometer einen kurzen Ausschlag, und das Gleiche passierte, wenn er den Stromkreis wieder unterbrach. Faraday hatte einen Apparat gebaut, den wir heute als einen *Transformator* bezeichnen, und mit ihm das Prinzip der *elektromagnetischen Induktion* entdeckt.

In den Folgejahren gelangen Faraday weitere bedeutende Experimente. Er war der Erste, der überzeugend ausführte, dass es nur eine Form der Elektrizität gab. Damit widerlegte er die damals vorherrschende Meinung, dass z. B. eine Elektrisiermaschine eine andere Elektrizität erzeuge als eine Volta'sche Säule. Ebenso glaubten damals viele, dass sich die Natur einer eigenen *tierischen Elektrizität* bediene, die unter anderem die Kontraktion von Muskeln bewirkt. 1832 formulierte Faraday die Grundgesetze der Elektrolyse.

Im Jahr 1836 führte Faraday eines seiner bekanntesten Experimente durch. Er zimmerte einen begehbaren Holzcontainer und umgab diesen mit einem Kupfernetz. Das

Netz lud er elektrisch auf und untersuchte mit einem empfindlichen Messgerät den Innenraum. Seine Ergebnisse waren eindeutig: Im Inneren seines Containers, den die moderne Physik einen *Faraday'schen Käfig* nennt, ließ sich keinerlei Elektrizität nachweisen. Heute ziehen wir aus dieser Entdeckung immer dann einen ganz praktischen Nutzen, wenn wir während eines Gewitters einen Pkw als schützendes Domizil aufsuchen.

Im Jahr 1837 begann Faraday, sich intensiv mit der noch ungeklärten Frage auseinanderzusetzen, wie elektrische Kräfte ihre Wirkung entfalten. Im Gegensatz zu vielen seiner Kollegen, die von einer instantanen Fernwirkung überzeugt waren, glaubte er fest daran, dass sich die Kräfte in einem raumfüllenden Medium ausbreiten. Um die Frage zu beantworten, führte er zahlreiche Versuche mit Isolatoren durch und konstruierte eine trickreiche Apparatur zur Messung der dielektrischen Leitfähigkeit. Faradays Experimente bestätigten seine Vermutung. Er wies einen Einfluss des raumfüllenden Mediums nach und entwickelte als Erklärungsmodell die ersten Ansätze seiner Feldtheorie.

Die immense Geschwindigkeit, mit der Faraday immer neue Ergebnisse produzierte, ist nicht ausnahmslos auf sein Talent, sondern in gleichem Maße auf seinen gewaltigen Arbeitseinsatz zurückzuführen. Im Jahr 1839 zahlte der Physiker den Preis dafür. Faraday erlitt einen Nervenzusammenbruch, von dem er sich nur langsam erholte. Zu seinem Glück war diese schwierige Phase seines Lebens nicht von Dauer. Nach drei Jahren fand er zu seiner alten Verfassung zurück und führte weitere bedeutende Experimente durch. Unter anderem entdeckte er bei der Untersuchung von polarisiertem Licht, dass die Polarisationssebene durch ein angelegtes Magnetfeld gedreht werden kann. Dieser magnetooptische Effekt, den wir heute als den *Faraday-Effekt* bezeichnen, war ein wichtiger Beleg dafür, dass zwischen Licht und einem magnetischen Feld ein enger Zusammenhang besteht. Noch ahnte damals niemand, wie eng dieser Zusammenhang wirklich ist.

Michael Faraday wurde 76 Jahre alt. Mit über 450 Fachbeiträgen, die er in seinem Leben publizierte, gehört sein wissenschaftliches Vermächtnis zu einem der größten, die uns je ein einzelner Forscher hinterlassen hat. Wir verdanken ihm die Entdeckung vieler Phänomene, die zu einem großen Gesamtbild zusammengesetzt einen tiefen Einblick in die Welt der Elektrizität und des Magnetismus gewährten. Auch die moderne Physik ist von Faradays Handschrift geprägt. Für die Erklärung elektromagnetischer Phänomene greifen wir heute fast selbstverständlich auf die Modellbegriffe des *elektrischen Felds* oder des *magnetischen Felds* zurück, und nicht jeder weiß, dass es Faraday war, der diese Vorstellung entwickelt hat. Der Feldbegriff ist in der Elektrodynamik so wichtig, dass wir ihm einen separaten Abschnitt widmen.