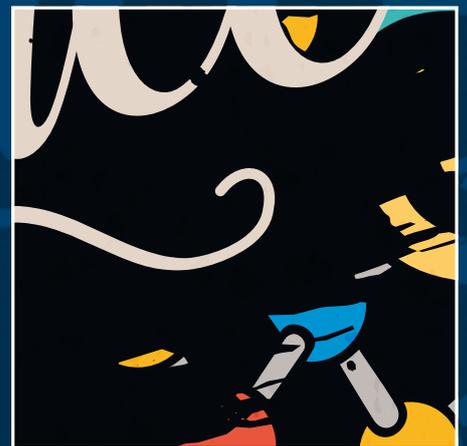
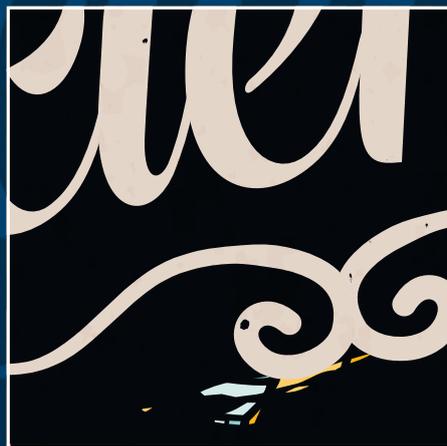


Namensgeber physikalischer Einheiten



**Fachorgan für Wirtschaft und Wissenschaft, Amts- und
Mitteilungsblatt der Physikalisch-Technischen Bundesanstalt
Braunschweig und Berlin**

127. Jahrgang, Heft 2, Juni 2017

Namensgeber physikalischer Einheiten

Inhalt

Namensgeber physikalischer Einheiten

Vorwort

Die Basiseinheiten im Überblick

Einheiten und ihre Namensgeber

Name	Größe	Formelzeichen	Einheit	Namensgeber	Seite
Ampere	elektrische Stromstärke	I	A	André Marie Ampère	06
Becquerel	Radioaktivität	A	1/s = Bq	Antoine Henri Becquerel	10
Coulomb	elektrische Ladung	Q	A s = C	Charles Augustin de Coulomb	14
Farad	elektrische Kapazität	C	C/V = F	Michael Faraday	18
Gray	Energiedosis	D	J/kg = Gy	Louis Harold Gray	22
Henry	Induktivität	L	V s/A	Joseph Henry	26
Hertz	Frequenz	f	1/s = Hz	Heinrich Rudolf Hertz	30
Joule	Arbeit, Energie	w	N m = J	James Prescott Joule	34
Kelvin	Temperatur	T	K	William Thomson (Lord Kelvin of Largs)	38
Newton	Kraft	F	kg m/s ² = N	Isaac Newton	42
Ohm	elektrischer Widerstand	R	V/A = Ω	Georg Simon Ohm	46
Pascal	Druck	p	N/m ² = Pa	Blaise Pascal	50
Siemens	elektrischer Leitwert	G	A/V = S	Werner v. Siemens	54
Sievert	Äquivalentdosis	Dq	J/kg = Sv	Rolf Maximilian Sievert	58
Tesla	magnetische Induktion	B	Wb/m ² = T	Nicola Tesla	62
Volt	elektrische Spannung	u	J/C = V	Alessandro Volta	66
Watt	Leistung	p	N m/s = W	James Watt	70
Weber	magnetischer Fluss	ϕ	V s = Wb	Wilhelm Eduard	74

Das neue Internationale Einheitensystem (SI) – von der Idee bis heute

SI-Einheiten und ihr Ursprung

Liebe Leserin, lieber Leser,

wenn die PTB etwas über Einheiten sagt, dann spricht sie in der Regel ganz viel über Physik, über Technik und über die Möglichkeiten des Messens. Auf das Stichwort „Kelvin“ können sich dann sofort Ausführungen über thermodynamische Prinzipien, über die Quantenaspekte des absoluten Nullpunkts oder über Messunsicherheitsprobleme der Temperaturskala in der technischen Praxis anschließen. Auf das Stichwort „Kelvin“ könnte aber auch etwas anderes folgen, nämlich eine kulturhistorische Betrachtung, die etwa mit der Frage „Wer war eigentlich Kelvin?“ beginnt. Eben das versuchen die hier versammelten Aufsätze. Sie geben den physikalischen Einheiten – etwas pathetisch formuliert – ein menschliches Antlitz, indem sie nach den Menschen fragen, deren Namen sich in den Einheiten wiederfinden.

Insgesamt kennt das Internationale Einheitensystem, das *Système international d'unités* (SI), eine Vielzahl von Einheiten – sieben sogenannte Basiseinheiten und prinzipiell beliebig viele daraus abgeleitete Einheiten (die aus Multiplikation und Division von Basiseinheiten entstehen). Von all diesen Einheiten ist ein kleinerer Teil nach berühmten Wissenschaftlern benannt. Insgesamt handelt es sich hierbei um achtzehn physikalische Einheiten von Ampere (A), der Einheit der elektrischen Stromstärke, bis Weber (Wb), der Einheit des magnetischen Flusses.

Autor dieser kleinen Einheiten-Aufsätze ist der Physiker Prof. Dr. Paul Dobrinski (1927 – 2009), der diese Aufsätze in der Zeitschrift „Junge Wissenschaft“ veröffentlichte. Paul Dobrinski war für diese Zeitschrift Gründungsherausgeber, beständiger Begleiter und nimmermüde Antriebsfeder. Ohne Paul Dobrinski hätte die Zeitschrift ihre Krisen (die grundsätzlich unvermeidlich sind) nie überstanden und würde nicht heute im 32. Jahrgang [*] erscheinen können. Paul Dobrinski würde es freuen, „seine Zeitschrift“ heute in so guter Verfassung zu sehen. Aber zurück zu den Einheiten-Aufsätzen: Diese erschienen über viereinhalb Jahre hinweg im Magazinteil der Zeitschrift in der Rubrik „Wer den Maßeinheiten ihre Namen gab“ – in jeder Ausgabe stellte Paul Dobrinski einen Namensgeber einer SI-Einheit in einem redaktionellen Beitrag vor.

Die PTB-Mitteilungen haben diese Aufsätze bereits in einer früheren Ausgabe (2.2001) in einem Heft versammelt und legen hier nun eine Neuauflage vor – eine Neuauflage, die die Texte unverändert lässt, ihnen aber ein neues Gesicht gibt. Wir hoffen, dieses Layout-Gesicht lacht Sie an und lädt Sie zum Schmökern ein.



Jens Simon
Chefredakteur der PTB-Mitteilungen

[*] Der vollständige Titel der Zeitschrift lautet „Junge Wissenschaft – Jugend forscht in Natur und Technik“. Die Zeitschrift veröffentlicht Originalbeiträge junger Autoren bis zum Alter von 23 Jahren mit anspruchsvollen Themen aus allen Bereichen der Naturwissenschaft und Technik. Diese Schülerarbeiten sind zu meist im Zusammenhang mit Teilnahmen an Jugendforscht-Wettbewerben entstanden. Die heutigen Herausgeber der Zeitschrift sind Prof. Dr. Manfred Euler (Leibniz-Institut für die Pädagogik der Naturwissenschaften und Mathematik, Kiel), Dr. Dr. Jens Simon (PTB) und Dr.-Ing. Sabine Walter, die zugleich Chefredakteurin der Zeitschrift ist.



**Name:
Meter**

**Basisgröße:
Länge**

Die Einheit der Länge ist der Meter (m)

Das Meter ist die Länge der Strecke, die Licht im Vakuum während der Dauer von $(1/299792458)$ Sekunden durchläuft.

**Zeichen:
m**

**Formelzeichen:
s**

**Name:
Kilogramm**

**Zeichen:
kg**

Die Einheit der Masse ist das Kilogramm (kg)

Das Kilogramm ist die Einheit der Masse; es ist gleich der Masse des Internationalen Kilogrammprototyps.

**Formelzeichen:
m**

**Basisgröße:
Masse**

**Zeichen:
s**

**Name:
Sekunde**

**Basisgröße:
Zeit**

Die Einheit der Zeit ist die Sekunde (s)

Die Sekunde ist das 9192631770-fache der Periodendauer der dem Übergang zwischen den beiden Hyperfeinstrukturniveaus des Grundzustandes von Atomen des Nuklids ^{133}Cs entsprechenden Strahlung.

**Formelzeichen:
t**

**Name:
Ampere**

**Zeichen:
A**

**Formelzeichen:
I**

**Basisgröße:
Elektrische
Stromstärke**

Die Einheit der elektrischen Stromstärke ist das Ampere (A)

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

Zeichen:
K

Name:
Kelvin

Die Einheit der Temperatur ist das Kelvin (K)

Das Kelvin, die Einheit der thermodynamischen Temperatur, ist der 273,16te Teil der thermodynamischen Temperatur des Tripelpunktes des Wassers.

Basisgröße:
Temperatur

Formelzeichen:
 T

Name:
Mol

Die Einheit der Stoffmenge ist das Mol (mol)

Das Mol ist die Stoffmenge eines Systems, das aus ebensoviel Einzelteilchen besteht, wie Atome in 0,012 Kilogramm des Kohlenstoffnuklids ^{12}C enthalten sind. Bei Benutzung des Mol müssen die Einzelteilchen spezifiziert sein und können Atome, Moleküle, Ionen, Elektronen sowie andere Teilchen oder Gruppen solcher Teilchen genau angegebener Zusammensetzung sein.

Basisgröße:
Stoffmenge

Formelzeichen:
 n

Zeichen:
mol

Basisgröße:
Lichtstärke

Zeichen:
cd

Die Einheit der Lichtstärke ist die Candela (cd)

Die Candela ist die Lichtstärke in einer bestimmten Richtung einer Strahlungsquelle, die monochromatische Strahlung der Frequenz $540 \cdot 10^{12}$ Hertz aussendet und deren Strahlstärke in dieser Richtung (1/683) Watt durch Steradian beträgt.

Name:
Candela

Formelzeichen:
 I_v



André Marie Ampère

Die SI-Basiseinheit der Stromstärke, Ampere (A)

André Marie Ampère wurde am 20.1.1775 als Sohn eines gebildeten Seidenhändlers in Lyon geboren. Bald nach der Geburt des Sohnes zog sich der Vater als Rentner auf sein Landgut zurück, wo er gelegentlich noch ein Amt in der Finanzverwaltung versah. Der Vater hing dem Erziehungsgedanken J. J. Rousseaus an und unterrichtete und erzog seinen Sohn unter Gewährung aller Freiheiten selbst.

Der wissbegierige Knabe verschlang die mehr als dreißig Bände umfassende Enzyklopädie von Diderot und d'Alembert, die den Geist der Aufklärung widerspiegelt. Auch der Grundstock seines Wissens in Mathematik stammte aus der Enzyklopädie. Als sich Ampère aus einer Bibliothek Bücher der Mathematiker Joh. Bernoulli und L. Euler entleihen wollte, stellte er voller Enttäuschung fest, dass diese lateinisch geschrieben waren. In wenigen Wochen eignete er sich die

für das Studium der Bücher notwendigen lateinischen Sprachkenntnisse an. Ampère hat niemals eine Schule besucht, studiert oder ein Examen abgelegt, er war völliger Autodidakt.

Ampère hatte eine starke Bindung an seinen Vater, deshalb verfiel der 18-Jährige für ein Jahr in tiefe Depressionen, als der Vater 1793 in den Wirren der Französischen Revolution hingerichtet wurde. Da das Vermögen des Vaters beschlagnahmt worden war, stand Ampère plötzlich mittellos da. Eine Heirat wurde ihm zunächst von den künftigen Schwiegereltern verwehrt, da sie auf regelmäßige Einkünfte ihres Schwiegersohnes drangen. So nahm er, ohne rechte Freude, in der Provinz mehrere Schulprofessorstellen an (1799). Sein späteres Eheglück währte aber nur kurz, weil die junge Frau 1803 bald nach der Geburt seines Sohnes starb. Verzweifelt kehrte er in seine Geburtsstadt Lyon zurück.



André Marie Ampère (1775–1836)

1808 wurde er Generalinspekteur der Universitäten. Dieses Amt hat Ampère offenbar überfordert und zermürbt. 1814 folgte seine Wahl zum Mitglied der mathematischen Klasse des „Institute de France“, das nach der Revolution an die Stelle der Akademie getreten war. Ampère wurde 1826 als Professor der Physik an die *Collège de France* berufen.

Starke botanische, chemische, philosophische und theologische Neigungen überdeckten bald Ampères Interesse für Mathematik und Physik. Auch nahm ihm seine Inspektorentätigkeit jegliche Muße. Es existieren über ihn viele Anekdoten, die ihn zu einer lächerlichen Person abwerten. Ampère verkörpert in besonderem Maße die Erscheinung des außerordentlichen Gelehrten, der in jeder Lebenssituation über das gerade anstehende Problem intensiv nachsinnt

Doch schon 1804 wechselte er nach Paris, wo man auf seine mathematischen Arbeiten bereits aufmerksam geworden war und ihm eine Stelle als Repetitor für Analysis an der „École Polytechnique“ übertrug. 1806 heiratete Ampère ein zweites Mal; die Ehe hielt jedoch nicht lange. Nun hatte er für den Sohn aus erster und die Tochter aus zweiter Ehe zu sorgen. Ampères Schwester führte seinen Haushalt.

und deshalb anderen, zum Teil alltäglichen Sorgen mit kindlicher Naivität gegenübersteht. Mit dem Älterwerden ließ seine Lesewut erstaunlich nach.



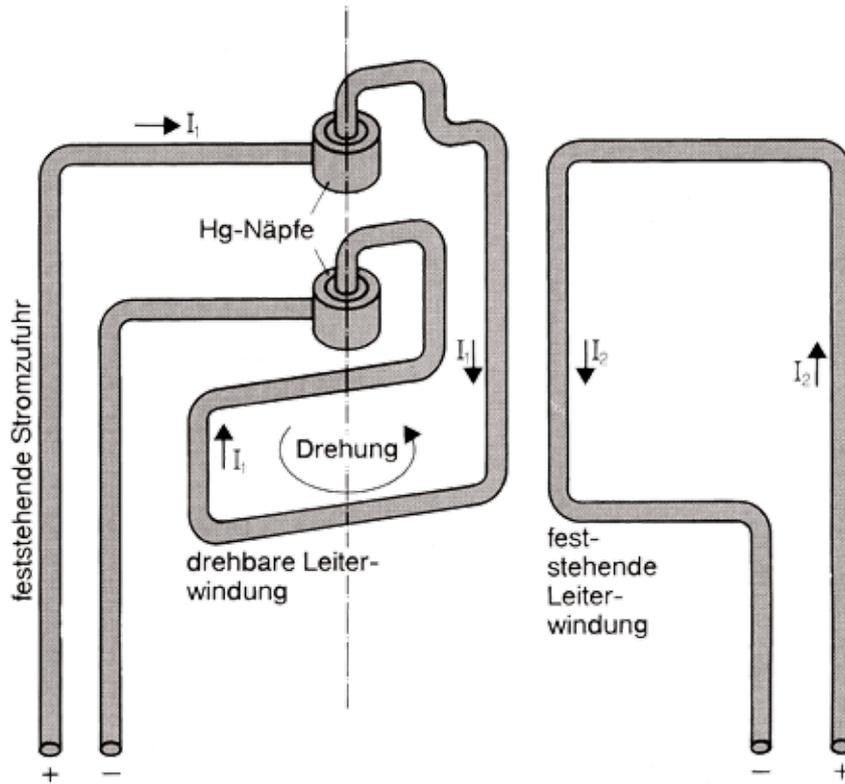


Bild 1: Ampèresches Gesetz zum Nachweis der Kraftwirkung zwischen stromdurchflossenen Leitern

Ampere

Die Einheit der elektrischen Stromstärke ist eine der sogenannten Basiseinheiten des Internationalen Einheitensystems (Système International d'Unités, SI). Die anderen Basiseinheiten sind Meter, Kilogramm, Sekunde, Kelvin, Mol und Candela.

Ampère verwünschte lebenslang seinen Entschluss, nach Paris gegangen zu sein, da er sich in Lyon viel wohler gefühlt hatte. Als er erkrankte, hoffte er deshalb, im Süden Heilung zu finden. Der ans Sterbebett hinzugezogene Priester las ihm geistliche Texte vor, aber Ampère winkte ab, er wisse das alles auswendig. Das geschah in Marseille am 10.6.1836.

Die Kunde von Hans Christian Ørsted's sensationeller Entdeckung des Elektromagnetismus brachte im Spätsommer 1820 François Arago aus Genf mit. Auf der Akademiesitzung am 11.9.1820 wiederholte Arago die Versuche in

Paris. Ampère sah sie dort, war fasziniert und begann selbst zu experimentieren.

Schon eine Woche später führte er auf der nächsten Akademiesitzung mit seiner, aus alten Drähten zusammengebogenen, Stromwaage (Bild 1) die Versuche vor, die die Wechselwirkung zweier stromdurchflossener Leiter zeigten. Er nannte die Wirkung „elektrodynamisch“.

Die Stromwaage Ampères ist ein U-förmiger Drahtbügel, der mit seinen umgebogenen Enden in Quecksilbernäpfchen hängt und sich wie ein Pendel bewegen kann.

Definition des Ampere (A)

Die Basiseinheit 1 Ampere ist die Stärke eines zeitlich unveränderlichen elektrischen Stroms, der durch zwei im Vakuum parallel im Abstand 1 Meter voneinander angeordnete, geradlinige, unendlich lange Leiter von vernachlässigbar kleinem, kreisförmigem Querschnitt fließend, zwischen diesen Leitern je 1 Meter Leitungslänge die Kraft $2 \cdot 10^{-7}$ Newton hervorrufen würde.

Erster Gleichgewichtsfall

Ein stromdurchflossener, hin- und rückgeführter Draht hat auf das Pendel der Stromwaage keine Wirkung, übt keine Kräfte aus. Ampère folgerte aus dieser Beobachtung, dass anziehende und abstoßende Kräfte des gleichen elektrischen Stromes gleich groß sind.

Zweiter Gleichgewichtsfall

Das Pendel der Stromwaage befindet sich zwischen einem geraden und einem beliebig gebogenen Leiter. Leiter und Pendel sind vom gleichen Strom durchflossen. Obwohl der gebogene Draht viel länger ist als der gerade, ist die Kraft, die er ausübt, genau so groß wie die des geraden. Dieses Experiment ist erstaunlich. Die Lösung liegt darin, dass nur die Komponente des Drahtes, die zum Pendel parallel ist, eine Kraft auf diesen ausübt.

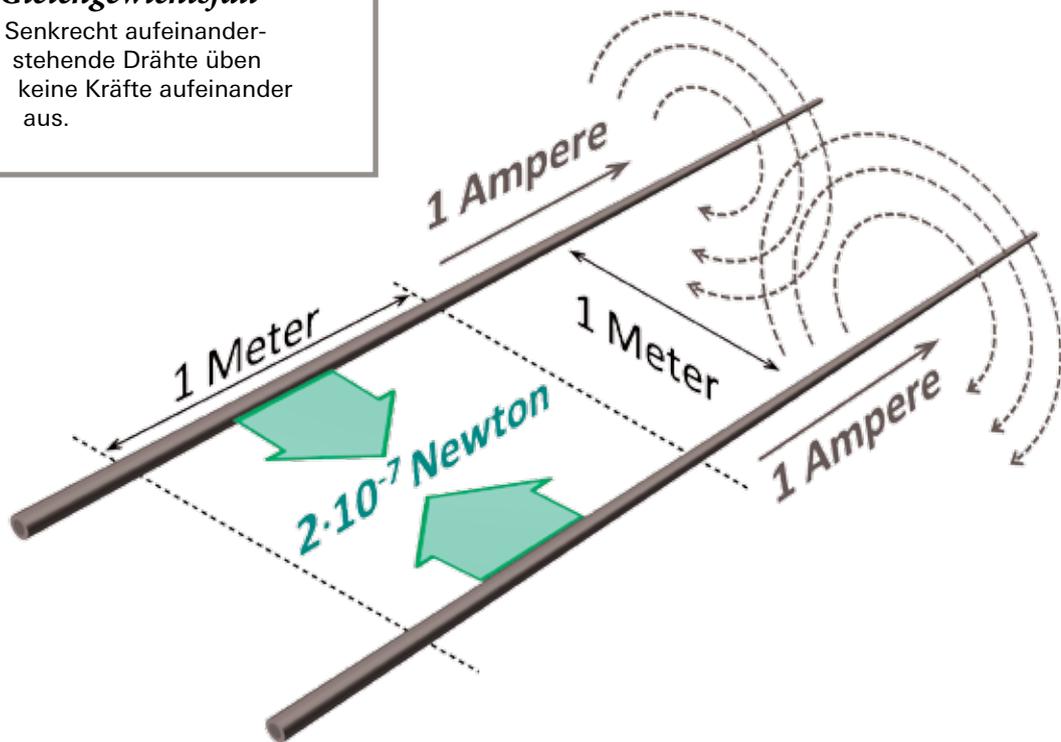
Zweiter Gleichgewichtsfall

Senkrecht aufeinanderstehende Drähte üben keine Kräfte aufeinander aus.

Die Quecksilberkontakte ermöglichen eine sichere Stromzuführung bei geringer mechanischer Reibung. Dieses Pendel spricht aber wegen seines Gewichtes und der kleinen auftretenden Kräfte nur an, wenn ein Gegengewicht den mechanischen Schwerpunkt des Systems dicht unter die Auflageachse anhebt.

Er fand eine Deutung und quantitative Erfassung mithilfe eines Elementargesetzes nach Newton'scher Art (Gesetz mit $1/r^2$). Mit seinen Experimenten demonstrierte er die vollständige Reziprozität der Wirkungen von Magneten und elektrischen Strömen.

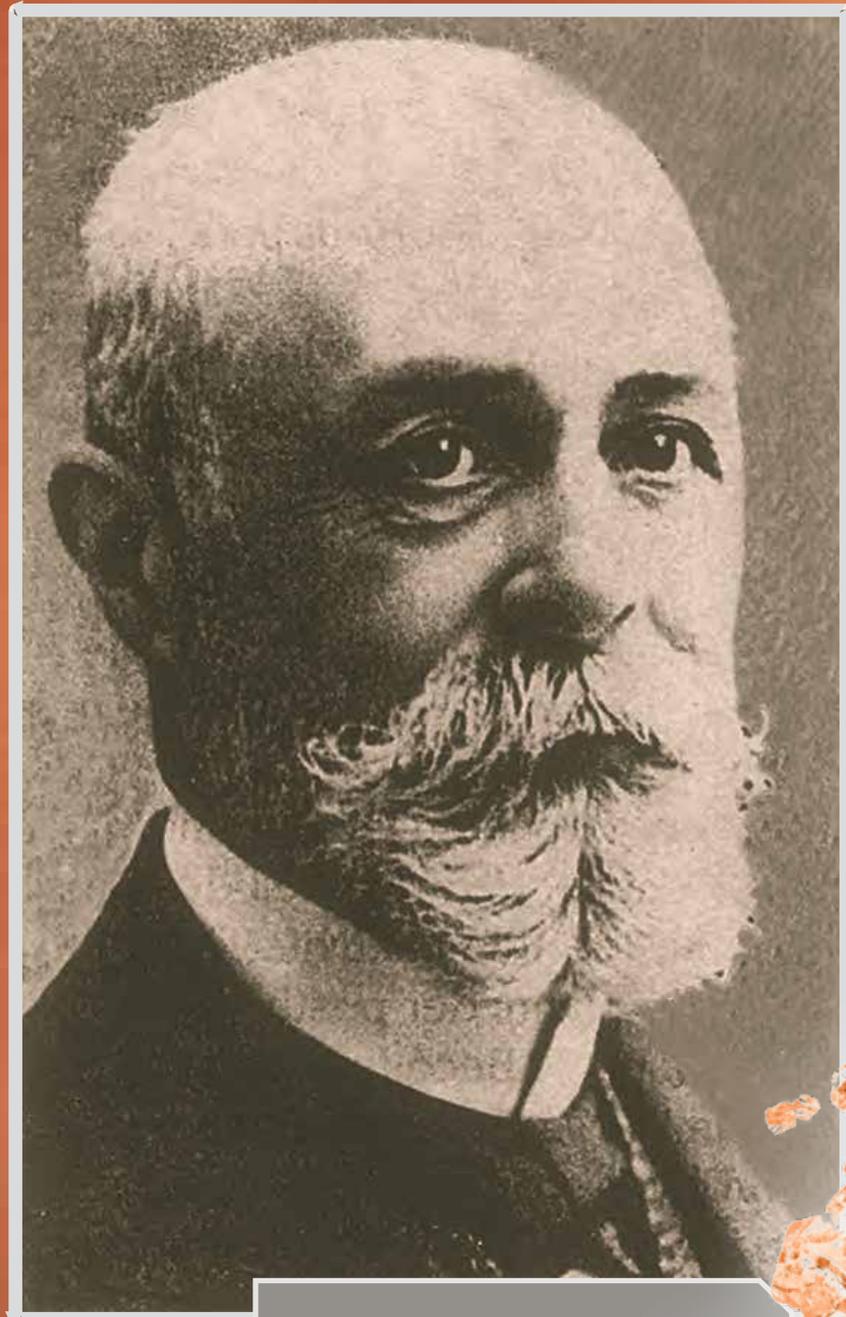
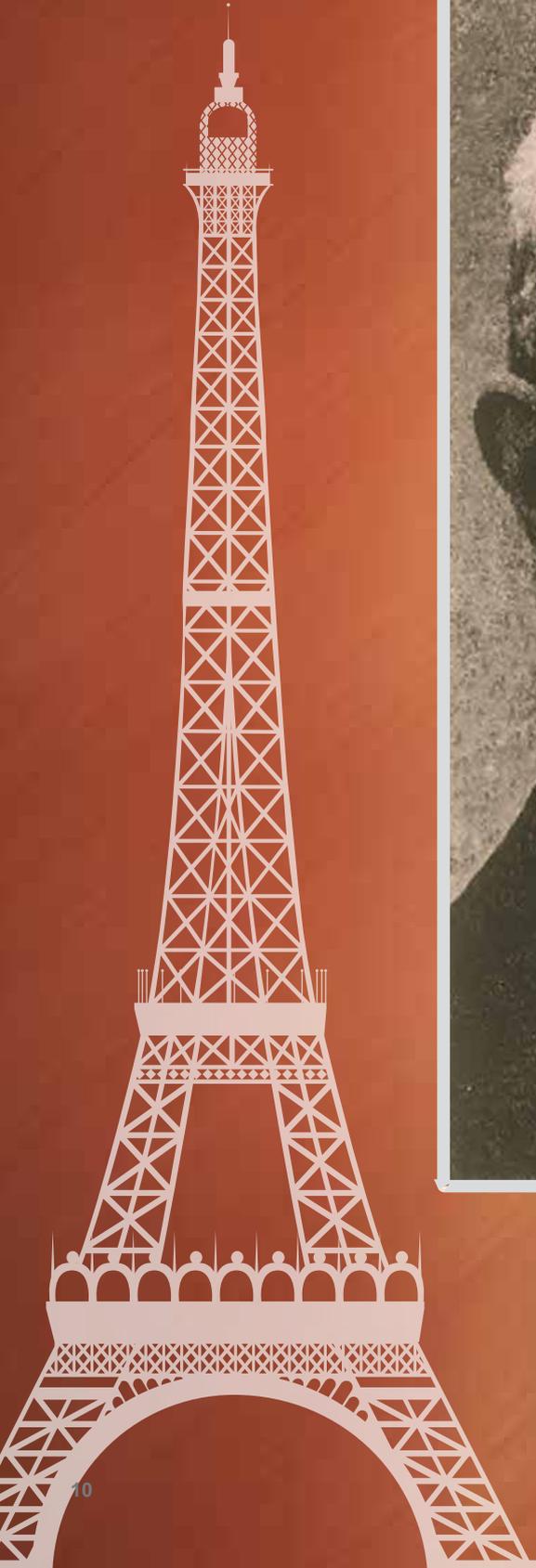
Er wies Kritikern nach, dass die Kraftwirkung zwischen zwei stromdurchflossenen Leitern von permanenten Magneten unabhängig und nicht aus den Ørsted'schen Versuchen herleitbar sei. Ein elektrisches und magnetisches Maßsystem war zu Ampères Zeiten noch nicht entwickelt, das begann erst nach 1832 und nahm viele Jahrzehnte in Anspruch. Aus diesem Grunde benutzte er bei der Interpretation der Effekte drei Fälle gleicher Kräfte. Ampère entnahm aus den Gleichgewichtsfällen das Ampère'sche Gesetz.



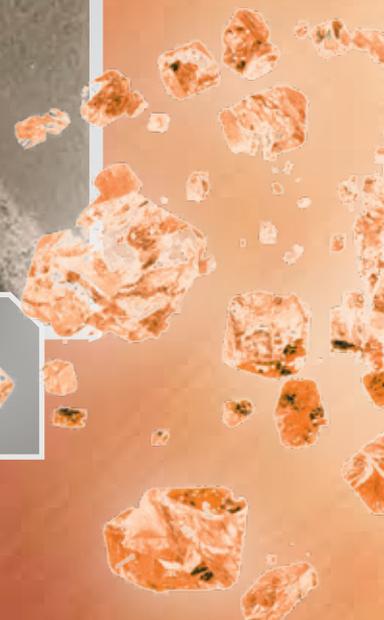
Veranschaulichung der SI-Ampere-Definition
 Die grün eingezeichneten Kräfte, hervorgerufen durch die Magnetfelder der Stromleiter (Feldlinien angedeutet durch Pfeile) haben jeweils den Betrag $2 \cdot 10^{-7} \text{ N}$ pro Meter Leiterlänge, wenn ein Strom der Stärke 1 Ampere fließt.

Antoine Henri **Becquerel**

Die abgeleitete SI-Einheit der Radioaktivität, Becquerel (Bq)



Antoine Henri Becquerel
(1852–1908)



Becquerel wurde am 15. Dezember 1852 in Paris geboren. Er stammte aus einer Familie, in der der Beruf des Physikers bereits zur Tradition geworden war: Sein Vater und Großvater waren führende französische Physiker. Becquerel beendete im Jahre 1877 das Studium an der *Ecole Polytechnique* in Paris und wurde nach einem weiteren dreijährigen Studium des Brücken- und Straßenbaus Ingenieur. Im Mittelpunkt seines Interesses stand jedoch die Physik. Am Lehrstuhl für angewandte Physik in der Schule der Künste und des Handwerks begann Becquerel mit Vorlesungen. Später wurde er Professor für praktische Physik am Naturhistorischen Museum und war von 1895 bis an sein Lebensende Professor für Physik an der Pariser *Ecole Polytechnique*.

Seit 1876 betrieb er selbstständige Forschungen, indem er die Drehung der Polarisationssebene des Lichts untersuchte. Diese Erscheinung hatte bereits Faraday beobachtet. Becquerel untersuchte ihren Verlauf in Gasen, in der Luft und in überhitzten Dämpfen einiger in einem starken Magnetfeld angeordneter Stoffe. Zu dieser Zeit studierte er auch die Absorption des Lichts in Kristallen. Für diese Forschung verlieh man ihm im Jahre 1888 den wissenschaftlichen Grad eines Doktors.

Am 20. Januar 1896 berichtete Henri Poincaré an der Akademie der Wissenschaften in Paris über die kurz zuvor entdeckten Röntgenstrahlen. Er äußerte die Vermutung, dass die Emission von Röntgenstrahlen und die Lumineszenz des Teils der Glaswand, aus dem sie hervorgegangen sind, miteinander verbundene Erscheinungen seien.





Becquerel

Becquerel (Bq) ist die SI-Einheit der Aktivität.

Definition des Becquerel (Bq):

Das Becquerel ist die Aktivität einer radioaktiven Strahlungsquelle, bei der sich im Mittel in der Zeit 1 s ein Atomkern eines radioaktiven Nuklides umwandelt.

$$1 \text{ Bq} = 1 \text{ s}^{-1}$$

Eines der anwesenden Akademiemitglieder war Henri Becquerel, Professor am Nationalmuseum für Naturgeschichte, der ebenso wie sein Vater Experte für Lumineszenz und Phosphoreszenz war. Lumineszenz ist eine Lichtaussendung nach vorausgegangener Anregung, während diese Emission im besonderen Fall der Phosphoreszenz nach Beendigung der Anregung noch fort dauert (Nachleuchten). Nach einem Gespräch mit Poincaré und nach seiner Rückkehr ins Labor begann er nach anderen lumineszierenden Substanzen, die Röntgenstrahlen aussenden, zu suchen. Für diese Untersuchung wählte er Kristalle des Doppelsalzes aus Uranyl- und Kaliumsulfat, die er zuvor mit seinem Vater vorbereitet hatte.

Im Februar desselben Jahres brachte er dieses Salz auf eine Photoplatte, die mit Blättern dicken schwarzen Papiers umwickelt war, und setzte das Ganze mehrere Stunden lang der Sonne aus. Er entwickelte die Platte und erkannte auf der Aufnahme in Schwarz die Konturen der phosphoreszierenden Substanz.

Diese Beobachtung unterstrich Poincarés Vermutung. Wie Röntgenstrahlen durchdrangen auch die beobachteten Strahlen schwarzes Papier, aber ebenso Aluminiumplatten und dünne Kupferfolie.

Dank eines meteorologischen Zufalls machte Becquerel eine noch erstaunlichere Beobachtung: „Einige dieser Experimente waren am Mittwoch, dem 26., und am Donnerstag, dem 27. Februar, vorbereitet worden, und da sich die Sonne an diesen Tagen nur hin und wieder gezeigt hatte, hatte ich die Experimente vollständig vorbereitet belassen und die Rahmen in der dunklen Schublade eines Möbelstücks untergebracht, wobei ich die Plättchen des Uransalzes an Ort und Stelle gelassen hatte. Da die Sonne an den folgenden Tagen nicht mehr schien, entwickelte ich die photographischen Platten am ersten März in Erwartung sehr schwacher Bilder. Die Konturen zeichneten sich jedoch ganz scharf ab. Mir kam sofort der Gedanke, dass sich der Vorgang im Dunkeln fortgesetzt hatte.“

Die vorherige Anregung durch Sonnenlicht ist also nicht erforderlich. Die unsichtbare Strahlung entsteht aus einer Phosphoreszenz, die viel länger anhält als üblich. Ist diese Strahlung, die man radioaktive Strahlung oder Radioaktivität nennt, mit den von Röntgen entdeckten Strahlen identisch? Am 9. März entdeckte Becquerel mithilfe seines Goldblattelektroskops, dass die radioaktiven Strahlen elektrisch geladene Stoffe entladen, eine Eigenschaft, die sie mit Röntgenstrahlen gemeinsam haben. Er beobachtete ebenfalls, dass schwere Elemente mehr Strahlung absorbieren. Außerdem schien die Strahlungsintensität im Laufe der Zeit nicht abzunehmen.

Am 18. Mai 1896 formulierte Becquerel, nachdem er festgestellt hatte, dass sich die Intensität innerhalb von zwei Monaten nicht verändert hatte, das wichtige Forschungsergebnis: Nicht phosphoreszierende Uransalze senden ebenfalls Strahlen aus.

Er schrieb: „Ich kam also auf die Idee, dass dieser Effekt auf die Anwesenheit des Elements Uran in diesen Salzen zurückzuführen ist, und dass das Metall selbst stärkere Wirkungen hervorruft als seine Verbindungen. Das Experiment hat die Prognose bestätigt.“

Er fügt hinzu: „Bei dem Metall tritt eine Art unsichtbare Phosphoreszenz auf.“

An späterer Stelle bemerkt er: „Bisher ist nicht zu erkennen gewesen, woher das Uran die Energie nimmt, die es mit so großer Beharrlichkeit aussendet.“ Am 12. April 1897 bemerkte er in einer weiteren Notiz, dass die Strahlung des Urans im Lauf eines Jahres nicht zurückgegangen sei. Becquerel hatte eine neue Eigenschaft eines natürlichen Stoffes, des chemischen Elementes Uran, beschrieben: Dieses sendet spontan eine anhaltende Strahlung aus.

An Becquerels Arbeiten knüpften dann Marie Sk odowska-Curie und ihr Gatte Pierre Curie an, die die neue Erscheinung gründlich erforschten und sie Radioaktivität nannten.

Durch die Entdeckung der natürlichen Radioaktivität eröffnete Becquerel eine völlig neue Etappe in der Entwicklung der Physik. Als das Ehepaar Curie im Jahre 1900 die beiden Komponenten der radioaktiven Strahlen, Alpha- und Beta-Strahlen, entdeckten, ermittelte Becquerel im gleichen Jahr die spezifische Ladung (Verhältnis der

Ladung eines Teilchens zu seiner Masse) der Beta-Teilchen aus den Ablenkungen der Beta-Strahlen im magnetischen und elektrischen Feld. Für seine wissenschaftlichen Verdienste wurde Becquerel im Jahr 1899 zum Mitglied der Pariser Akademie der Wissenschaften und später zum Ehrenmitglied vieler ausländischer Akademien ernannt. Für die Entdeckung und Erforschung der natürlichen Radioaktivität erhielt er 1903 gemeinsam mit dem Ehepaar Curie den Nobelpreis für Physik.

Henri Becquerel starb am 25. August 1908 in Le Croisic (Bretagne).

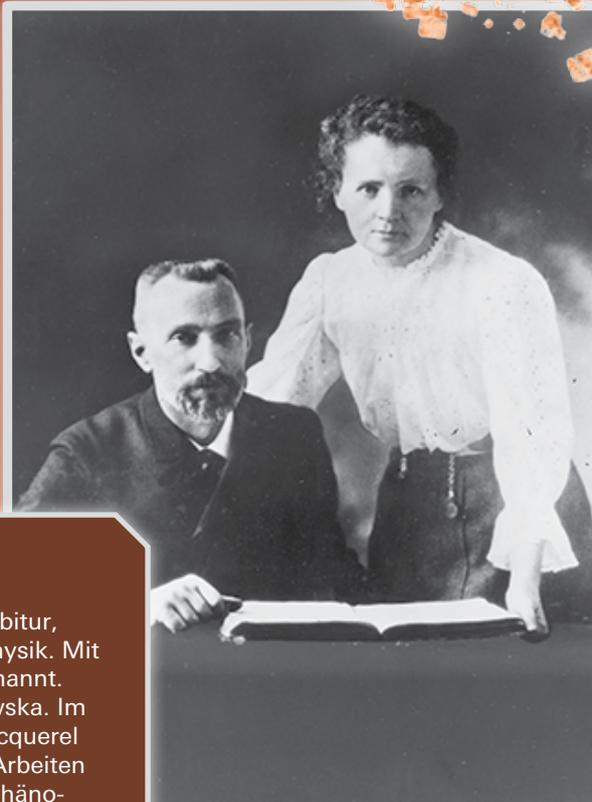
Marie Sk odowska Curie

(1867–1934)

Maria Salomea Sk odowska, so Curies Mädchenname, war Physikerin und Chemikerin. Im Dezember 1897 begann sie, radioaktive Substanzen zu erforschen. Sie war die erste Frau und die erste Professorin, die an der Sorbonne lehrte; sie war die erste Frau, die den Nobelpreis erhielt und die einzige Frau, die Nobelpreise auf zwei unterschiedlichen Gebieten (Physik und Chemie) verliehen bekam.

Pierre Curie (1859–1906)

Pierre Curie erwarb bereits mit 16 Jahren das Abitur, mit 19 Jahren einen Universitätsabschluss in Physik. Mit 36 promovierte er und wurde zum Professor ernannt. Am 26. Juli 1895 heiratete Curie Maria Sk odowska. Im Jahr 1903 erhielten er, seine Frau und Henri Becquerel den Physik-Nobelpreis für „ihre gemeinsamen Arbeiten über die von Becquerel entdeckten Strahlungsphänomene“. Pierre Curie erlag im Alter von 46 Jahren nach einem Zusammenprall mit einem Pferdewagen seinen Verletzungen.



De nition des Curie (Ci)

Curie gehört **nicht** zu den SI-Einheiten.
1 Ci = 37 GBq

Charles Augustin de **Coulomb**

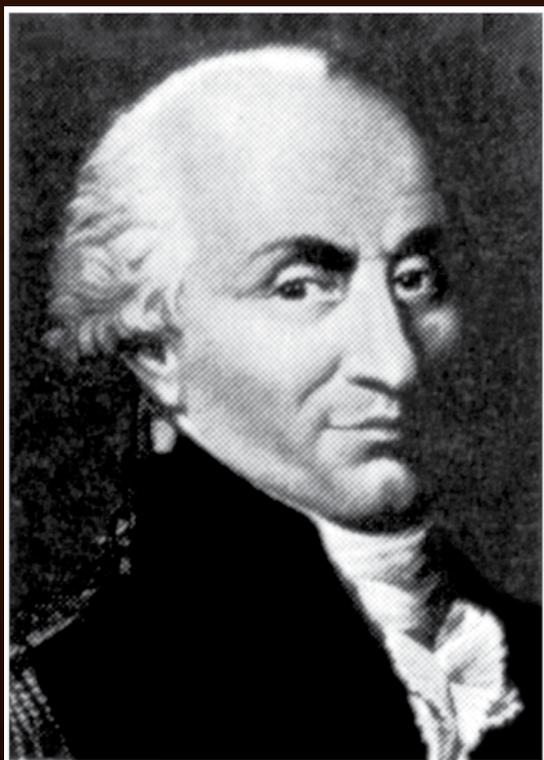
Die abgeleitete SI-Einheit der elektrischen Ladung
oder der Elektrizitätsmenge, Coulomb (C)



Charles Augustin de Coulomb wurde am 14. Juni 1736 im südfranzösischen Angoulême in einer wohlhabenden Familie geboren.

Nach dem Studium der Mathematik und der Naturwissenschaft in Paris wählte er den Militärberuf. Als Offizier des technischen Dienstes leitete er die Festungsbauarbeiten auf der Insel Martinique, wo er neun Jahre verbrachte.

Bereits während seines Aufenthaltes auf Martinique beschäftigte er sich nebenbei mit wissenschaftlichen Arbeiten auf dem Gebiet der technischen Mechanik, hauptsächlich mit einigen Problemen der Statik. Im Jahre 1776 kehrte er nach Frankreich zurück. Hier beteiligte er sich an einem Wettbewerb, den die Französische Akademie der Wissenschaften mit dem Ziel der Vervollkommnung von Navigationseinrichtungen ausgeschrieben hatte.



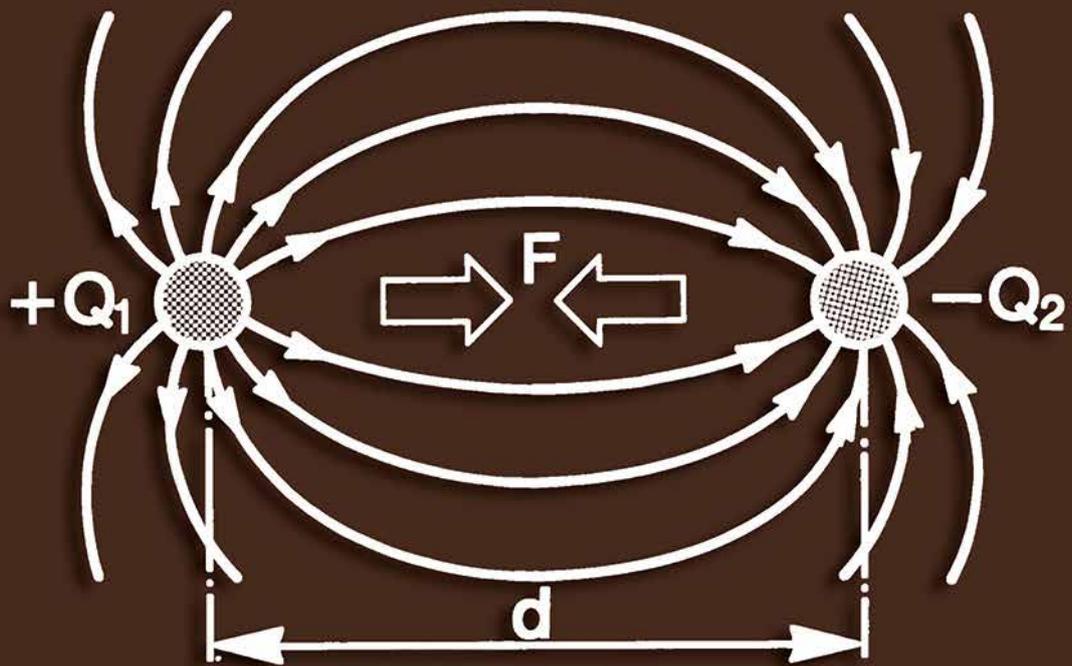
Charles Augustin de Coulomb
(1736–1806)

Coulomb konnte das gestellte Problem erfolgreich lösen und studierte daneben den Magnetismus ausführlicher, insbesondere die Abhängigkeit der Eigenschaften der Magneten von der Temperatur.

Für seine erfolgreiche Neukonstruktion des Kompasses und andere Arbeiten wurde er 1782 zum Mitglied der Akademie ernannt. Obwohl er auch weiterhin im Militärdienst verblieb, hatte er so doch größere Möglichkeiten zum Experimentieren und wurde in der wissenschaftlichen Welt bekannt.

Im Jahre 1784 veröffentlichte Coulomb eine Arbeit über die Abhängigkeit des Torsionsmoments eines Drahtes von dessen Durchmesser, Länge und Torsionswinkel sowie von einer konstanten Größe, die von den physikalischen Eigenschaften des Drahtmaterials abhängig ist.





Er machte Untersuchungen über die Statik fester Körper, Festigkeit von Werkstoffen, Gleit- und Haftreibung und formulierte das Reibungsgesetz. Im Jahr 1779 verfasste Coulomb die Arbeit „Theorie der einfachen Maschinen“, die seine wesentlichen Erkenntnisse auf dem Gebiet der Mechanik zum damaligen Zeitpunkt zusammenfassten. Mit einem selbstersonnenen Ladungsmesser (Coulombmeter)

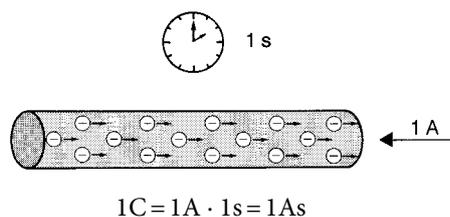
bestimmte er den Zusammenhang zwischen Stromstärke und Stoffabscheidung bei der Elektrolyse. Seinen Untersuchungen und Erkenntnissen über die Eigenschaft von elastischen Körpern beim Verdrehen entsprang die Konstruktion einer Drehwaage (Bild 2).

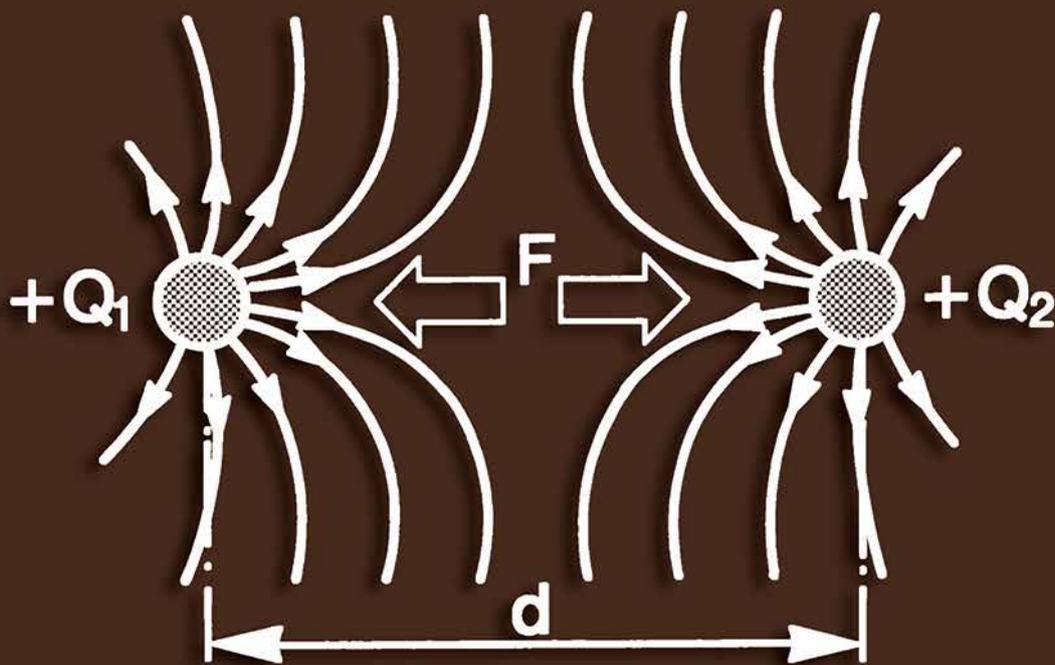
Mit dieser konnte er kleine Kräfte zwischen elektrischen Ladungen relativ genau messen und das nach ihm benannte Grundgesetz der Elektrostatik im Jahr 1785 aufstellen. In seiner allgemeinen Form besagt das Coulomb'sche Gesetz, dass die zwischen zwei elektrischen Ladungen wirkende Kraft proportional den beiden Ladungsmengen und umgekehrt proportional dem Abstand der Ladungen ist. Haben die Ladungen ungleiche Vorzeichen, entsteht eine Anziehungskraft, bei gleichen Vorzeichen eine Abstoßungskraft (siehe Bild oben).

Coulomb entdeckte weiterhin, dass sich die elektrische Ladung in den Körpern nicht entsprechend ihrer chemischen Zusammensetzung aufteilt, sondern bei einer wechselseitigen Berührung infolge der elektrischen Abstoßungskräfte von einem auf den anderen Körper übergeht. Ebenso klärte er auf, dass die elektrische Feldstärke in einem Punkt in der Nähe der Oberfläche eines geladenen Leiters der Flächenladungsdichte auf dem Leiter proportional ist. Neben seiner wissenschaftlichen Tätigkeit bekleidete Coulomb auch öffentliche Ämter: Er nahm eine bedeutende Stelle im Ministerium für

Definition des Coulomb (C)

1 Coulomb ist die Elektrizitätsmenge oder elektrische Ladung, die bei einer zeitlich konstanten Stromstärke von einem (1) Ampere (A) während der Zeit einer (1) Sekunde (s) durch einen Leiter fließt.





Kraftwirkung zwischen Ladungen

Unterrichtswesen ein und hatte die Funktion des Generalinspektors für Gewässer und Quellen. Die öffentliche Tätigkeit gab er später auf, nachdem er bei den höheren Regierungsstellen in Ungnade gefallen war. Als im Jahre 1789 die Französische Revolution ausbrach, zog er sich auf sein Gut bei Blois zurück, wo er sich ganz der wissenschaftlichen Arbeit widmete.

Im gleichen Jahr erschien sein bedeutendstes Werk, in dem er die Vorstellung von der Existenz zweier Elektrizitätsarten auch auf den Magnetismus ausdehnte und ein Gesetz formulierte, nach dem die Wirkung zwischen den Magnetpolen der Wirkung zwischen zwei elektrischen Punktladungen analog ist.

Coulomb hat mit seinen wissenschaftlichen Arbeiten in die Fachgebiete Elektrizität und Magnetismus exakte quantitative Methoden eingeführt und die Prinzipien der Newton'schen Mechanik auch auf die Elektrizität und den Magnetismus angewendet. Seine Drehwaage wurde in den empfindlichsten elektrischen Messgeräten eingesetzt und fand in vielen Gebieten der Physik erfolgreich Anwendung. Nach dem Machtantritt Napoleons erhielt Coulomb seine Ämter wieder zurück, die er bis an sein Lebensende bekleidete. Er starb am 23. August 1806 in Paris.

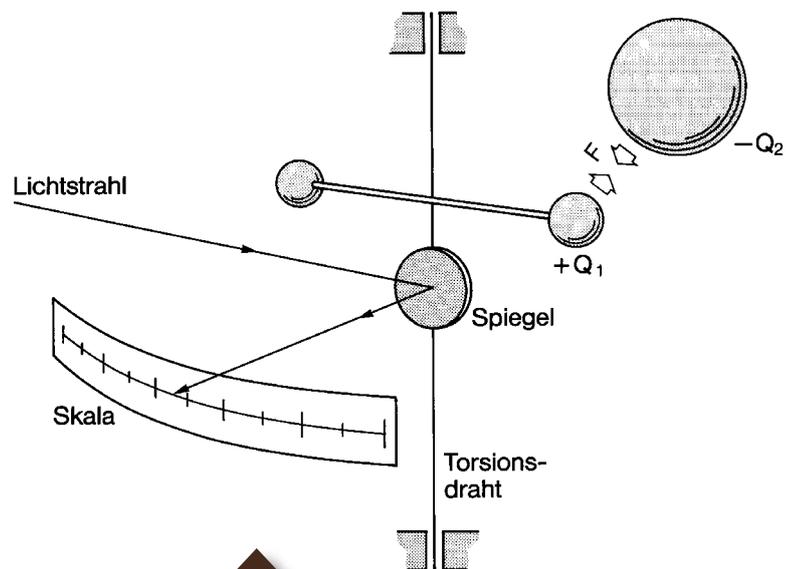
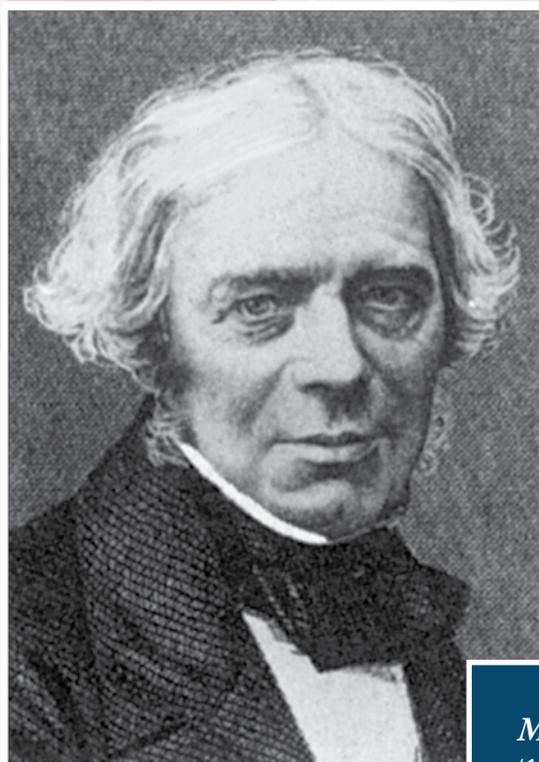


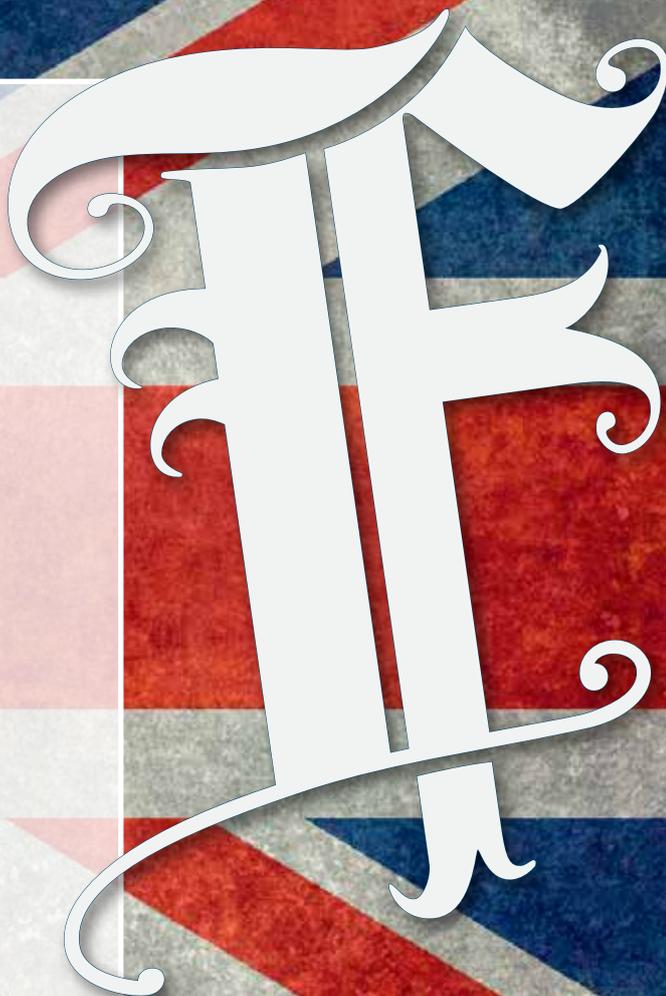
Bild 2:
Prinzip
der Drehwaage
mit Lichtzeiger zur
Ladungsmessung

Michael Faraday

Die abgeleitete SI-Einheit der elektrischen Kapazität, Farad (F)



Michael Faraday
(1791–1867)



Faraday wurde am 22. September 1791 in Newington Butts unweit von London als Sohn eines Schmieds geboren. Die unvermögenden Eltern konnten ihm nicht einmal eine abgeschlossene Grundschulausbildung gewähren; deshalb gaben sie ihn bereits mit dreizehn Jahren zu einem Buchbinder und Buchhändler in die Lehre. Zunächst trug er nur Zeitungen aus, später erlernte er das Buchbinderhandwerk. Bei der Arbeit mit Büchern las er viel, wobei ihn am stärksten Physik- und Chemiebücher fesselten. Er begann populärwissenschaftliche Abendvorlesungen zu besuchen; ein reicher Kunde ermöglichte ihm die Teilnahme an einigen Vorlesungen des Chemikers Sir Humphrey Davy an der Royal Institution*.

Im Jahre 1812 ging seine Lehrzeit zu Ende. Der junge Faraday fasste jetzt den Entschluss, sich ganz der Wissenschaft zu widmen. Es gelang ihm, eine Stelle an der Royal Institution direkt bei Davy zu bekommen. Dabei studierte er jedoch verstärkt weiter, er sammelte Erfahrungen, sein wissenschaftlicher Horizont erweiterte sich.

Als er im Jahre 1815 von Reisen durch Europa, auf denen er Davy begleitet hatte, zurückkehrte, begann er diesem bei chemischen Versuchen zu helfen und selbstständig kleinere Aufgaben zu lösen. Sehr bald konnte er wertvolle Ergebnisse nachweisen. Er gewann zwei neue Verbindungen von Chlor und Kohlenstoff. Er interessierte sich auch für das Studium der Akustik und bereitete Versuche für die Vorlesungen an der Royal Society vor; bei diesen Versuchen assistierte er auch.

Es folgte ein Jahrzehnt angestrebter, vielseitiger wissenschaftlicher Tätigkeit. Gemeinsam mit Davy stellte er Versuche zur Gasverflüssigung an, leistete umfangreiche Arbeit auf dem Gebiet der Stahllegierungen und betrieb gründliche Studien über die Herstellung neuer optischer Gläser.

Ab 1818 entwickelte er in den Laboratorien der Royal Institution rostfreie Stahllegierungen. Es gelang ihm erstmalig die Verflüssigung von Chlor und anderen Gasen unter Druck. Im Jahre 1825 fand Faraday bei Ölanalysen das Benzol.

Sein wichtigstes Forschungsgebiet blieb jedoch nicht die Chemie, sondern wurde vielmehr die Elektrizität. Die interessante Entdeckung des dänischen Physikers Hans Christian Ørsted (1777–1851), dass ein stromdurchflossener elektrischer Leiter von einem Magnetfeld umgeben ist und eine Magnetnadel ablenken kann, begeisterte ihn. Anknüpfend an diese Entdeckung stellt er sich die Aufgabe, Elektrizität mithilfe von Magnetismus zu erzeugen. Nachdem elektrischer Strom ein magnetisches Feld hervorrufen konnte, war die Problemstellung naheliegend. Er experimentierte deshalb mit Spulen, Eisenstäben und Dauermagneten, um der Frage nach der Umkehrung der Erscheinung des Elektromagnetismus nachzugehen.

* Im Jahre 1799 in England gegründetes Institut, in dem öffentliche wissenschaftliche Vorträge gehalten, experimentelle Untersuchungen betrieben und verschiedene naturwissenschaftliche Kurse abgehalten wurden

Am 29. August 1831 entdeckte Michael Faraday die elektromagnetische Induktion: Bewegt sich ein elektrischer Leiter quer zu einem Magnetfeld, so wird in dem Leiter eine elektrische Spannung induziert. Damit war der schon lange vermutete Zusammenhang zwischen Magnetismus und Elektrizität experimentell nachgewiesen.

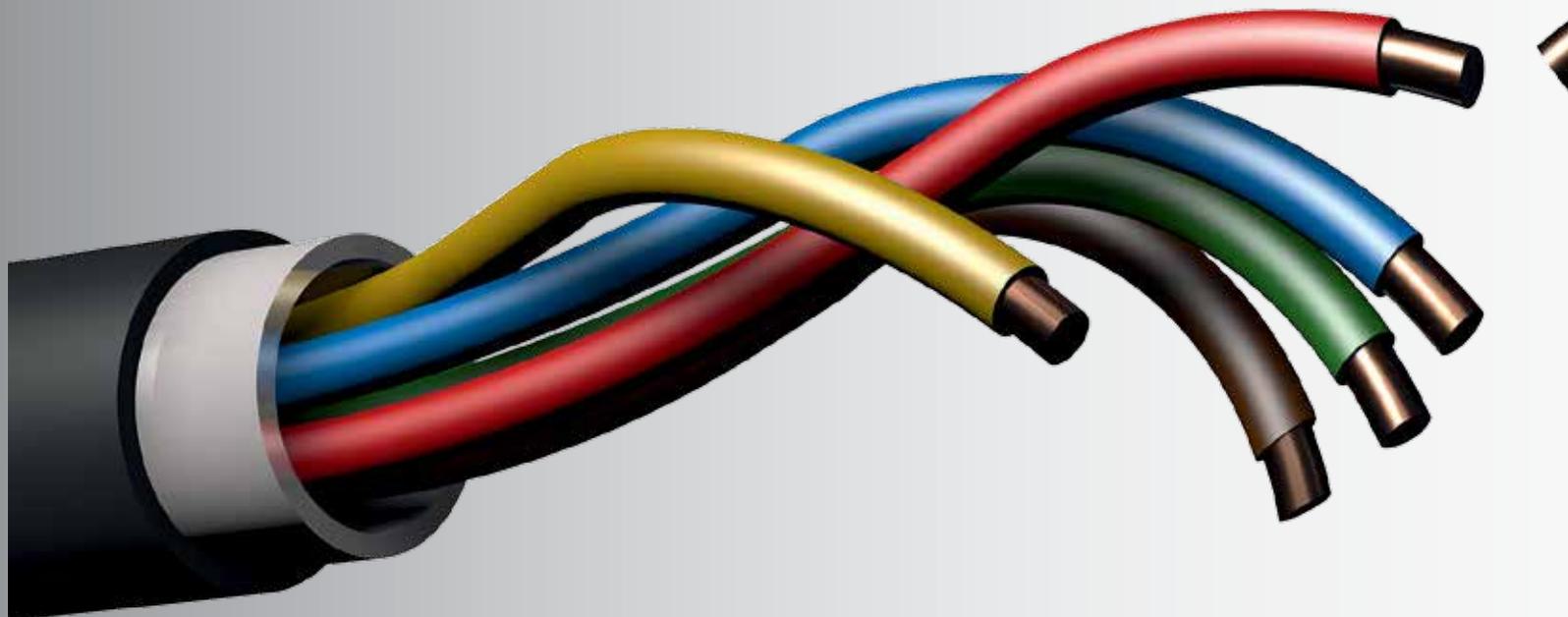
Mit der Entdeckung der elektromagnetischen Induktion waren die Grundvoraussetzungen für den Bau von Generatoren geschaffen. Michael Faraday wandte sich jedoch nicht der Konstruktion von elektrischen Maschinen zu, sondern beschäftigte sich weiter mit theoretischen Aufgaben. Er fand die gesetzmäßigen Beziehungen zwischen den magnetischen und elektrischen Größen heraus und stellte schließlich das Gesetz der elektromagnetischen Induktion auf, das in seiner allgemeinen Form jedoch erst später von dem englischen Physiker James Clerk Maxwell (1831–1879) formuliert wurde. Es besagt, dass die in einer Spule induzierte Spannung proportional der Windungszahl und proportional der magnetischen Flussänderung je Zeiteinheit ist.

Neben der Entdeckung der elektromagnetischen Induktion stellte Michael Faraday im Jahre 1833 die nach ihm benannten zwei Gesetze der Elektrolyse auf.

Das 1. Faraday'sche Gesetz besagt, dass bei elektromagnetischen Vorgängen mit gleichen Elektrolyten die abgeschiedene Stoffmenge proportional der Stromstärke und proportional der Zeitdauer ist. Aufgrund der unterschiedlichen Stoffabscheidung verschiedener Elektrolyte wurden diesen Stoffkonstanten zugeordnet, die man als elektrochemische Äquivalente bezeichnete.

Das 2. Faraday'sche Gesetz beinhaltet, dass bei verschiedenen Elektrolyten sich die elektrochemischen Äquivalente zueinander verhalten wie Äquivalentgewicht der Stoffe, wobei darunter die Quotienten aus den Molekulargewichten und den Wertigkeiten zu verstehen sind.

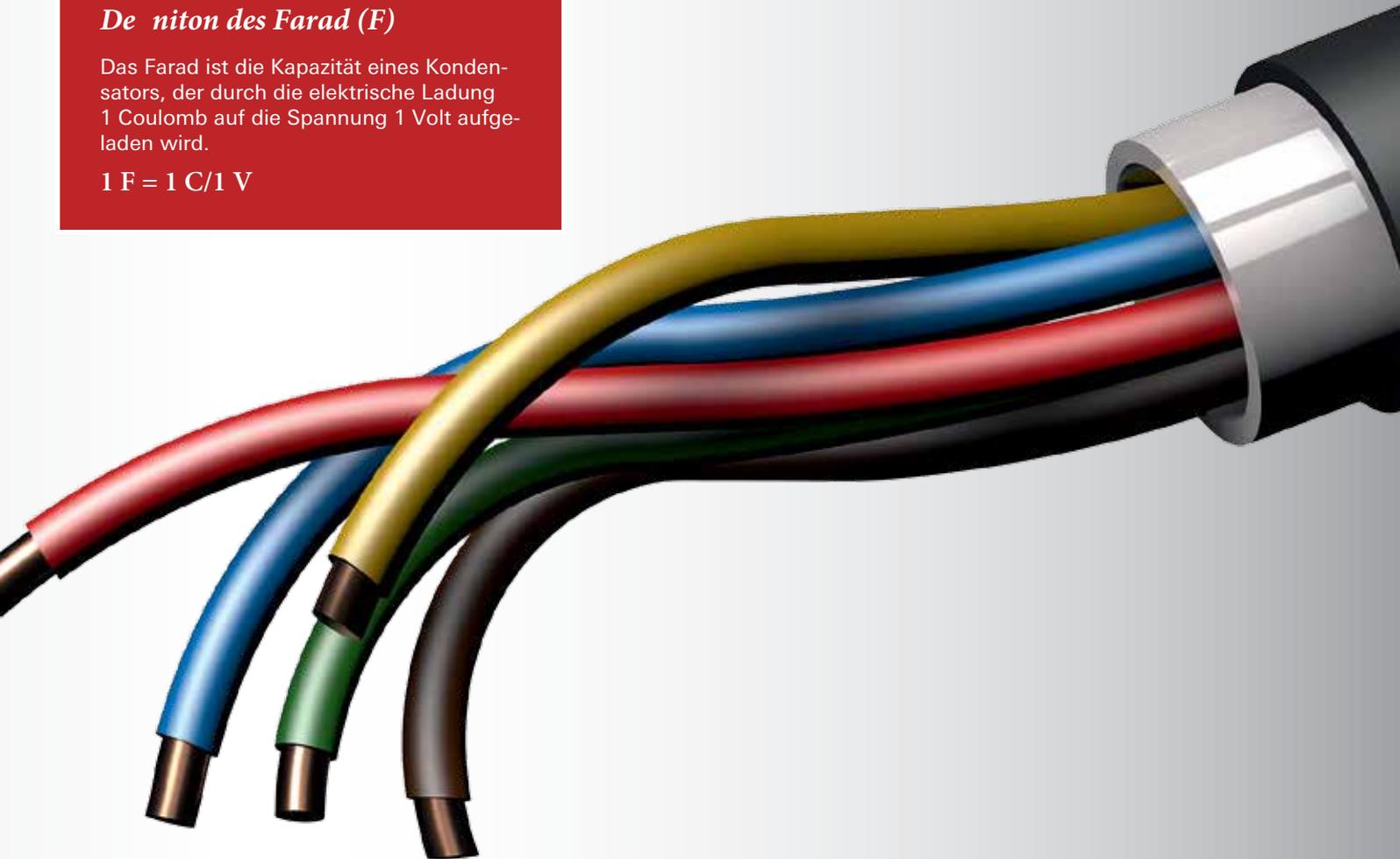
Faraday entdeckte außerdem im Jahre 1845 die Drehung der Polarisationssebene des Lichtes im magnetischen Feld, wodurch die Konstruktion von Verschlüssen für Fotoapparate mit extrem kurzen Belichtungszeiten ermöglicht wurde.



Definition des Farad (F)

Das Farad ist die Kapazität eines Kondensators, der durch die elektrische Ladung 1 Coulomb auf die Spannung 1 Volt aufgeladen wird.

$$1 \text{ F} = 1 \text{ C} / 1 \text{ V}$$



Auch geht auf ihn der Faraday'sche Käfig zurück, mit dem ein Raum gegen jegliche elektrische Einflüsse von außen abgeschirmt werden kann. Auch die Begriffe Feld, Feldlinie, Anode, Kathode, Elektrolyse, Elektrolyt u. a. prägte er für die Nachwelt.

Faraday vergaß nie, wo er einstmals angefangen hatte; er veranstaltete gern populärwissenschaftliche Vorlesungen, wobei er stets seiner Jugendzeit gedachte, der er das beliebte Büchlein „Naturgeschichte einer Kerze“ widmete.

Im Jahre 1858 nahm Faraday Abschied von der Royal Institution und siedelte sich in Hampton Court unweit von London an, in einem Haus, das ihm die Königin geschenkt hatte. Er beklagte sich jetzt, dass ihn das Gedächtnis immer mehr verließ.

Bis an sein Lebensende führte er eine glückliche, wenn auch kinderlose Ehe.

Er starb am 25. August 1867 in Hampton Court.

Louis Harold Gray

Die abgeleitete SI-Einheit der Energiedosis ionisierender Strahlung,
z. B. Röntgen- oder Kernstrahlung, Gray (Gy)

Gray, Louis Harold, wurde am 10. November 1905 in London geboren. Seine Eltern bezeichnete Gray selbst als arm. Nach dem Besuch einer Lateinschule wurde er im Alter von 13 Jahren in das Christ's Hospital, Horsham, aufgenommen. Hier zeigte sich bereits sein naturwissenschaftliches Talent. Die gute Ausbildung förderte insbesondere seine Liebe zum naturwissenschaftlichen Experiment, eine Liebe, der er zeit seines Lebens treu blieb.

Nach der Schulzeit erhielt Gray seine wissenschaftliche Ausbildung am Trinity College in Cambridge. Durch seine außerordentlichen Leistungen gelang es ihm danach, in den Jahren 1928 bis 1933 eine Stelle im Cavendish-Laboratorium in Cambridge zu bekommen, das damals von dem berühmten Gelehrten Ernest Rutherford geleitet wurde. Diese Jahre standen noch ganz im Zeichen umwälzender Entdeckungen auf dem Gebiet der Physik, und das Cavendish-Laboratorium hatte bedeutenden Anteil daran.

Gray hatte das große Glück, hier mit vielen bedeutenden Wissenschaftlern, darunter auch vielen Nobelpreisträgern – unter ihnen J. J. Thomson, Wilson, Blackett, Cockcroft, Chadwick und Aston – gemeinsam arbeiten zu können. Hier wurde der Wissenschaftler Gray endgültig geformt, und in den späteren Jahren war er stets bestrebt, diese „Cavendish“-Atmosphäre auch in seinen eigenen Laboratorien einzuführen. Gray selbst beschäftigte sich in dieser Zeit sehr intensiv mit dem

Studium der Wechselwirkung von Strahlung mit stofflicher Materie. Seine Arbeiten auf dem Gebiet der

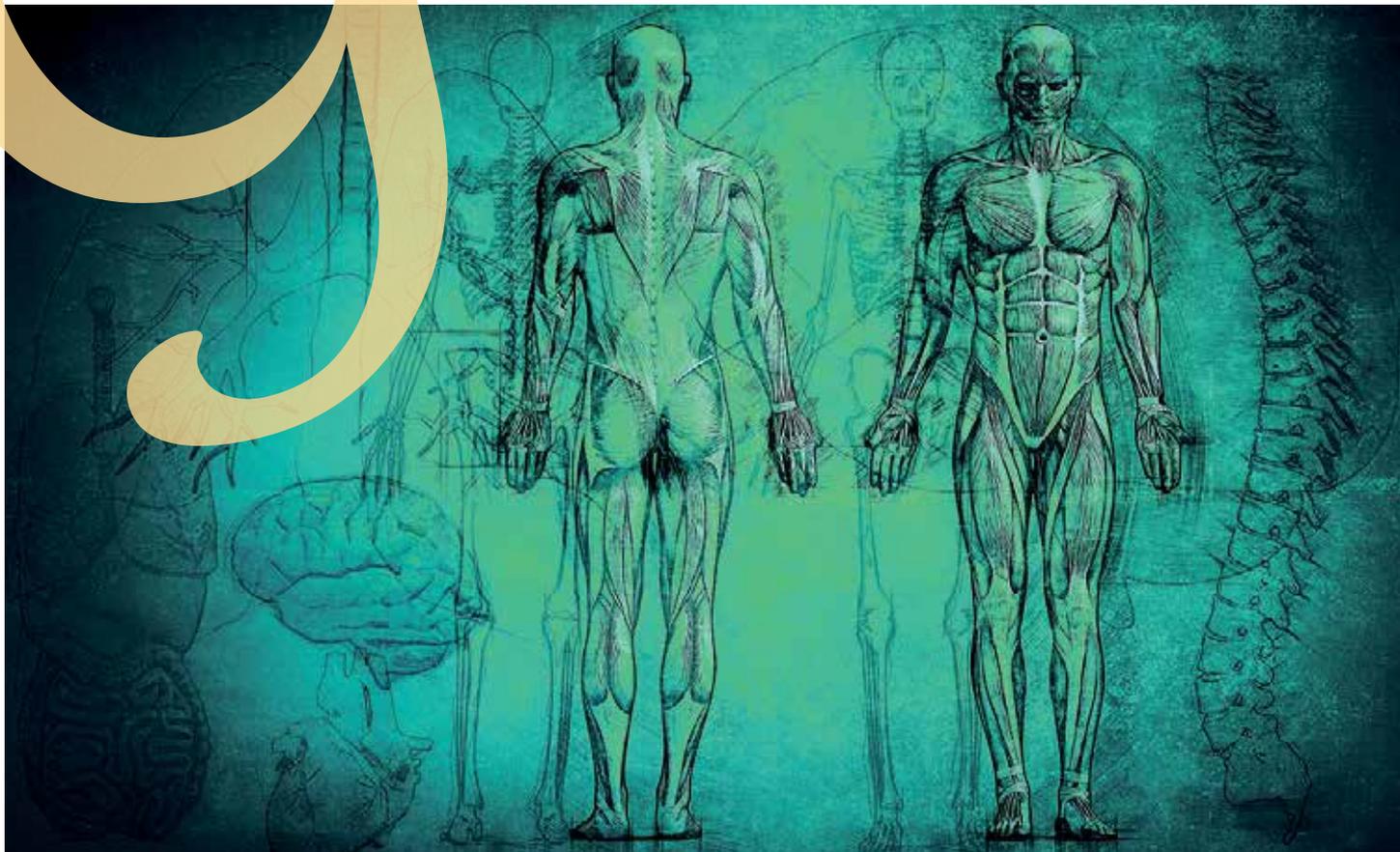
Absorption harter Gammaquanten, die 1930 im Alter von 24 Jahren zu seiner Promotion führten, erbrachten grundlegende Erkenntnisse zum Paarbildungseffekt. 1929 formulierte er das Hohlraumkammer-Prinzip, das bereits 1912 von Bragg ausgesprochen war. In diesem wird die in einem mit Luft gefüllten Hohlraum durch Ionisation relativ leicht messbare Energiedosis in Beziehung gesetzt zu der Energiedosis in anderen Medien, z. B. menschlichem Gewebe. Braggs Arbeiten waren Gray damals nicht bekannt. Diese Theorie, die eine fundamentale Grundlage für weite Gebiete der Dosimetrie ionisierender Strahlung darstellt, wird heute als

Bragg-Gray'sches Prinzip bezeichnet.

Trotz seiner großen Erfolge auf dem Gebiet der reinen Physik wandte sich Gray Mitte der 30er Jahre immer mehr der Radiobiologie zu. Diese Disziplin steckte damals noch in den Kinderschuhen, und Gray erkannte, dass hier noch eine umfangreiche Pionierarbeit zum Wohle der Menschheit zu leisten war. Diesem Arbeitsfeld blieb er dann bis zu seinem Lebensende treu.



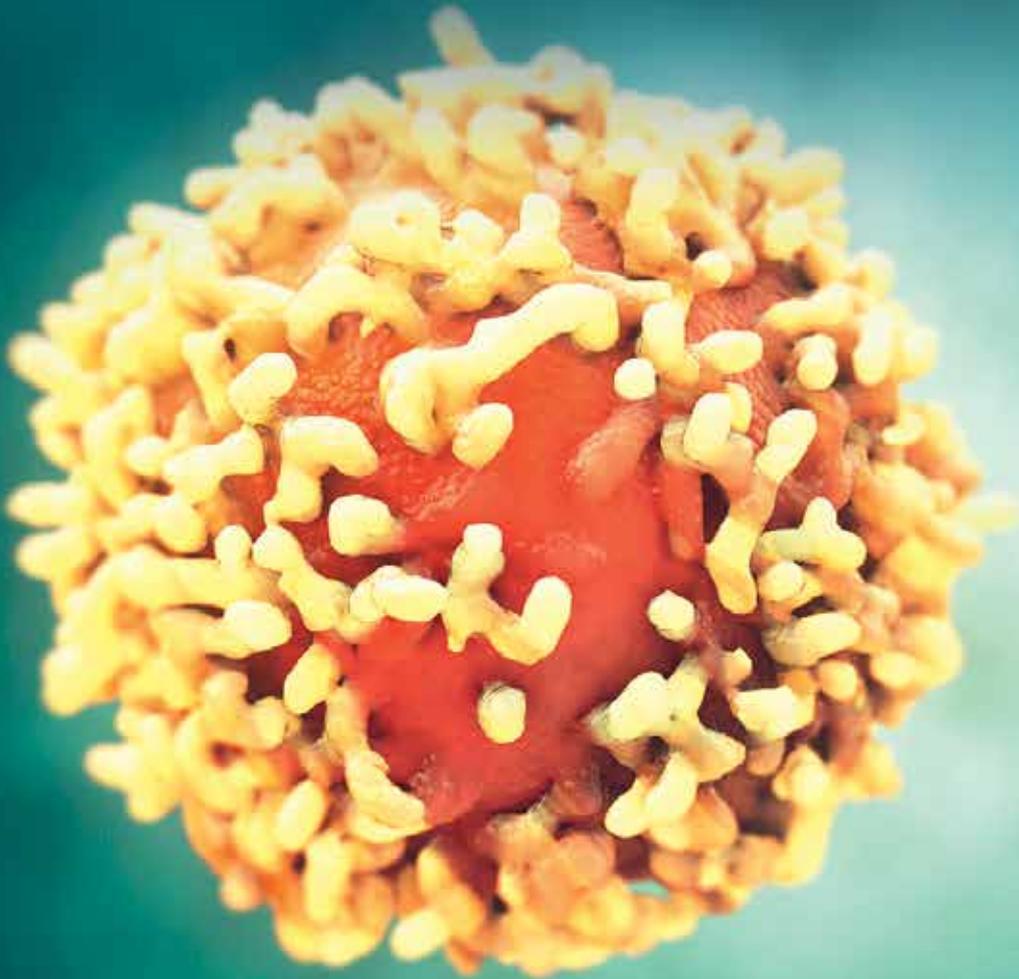
Louis Harold Gray
(1905–1965)



Seine Aufgabe war zunächst die exakte Messung der ionisierenden Strahlung bei biologischen Prozessen. Er gewann jedoch immer mehr Interesse an den biologischen Problemen. Im Laufe der Jahre erarbeitete er sich alle wesentlichen Grundlagen auf chemischem, biologischem und medizinischem Gebiet, die zum Verständnis der radiobiologischen Vorgänge erforderlich sind.

Zur Untersuchung der Wirkung ionisierender Strahlung auf Gewebe baute er in den späten 30er Jahren gemeinsam mit seinen Mitarbeitern einen Neutronengenerator für biologische Untersuchungen auf. Diese waren mit grundlegenden Arbeiten auf neutronendosimetrischem Gebiet verbunden, wobei er seine Erfahrungen aus dem Cavendish-Laboratorium unmittelbar anwenden konnte.

Nach dem 2. Weltkrieg war Gray in leitender Position an mehreren großen Kliniken tätig, zuerst am Hammersmith Hospital und von 1953 bis zu seinem Lebensende am Mount Vernon Hospital. Insbesondere war er bestrebt, die jetzt erhältlichen künstlichen radioaktiven Isotope für die Radiobiologie und die Tumorforschung nutzbar zu machen. In erster Linie war sein Bemühen darauf gerichtet, Mittel und Wege zu finden, um die Wirkung ionisierender Strahlung auf Tumorzellen zu erhöhen, ohne dabei die gesunden Zellen stärker in Mitleidenschaft zu ziehen. Gemeinsam mit einem ausgesuchten Stab von Mitarbeitern untersuchte er in diesem Zusammenhang systematisch viele mögliche Einflussfaktoren. Besonders bekannt geworden sind hier seine grundlegenden Arbeiten über den „Sauerstoffeffekt“, wo er als Erster zu quantitativen Aussagen über den Einfluss des Sauerstoffs auf die Strahlenempfindlichkeit von Zellen gelangte.



De nition des Gray (Gy)

1 Gray ist die Energiedosis, bei der durch ionisierende Strahlung einer homogenen Materie der Masse 1 kg die Energie 1 J zugeführt wird.

$$1\text{Gy} = 1 \frac{\text{J}}{\text{kg}} = \frac{1\text{Ws}}{\text{kg}} = 1 \frac{\text{m}^2}{\text{s}^2}$$

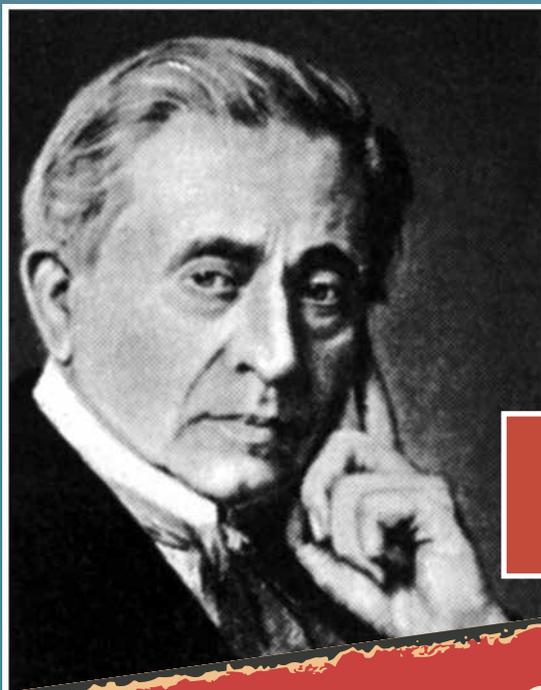
Nicht weniger bedeutungsvoll sind Grays umfangreiche Arbeiten, die er in zahlreichen in- und ausländischen wissenschaftlichen Gesellschaften und Komitees leistete. Hier sollen nur seine vielfältigen Aktivitäten in der Internationalen Kommission für Radiologische Einheiten und Messungen (ICRU) genannt werden, in der er lange Jahre stellvertretender Vorsitzender war. In dieser Funktion hat er wesentlich zu klaren Definitionen und Begriffsbestimmungen bei der Messung ionisierender Strahlung beigetragen.

Als Gray am 9. Juli 1965 in Northwood starb, war sein Tod ein empfindlicher Verlust für alle Fachkollegen, die ihn nicht nur als hervorragenden Wissenschaftler, sondern auch als bescheidenen und gütigen Menschen kennengelernt hatten. Die ICRU stiftete ihm zu Ehren im Jahre 1967 eine Medaille. Die Verleihung dieser Medaille kann alle vier Jahre an einen Autor eines besonderen hervorragenden Beitrages in einem der wissenschaftlichen Betätigungsbereiche erfolgen, die von besonderem Interesse für die ICRU sind.



Joseph Henry

Die abgeleitete SI-Einheit der Induktivität eines elektrischen Leiters, Henry (H)

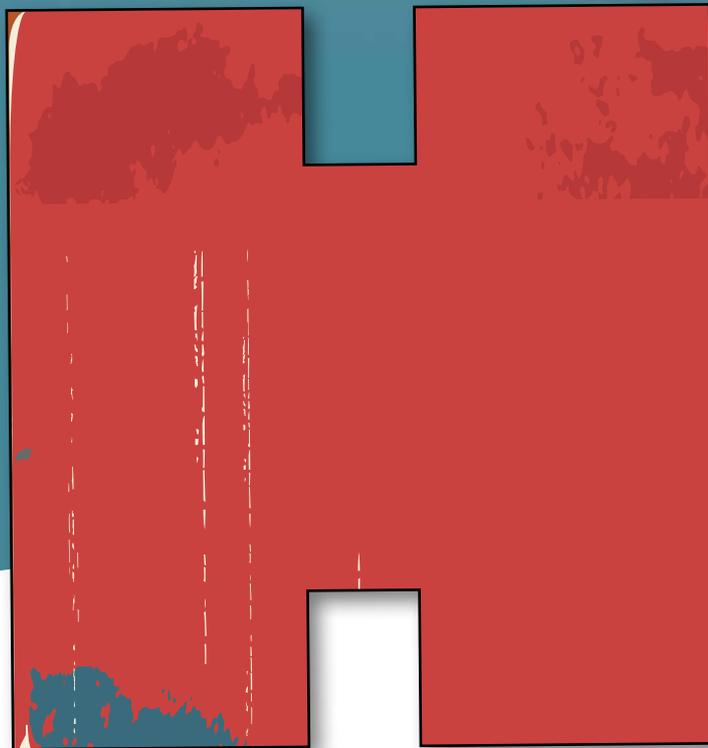


Joseph Henry
(1779–1878)

THERE'S ONLY ONE

ALBANY

New York

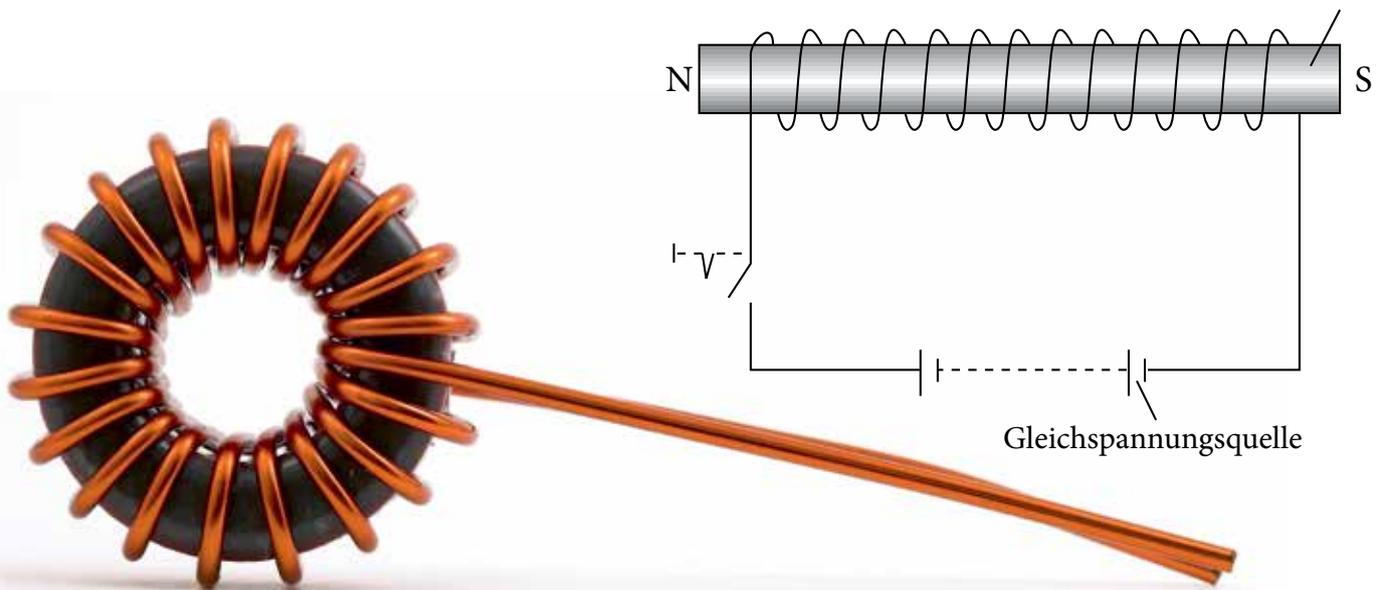


Henry, Joseph, wurde am 17. Dezember 1779 in Albany im Staate New York (USA) geboren. Zunächst war er beruflich als Uhrmacher tätig. Im Jahr 1826 wurde er Mathematik-Professor an der Akademie in Albany und 1832 Professor der Physik an der Universität in Princeton. Im Jahre 1846 wurde Henry Sekretär

der Smithsonian Institution in Washington, einer führenden nordamerikanischen Akademie, die u. a. als Zentralstelle für den weltweiten Austausch von wissenschaftlichen Gegenständen zwischen Forschungsanstalten zuständig war. Zugleich war Henry ab 1868 Präsident der Nationalen Akademie der Wissenschaften.

Grundprinzip eines Elektromagneten

Eisenstab

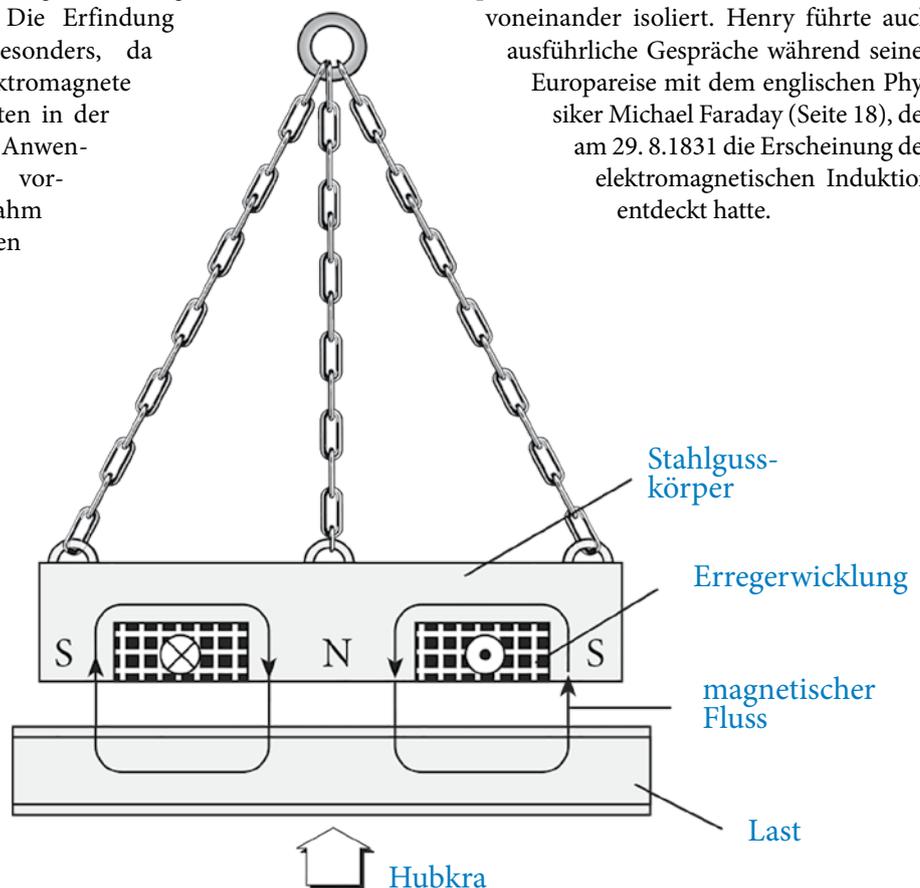


Als Physiker beschäftigte sich Henry insbesondere mit den Erscheinungen des Elektromagnetismus. Fasziniert war er von der Entdeckung des dänischen Physikers Hans Christian Ørsted (1777–1851), dem im Jahre 1820 der experimentelle Nachweis des Zusammenhanges zwischen Elektrizität und Magnetismus gelungen war. Aus England erfuhr Henry, dass dort der Physiker William Sturgeon (1783–1850) einen kleinen Elektromagneten erfolgreich gebaut hatte. Die Erfindung interessierte ihn besonders, da er für große Elektromagnete zum Heben von Lasten in der Industrie vielfältige Anwendungsmöglichkeiten voraussah. Er unternahm deshalb in den Jahren 1836 und 1837 eine Europareise mit dem Ziel, Fachleuten der

Elektrotechnik zu begegnen und Erfahrungen auszutauschen.

So begegnete er in England William Sturgeon, dessen Erkenntnisse beim Bau von Elektromagneten ihm halfen, nach der Rückkehr Elektromagnete für industrielle Zwecke herzustellen. Seinen größten Magneten baute Henry im Jahre 1851. Er hatte eine Masse von 50 kg und konnte Lasten bis zu ca. 2 t heben. Erstmals wurden dabei die Spulendrähte durch eine Seidenumhüllung voneinander isoliert. Henry führte auch ausführliche Gespräche während seiner Europareise mit dem englischen Physiker Michael Faraday (Seite 18), der am 29. 8.1831 die Erscheinung der elektromagnetischen Induktion entdeckt hatte.

Technische Ausführung eines Lasthebemagneten

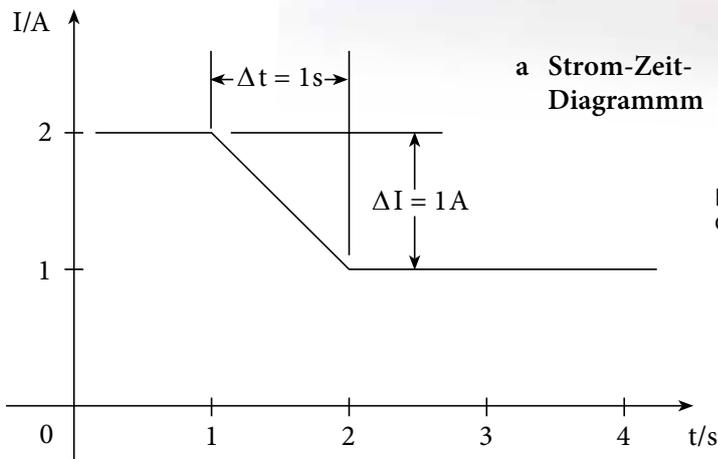
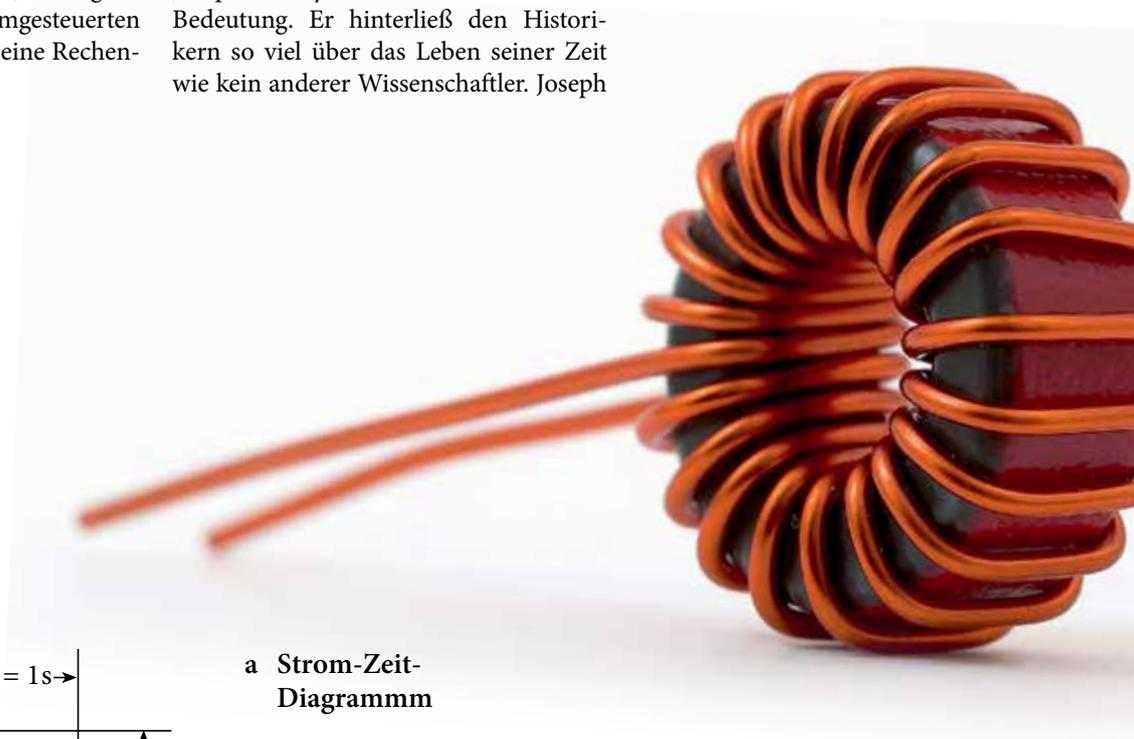


Weiter traf er mit Charles Wheatstone (1802–1875) zusammen, nach dem eine Widerstandsmessbrücke benannt wurde, und Samuel Christie, dem eigentlichen Erfinder der Wheatstone-Messbrücke. Eine Begegnung erfolgte außerdem mit dem englischen Mathematik-Professor Charles Babbage (1792–1871), dem geistigen Urheber der programmgesteuerten Rechenmaschine, der ihm seine Rechenmaschine vorstellte.

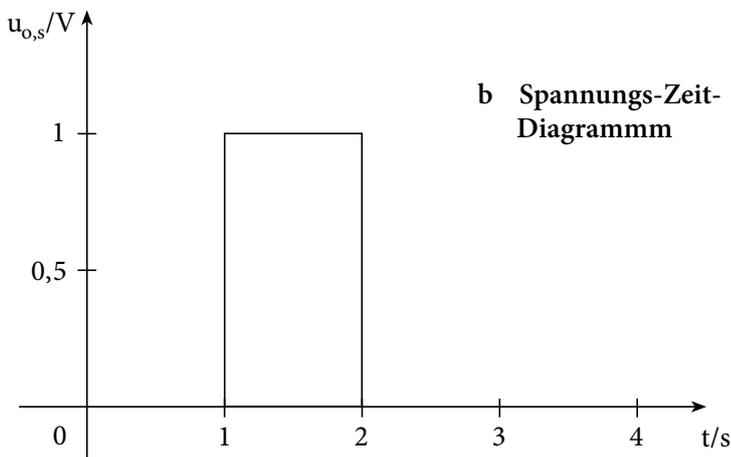
Große Verdienste erwarb sich Joseph Henry auch auf dem Gebiet des Wetterdienstes. Er begründete die amerikanische Wetterberichterstattung und war Schöpfer der Wetterkarte, die später überall gebräuchlich wurde.

Noch aus einem anderen Grund ist Joseph Henry für seine Nachwelt von Bedeutung. Er hinterließ den Historikern so viel über das Leben seiner Zeit wie kein anderer Wissenschaftler. Joseph

Henry starb am 13. Mai 1878 in Washington. Seine Verdienste als amerikanischer Pionier der Elektrotechnik und Urheber des Systems des Wetterberichtes begründen, dass die Einheit der Induktivität weltweit seinen Namen trägt.



Festlegung der SI-Einheit der Induktivität



Definiton des Henry (H)

1 Henry (H) ist die Induktivität einer elektrisch leitenden Spule, in der durch die zeitliche Änderung des durch sie fließenden Stromes um 1 Ampere (A) pro Sekunde (s) die Spannung 1 Volt (V) induziert wird.

$$1\text{H} = \frac{1\text{V}}{1\frac{\text{A}}{\text{s}}} = 1\frac{\text{Vs}}{\text{A}} = 1\Omega\text{s}$$

Anmerkung:

Da 1 Vs die Einheit des magnetischen Flusses, 1 Weber (Wb), ist, gilt auch

$$1\text{H} = \frac{1\text{Wb}}{\text{A}}$$



Heinrich Rudolf **Hertz**

Die abgeleitete SI-Einheit der Frequenz –
das heißt der Anzahl periodischer Vorgänge
pro Zeit, Hertz (Hz)

Heinrich Rudolf Hertz
(1857–1894)

A photograph of a lighthouse on a beach. The lighthouse is black and white striped and stands on a small island or peninsula. The beach is sandy and the water is calm, reflecting the lighthouse. The unit symbol 'Hz' is overlaid in large white letters on the right side of the image.

Hz

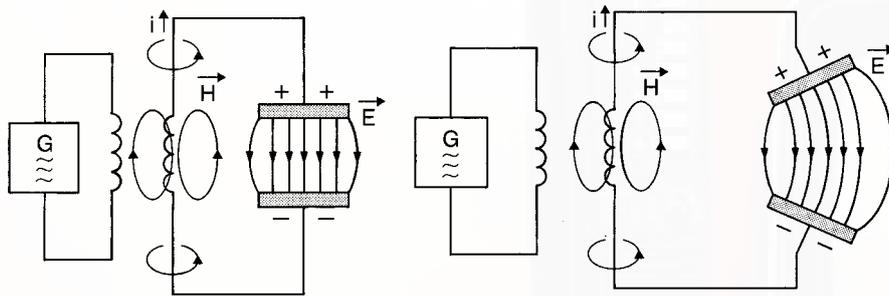
Heinrich Rudolf Hertz wurde am 22. Februar 1857 in Hamburg als Sohn eines Rechtsanwaltes und Senators geboren. Zunächst wurde er in einer Privatschule unterrichtet und legte anschließend nach einem Jahr in der Oberprima des „Johanneum“ in seiner Heimatstadt die Reifeprüfung ab.

Begabung und Interessen waren bei ihm vielseitig und reichten von alten und neuen Sprachen über Mathematik und Naturwissenschaften bis zum praktischen Bau von Experimentiergeräten. Obwohl ihn seine Lehrer drängten, Mathematik oder (!) Orientalistik zu studieren, leistete er nach der Reifeprüfung in einem Frankfurter Baubüro ein Vorbereitungspraktikum für das Ingenieursstudium ab. Nebenbei las er Bücher über Physiologie und Architektur, hörte Vorlesungen über Mathematik, Physik, Chemie und Anthropologie und arbeitete an der Verbesserung des Telegrafens und der Herstellung großer Linsen. Nach seinem Praktikum trat er in Dresden ein polytechnisches Studium an, welches er in München fortsetzte. Der

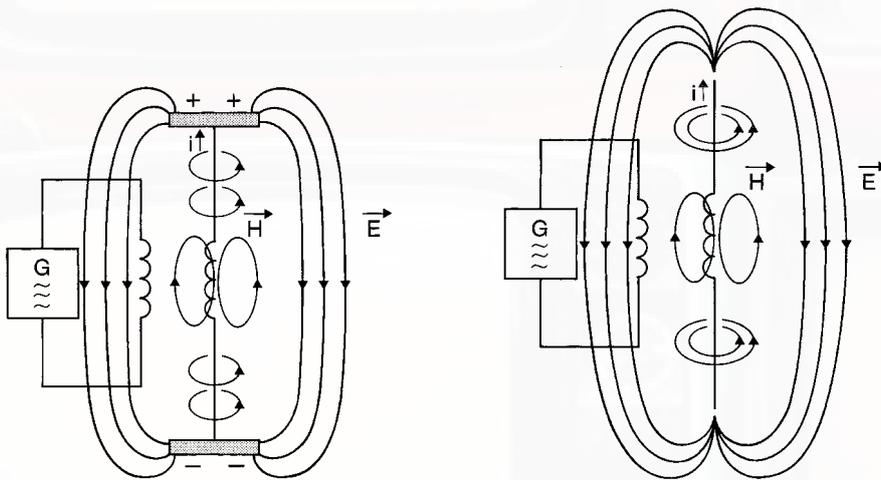
Umgang mit Tabellen und Formeln befriedigte ihn jedoch nicht, sodass er zur Universität in München wechselte und Physik studierte. Im Herbst 1878 ging Hertz nach Berlin, wo er zwei Jahre später als 23-Jähriger mit der Preisarbeit der Berliner Akademie „Über die Induktion in rotierenden Kugeln“ promovierte. Während dieser Zeit machte er seine entscheidende Begegnung mit Hermann von Helmholtz (1821–1894), bei dem er im Herbst 1880 eine Assistentenstelle antrat.

Neben dem Aufbau von Versuchen für Vorlesungen und der Durchführung von Praktika beschäftigte er sich unentwegt experimentell und theoretisch mit elektrischen Schwingungen, Kathodenstrahlen, Gasentladungen, dem Auftrieb in Flüssigkeiten, der Erscheinung von Ebbe und Flut, der Verdunstung von Flüssigkeiten und dem Messen der Luftfeuchtigkeit. Im Jahre 1883 habilitierte Hertz in Kiel. Jedoch erhielt er eine versprochene Professorenstelle nicht. Erst zwei Jahre später, im März 1885, bekam er einen Physik-Lehrstuhl in Karlsruhe.





a: geschlossener Schwingkreis



b: offener Schwingkreis (elektrischer Dipol)

Magnetisches Wechselfeld und elektrisches Wechselfeld bei einem Schwingkreis

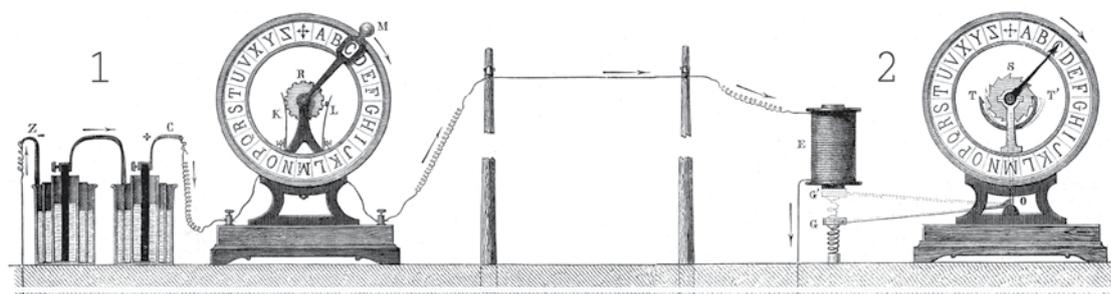
\vec{H} = magnetischer Feldstärkevektor

\vec{E} = elektrischer Feldstärkevektor

Das Schema zeigt, wie aus einem aus einer Induktions-spule L und einem Kondensator G bestehender geschlossener Schwingkreis (links oben) durch „Aufklappen“ des Kondensators ein offener Schwingkreis (Dipolantenne) wird (rechts unten).

1887 entdeckte Hertz beim Experimentieren den lichtelektrischen Effekt, die Elektronenablösung von festen Körpern beim Bestrahlen mit kurzwelligem Licht. Weiter erkannte er die Fähigkeit von Kathodenstrahlen, Materie zu durchdringen. Im gleichen Jahr gelang ihm auch mithilfe eines Dipols die Erzeugung von elektromagnetischen Wellen und der Nachweis der Wesensgleichheit mit Lichtwellen, was der englische Physiker James Clark Maxwell (1831–1879) vorausgesagt hatte. Er gab den beiden Maxwell'schen Gleichungen, den Grundgleichungen der Elektrodynamik, die heutige Form in der Vektorschreibweise. Die erste Maxwell'sche Gleichung besagt, dass ein sich änderndes elektri-

ches Feld stets ein magnetisches Wechselfeld zur Folge hat. Die zweite Maxwell'sche Gleichung ist die Umkehrung der ersten und beinhaltet, dass ein sich zeitlich änderndes Magnetfeld wiederum ein elektrisches Wechselfeld verursacht, woraus sich das Induktionsgesetz ergibt. Mit diesem Nachweis war die erste wesentliche Grundlage für die drahtlose Telegrafie, Rundfunktechnik und Fernsehgeschichte geschaffen. Hertz erkannte aber auch die Brechung, Transversalität, Polarisierung und Reflexion der elektromagnetischen Wellen, womit das Grundprinzip des Radars erfunden war.



Im Jahre 1889 wechselte Hertz nach Bonn, wo er nur noch wenige Jahre als Physik-Professor lehrte. Großes Aufsehen erfuhr am 20. September 1889 sein Vortrag „Über die Beziehung von Licht und Elektrizität“ auf der 62. Heidelberger Naturforscher- und Ärzteversammlung, der vielleicht als der großartigste populäre Vortrag in der Geschichte der Physik anzusehen ist.

Mittlerweile hatte sich bei Hertz eine Krankheit stetig verschlimmert, sodass für ihn das Experimentieren unmöglich wurde. In dieser Zeit verfasste er eine Arbeit über die Mechanik und zwei berühmte theoretische Werke über die Elektrodynamik ruhender und bewegter Körper, womit er den Weg zur Relativitätstheorie von Albert Einstein (1879–1955) ebnete.

Heinrich Rudolf Hertz starb nach schwerstem Leiden am 1. Januar 1894 im 37. Lebensjahr in Bonn. Er war der deutsche Physiker, der die physikalischen Grundlagen für die drahtlose Nachrichtentechnik legte, ohne jedoch an die Nutzung zu denken. Dies taten erst später der italienische Physiker Guglielmo Marconi (1874–1937) und der russische Physiker Alexander Stepanowitsch Popow (1859–1905). Aber auch ohne die Würdigung seiner Leistungen durch den Einheitenamen Hertz wäre Heinrich Rudolf Hertz nicht aus der Geschichte der elektrischen Nachrichtentechnik wie aus der theoretischen und experimentellen Physik wegzudenken.

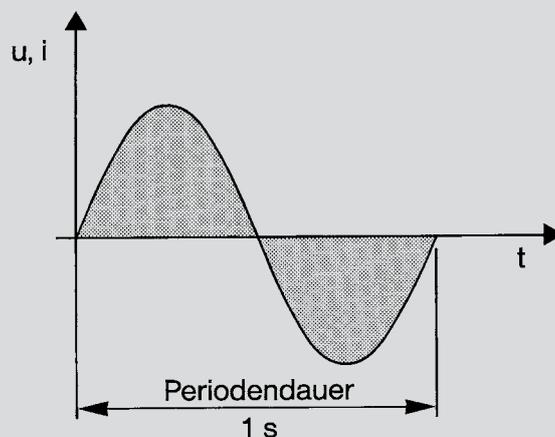
Definition des Hertz (Hz)

1 Hertz ist die Frequenz periodischer Vorgänge, die sich jeweils nach der Periodendauer 1 s in gleicher Weise wiederholen (s. Bild unten). 1 Hz bedeutet also auch: 1 Periode pro Sekunde.

$$1 \text{ Hz} = \frac{1}{\text{s}} = \text{s}^{-1}$$

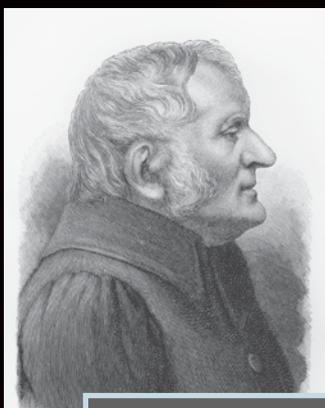
Anmerkung:

Periodische Vorgänge sind solche Vorgänge, die sich in gleichen, aufeinander folgenden Zeitabschnitten in gleicher Weise wiederholen. Die bekanntesten Beispiele sind alle Arten von Schwingungen. Die Einheit Hertz wurde zu Ehren des deutschen Physikers Heinrich Rudolf Hertz benannt.



Festlegung der SI-Einheit der Frequenz

James Prescott Joule wurde am 24. Dezember 1818 in Salford bei Manchester als Sohn eines Bierbrauereibesitzers geboren. Da er körperlich schwach war, erhielt er seine Erziehung bis zum fünfzehnten Lebensjahr zu Hause. Auch später studierte er Chemie, Physik und Mathematik privat bei dem berühmten englischen Physiker und Chemiker John Dalton.



John Dalton
(1766–1844)

James Prescott **Joule**

Die abgeleitete SI-Einheit der Arbeit und der Energie, Joule (J)



James Prescott Joule
(1818–1889)



Als Zwanzigjähriger machte Joule durch die Erfindung eines Elektromotors auf sich aufmerksam, indem er die Drehbewegung eines vom Strom durchflossenen Leiters in einem Magnetfeld nutzte. Der Vater richtete ihm ein eigenes Laboratorium ein, und er begann sich mit der Untersuchung elektromagnetischer Effekte zu befassen. Seine Arbeiten veröffentlichte er in wissenschaftlichen Zeitschriften.

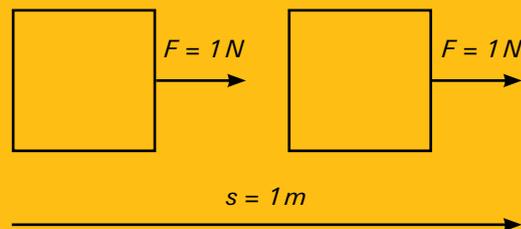
Im Jahre 1840 entdeckte er, dass sich Körper nur bis zu einer bestimmten „Sättigungs-Magnetisierung“ magnetisieren lassen, die nicht überschritten werden kann. Längere Zeit untersuchte er experimentell die Wärmemenge, die durch die Wirkung des elektrischen Stromes entwickelt wird und stellte ein Gesetz auf, das später nach ihm benannt wurde. Dieses Gesetz besagt, dass eine in einem stromdurchflossenen Leiter entwickelte Wärmemenge dem Quadrat der Stromstärke, dem elektrischen Widerstand des Leiters und der Zeit direkt proportional ist. Seine Entdeckungen veröffentlichte Joule 1840 in den „Protokollen“ der Londoner Royal Society.

Ein weiteres Gebiet Joule'scher experimenteller Untersuchungen war die Ermittlung des mechanischen Wärmeäquivalents, d. h. der Arbeit, bei der die in Wärme umgewandelte mechanische Energie eine Wärmeeinheit ergibt. Joule kam bereits bei seinen Versuchen mit der Elektrizität zu der Schlussfolgerung, dass die mechanische Energie in Wärme umgewandelt wird. Die Ergebnisse seiner Messungen publizierte er in der Arbeit „Über den Wärmeeffekt der magnetischen Elektrizität und den mechanischen Wert der Wärme“ im Jahre 1843 und in weiteren Arbeiten zwischen 1847 und 1850.

Definition des Joule (J)

1 Joule ist die Arbeit, die verrichtet wird, wenn die Kraft 1 Newton an einem Körper angreift und sich der Angriffspunkt in Richtung der Kraft um 1 Meter verschiebt (s. Bild unten).

$$1 \text{ J} = 1 \text{ N} \cdot 1 \text{ m} = 1 \text{ Nm} \\ = 1 \text{ Kg m s}^{-2} = 1 \text{ Ws}$$



Anmerkung:

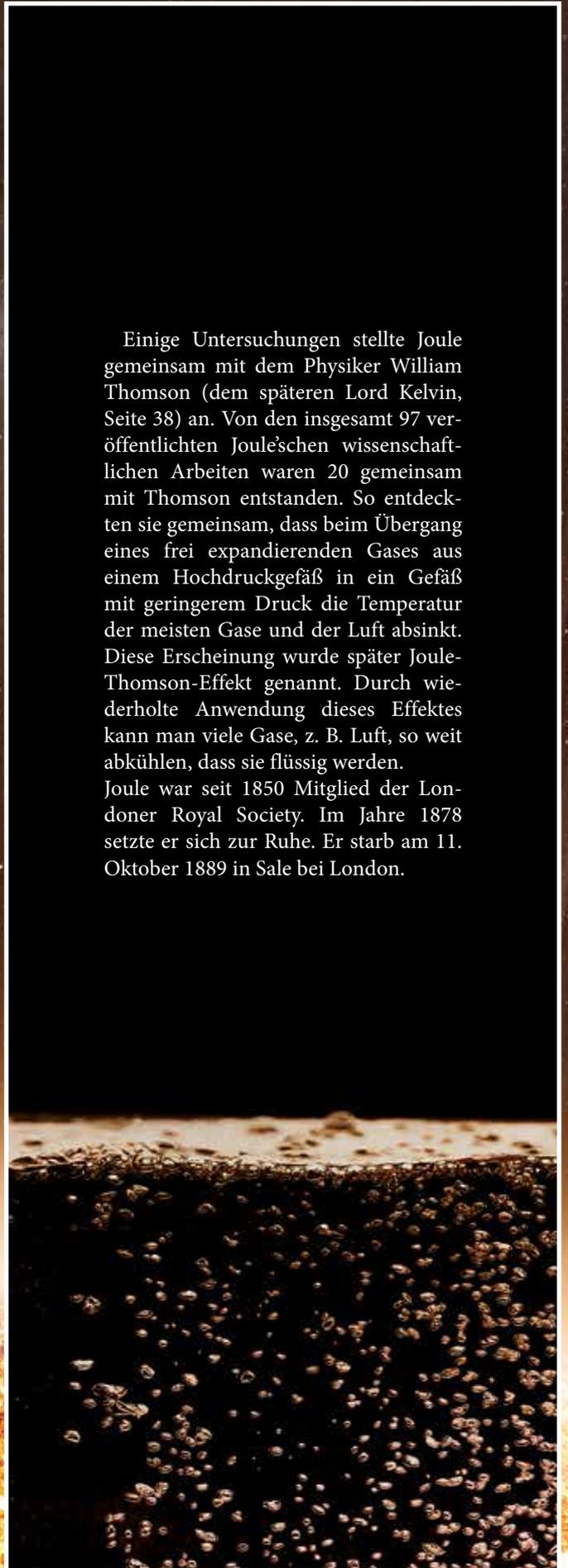
Joule (J) ist die abgeleitete SI-Einheit der Arbeit und der Energie und damit eine der wichtigsten Einheiten der Physik und der Technik. Salopp ausgedrückt ist Joule die Einheit, für die man – je nach Energieform: mehr oder weniger – bezahlen muss.



Neben der wissenschaftlichen Arbeit leitete Joule zusammen mit seinem Bruder die Bierbrauerei des verstorbenen Vaters. Nach dem Tode seiner Gattin 1854 verkaufte er die Brauerei und widmete sich ausschließlich der wissenschaftlichen Arbeit.

Es interessierten ihn vor allem die Eigenschaften der Gase; Joule erforschte sie als Erster eingehend sowohl experimentell als auch theoretisch vom Standpunkt molekularkinetischer Vorstellungen aus. So berechnete er die Geschwindigkeit der Wärmebewegung der Gasmoleküle und untersuchte die Abhängigkeit ihrer Geschwindigkeit von der Temperatur. Weiterhin begründete er theoretisch das Boyle-Mariottesche und das Gay-Lussacsche Gesetz, ermittelte die spezifische Wärmekapazität einiger Gase und erklärte den Gasdruck durch Stöße der Gasmoleküle auf die Wandung eines Gefäßes.

Einige Untersuchungen stellte Joule gemeinsam mit dem Physiker William Thomson (dem späteren Lord Kelvin, Seite 38) an. Von den insgesamt 97 veröffentlichten Joule'schen wissenschaftlichen Arbeiten waren 20 gemeinsam mit Thomson entstanden. So entdeckten sie gemeinsam, dass beim Übergang eines frei expandierenden Gases aus einem Hochdruckgefäß in ein Gefäß mit geringerem Druck die Temperatur der meisten Gase und der Luft absinkt. Diese Erscheinung wurde später Joule-Thomson-Effekt genannt. Durch wiederholte Anwendung dieses Effektes kann man viele Gase, z. B. Luft, so weit abkühlen, dass sie flüssig werden. Joule war seit 1850 Mitglied der Londoner Royal Society. Im Jahre 1878 setzte er sich zur Ruhe. Er starb am 11. Oktober 1889 in Sale bei London.



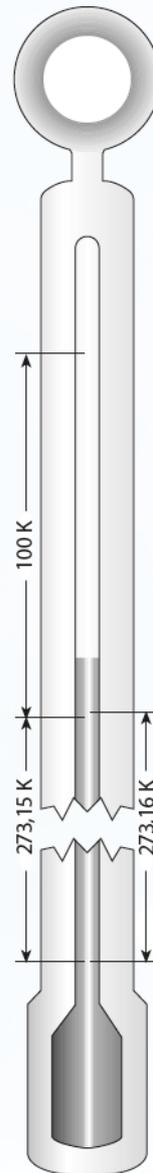


Siedepunkt von
Wasser bei
Normaldruck:
 $373,15 \text{ K} \hat{=} 100 \text{ }^\circ\text{C}$

Gefrierpunkt von
Wasser bei
Normaldruck:
 $273,15 \text{ K} \hat{=} 0 \text{ }^\circ\text{C}$

Tripelpunkt des
Wassers:
 $273,16 \text{ K}$
 $= 0,01 \text{ }^\circ\text{C}$

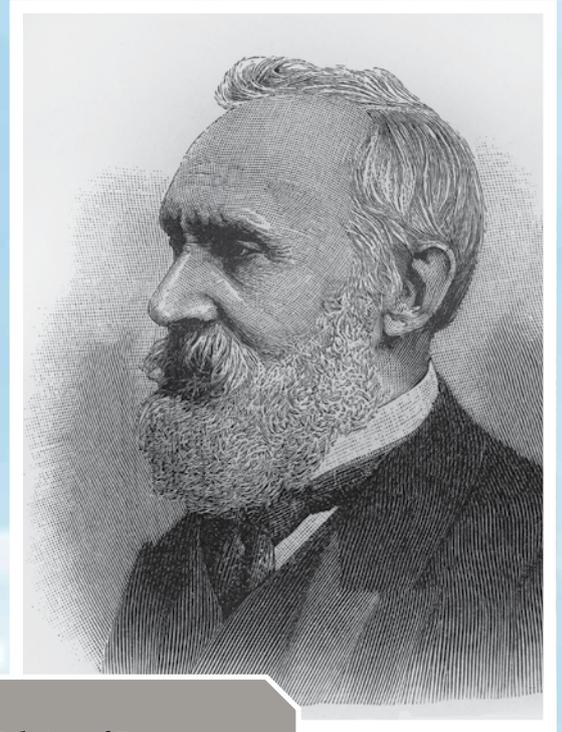
absoluter
Nullpunkt:
 $0 \text{ K} \hat{=} -273,15 \text{ }^\circ\text{C}$



Festlegung der SI-Einheit
der thermodynamischen
Temperatur

Lord Kelvin of Largs (William Thomson)

Die SI-Basiseinheit der
(thermodynamischen) Temperatur, Kelvin (K)

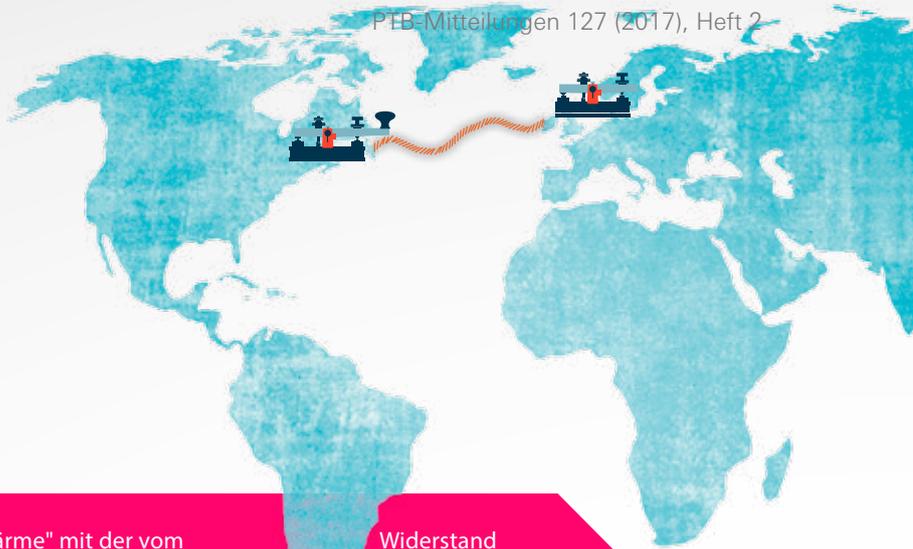
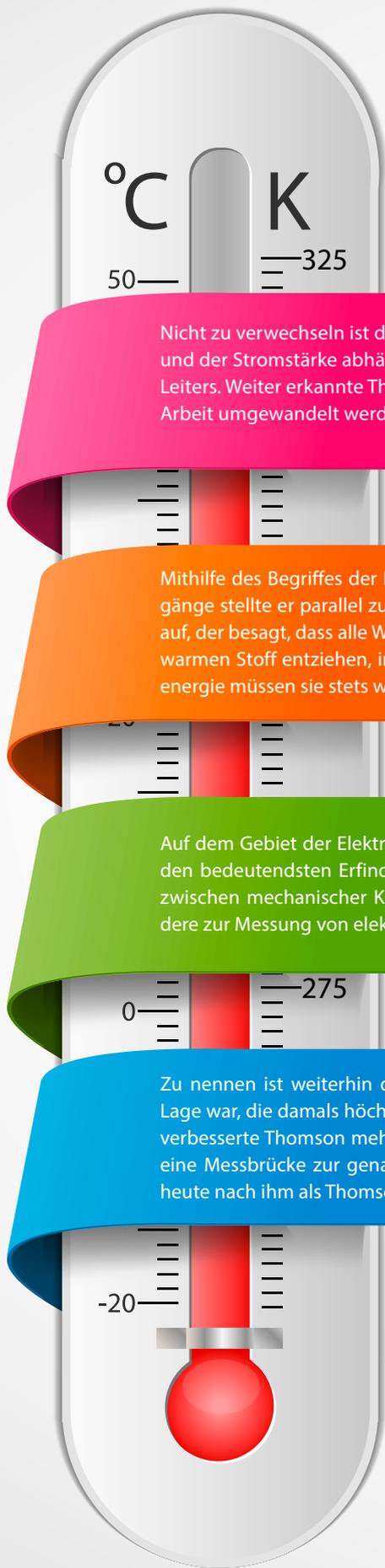


Lord Kelvin of Largs
(1824–1907)

Kelvin, Lord of Largs, wurde am 26. Juni 1824 als William Thomson

in Belfast (Nordirland) geboren. Seine besondere Begabung und Auffassungsgabe zeigten sich sehr früh, sodass er bereits mit zehn Jahren an der Universität in Glasgow immatrikuliert wurde. Mit 16 Jahren ging er als Student nach Cambridge, wo er in allen Fächern hervorragende Leistungen zeigte. Thomson lehrte und forschte ab 1846 als Physik-Professor in Glasgow an der Universität. Man sagt, dass bei ihm eine für eine Stunde geplante Vorlesung oft drei Stunden dauerte.

Thomsons Interessen galten von jeher hauptsächlich der Thermodynamik und der Elektrizität. Untersuchungen der Wärme führten ihn zu der Erkenntnis einer tiefstmöglichen Temperatur, dem absoluten Nullpunkt der Temperatur. Diesen Temperaturpunkt von $-273,15\text{ °C}$ machte er zum Ausgangspunkt einer neuen Temperatur- und Thermometerskala. Zusammen mit dem englischen Physiker James Prescott Joule (1818–1889) entdeckte er den nach beiden benannten „Joule-Thomson-Effekt“. Dieser besagt, dass sich ein reales Gas von genügend tiefer Temperatur abkühlt, wenn es sich ohne äußere Arbeitsverrichtung ausdehnt. Die Abkühlung erfolgt deswegen, weil bei der Ausdehnung eine innere Arbeit gegen die Kräfte der Moleküle des realen Gases verrichtet werden muss. Im Jahre 1856 erkannte Thomson den nach ihm benannten thermoelektrischen „Thomson-Effekt“, der beinhaltet, dass in einem homogenen elektrischen Leiter bei Vorhandensein eines Temperaturgefälles je nach dessen Richtung Wärme erzeugt bzw. entzogen wird, wenn ein elektrischer Strom fließt.



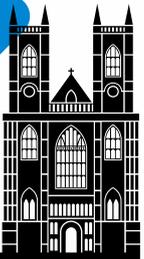
Nicht zu verwechseln ist die „Thomson-Wärme“ mit der vom und der Stromstärke abhängigen Jouleschen Stromwärme eines Leiters. Weiter erkannte Thomson die Wärme als Energieform, die in Arbeit umgewandelt werden kann.

Widerstand elektrischer mechanischer

Mithilfe des Begriffes der Entropie als ein Maß für die Irreversibilität thermodynamischer Vorgänge stellte er parallel zu Rudolf Clausius (1822–1888) den 2. Hauptsatz der Thermodynamik auf, der besagt, dass alle Wärmekraftmaschinen nur einen Teil der Wärmeenergie, die sie einem warmen Stoff entziehen, in mechanische Arbeit umwandeln können. Den Rest dieser Wärmeenergie müssen sie stets wieder an einen kälteren Stoff abgeben.

Auf dem Gebiet der Elektrotechnik gehört die nach ihm benannte Kelvinsche Stromwaage zu den bedeutendsten Erfindungen. Diese ermöglichte die Bestimmung des Zusammenhanges zwischen mechanischer Kraft und Stromstärke. Anwendung fand die Stromwaage insbesondere zur Messung von elektrischen Strömen und zur Eichung von Strommessern.

Zu nennen ist weiterhin die Entwicklung eines elektrostatischen Voltmeters, welches in der Lage war, die damals höchsten Spannungen von ca. 10 kV relativ genau zu messen. Außerdem verbesserte Thomson mehrere Messverfahren und erfand zahlreiche weitere Messgeräte, z. B. eine Messbrücke zur genauen Bestimmung von sehr kleinen elektrischen Widerständen, die heute nach ihm als Thomson-Messbrücke bezeichnet wird.



William Thomson, (Schottland) im 84. Lebensjahr. In Anerkennung seiner Leistungen als hervorragender und hochgeehrter Naturwissenschaftler des 19. Jahrhunderts fand er seine letzte Ruhestätte in der Westminster-Abtei neben Sir Isaac Newton (1643-1727)

nach seiner Adellung im Jahre 1882 Lord Kelvin of Largs genannt, starb am 17. Dezember 1907 in Netherhall bei Largs



Über die Landesgrenzen hinaus wurde Thomson aber erst durch seine Mitarbeit an der Verwirklichung der ersten Seekabelverbindung zwischen Großbritannien und den USA bekannt. Er war einer der geistigen Urheber dieses Projekts und hatte das Kabel berechnet. Die erste Meldung per Seekabel konnte am 17. August 1858 durch den Nordatlantik von Großbritannien nach den USA über-

mittelt werden. Zweifelsohne war diese Seekabelverbindung die größte technische Leistung des vorigen Jahrhunderts. Leider konnten aber nur ca. 700 Meldungen mit diesem Kabel von der einen Seite des Atlantiks zur anderen vorgenommen werden, da ein Defekt auftrat. Eine dauerhafte Fernmeldeverbindung durch den Atlantik konnte erst im Jahr 1866 zwischen beiden Kontinenten hergestellt werden, an deren Verwirklichung Thomson ebenfalls entscheidend beteiligt war.

Definition des Kelvin (K)

1 Kelvin ist der 276,16te Teil der (thermodynamischen) Temperatur des Tripelpunktes des Wassers.

Diese Definition bedarf einer Erläuterung:

Jeder kennt aus dem täglichen Leben die Temperatureinheit Grad Celsius (°C). Sie wurde Anfang des 18. Jahrhunderts durch den schwedischen Physiker Anders Celsius eingeführt, indem er die Differenz zwischen der Temperatur des bei Normaldruck ($p_N = 1013 \text{ mbar}$) schmelzenden Eises und des bei Normaldruck siedenden Wassers in 100 gleiche Teile teilte, wobei der Nullpunkt $0 \text{ }^\circ\text{C}$ die Temperatur des schmelzenden Eises ist: Zur Kennzeichnung dieser „Celsius-Temperatur“ wird im Allgemeinen das Formelzeichen ϑ benutzt. Die Einheit der Temperaturdifferenz $\Delta\vartheta$ ist damit ebenfalls $1 \text{ }^\circ\text{C}$.

William Thomson, der spätere Lord Kelvin, kam aufgrund thermodynamischer Untersuchungen Anfang des 19. Jahrhunderts zu der – mittlerweile experimentell vielfach glänzend bestätigten – Erkenntnis, dass es erstaunlicherweise eine tiefstmögliche Temperatur, den sogenannten absoluten Nullpunkt der Temperatur, gibt. Dieser liegt bei $-273,15 \text{ }^\circ\text{C}$. Er führte deshalb eine auf diesen bezogene neue Temperaturskala ein, die sogenannte thermodynamische Temperatur, die gelegentlich auch absolute Temperatur genannt wird. Das Formelzeichen ist T . Damit hätte man es bewenden lassen können. Denn die Einheit der Temperaturdifferenz ΔT ist praktisch identisch mit $\Delta\vartheta$. Ungewöhnlicherweise hat man jedoch für die auf den absoluten Nullpunkt bezogene Temperatur einen eigenen Namen eingeführt, nämlich das oben definierte Kelvin. Das ist etwa so, als ob man die Höhe h eines Berges, die auf „Normal-Null“, also die mittlere Meereshöhe bezogen ist, in m, die Höhe H , bezogen auf den Erdmittelpunkt, jedoch z. B. mit dem Fantasienamen „geo“ messen würde, wobei die Höhendifferenzen $\Delta h = 1 \text{ m} = \Delta H = 1 \text{ geo}$ wären und außerdem

$$H = 6,38 \cdot 10^6 \text{ geo} + h \frac{\text{geo}}{\text{m}} \quad \text{gilt.}$$

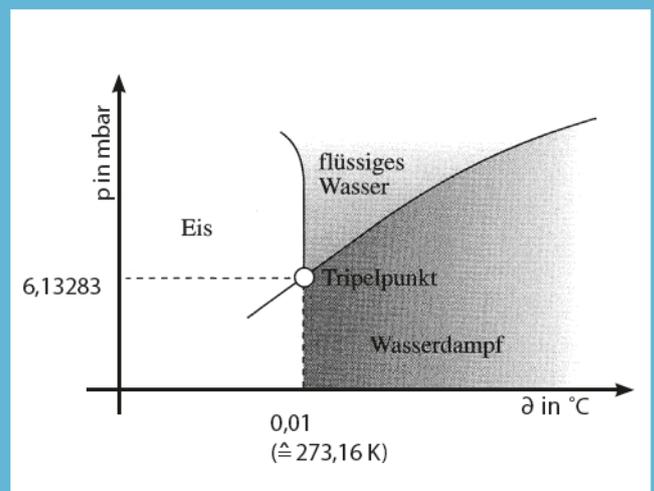
Die Definition der Einheit Kelvin erfolgte so, dass man die Temperaturdifferenz zwischen dem absoluten Nullpunkt und dem sehr exakt zu bestimmenden Tripelpunkt des Wassers, an dem bei $p = 6,13283 \text{ mbar}$ Eis, flüssiges Wasser und Wasserdampf bei der gleichen Temperatur existieren, in 273,16 gleiche Teile teilte.

Natürlich gilt

$$\Delta T = 1 \text{ K} = \Delta\vartheta = 1 \text{ }^\circ\text{C}$$

und

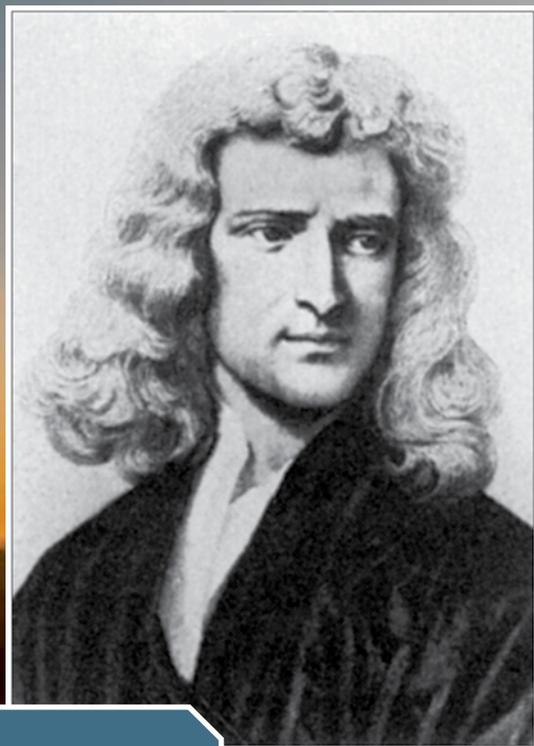
$$T = 273,15 \text{ K} + \vartheta \frac{\text{K}}{\text{ }^\circ\text{C}}$$



Aggregatzustände von Wasser in Abhängigkeit von Druck und Temperatur

Isaac Newton

Die abgeleitete SI-Einheit der Kraft, Newton (N)



Isaac Newton
(1643–1727)



Newton wurde am 4. Januar 1643* in Woolsthorpe an der Ostküste Englands geboren. Sein Vater, ein Landpächter, starb kurz vor der Geburt Isaacs, dessen Erziehung die Großmutter übernahm.

*Nach dem alten Julianischen Kalender am 25. Dezember 1642

Die Mittelschule besuchte er im nahe gelegenen Grantham. Der junge Isaac baute sich mit Vorliebe kompliziertes mechanisches Spielzeug, schliff Spiegel und Linsen, befasste sich mit Chemie und zeichnete gern. Als achtzehnjähriger junger Mann ließ er sich im Trinity College in Cambridge immatrikulieren, wo er neben dem Studium durch Hilfsarbeiten an der Universität etwas Geld verdiente. Er studierte Mathematik, Physik, Theologie und klassische Sprachen. Im Jahre 1665 erlangte er den Grad eines Bakkalaureus und wurde drei Jahre später Magister.

Bereits als Student machte er durch eine ungewöhnliche Selbstständigkeit und Originalität in der Arbeit auf sich aufmerksam. Zu seinen ersten Forschungsarbeiten gehörten die Entwicklung der Methode der unendlichen Reihen, die Berechnung der Fläche einer Hyperbel auf 52 Stellen und später die Entwicklung der Lehre vom Rechnen mit unendlich kleinen Zahlen, d. h. die Entwicklung der Differential- und Integralrechnung.

Im Jahre 1669 wurde der junge Newton Professor für Mathematik und hielt fast siebenundzwanzig Jahre lang Vorlesungen im Trinity College. Die Stellung als Professor war nicht allzu anspruchsvoll und ermöglichte ihm, in der reichlichen Freizeit sich der Forschung zu widmen.

Newton soll im Jahr 1660 in seinem Heimatort Woolthorpe vor einem Apfelbaum gesessen haben, als ein Apfel herunterfiel. Das veranlasste ihn zu fragen: „Warum fiel der Apfel stets senkrecht zu Boden? [...] Warum fiel er nicht seitwärts oder aufwärts? Sondern immer konstant Richtung Erdmittelpunkt?“

Der Grund dafür musste sein, dass die Erde ihn anziehe. Es musste sein, dass in der Materie eine ziehende Kraft liege. Noch heute steht vor dem Trinity College in Cambridge ein Apfelbaum, bei dem es sich um einen Spross des legendären Newton-Baumes handeln soll.

In den ersten Jahren seiner wissenschaftlichen Tätigkeit interessierte Newton die Optik, in der er viele Entdeckungen machte. Durch die Zerlegung des weißen Lichtes wies er nach, dass es sich aus einem Farbspektrum zusammensetzt, er erklärte die Farbe von Gegenständen und fertigte eigenhändig das erste Spiegelteleskop (s. Bild unten). Es vergrößerte etwa vierzigfach; Newton schenkte es im Jahre 1671 der Royal Society in London, die ihn ein Jahr später zu ihrem Mitglied wählte. Weiterhin entdeckte er die Interferenz des Lichtes, eine Erscheinung, die heute als sogenannte Newton'sche Ringe bekannt ist, und entwickelte die Korpuskulartheorie, nach der das Licht ein Strom kleinster Teilchen ist. Alle seine Untersuchungen über das Licht fasste er in der dreibändigen „Optik“ zusammen, die erst im Jahre 1704 erschien.

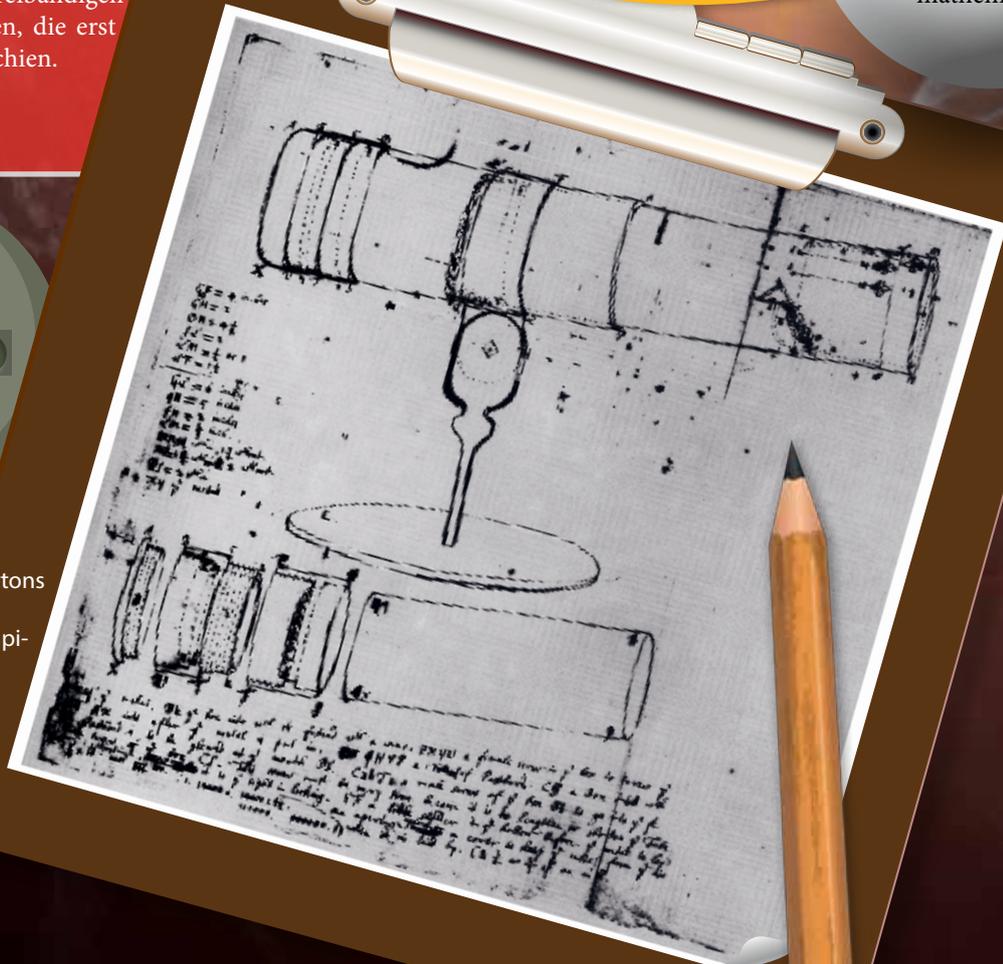
Ab 1676 begann er, sich mit dem Studium der Mechanik zu befassen. Die grundlegenden Entdeckungen in der Mechanik legte Newton in seinem monumentalen Werk „Mathematische Grundlagen der Naturwissenschaft“* dar.

Die ersten zwei Bände befassen sich mit der theoretischen Mechanik, während der dritte Band der Himmelsmechanik gewidmet ist. Newton sprach hier seine berühmten Axiome der Bewegung aus, jedoch ist das ursprüngliche Ziel dieses Werkes der Nachweis des Gravitationsgesetzes, das aus der Anwendung der Axiome der Mechanik auf die Bewegung der Himmelskörper resultiert.

In den „Prinzipien“ war alles zusammengefasst, was über die einfachsten Formen der Bewegung der Materie im Verlaufe der vorausgegangenen Jahrtausende ermittelt worden war. Auch die Newton'schen Entdeckungen waren in Wirklichkeit die Vollendung der Forschungsarbeit mehrerer Gelehrter. Newton selbst sagte über seine Erfolge: „Wenn ich etwas weiter sah als andere, so deshalb, weil ich auf den Schultern von Riesen stand.“

* Bekannt als „Prinzipien“ nach dem Originaltitel „Philosophiae naturalis principia mathematica“

Eigenhändiger Entwurf Newtons zum Spiegelteleskop. Newton konnte damit die Jupitermonde sehen



Definition des Newton (N)

1 Newton ist die Kraft, welche einem Körper mit der trägen Masse 1 kg die Beschleunigung

$$1 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \text{ erteilt.}$$

$$1\text{N} = 1\text{kg} \cdot 1 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} = \text{kg} \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$$

Newton's**Lehre von Raum, Zeit und**

Kraft hatte einen gewaltigen Einfluss auf die Entwicklung der Physik, und erst die Entdeckungen des 20. Jahrhunderts – insbesondere die von Planck und Einstein – zeigten die Grenzen der Gesetze, auf denen die Newton'sche klassische Mechanik aufbaute. Ungeachtet dieser Tatsache behielt die klassische Mechanik jedoch ihren großen Einfluss und große Bedeutung auf allen praktisch wichtigen Gebieten.

Mehrmals war Newton in heftige Prioritätsstreitigkeiten verwickelt, u. a. mit G. W. Leibniz wegen der Erfindung der Infinitesimalrechnung – heute steht die Unabhängigkeit der Leibniz'schen Erfindung von Newton fest – und mit R. Hooke wegen seiner optischen Experimente. Newtons physikalische Ansichten setzten sich anfangs nur langsam durch, v. a. gegen die Wirbeltheorie von R. Descartes.

Im Jahre 1696 bot man Newton für seine Verdienste die besser bezahlte Stelle eines königlichen Münzwarms an, und im Jahre 1701 verzichtete er auf die Professorenstellung am Trinity College.

Zwei Jahre später berief man ihn zum Präsidenten der Londoner Royal Society, der er bis an sein Lebensende blieb. 1705 erhob ihn Königin Anna in den Adelsstand.

In den letzten Jahren seines Lebens redigierte er erneut seine Arbeiten und schrieb das historisch-theologische Werk „Chro-

nologica“. Ungeachtet seines großen Ruhms blieb er sein ganzes Leben lang ein bescheidener und einfacher Mensch. Die Hauswirt-

schaft führte ihm seine Nichte. Er starb am 31. März 1727 in Kensington und wurde in der Westminster-Abtei beigesetzt.



Ohm wurde am 16. März 1789 in Erlangen als Sohn eines Universitätsschlossers geboren.

Mit 11 Jahren trat er im Juni 1800 in das Gymnasium ein. Nach Bestehen der Abschlussprüfung am 22. April 1805 studierte er an der Universität in Erlangen Physik, Mathematik und Philosophie. Im Jahr 1806 gab er aus finanziellen Gründen sein Studium auf und reiste in die Schweiz, wo er zunächst an der Privatschule eines Pfarrers in Gottstadt im Kanton Bern Mathematik-Unterricht gab.

1809 verließ er diese Schule und ging als Privatlehrer nach Neuenburg, dem heutigen Neuchâtel in der Westschweiz. Zwei Jahre später kehrte Ohm nach Erlangen zurück, nahm sein Studium wieder auf und legte Ende des Jahres 1811 an der Philosophischen Fakultät der Universität seiner Vaterstadt die Doktorprüfung ab. Anschließend war er Privatdozent, bis er eine besser bezahlte Stelle als Lehrer an der Realschule in Bamberg bekam.

Georg Simon Ohm

Die abgeleitete SI-Einheit des elektrischen Widerstandes, Ohm (Ω)

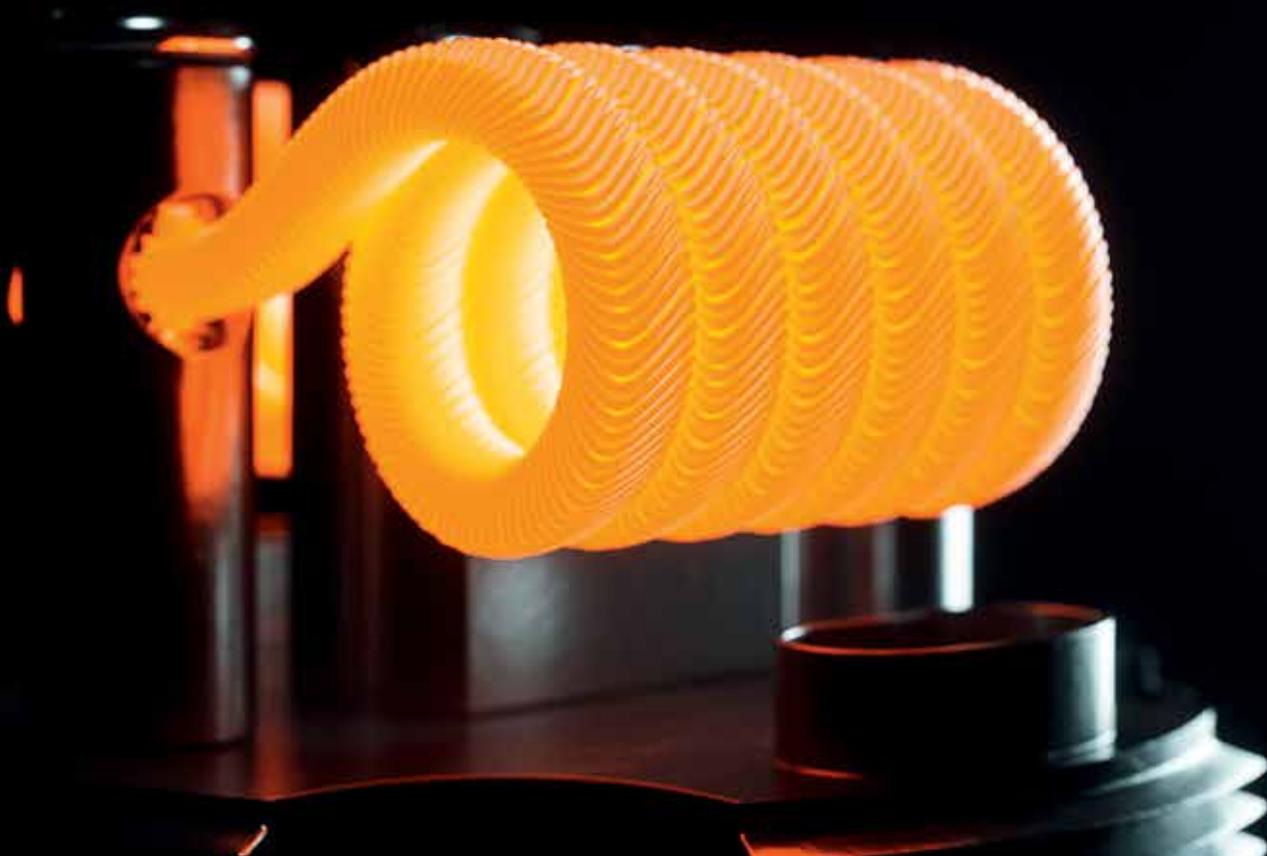


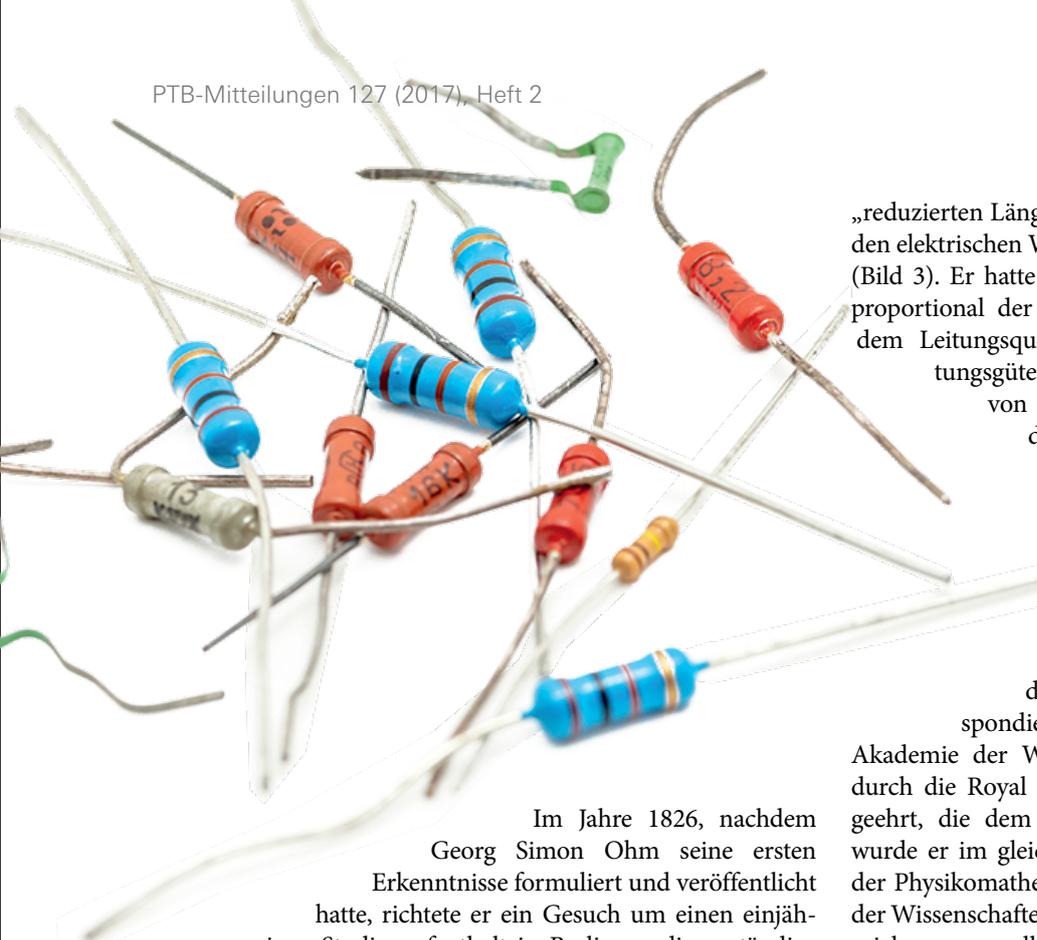
Georg Simon Ohm
(1789–1854)



Im Spätherbst 1817 wechselte Georg Simon Ohm zum Gymnasium nach Köln, das mit physikalischen Einrichtungen gut ausgestattet war, sodass er seiner Freude am physikalischen Experimentieren nachgehen konnte. Er wandte sich zunächst vor allem der Erforschung der damals noch geheimnisvollen galvanischen Ströme zu. Ohm untersuchte mit primitiven Mitteln, wie die Stromstärke bei verschiedenen Metallen von der Drahtlänge abhängig ist. Als Maß für die Stromstärke galt die Ablenkung einer Kompassnadel, die sich in der Nähe des stromdurchflossenen Leiters befand. Eindeutige

Erkenntnisse konnten nur schwer gewonnen werden, da die Klemmenspannung der verwendeten galvanischen Elemente nicht konstant, sondern vom Belastungsstrom abhängig war. Deshalb verwendete Ohm bei späteren Versuchen auch Thermoelemente als Spannungsquellen, die zu eindeutigen Ergebnissen führten. Im Jahre 1825 veröffentlichte Georg Simon Ohm in einem Jahrbuch der Physik und Chemie die ersten Ergebnisse seiner Arbeit unter dem Titel „Vorläufig Anzeige des Gesetzes, nach welchem Metalle die Kontaktelektrizität leiten“.





„reduzierten Länge“. Unter der „reduzierten Länge“ verstand er den elektrischen Widerstand, ohne diesen Begriff zu verwenden (Bild 3). Er hatte auch erkannt, dass diese „reduzierte Länge“ proportional der Leitungslänge und umgekehrt proportional dem Leitungsquerschnitt und der materialabhängigen Leitungsgüte ist. Ohm wandte sich danach an den König

von Bayern mit der Bitte um eine Anstellung an der Akademie oder Universität in München.

Daraufhin ernannte ihn Ludwig I. am 3. Juli 1833 in einem Dekret endlich zum Professor für Physik, aber nicht in München, sondern an der Polytechnischen Schule in Nürnberg. Nachdem sich der Ruf von Georg Simon Ohm als Gelehrter langsam durchgesetzt hatte, folgten für ihn die Jahre der Ehrungen. Im Jahre 1839 wurde er korrespondierendes Mitglied der Königlich Preussischen

Akademie der Wissenschaften in Berlin. 1841 wurde Ohm durch die Royal Society in London mit der Copley-Medaille geehrt, die dem heutigen Nobelpreis entspricht. Außerdem wurde er im gleichen Jahr noch korrespondierendes Mitglied der Physikomathematischen Klasse der Königlichen Akademie der Wissenschaften in Turin. Nach all diesen ausländischen Auszeichnungen wollte man in seinem Vaterland auch nicht länger nachstehen. Am 1. Oktober 1845 ernannte ihn die Mathematisch-Physikalische Klasse der Königlichen Bayerischen Akademie der Wissenschaften zum ordentlichen Mitglied. Von Maximilian II. wurde er am 23. November 1849 außerdem zum zweiten Konservator der Mathematisch-Physikalischen Staatssammlung bei der Bayerischen Akademie berufen. Und endlich wurde Georg Simon Ohm mit 63 Jahren am 1. Oktober 1852 zum ordentlichen Professor für Mathematik und Physik an die Universität in München berufen. Hier wirkte Ohm noch einige Jahre, bis ein Schlaganfall sein erfülltes, wenn auch nicht leichtes Leben beendete. Georg Simon Ohm starb am 6. Juli 1854 im 66. Lebensjahr in München.

Im Jahre 1826, nachdem Georg Simon Ohm seine ersten Erkenntnisse formuliert und veröffentlicht hatte, richtete er ein Gesuch um einen einjährigen Studienaufenthalt in Berlin an die zuständige Behörde, das auch bewilligt wurde. In Berlin konnte Ohm bei seinem Bruder wohnen, der Professor an der Universität war. Da ihm nun vielfältige Möglichkeiten zur Fortsetzung seiner Studien zur Verfügung standen, zeigten sich bald die Früchte seiner Forschungen. Im Mai 1827 erschien seine weitere Schrift „Die galvanische Kette mathematisch bearbeitet“, die eindeutig das beinhaltet, was in der ganzen Welt als Ohm'sches Gesetz bekannt wurde.

Georg Simon Ohm formulierte damals seine Erkenntnisse etwa folgendermaßen: Die Stärke des elektrischen Stromes ist in einem geschlossenen Stromkreis bei konstanter Temperatur proportional der Spannung und umgekehrt proportional der

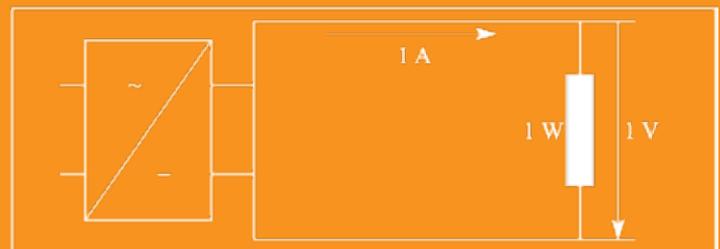
Definition des Ohm (Ω)

1 Ohm ist der elektrische Widerstand zwischen zwei Punkten eines fadenförmigen, gleichmäßig temperierten, homogenen Leiters, durch den bei der elektrischen Spannung 1 V zwischen den beiden Punkten ein zeitlich unveränderlicher elektrischer Strom der Stärke 1 Ampere fließt.

$$1\Omega = \frac{1\text{V}}{1\text{A}} = 1 \frac{\text{Nm}}{\text{A}^2\text{s}} = 1 \frac{\text{kgm}^2}{\text{A}^2\text{s}^3}$$

Damit ist die Einheit des elektrischen Widerstandes eine von den Einheiten Volt (V) und Ampere (A) abgeleitete Einheit des Internationalen Einheitensystems, wobei die Einheit Am-

pere (A) eine Basiseinheit ist und die Einheit Volt (V) bereits eine von den Einheiten Ampere (A), Kilogramm (kg), Meter (m) und Sekunde (s) mehrfach abgeleitete Einheit darstellt.



Festlegung der SI-Einheit des elektrischen Widerstands

Blaise Pascal

Die abgeleitete SI-Einheit des Drucks
und der mechanischen Spannung, Pascal (Pa)



Blaise Pascal
(1623–1662)

Pascal wurde am 19. Juni 1623 in Clermont als Sohn des bekannten Mathematikers Etienne Pascal geboren. Von Klein auf bestach er durch sein mathematisches Talent. Als Zwölfjähriger stellte er ein eigenes geometrisches System auf, das auf Euklid zurückging, und mit sechzehn Jahren verfasste er eine Studie über Kegelschnitte.

Er studierte sehr gründlich Mathematik, Physik und Philosophie. In der Arbeit „Abhandlungen über das arithmetische Dreieck“ sprach er einige grundlegende Thesen der Wahrscheinlichkeitstheorie und Kombinatorik aus; in der Arithmetik ist das Pascal'sche Dreieck (Bild unten) heute wohlbekannt. Weiterhin ermittelte er die Teilbarkeitsregeln und wurde zum Vorgänger von Newton und Leibniz auf dem Gebiet der Differential- und Integralrechnung.

Als neunzehnjähriger junger Mann konstruierte er eine Rechenmaschine, die im Wesentlichen für Additionen bestimmt war. Er verbesserte die Maschine ständig und fertigte davon insgesamt über fünfzig Exemplare an. Die heutigen Rechenmaschinen arbeiten nach dem gleichen Prinzip. Wegen dieser Leistung heißt eine der modernen Programmiersprachen „Pascal“.



				1						
				1	1					
				1	2	1				
			1	3	3	1				
			1	4	6	4	1			
			1	5	10	10	5	1		
			1	6	15	20	15	6	1	
										usw.

Pascal'sches Dreieck

Die Anordnung der Zahlen hat folgende Eigenschaften:

1. Jede Zahl ist gleich der Summe der unmittelbar links und rechts darüber stehenden Zahlen;
z. B. $10 = 4 + 6$.
2. Jede Zahl ist gleich der Summe aller Zahlen der linken oder rechten Schrägseite, beginnend mit der links oder rechts über ihr stehenden Zahl;
z. B. $15 = 5 + 4 + 3 + 3$ oder $15 = 10 + 4 + 1$
3. In jeder Zeile stehen die sogenannten Binomial-Koeffizienten, die man erhält, wenn man den Binomial-Ausdruck $(a + b)$ (mit ganzzahligem n) anmultipliziert;
z. B. $(a + b)^2 = a^2 + 2ab + b^2$ oder $(a + b)^3 = a^3 + 3a^2b + 3ab^2 + b^3$



Als Pascal von Torricellis Versuch und der Entdeckung des atmosphärischen Drucks hörte, begann er hartnäckig, weitere überzeugende Versuche für die Beweisführung von Torricellis Entdeckung zu ersinnen. Zu diesem Zweck fertigte er sich zwei Glasröhren, die sinnvoll so miteinander verbunden waren, dass er mithilfe der einen die Luft über dem Quecksilberspiegel in der anderen Röhre herauspumpen konnte.

Mithilfe dieser Versuchsanordnung gelang es ihm nach einigen weiteren Veränderungen, die Existenz des Luftdrucks und die Abhängigkeit der Höhe der Quecksilbersäule im Röhrchen vom Luftdruck überzeugend nachzuweisen und zu demonstrieren.

Um die Abhängigkeit der Höhe der Quecksilbersäule von der Höhe der Messstelle über dem Meeresspiegel – wie das von Torricelli behauptet wurde – experimentell nachweisen zu können, forderte er im Jahre 1648 seinen Schwager Périer auf, Messun-

gen am Fuße und auf dem Gipfel des Berges Puy de Dôme vorzunehmen. Die Höhendifferenz von etwa 1000 m wirkte sich tatsächlich dahingehend aus, dass die Quecksilbersäule im Röhrchen auf der Bergspitze 8 cm kürzer war.

Pascal kam als erster auf den Gedanken, mithilfe eines Barometers die Höhendifferenz zweier Orte zu messen und machte darauf aufmerksam, dass die Längenänderungen der Quecksilbersäule eines Barometers auch von der Luftfeuchtigkeit und -temperatur abhängig sind und daher auch der Wettervorhersage dienen können. Die Ergebnisse der Untersuchungen des atmosphärischen Druckes fasste er 1653 in der Arbeit „Abhandlungen über den Luftdruck“ zusammen. Sie wurde erst nach seinem Tode im Jahre 1663 gedruckt.

Nicht weniger bedeutungsvoll sind Pascals Arbeiten auf dem Gebiet der Hydrostatik. In der Arbeit „Abhandlung über das Gleichgewicht der Flüssigkeiten“ formulierte er das Grundgesetz der

Hydrostatik, das später das Pascalsche Gesetz genannt wurde. Er berechnete die Größe des hydrostatischen Druckes, beschrieb das hydrostatische Paradoxon,

das Gesetz der kommunizierenden Gefäße und das Prinzip einer hydraulischen Presse.

Definition des Pascal (Pa)

Wirkt senkrecht auf die Fläche A eine flächenhaft verteilte Kraft F (s. unten), so nennen wir den Quotienten aus dem Betrag F der Kraft und der Fläche A den Druck p .

Druck = $\frac{\text{Kraft}}{\text{Fläche, auf welche die Kraft senkrecht wirkt}}$

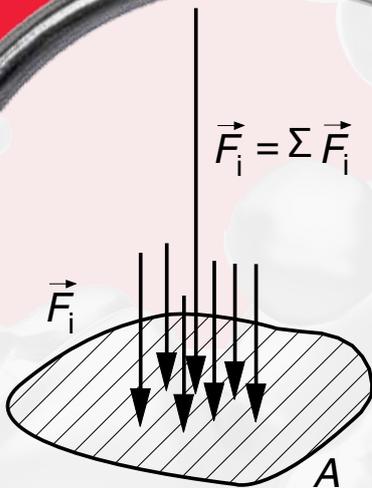
$$p = \frac{F}{A}$$

Der Druck ist ein Skalar. Hiermit ergibt sich die Druckeinheit

$$1 \text{ Pascal} = 1 \text{ Pa} = 1 \frac{\text{N}}{\text{m}^2}$$

Häufig benutzt man auch die Einheit

$$1 \text{ bar} = 10^5 \frac{\text{N}}{\text{m}^2} = 10^5 \text{ Pa}$$



Zur Definition des Druckes

Pascal befasste sich auch mit philosophischen Fragen, wobei er zwar den Fortschritt der Wissenschaft als Ziel der menschlichen Existenz sah, nur schwankte er in seinen Anschauungen zwischen Rationalismus und Skeptizismus, der ihn zur Ansicht führte, dass der Glaube über dem Verstand steht.

Von 1653 an gab sich Pascal theologisch-philosophischen Betrachtungen hin und trat drei Jahre später in ein Kloster ein. Er starb, erst neununddreißigjährig, am 19. August 1662 in Paris.

1

Werner Siemens wurde am 13. Dezember 1816 in Lenthe bei Hannover als Sohn eines Gutspächters geboren. Aus finanziellen Gründen konnte er nicht studieren, sodass er die militärische Laufbahn einschlug und 1838 preussischer Artillerieoffizier wurde.

Die Erfindung eines Galvanisierungsverfahrens im Jahre 1841 und eines Zeiger- und Drucktelegraphen im Jahre 1846 zeigten bereits früh seine besondere technische Begabung. Er wandte sich zunächst der elektrischen Nachrichtentechnik zu und gründete 1847 mit Johann Georg Halske (1814-1890) in Berlin die „Telegraphen-Bauanstalt Siemens & Halske“, woraus die Keimzelle der heutigen Weltfirma Siemens AG wurde.

Nachdem die Firma 1848 die erste Telegrafienlinie zwischen Berlin und Frankfurt am Main mit unterirdischen Kabeln erfolgreich gebaut hatte, schied Werner Siemens aus der Armee aus, um sich nur noch dem Gebiet der jungen Elektrotechnik widmen zu können.

Werner Siemens gehörte damals zu den ersten Fachleuten, die sich Gedanken machten über eine wirtschaftliche Möglichkeit zur Erzeugung elektrischer Energie. Am 29.5.1856 berichtete er in einem Brief an seinen Bruder William Siemens (1823-1883) über die erfolgreiche Konstruktion eines Magnetstrom-Erzeugers mit Doppel-T-Anker.





*W. von Siemens
Lenthe / Hannover*

2

Dieser Magnetstrom-Erzeuger mit Doppel-T-Anker stellte eine der ersten praktisch brauchbaren Vorrichtungen dar, die auf dem Prinzip des Faraday'schen Induktionsgesetzes eine elektrische Spannung erzeugen konnten. Jedoch war es auch mit diesem Gerät nicht möglich, elektrische Energie in großem Umfang für die Versorgung der Industrie, Handwerksbetriebe und Haushalte zu erzeugen. Der Größe und Stärke von natürlichen Magneten war eine Grenze gesetzt, sodass Generatoren mit Dauermagneten nur begrenzt mechanische Arbeit in elektrische Energie umwandeln konnten.

Erst eine Idee, die Werner Siemens im Jahre 1866 hatte, verhalf dem Induktionsgesetz von Michael Faraday zu seiner großen praktischen Bedeutung. Werner Siemens erfand in diesem Jahr mit seiner „Dynamomaschine“ einen Gleichstrom-generator, der keinen Dauermagneten benötigte. Er hatte festgestellt, dass beim Abschalten des Erregerstromes eines Elektromagneten ein schwacher Magnetismus im Eisen zurückblieb. Anstelle eines Dauermagneten nutzte er diesen Restmagnetismus, um eine Induktionsspannung zu erzeugen.

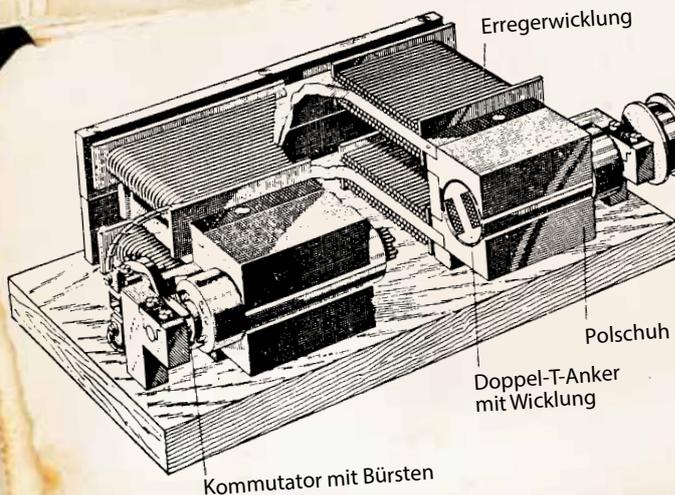


Werner von Siemens
(1816-1892)

3

Werner Siemens stellte mit dem Bau eines ersten Versuchsgerätes seine Idee unter Beweis. Zwischen den Polschuhen eines hufeisenförmigen Weicheisengestelles ordnete er einen drehbaren Doppel-T-Anker an. Der nach der ersten Magnetisierung des Weicheisens zurückgebliebene Restmagnetismus genügte, um in der Ankerwicklung eine Wechselspannung zu induzieren, sobald der Anker in die richtige Richtung gedreht wurde. Mit dem Stromwender wurde die Wechselspannung in eine Gleichspannung umgewandelt, die dann über Bürsten abgegriffen werden konnte. Von dem erzeugten Gleichstrom zweigte man einen Teil ab und schickte

ihn durch die Wicklung des Elektromagneten (Nebenschlussprinzip). Dies führte zur Verstärkung des Restmagnetismus, wodurch die in der Ankerwicklung induzierte Spannung erhöht wurde. Der Magnetismus des Weicheisengestelles und die induzierte Ankerspannung erfuhren eine kontinuierliche Steigerung bis zu einem Grenzwert, der von der Drehzahl des Ankers abhängig war. Diesen Vorgang der Selbsterregung eines Generators ohne Verwendung eines besonderen Dauermagneten bezeichnete man als dynamo-elektrisches Prinzip.



Schnittzeichnung des ersten „Dynamo“, wie Werner Siemens die Maschine nannte

Definition des Siemens (S)

1 Siemens (S) ist der elektrische Leitwert eines Leiters mit dem elektrischen Widerstand 1 Ohm. Es ist der Reziprokwert des elektrischen Widerstandes eines Leiters.

$$1\text{S} = \frac{1}{\Omega} = 1 \frac{\text{A}}{\text{V}}$$

Werner von Siemens

Die abgeleitete SI-Einheit des elektrischen Leitwerts, Siemens (S)

4

Der Technik war es jetzt mit der Erfindung der Dynamomaschine grundsätzlich möglich, elektrische Ströme von fast unbegrenzter Stärke auf einfache Weise wirtschaftlich zu erzeugen. Die Voraussetzungen für den Großmaschinenbau waren geschaffen. Die erste Dynamomaschine von Werner Siemens hatte eine Leistung von etwa 30 Watt bei einer Drehzahl von 1200 pro Minute. Über seine erfolgreichen Experimente mit der Dynamomaschine berichtete Werner Siemens zum ersten Mal in einem Brief vom 4.12.1866 an seinen Bruder William in London. In diesem Brief schrieb er:

5

„Ich habe eine neue Idee gehabt ... Nimmt man eine elektromagnetische Maschine, welche so konstruiert ist, daß der feststehende Magnet ein Elektromagnet mit konstanter Polrichtung ist, während der Strom des beweglichen Magnetens gewechselt wird; schaltet man ferner eine Batterie ein, welche den Apparat also bewegen würde und dreht nun die Maschine in entgegengesetzter Richtung, so muß der Strom sich steigern. Es kann darauf die Batterie angeschlossen und entfernt werden, ohne die Wirkung aufzuheben ...“

6

Am 17.1.1867 verlas Professor Gustav Magnus (1802–1870) in der Akademie der Wissenschaften in Berlin eine von Werner Siemens verfasste Arbeit, die die Umwandlung von mechanischer Arbeit in elektrische Energie ohne Verwendung von Dauermagneten beinhaltete. Damit war die Erfindung des dynamo-elektrischen Prinzips der Öffentlichkeit bekanntgegeben und das elektrotechnische Zeitalter begründet. Die wirtschaftliche elektrische Energietechnik konnte ihren Anfang nehmen. Als man nun elektrische Energie preiswert in großem Umfang mithilfe von Generatoren erzeugen konnte, gewann der elektromotorische Antrieb sprunghaft an Bedeutung. Die Gleichstrommaschine von Werner Siemens funktioniert nicht nur als Generator, sondern konnte auch als Motor betrieben werden. Legte man an die beiden Anschlussklemmen der Dynamomaschine eine Gleichspannung, so lief sie als Motor und konnte zum Antrieb von Arbeitsmaschinen verwendet werden. Die Fabriken erhielten mit dem Elektromotor endlich eine langersehnte Antriebsmaschine, die prak-

tisch und bequem war. Es dauerte nicht lange, bis der Elektromotor vielerorts die alten Wasserräder, Windräder und Dampfmaschinen verdrängt hatte und die führende Stellung unter den Antriebsmaschinen einnahm.

Elektromotoren eroberten sich aber nicht nur bei stationären Antrieben einen sicheren Einsatzort, sondern auch bei Schienenfahrzeugen. Bereits im Jahr 1879 stellte die von Werner Siemens und Johann Georg Halske (1814-1890) gegründete Firma Siemens & Halske auf der Gewerbeausstellung in Berlin eine Lokomotive vor, die von einem Elektromotor mit einer Nennleistung von 2 kW angetrieben wurde.

Lange dauerte es dann nicht mehr, bis die Öffentlichkeit einen Nutzen von diesem neuartigen Antrieb hatte. Am 12.5.1881 fuhr durch den Berliner Vorort Lichterfelde bereits die erste von einem Elektromotor angetriebene Straßenbahn, die unser Straßenbild in den Städten bis heute prägt.

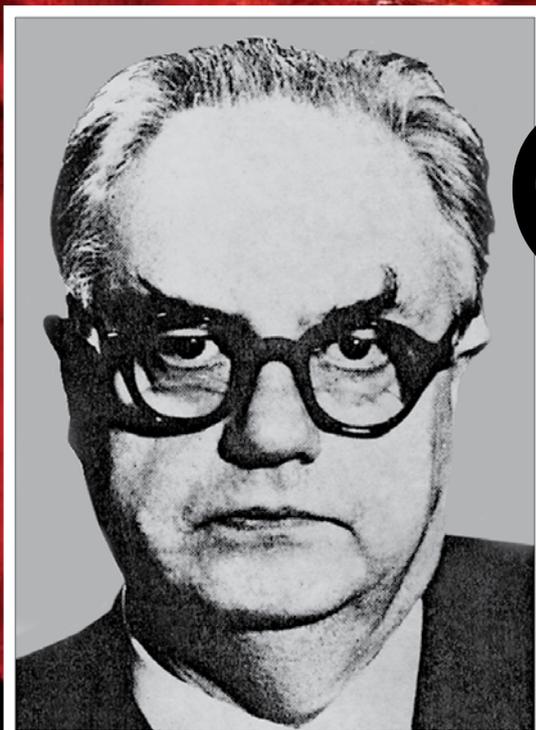
7

Neben diesen Pionierleistungen war Werner Siemens 1877 an der Schaffung des deutschen Patentgesetzes und 1887 an der Gründung der „Physikalisch-Technischen Reichsanstalt“ beteiligt. Werner von Siemens starb am 6. Dezember 1892 fast 76-jährig in Charlottenburg bei Berlin, nachdem er vom Deutschen Kaiser 1888 in Anerkennung seiner Leistungen als Erfinder und Unternehmer geadelt worden war.



Rolf Maximilian Sievert

Die abgeleitete SI-Einheit der Äquivalentdosis D_q einer ionisierenden Strahlung in menschlichem oder tierischem Gewebe, Sievert (Sv)



Rolf Maximilian Sievert
(1896–1966)



Sievert wurde im Jahre 1896 als Sohn des erfolgreichen und reichen Kabelfabrikanten deutscher Herkunft Max Sievert und seiner schwedischen Ehefrau Sofia in Stockholm geboren. Max Sievert starb, als Rolf gerade 17 Jahre alt war. Dieser sollte ursprünglich die väterliche Fabrik übernehmen, zeigte hierzu aber wenig Neigung. Er machte ein schwaches Abitur und versuchte sich dann zunächst mit dem Studium der Medizin und, als ihm dieses nicht zusagte, demjenigen der Elektrotechnik in Stockholm. Auch das war wenig erfolgreich, da er sich als Sohn reicher Eltern lieber Freizeit-Aktivitäten widmete, z. B. dem Segelsport. Schließlich aber studierte er Astronomie, Meteorologie, Mathematik und Mechanik an der Universität Uppsala. 1919 machte er dort sein Diplom.

Hintergrundbild:
Die Stockholmer U-Bahn,
schwedisch „tunnelbana“, fotolia

In seiner Diplomarbeit lernte er sein späteres, lebenslanges Arbeitsgebiet kennen: Er untersuchte die Strahlungsintensität eines Radiumpräparates. Danach schloss er noch ein Physikstudium in Stockholm an und wurde danach Assistent am Nobelinstitut der schwedischen Akademie der Wissenschaften.

Auch in Rolf Sieverts Lebensweg spielte der Zufall eine große Rolle. Während einer Studienreise in die USA im Jahr 1920 traf er den bedeutendsten schwedischen Radiologen, Gösta Forssell. Letzteren beschäftigte die Frage nach einer exakten Bestimmung der Wirkung von Röntgen- oder Kernstrahlung auf biologische Gewebe. Nur bei einer genauen Messung der „Äquivalent-Dosis“ (s. Kasten) kann man nämlich die therapeutische Wirkung dieser Strahlen (z. B. zur Bekämpfung von Krebs) ausnutzen, ohne Strahlenschäden zu erzeugen. Rolf Sievert überzeugte Gösta Forssell, dass nur die Physik hier weiterhelfen konnte.



1925 kam es zur Gründung der „International Commission on Radiological Protection“, dessen Chairman Rolf Sievert wurde. Auf ihn und seine Mitarbeiter gehen die grundlegenden Arbeiten zurück, die unseren heutigen Kenntnissen den Weg bereiteten.

Obwohl Rolf Maximilian Sievert ein international bekannter Mann mit zahlreichen wichtigen Ämtern wurde, fand er gelegentlich noch Zeit für seine Hobbies: Segeln, Orgel spielen und Schmetterlinge sammeln. Sievert starb im Jahre 1966.

Definition des Sievert (Sv)

Bei $q = 1$ gilt $D_q = D$ und damit $1 \text{ Sv} = 1 \text{ Gy}$. Da q dimensionslos ist, sind die Beziehungen von Sv und Gy zu anderen Einheiten identisch.

Es gilt daher

$$1 \text{ Sv} = 1 \frac{\text{J}}{\text{kg}}$$

Anmerkung

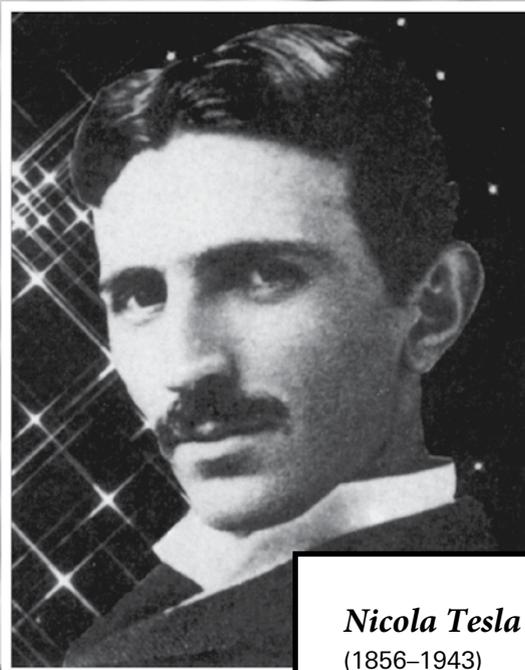
Hierbei wird der Tatsache Rechnung getragen, dass verschiedene Strahlenarten im Gewebe bei der gleichen in Gray (Gy) gemessenen Energiedosis D verschiedene biologische Wirkungen entfalten können.

Für den Zusammenhang zwischen D_q und D gilt $D_q = qD$ mit dem dimensionslosen Bewertungsfaktor q , der rein empirisch ermittelt wird. Zum Beispiel ist $q = 1$ für Röntgen-, Gamma- und Betastrahlung, $q = 20$ bei Alphastrahlung und $q = 10$ bei Neutronenstrahlung.



Nicola Tesla

Die abgeleitete SI-Einheit der fundamentalen Größe des magnetischen Feldes, der magnetischen Induktion B , Tesla (T)



Nicola Tesla
(1856–1943)

Tesla wurde am 10. Juli 1856 in Smiljan beim Städtchen Gospic in Dalmatien als Sohn eines Priesters der orthodoxen kroatischen Kirche geboren. Bereits während des Studiums auf der Mittelschule bewies er eine hervorragende Begabung für Mathematik und Physik. Von 1875 an studierte er an der Technischen Hochschule in Graz. Nach kurzer Unterbrechung wegen finanzieller Schwierigkeiten beendete er das Studium in Prag.

Von der Prager Universität ging er nach Budapest und nahm eine Tätigkeit in der dortigen Telefongesellschaft auf. Er machte durch einige praktische Erfindungen auf sich aufmerksam,

sodass ihm von einer Pariser Elektrizitätsgesellschaft, die zum Edison-Konzern gehörte, die Stelle eines Ingenieurs angeboten wurde. Bereits damals trug sich Tesla mit dem Gedanken, einen Elektromotor für Mehrphasen-Wechselstrom zu konstruieren, der die Nachteile der damaligen Einphasenmotoren beseitigen würde.

Im Jahre 1882 nahm er das Angebot an und ging nach Paris. Hier gelang es ihm, in seiner eigenen kleinen Werkstatt den ersten Motor ohne Kommutator, ohne Bürsten, genau nach seinen Budapester Vorstellungen zu bauen. Mit der Erfindung hatte er bei den Vorgesetzten der Gesellschaft kein Glück.

Zwei Jahre später befand er sich auf einer Reise nach Amerika, wo er über ein Jahr bei der Edison-Gesellschaft arbeitete. Aber auch hier fand er keine Möglichkeit, seine Erfindung zur Geltung zu bringen, und daher dachte er daran, sich selbstständig zu machen. Das gelang ihm erst im zweiten Versuch, als im Jahre 1887 die Gesellschaft „Tesla Electric Company“ ins Leben gerufen wurde. Noch im gleichen Jahr meldete er die grundlegenden Patente an, die sich auf die Drehfelder und die Elektroenergieübertragung bezogen. Auf dem Gebiet der Drehfelder erwarb Tesla insgesamt 41 Patente, und seine Arbeit erregte in Fach- und Geschäftskreisen ein gewaltiges Interesse.

Im Jahre 1887 baute Nicola Tesla einen zwei-strängigen Induktionsmotor (Drehfeldmotor) für Zweiphasen-Wechselstrom mit einer Eisenscheibe als Läufer (Kurzschlussläufer), der jedoch keine befriedigenden Ergebnisse zeigte. Er gründete die Tesla-Electric-Company und entwickelte weitere Motoren und Generatoren für Mehrphasen-Wechselstrom, um seine besonderen Ideen zu verwirklichen und zur Anerkennung in der Fachwelt zu verhelfen.

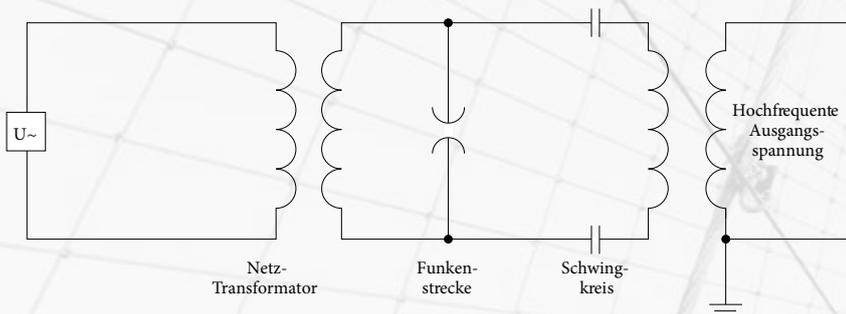
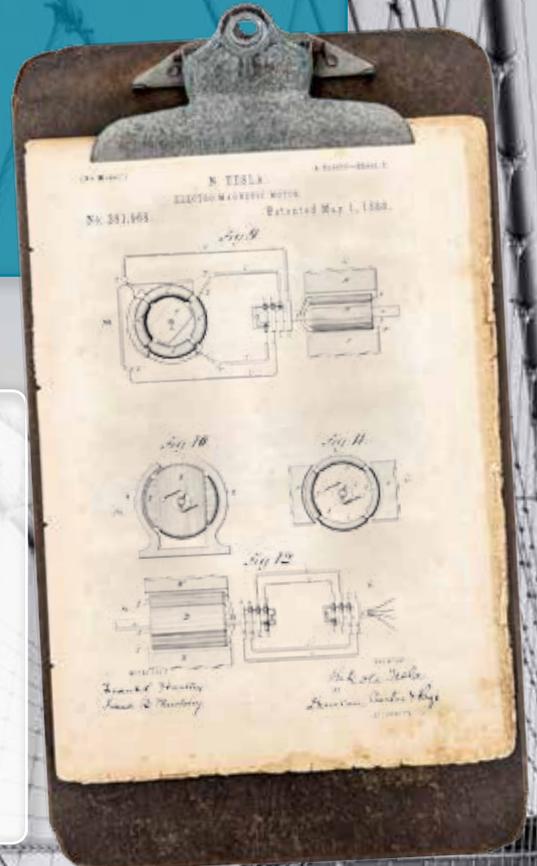


Bild 3: Prinzip des Tesla-Transformators



Neben Tesla hatten sich auch in Europa Pioniere der Elektrotechnik mit der Entwicklung von Wechselstrommotoren beschäftigt. Zu ihnen gehörte der deutsche Ingenieur Michael von Dolivo-Dobrowolsky (1862–1919), der im Jahre 1889 einen robusten Drehstrom-Asynchronmotor mit Käfigläufer zum Patent anmelden konnte. Damit war man in Europa der amerikani-

sehen Entwicklung um einige Jahre voraus. Erst im Jahre 1894 war in den USA die Entwicklung soweit vorangeschritten, dass man mit der serienmäßigen Fertigung von gebrauchsfähigen Drehstrom-Induktionsmotoren beginnen konnte. Unbestreitbar bleibt jedoch Teslas Beitrag zur Entwicklung von Mehrphasenmotoren und zur Klärung der physikalischen Grundlagen von mehrphasigen

Übertragungssystemen.

Im Jahre 1889 wendete sich Nicola Tesla Experimenten mit Hochfrequenzströmen zu und entwickelte einen Hochfrequenz-Transformator, mit dem er weltberühmt wurde. Das Gerät, das als Tesla-Transformator (Bild 3) bezeichnet wird, diente der Erzeugung von sehr hohen Hochfrequenzspannungen.

Die wesentlichen Bauteile des Tesla-Transformators sind ein Netz-Transformator, eine Funkenstrecke und ein Schwingkreis, dessen Spule mit einer weiteren Hochfrequenzspule gekoppelt ist.

Da der Schwingkreis eine Resonanzfrequenz hat, die mit der anregenden Netzfrequenz übereinstimmt, entstehen in ihm durch „Resonanzüberhöhung“ sehr viel höhere Spannungen als bei einem normalen Transformator. Diese hohen Spannungen führten in einem verdunkelten Raum zu starken Sprühercheinungen und konnten Gasentladungslampen noch in einiger Entfernung zum Aufleuchten bringen. Praktische Anwendung fand der Tesla-Transformator in der Elektromedizin, da die hochfrequenten Ströme für den menschlichen Körper ungefährlich sind. Mit der Erfindung des Hochfrequenz-Transformators schuf Tesla aber nicht nur die Grundlage der Hochfrequenz-Therapie, sondern auch eine erste Grundlage für die drahtlose Energieübertragung.

Nicola Tesla starb am 7.1.1943 im 87. Lebensjahr in New York (USA). Ein Denkmal von ihm steht an den berühmten Niagara-Wasserfällen.

Definition des Tesla (T)

Für den Zusammenhang zwischen B und Φ gilt die Definition

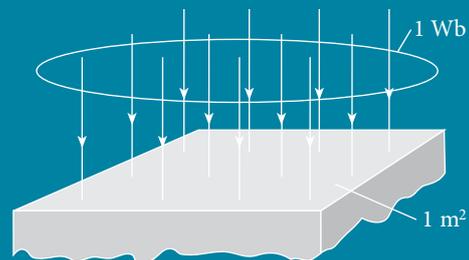
$$B = \frac{\Phi}{A},$$

wobei A die vom Fluss Φ durchsetzte Fläche ist. Daraus ergibt sich für die Einheit Tesla (T) die Definition

$$1\text{ T} = \frac{1\text{ Wb}}{1\text{ m}^2} = \frac{1\text{ Vs}}{\text{m}^2} = 1 \frac{\text{kg}}{\text{As}^2}.$$

Anmerkung

Tesla (T) ist die abgeleitete SI-Einheit der fundamentalen Größe des magnetischen Feldes, der magnetischen Induktion B . Diese ist gleichzeitig auch die Flächendichte des magnetischen Flusses Φ , der in der Einheit $V \cdot s = \text{Wb}$ (Weber) gemessen wird.

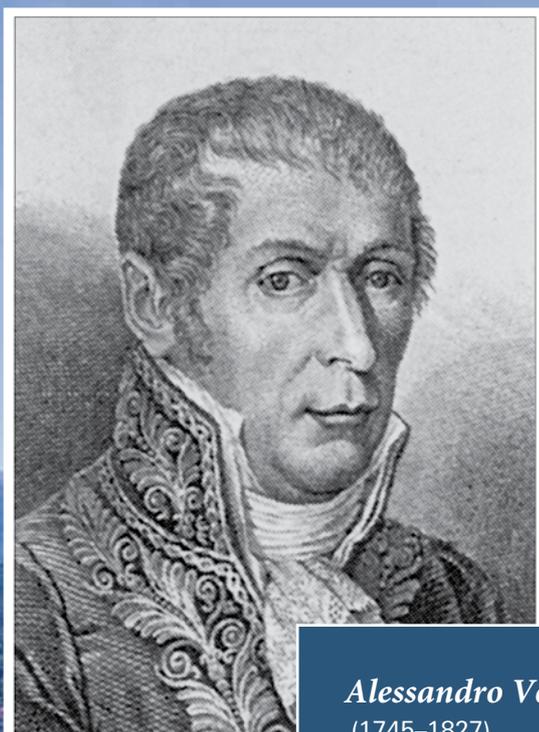


Hintergrundbild:
Brooklyn Bridge, fotolia



Alessandro Volta

Die abgeleitete SI-Einheit der elektrischen Spannung
oder elektrischen Potenzialdifferenz, Volt (V)



Alessandro Volta
(1745–1827)

Volta wurde am 18.2.1745 in Como / Norditalien geboren. Nach seinem Studium wurde er Physik-Professor und lehrte von 1774 bis 1778 in seinem Geburtsort Como, anschließend ab 1779 dann in Pavia.



Hintergrundbild:
Comer See, an dem die gleichnamige
Stadt Como liegt, fotolia



Im Jahre 1786 beobachtete der italienische Anatomie- und Medizin-Professor Luigi Aloisius Galvani (1737 bis 1798) beim Experimentieren mit Froschschenkeln seltsame Erscheinungen. Sobald er einen Froschschenkel, der an einem Eisengitter hing, mit einem Seziermesser berührte, stellte er Muskelkontraktionen fest. Galvani veröffentlichte 1791 mit der Schrift „De viribus electricitatis in motu musculari“ seine interessanten Beobachtungen. Jedoch kam er zu der nicht richtigen Erkenntnis, dass es sich um „tierische Elektrizität“ handele.

Erst Alessandro Volta, ein Landsmann von Luigi Galvani, fand für das Auftreten der „tierischen Elektrizität“ die richtige Erklärung und prägte für die Erscheinung den Begriff „Galvanismus“. Volta erkannte, dass zwischen zwei verschiedenen Metallen, die sich in einer stromleitenden Flüssigkeit befinden, eine elektrische Spannung entsteht. Er entwickelte im Jahre 1799 das erste galvanische Element und baute eine aus mehreren Elementen bestehende Spannungsquelle, die als „Volta-Säule“ bezeichnet wurde. Mit der „Volta-Säule“ bekam die Menschheit ihre erste elektrische Spannungsquelle, die größere Ströme liefern konnte.





Am 20.3.1800 berichtete Alessandro Volta in einem Brief an den Präsidenten der Royal Society in London erstmals über seine erfundene elektrochemische Spannungsquelle, und am 21.11.1801 demonstrierte er seine „Volta-Säule“ dem französischen Ersten Konsul General Napoleon Bonaparte. Auf dieses Ereignis ließ Napoleon eine Medaille schlagen. Als Napoleon Kaiser war, erhob er Volta in den Grafenstand. Alessandro Graf Volta starb am 5.3.1827 im 83. Lebensjahr in seinem Geburtsort Como/ Norditalien.

Die Voltasche Säule oder Voltasäule.

Der Vorläufer heutiger Batterien bestand aus übereinandergeschichteten Metallplättchen – zumeist Kupfer- und Zinkplättchen. Zwischen diesen Metallen befanden sich Papp- oder Lederstücke, die mit Elektrolyt getränkt waren.



Definition des Volt (V)

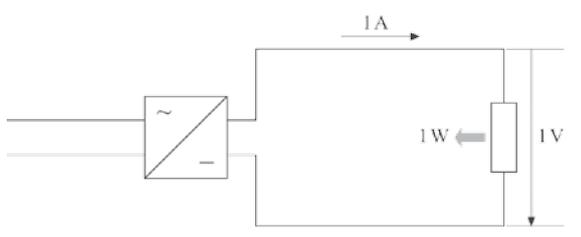
1 Volt ist die elektrische Spannung oder Potentialdifferenz zwischen zwei Punkten eines homogenen und gleichmäßig temperierten metallischen Leiters, in dem bei einem zeitlich unveränderlichen Strom der Stärke 1 Ampere (A) zwischen den beiden Punkten die Leistung 1 Watt (W) umgesetzt wird (s. Bild unten).

Es gilt:

$$1 \text{ V} = \frac{1 \text{ W}}{1 \text{ A}} = \frac{1 \text{ Nm}}{1 \text{ As}} = 1 \frac{\text{kg m}^2}{\text{A s}^3}$$

Anmerkung

Heute wird das Volt in allen dafür verantwortlichen Instituten (z. B. der PTB in Braunschweig) mithilfe des in speziellen Supraleiter-Anordnungen auftretenden Josephson-Effektes dargestellt. Der britische Student Brian D. Josephson sagte die nach ihm benannten Effekte im Alter von 22 Jahren voraus. Später erhielt er dafür den Nobelpreis.



Festlegung der SI-Einheit der elektrischen Spannung

James Watt

Die abgeleitete SI-Einheit des Energiestromes oder der mechanischen und elektrischen Leistung, Watt (W)

W



Matthew Boulton
(1728–1809)

Fifty Poun

James Watt
(1736–1819)

Watt wurde am 19. Januar 1736 in der schottischen Stadt Greenock am Clyde als Sohn eines Zimmermanns geboren. In der Schule interessierten ihn Physik und Mathematik, in den übrigen Fächern hatte er keine großen Erfolge. Er sehnte sich nach Hochschulbildung, aber die Familie konnte sich das nicht leisten.

Nach langen Überlegungen entschloss er sich, Feinmechaniker zu werden, ein Beruf, der ihn angesichts seiner Gebrechlichkeit körperlich nicht überbeanspruchen sollte. Im Jahre 1754 begann er in Glasgow die Optiker- und Mecha-

nikerlehre. Nach einem Lehrjahr ging er zu Morgan, einem Hersteller von mathematischen Geräten, nach London, wo er vieles lernte; bald bestach er in allen ihm anvertrauten Arbeiten durch Präzision und Gründlichkeit.

Im Jahre 1757 wurde ihm die Stelle eines Universitätsmechanikers in Glasgow zugesprochen. Er fand hier ein gut ausgestattetes Physikkabinett vor, und neben guten Arbeitsbedingungen ergab sich auch die Möglichkeit für das weitere Studium, für physikalische und chemische Versuche.

Hintergrundbild:
50-Pfund-Note
mit Porträts von
James Watt und
Matthew Boulton

of nothing els
but this machine

Mit dem Gedanken an eine Dampfmaschine begann Watt sich nach einem zweijährigen Aufenthalt an der Universität zu befassen; vorerst jedoch ergebnislos. Als man ihm dann die Reparatur eines Modells der Newcomen'schen¹ Dampfmaschine anvertraute, reparierte er sie nicht nur, sondern versuchte, sie zu vervollkommen. Er entdeckte, dass der Kessel der Maschine nur für einige Kolbenhübe Dampf lieferte, danach musste die Maschine warten, bis sich im Kessel neuer Dampf gebildet hatte. Einige Monate lang überlegte er intensiv und fand zu Beginn des Jahres 1765 eine Lösung des Problems: Man darf den Dampf nicht direkt im Dampfzylinder kondensieren, sondern muss dazu ein anderes, mit dem Zylinder verbundenes Gefäß benutzen. Damit erfand Watt den Kondensator (K in Bild 4) und unmittelbar darauf, als er den Zylinder beiderseits durch Deckel verschloss, die doppelwirkende Dampfmaschine.

Allerdings ahnte Watt nicht, welche gewaltigen Schwierigkeiten zu überwinden waren, bevor sich seine Gedanken verwirklichen ließen. Zu der damaligen Zeit war es sehr schwer, einen Mechaniker zu finden, der genau nach Zeichnung die relativ komplizierte Maschine bearbeiten konnte, und auch die Werkzeugmaschinen waren nicht präzise genug.

Der Bau des ersten Modells der Watt'schen Dampfmaschine endete mit einem Misserfolg. Watt hatte bald kein Geld mehr und nahm in dieser Situation die finanzielle Hilfe des Arztes und Industriellen Dr. Roebucks an, der sich den Patentschutz der Erfindung und zwei Drittel des Gewinns sicherte. Im Jahre 1769 wurde Watt endlich das Patent über „die neue Methode zur Verringerung des Dampf- und Brennstoffverbrauchs in Verbrennungsmaschinen“ erteilt, jedoch war die nach dem Patent gebaute Maschine erneut ein Misserfolg. Ursache dafür war nicht nur die ungenügende Dichtung der wichtigsten Maschinenteile, sondern auch die ungenügende Eignung des verwendeten Materials.

¹ Thomas Newcomen (1663–1729) baute ab 1712 atmosphärische Dampfmaschinen, die im 18. Jh. besonders zur Wasserförderung in Bergwerken dienten.

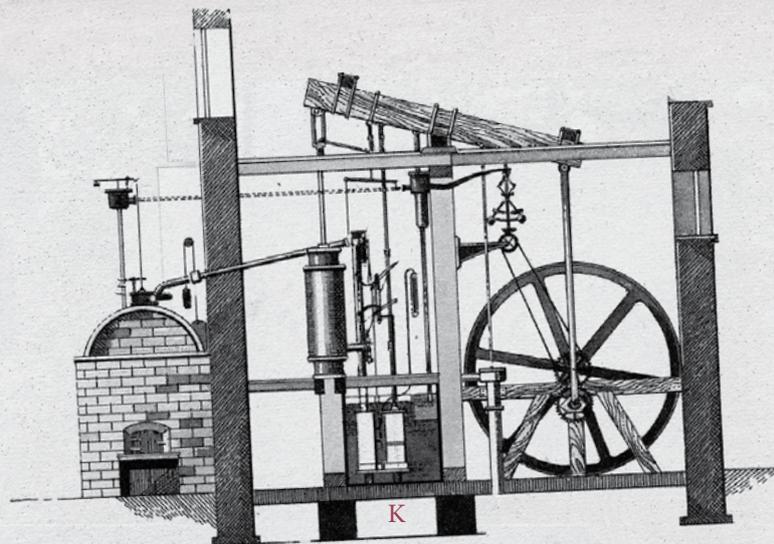


Bild 4: Doppelwirkende Dampfmaschine des James Watt

Definition des Watt (W)

Will man angeben, in welcher Zeit ein bestimmter Energiebetrag ausgetauscht, d. h. eine bestimmte Arbeit verrichtet wird, so bedient man sich der Begriffe Energiestrom oder Leistung – Formelbuchstabe P . Es gilt die Definition:

Energiestrom = Leistung

$$= \frac{\text{Arbeit}}{\text{dafür benötigte Zeit}}$$

Damit ergibt sich für die Einheit Watt: 1 Watt (W) ist die Leistung eines gleichmäßig ablaufenden Vorganges, bei dem in 1 Sekunde (s) die Arbeit 1 Joule (J) verrichtet wird.

$$1 \text{ W} = 1 \frac{\text{J}}{\text{s}} = 1 \frac{\text{kg m}^2}{\text{s}^3} = 1 \text{ VA.}$$



Unmittelbar darauf trennte sich Watt von seinem Partner, der seinen Anteil dem Fabrikanten Boulton verkaufte. In dessen Person fand Watt erneut volle Unterstützung bei seinen Versuchen und Erfindungen, und später wurde er sein Partner in der neuen Dampfmaschinenfabrik „Boulton & Watt“ in Soho bei Birmingham.

Unermüdlich arbeitete Watt an der Vervollkommnung seiner Erfindung, die ihm schon so viele Enttäuschungen bereitet hatte. Im Jahre 1775 gelang es ihm, das wichtigste Element – den Dampfzylinder – so zu fertigen, dass er tatsächlich funktionierte.

Die Fabrik baute nun die erste Dampfmaschine und ein Jahr darauf bereits zwei weitere. Die Maschinen arbeiteten gut und fanden ein breites Echo. Kurze Zeit später bereitete sich die Fabrik auf die Massenfertigung vor.

Der große Erfolg beeinflusste das Leben des bescheidenen Menschen Watt nicht. Er widmete sich weiterhin seinen Erfin-

dungen. So erfand er im Jahre 1780 eine Kopierpresse, zwei Jahre darauf fügte er der Dampfmaschine ein Schwungrad an und nach weiteren zwei Jahren einen Fliehkraftregler. 1785 konstruierte Watts Mitarbeiter Murdock eine Verschiebungseinrichtung für die Dampfverteilung im Zylinder, wodurch die Entwicklung der ersten einsatzfähigen Dampfmaschine ihren Abschluss fand.

Während seines produktiven Lebens schuf James Watt viele weitere Erfindungen und gab auch Anregungen zur Einführung eines einheitlichen Systems der Maße und Gewichte. Für seine Verdienste wurden ihm an seinem Lebensabend viele Ehrungen zuteil. Davon sind die bedeutendsten die Mitgliedschaften in der Französischen Akademie der Wissenschaften und in der Royal Society in London, die Ehrendoktorwürde der Glasgower Universität und viele andere.



Hintergrundbild:
Das Restaurant Boulton & Watt
in New York. Foto von E. V. Grieve,
Blogger in NY, <http://evgrieve.com>

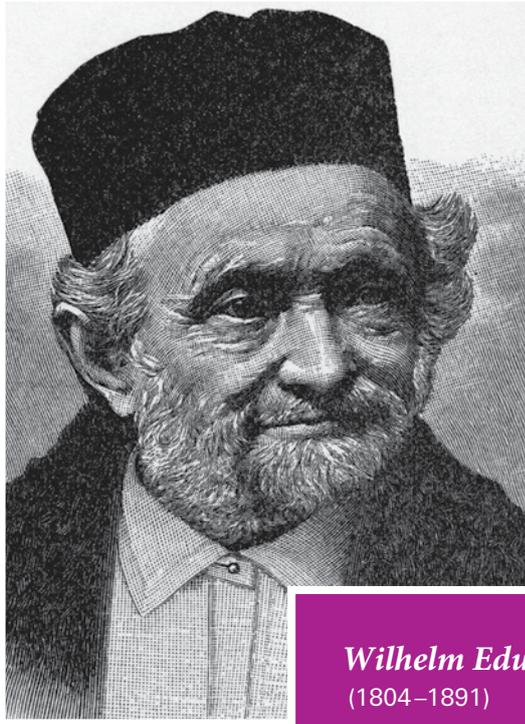
Watt war zweimal verheiratet. Aus erster Ehe gingen fünf Kinder hervor, aus zweiter zwei, die jedoch im frühen Alter starben. Kurz vor seinem Tode bot man

ihm die Erhebung in den Adelsstand an, Watt lehnte sie jedoch ab. Er blieb seiner einfachen Herkunft und schöpferischen Arbeit treu, die er über alles liebte. Er

starb am 19. August 1819 in Heathfield bei Birmingham und wurde in der Londoner Westminster-Abtei beigesetzt.

Wilhelm Eduard Weber

Die abgeleitete SI-Einheit des magnetischen Flusses, Weber (Wb)



Wilhelm Eduard Weber
(1804–1891)

Wilhelm Eduard Weber wurde am 24. Oktober 1804 in Wittenberg als fünftes Kind eines Theologieprofessors geboren. Er studierte Naturwissenschaften in Halle, wurde am gleichen Ort Privatdozent und im Jahre 1828 außerordentlicher Professor für Physik. Schon 1825 hatte er zusammen mit seinem Bruder Ernst Heinrich, einem Physiologieprofessor in Leipzig, eine wissenschaftliche Arbeit auf dem Gebiet der Akustik¹ verfasst, die ihm unter den Physikern einen guten Ruf einbrachte.

¹ Wellenlehre auf Experimente gegründet



Im Jahre 1831 berief man ihn als ordentlichen Professor der Physik an die Universität Göttingen. Hier begann auch die enge Freundschaft mit Gauß und ihre wissenschaftliche Zusammenarbeit bei der Erforschung des Magnetismus. Ergebnis dieser Zusammenarbeit war u. a. auch die Erfindung des elektromagnetischen Telegrafen, den sie im Jahre 1833 gemeinsam erprobten.

Definition des Weber (Wb)

Der magnetische Fluss Φ ist das Produkt aus der in einem homogenen Magnetfeld eine Fläche A senkrecht durchsetzenden magnetischen Induktion B und dieser Fläche. Es gilt $\Phi = \vec{B} \cdot \vec{A}$.

In einem inhomogenen Magnetfeld gilt entsprechend

$$\Phi = \int_A \vec{B} \cdot d\vec{A}$$

$$\Phi = \vec{B} \cdot \vec{A}$$

$$\vec{B}$$

($d\vec{A}$ hat in diesem Falle überall die Richtung der jeweiligen Flächennormalen).

Da \vec{B} in Tesla (T) gemessen wird, ergibt sich für die Einheit Weber (Wb):

$$1 \text{ Wb} = 1 \text{ T} \cdot 1 \text{ m}^2 = 1 \frac{\text{Vs}}{\text{m}^2} \cdot \text{m}^2 = 1 \text{ Vs.}$$

Das häufigste Messverfahren nutzt das Faraday'sche Induktionsgesetz aus, wonach ein zeitlich sich ändernder magnetischer Fluss, der eine Leiterschleife durchsetzt, in dieser eine elektrische Spannung induziert.²

Somit ergibt sich die Definition:

1 Weber (Wb) ist der magnetische Fluss, der in einer ihn umschlingenden Leiterschleife die elektrische Spannung 1 Volt (V) induziert, wenn er während der Zeit 1 Sekunde (s) gleichmäßig auf Null abnimmt.

$$1 \text{ Wb} = 1 \text{ V} \cdot 1 \text{ s} = 1 \text{ Vs} = 1 \frac{\text{kg m}^2}{\text{A s}^2}.$$

² Heutzutage gibt es für den magnetischen Fluss ein außerordentlich empfindliches Messgerät, den sogenannten SQUID. Dieser Name bedeutet „Supraleitender Quanten-Interferometrischer Detektor“; dieser beruht auch auf einem der „Josephson-Effekte“. SQUIDs sind so empfindlich, dass man mit ihnen Magnetfelder messen kann, die nicht stärker sind als ein Hundertmillionstel des Magnetfeldes der Erde.

In diese Zeit fällt auch ein Ereignis, das großen Einfluss auf Webers weiteres Lebensschicksal hatte: Zusammen mit sechs anderen Professoren wurde er im Jahre 1837 von der Universität entlassen. Weber gehörte zu den berühmten „Göttinger Sieben“, die sich schriftlich gegen die willkürliche Aufhebung der Verfassung durch König Ernst August von Hannover äußerten; sie erklärten sich mit dieser Verfassungsaufhebung nicht einverstanden.

Auch während der anschließenden fünfjährigen Stillschickung, in der er von Gauß Unterstützung erfuhr und vom Erlös einer Sammlung in ganz Deutschland in sehr bescheidenen Verhältnissen lebte, unterbrach er die Arbeiten über den Magnetismus nicht. Davon zeugt ein sechsbändiges Werk, das er gemeinsam mit Gauß herausgab und das die Ergebnisse der Beobachtungen aus den Jahren 1836 bis 1841 enthielt.

Ernst
August von
Hannover



Im Jahre 1843 trat Weber das Amt eines Professors an der Universität in Leipzig an. Hier entstand sein Elektrodynamometer, das auf der Ampère'schen Entdeckung über die wechselseitige Wirkung zweier elektrischer Ströme aufeinander basierte und mit dessen Hilfe man diese Wirkungen sehr präzise untersuchen und nutzen konnte.

Sechs Jahre später wurde Weber erneut nach Göttingen berufen, wo er dann auch den Rest seines Lebens verbrachte. Hier begann er Untersuchungen, die zur Einführung der absoluten Einheit der elektrischen Spannung oder elektromotorischen Kraft führten; dabei stützte sich Weber auf das Faraday'sche Gesetz der Induktion und benutzte, ausgehend von den Gauß'schen Messungen des Magnetfeldes der Erde, das Phänomen der Erdinduktion. Sein Erdinduktor, mit dessen Hilfe er umfangreiche quantitative Untersuchungen durchführte, wurde später eines der wichtigsten Hilfsmittel bei elektromagnetischen Messungen.

Webers größtes Verdienst ist es jedoch, dass er das System der absoluten elektrischen Maßeinheiten begründete, das eine universelle Gültigkeit erlangte und zu dem er sich durch eine sehr gründliche und präzise quantitative Erforschung der Entdeckungen von ersted bis hin zu Faraday unter Anwendung der Gauß'schen Ergebnisse bei der Untersuchung der magnetischen Größen vorarbeitete.

Für seine Untersuchungen entwickelte Weber mehrere neue, präzisere und feinere Hilfsmittel und führte unermüdlich Messungen durch mit einer Genauigkeit, die keiner vor ihm je erreicht hatte. Dabei stieß er auch auf eine Gesetzmäßigkeit, die darauf hinweist, dass bei der Verknüpfung der Coulomb'schen Gesetze für die magnetischen und für die elektrischen Kräfte eine bestimmte Geschwindigkeit eine große Rolle spielt. Durch komplizierte Messungen ermittelte er, dass diese Geschwindigkeit gleich der Lichtgeschwindigkeit ist. Hier wurde erstmalig die Lichtgeschwindigkeit als ausschlaggebend auch auf dem Gebiet des Elektromagnetismus entdeckt.

Weber versuchte ebenfalls als Erster, die Vorstellungen über die elektrischen Elementarquanten zu verallgemeinern, wobei er diesen kleinsten Partikeln neben einer bestimmten Ladung durch eine bestimmte Masse (Trägheit) zuschrieb.

Weber war bescheiden, von kindlicher Fröhlichkeit, zeichnete sich jedoch durch eine unbeugsame Art zu denken aus, war ehrlich und äußerst charakterfest. Er war nicht verheiratet, den Haushalt führte ihm die Nichte. Er starb am 23. Juni 1891 in Göttingen.



W

ATEMBERAUBEND.

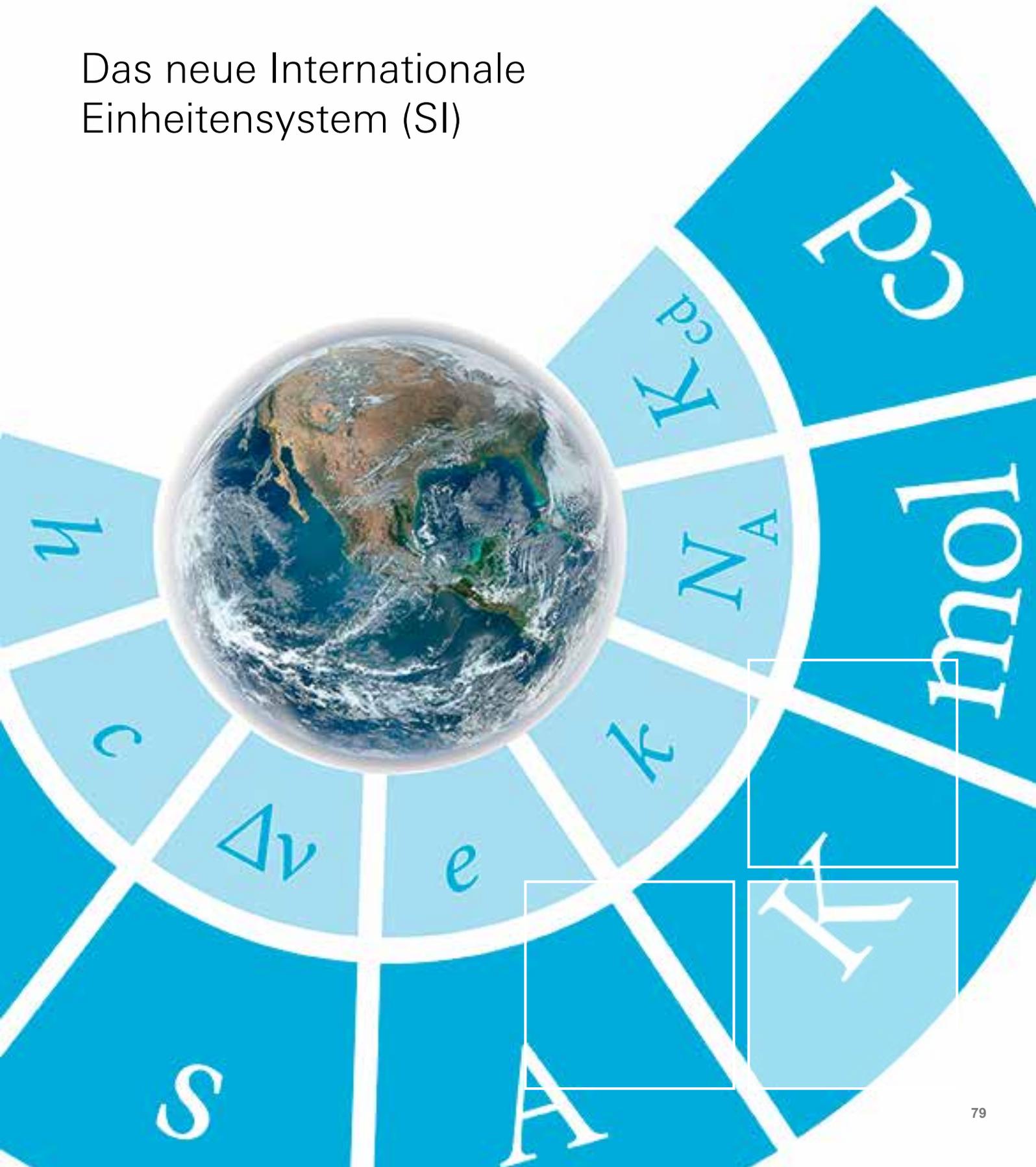
Ultrapräzise Positioniersysteme
auch für den Einsatz in Vakuum und Tieftemperatur.



PI

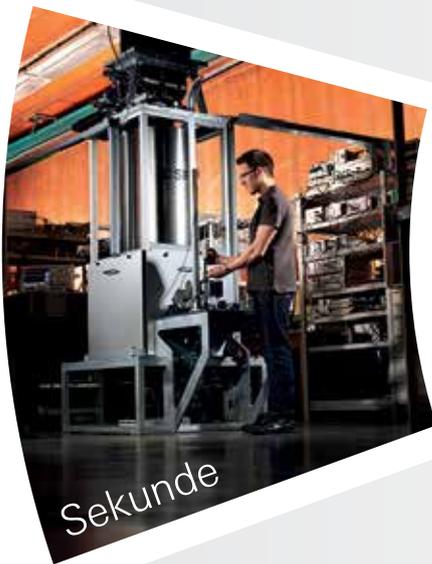
MOTION CONTROL
www.pi.ws

Das neue Internationale Einheitensystem (SI)



Das neue Internationale Einheitensystem (SI)

Das Bezugssystem, in dem wir „die Welt vermessen“, liegt fest. Wir teilen etwa die Zeit in Sekunden, die Länge in Meter und die Masse in Kilogramm. Das Internationale Einheitensystem (SI) wird von nahezu 100 Staaten mitgetragen und ist damit eine globale Erfolgsgeschichte. Jetzt erhält das SI eine grundlegende Auffrischung, sodass es allen wissenschaftlichen und technischen Herausforderungen des 21. Jahrhunderts gelassen entgegensehen kann. Naturkonstanten wie die Lichtgeschwindigkeit oder die Ladung des Elektrons werden den Einheiten die bestmögliche Definitionsgrundlage liefern.



Problems heißt: Man nehme kein Artefakt, um die Einheit zu definieren, sondern eine Naturkonstante. Diesen Wandel, hin zu maßgebenden (!) Naturkonstanten, haben die übrigen Einheiten noch vor sich. Aber der Fahrplan für diesen Wandel steht fest. Im Herbst des Jahres 2018 wird – so die (sehr wahrscheinliche) Prognose – eine Weltkonferenz in Paris den Umbau des Einheitensystems mit Brief und Siegel verabschieden.

Die Experimente

Heute hat man Einheiten und bestimmt in diesem Einheitensystem die Werte der Naturkonstanten. So haben wir definiert, was ein Kilogramm sein soll, und messen in dieser Einheit etwa die Masse eines Protons, eines Elektrons oder anderer elementarer Teilchen. Dies führt zu dem bemerkenswerten Umstand, dass sich die Werte der Naturkonstanten permanent ändern, weil sich in diesen Werten unsere Messmöglichkeiten widerspiegeln. Es gibt sogar eine Experten-Gruppe, nämlich die „CODATA Task Group on Fundamental Constants“ in den USA, deren Aufgabe es ist, die in den Physikalischen Laboratorien aus aller Welt ermittelten Werte von Naturkonstanten zu bewerten und unter einen Hut zu bringen. Alle vier Jahre bekommt so beispielsweise die Ladung des Elektrons einen neuen Zahlenwert – obwohl sich die Ladung real natürlich nicht geändert hat. Geändert haben sich lediglich unsere Messkunst und damit unser Wissen über die Welt.

Die Idee

Die Sekunde und der Meter haben schon seit Langem einen Zustand erreicht, den die anderen Einheiten noch anpeilen: Sie beziehen sich auf unveränderliche Eigenschaften der physikalischen Welt. So beruht die Sekunde auf einer definierten Zahl von Schwingungen in der Elektronenhülle des Cäsiumatoms und der Meter macht sich zunutze, dass die konstante Geschwindigkeit des Lichts ein fundamentales Merkmal der Natur ist. Der entscheidende Vorteil, Naturkonstanten als Definitionsgrundlage zu nehmen, liegt darin begründet, dass sie so sind, wie sie heißen – sie sind konstant. Ist dagegen der Meter als Urmeter verkörpert, etwa in Form eines Platin-Iridium-Stabes von x-förmigem Querschnitt, ist Konstanz prinzipiell unerreichbar. Schon jedes leichte Schwanken der Temperatur ändert den Meter, von irgendwelchen Beschädigungen des Objekts ganz zu schweigen. Änderungen in der Größenordnung von Mikrometern sind, auch bei sorgfältigstem Umgang, für einen Urmeter an der Tagesordnung. Für eine hochtechnisierte Welt, in der längst der Nanometer Einzug gehalten hat, sind solche Änderungen freilich gigantisch und müssen unbedingt vermieden werden. Die Lösung des



Schon Max Planck brachte im Jahr 1900, als er sein Strahlungsgesetz formulierte, „Constanten“ und die Idee „natürlicher Maßeinheiten“ ins Spiel, gültig für „alle Zeiten und für alle, auch ausserirdische und außermenschliche Culturen“.

Foto (aufgenommen ca. 1901): Archiv der Max-Planck-Gesellschaft, Berlin-Dahlem

Probleme mit dem Kilogramm

Das Kilogramm ist in einem ganz wörtlichen Sinne in die Jahre gekommen. Es ist heute immer noch das, was es schon Ende des 19. Jahrhunderts war: die Masse eines ganz gewissen Metallzylinders in einem Tresor im Internationalen Büro für Maß und Gewicht (BIPM) in der Nähe von Paris. Jedes Kilogrammstück auf der Welt bezieht sich auf dieses Ur-Kilogramm. Und nicht nur das: Viele andere Einheiten wie das Mol oder das Ampere sind von ihm abhängig. Hat das Kilogramm ein Problem, haben es die anderen Einheiten automatisch auch. Die Probleme der Kilogramm-Definition stecken in der Verkörperung – denn jedes makroskopische Objekt in dieser Welt verändert sich. So auch das Ur-Kilogramm und seine nationalen Kopien, die die Mitgliedsstaaten der Meterkonvention bekommen haben. Wer also heute behauptet, dass niemand wüsste, wie schwer ein Kilogramm auf das Mikrogramm genau wirklich ist, widerspricht zwar der Definition, kommt jedoch dem Kern des Problems sehr nahe. Dies hat die Metrologen auf den Plan gerufen, um eine Lösung für dieses Problem zu finden.

Zwei prinzipiell unterschiedliche Experimente sind es, die dem Kilogramm ein zukünftig stabiles Dasein verschaffen wollen. Die eine Herangehensweise kompensiert die Schwerkraft auf ein Massestück durch eine elektromagnetische Kraft. Hierbei werden mehrere elektrische Quanteneffekte ausgenutzt, was dazu führt, dass diese Experimente, die sogenannten Wattwaagen-Experimente, einen Wert des Planck'schen Wirkungsquantums h liefern. Wesentliche Protagonisten dieses Experiments arbeiten etwa in Kanada, in den USA oder in England. Ein dazu alternatives Experiment, das von der PTB favorisiert wird, führt eine makroskopische Masse auf die Masse eines Atoms zurück. Der Weg des Zählens einer sehr großen Anzahl von Atomen gelingt dabei nur, wenn sich die Atome in einer hochgeordneten Struktur befinden – in der Struktur eines Einkristalls. Dieses Avogadro-Experiment (das so heißt, weil als direktes Messergebnis die Avogadro-Konstante auftaucht) verwendet eine Kristallkugel aus isotoopenreinem Silizium, das als Ausgangsmaterial in zehntausenden von Zentrifugen angereichert wurde. Der wissenschaftliche Wettstreit zwischen beiden Experimenten muss jedoch schlussendlich auf einer gemeinsamen Ebene landen: Nur wenn die Ergebnisse aus beiden Experimenten untereinander konsistent sind, ist der Weg zu einem neuen Kilogramm offen.

Das Ereignis

Alle vier Jahre kommt die metrologische Welt zu einem „globalen Familientreffen“ zusammen: Die Mitgliedsstaaten und die assoziierten Staaten der Meterkonvention (eines Staatenvertrags, der bis ins Jahr 1875 zurückreicht) entsenden politische und wissenschaftliche Abgeordnete zur Generalkonferenz für Maß und Gewicht (CGPM) in Paris, um die metrologischen Leitplanken für die kommenden Jahre aufzustellen. Alle Änderungen am Internationalen Einheitensystem müssen dabei nicht nur wissenschaftlich fundiert, sie müssen auch wissenschaftspolitisch konsensfähig sein. Denn die Einheiten, in denen wir messen wollen, sind ja nicht nur Elemente eines kleinen



Mit der Revision des Einheitensystems wird der Spieß nun genau umgedreht: So ließe sich im neuen System jede beliebige Geschwindigkeit relativ zur Lichtgeschwindigkeit ausdrücken oder jede elektrische Ladung relativ zur Elementarladung des Elektrons. In diesem Sinne werden die Einheiten im neuen System nicht mehr gesetzt, sie werden vielmehr – anhand der vorgegebenen Naturkonstanten – ausgerechnet. Allerdings hätte man natürlich gerne, dass beispielsweise die Standardkörpertemperatur des gesunden Menschen auch im neuen System bei 37 °C liegt oder dass sich das Körpergewicht nicht daran stört, wie das Kilogramm definiert ist. Aus eben diesem Grund, einem nahtlosen Übergang vom alten ins neue System, versuchen die metrologischen Laboratorien die fraglichen Naturkonstanten ein letztes Mal so gut es irgend geht zu messen. Diese Experimente laufen in einer Art kooperativem Wettbewerb zwischen den nationalen Metrologieinstituten. Und am Ende werden neben der heute schon definierten „Uhrenfrequenz“ im Cäsiumatom und neben der Lichtgeschwindigkeit unter anderem auch noch folgende Konstanten feste Werte bekommen: das Planck'sche Wirkungsquantum h , die Avogadro-Konstante N_A , die Boltzmann-Konstante k_B und die Elementarladung e .



Wissenschaftszirkels, sondern sie sind vielmehr wesentliches Werkzeug jedes Handelns und Wirtschaftens. Jede Änderung im und am Einheitensystem hat sofort Auswirkungen auf die „messende Wirtschaft“ in allen ihren Technologiebereichen und auf jeden Bürger, dessen Alltag immer ein „vermessener Alltag“ ist, ob als Verbraucher, Kunde oder Patient. Daher werden Entscheidungen zum Einheitensystem auf einer Generalkonferenz nicht en passant getroffen, sondern sind von langer Hand vorbereitet. Dies gilt ganz besonders für die bevorstehende Generalkonferenz im November des Jahres 2018, auf deren Agenda die Verabschiedung der grundlegenden Revision des SI steht. Bereits auf mehreren Generalkonferenzen zuvor wurden die Voraussetzungen für und die Forderungen an ein neues SI formuliert und somit auch Zielmarken für die metrologischen Laboratorien aufgestellt. Alle Anzeichen deuten darauf hin, dass die Metrologieinstitute die gesteckten Ziele (vor allem: hinreichend kleine Unsicherheiten bei den Messungen) erreichen. Schließlich in Kraft treten soll das neue SI dann, ganz symbolträchtig, am 20. Mai 2019 – dem Weltmetrologietag, dem Jahrestag der Meterkonvention.

Das neue SI in der Schule

Die Lehrerfrage „Was ist ein Kilogramm?“ ist heute eine leichte Beute für jeden Schüler, der seine Nase nur ein wenig in die Bücher gesteckt hat. Denn für die richtige Antwort folgen lediglich die Begriffe „Ur-Kilogramm“, „sehr alt“ und „Paris“, womit fast schon alles gesagt wäre. Nach der Neudefinition wird dieselbe Lehrerfrage, so ein Lehrer sie überhaupt noch stellen wird, höchstens die Finger der Physik-Cracks in die Höhe schnellen lassen. Aus mehrheitlicher Schülersicht ist das natürlich schade. Aber das neue SI ist nun einmal deutlich abstrakter und intellektuell anspruchsvoller als das jetzige System. Zunächst gilt es für jeden Schüler, die generelle Bedeutung der Naturkonstanten in Ansätzen nachzuvollziehen und ihr Konzept zu hinterfragen: Was sind Naturkonstanten, woher kommen sie, warum sind sie so, wie sie sind? Und dann müssen die ausgewählten Naturkonstanten im Einzelnen verstanden werden, was bei der Lichtgeschwindigkeit sicher noch funktioniert, bei einer Konstante mit der Dimension einer Wirkung (h) aber möglicherweise schon nicht mehr. Die eigentliche Verständnishürde entsteht dadurch, dass die ausgewählten Konstanten nicht eins zu eins die Basiseinheiten abbilden. Das wäre der Fall, bekäme jede Einheit einfach „ihre Konstante“, was allerdings voraussetzt, dass diese Konstante auch die Dimension eben dieser Einheit trägt. Die frühere Definition des Meters über eine Lichtwellenlänge als elementare Länge war beispielsweise eine solche „einfache Zuordnung“. Das neue SI verlangt dagegen eine größere Transferleistung. So werden etwa alle Größen der Mechanik – die aus den Einheiten für Zeit, Länge und Masse gebildet werden – durch die drei Konstanten einer Frequenz, einer Geschwindigkeit und einer Wirkung repräsentiert. Was hier im Wesentlichen geschieht, ist die Darstellung der Welt in einem neuen Koordinatensystem.

Und in dem gilt es, sich zurechtzufinden – eine Herausforderung nicht nur an jeden Schüler, sondern auch an die didaktischen Konzepte jedes Lehrers.

Das neue SI in der Wissenschaft

Das neue Einheitensystem ist ein Meilenstein der Wissenschaftsgeschichte und, in absehbarer Zeit nach der Neudefinition, auch der Technikgeschichte. Zugleich ist es wegen seiner Universalität noch deutlich mehr: Es ist ein Meilenstein in der Kulturgeschichte. Vom Mittelalter bis weit ins 18./19. Jahrhundert hinein waren die Einheiten „fürstlich bestimmt“ und im Wesentlichen regional. Dann kamen die Revolutionäre in Frankreich Ende des 18. Jahrhunderts. Jetzt wurden Füße, Ellen, Meilen, Linien, Klafter und Ruten abgelöst durch ein Maß, das dem Planeten Erde abgemessen wurde – die Welt erlebte die Geburt des Meters und mit ihm des Kilogramms. Mit der Meterkonvention (im Jahr 1875) und allen beitretenden Staaten wurden diese Einheiten global. Heute leben wir auf unserem Planeten in der Wissenschaft vollständig (und im Alltag weitgehend) mit einem einheitlichen Maßsystem. Und im Jahr 2018 erfolgt dann der Schritt über unseren kleinen Planeten hinaus. Der Rückgriff auf Naturkonstanten macht die Einheiten prinzipiell universal. Für die Wissenschaft ist dies allein schon aus systematischen Gründen ein enormer Fortschritt. Die Systematik meint den Anwendungsbereich des SI und zugleich seine innere „Logik“. So entfällt im neuen SI die Unterscheidung zwischen Basiseinheiten und abgeleiteten Einheiten. Vielmehr sind alle Einheiten dann aus Naturkonstanten „abgeleitet“ und in diesem Sinne gleichwertig.



NA



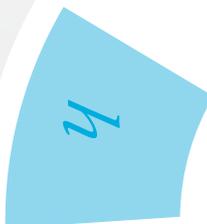
e

Das neue SI in der Technik

Für die Wissenschaft tritt der Fortschritt sofort ein, sobald die Neudefinitionen verabschiedet sind. Für die Technik zeigen sich die Fortschritte als Langzeitwirkung. Ein Clou am neuen Einheitensystem ist, dass in ihm keinerlei technische Barrieren mehr eingebaut sind. Schwankt etwa im jetzigen System die Masse des Ur-Kilogramms in einer gewissen Größenordnung, so ist die beste erreichbare Genauigkeit einer Wägung eben dadurch begrenzt. Im neuen SI dagegen gibt es keine Schwankungen mehr, da die Naturkonstanten ja verbindlich festgelegte Werte bekommen. So wird die Kilogramm-Definition unabhängig von möglichen Massedefekten jedweder Verkörperungen sein. Alle elektrischen Einheiten inklusive des Ampere werden als Quantenrealisierungen (über den Josephson- und den Quanten-Hall-Effekt oder „einfach“ durch Zählen von Elektronen pro Zeit) Teil des Systems. Und nicht zuletzt wird das Mol nun auch definitorisch über eine festgelegte Anzahl von Teilchen (die Avogadro-Konstante) einer spezifizierten Substanz erfasst. Daher gilt im neuen SI: Kann genauer gemessen werden, können auch die Einheiten genauer realisiert werden – ohne Änderung der zugrundeliegenden Definition. In einer hochtechnischen Welt, in der weder die Längenteilungen beim Nanometer auflösen werden noch die Zeiteilungen bei Femtosekunden, ist diese technische Einheit des neuen SI gegenüber allen zukünftigen Genauigkeitsfortschritten ein großer Gewinn. Und diese Einheit gilt auf der gesamten Skala der jeweiligen Einheit, da die Naturkonstanten keinen speziellen Skalenabschnitt hervorheben. Dies steht durchaus im Gegensatz zur jetzigen Situation, in der das Kilogramm den 1-kg-Punkt auf der Masseskala bevorzugt oder der Tripelpunkt des Wassers eben diesen 0,01-°C-Punkt auf der Temperaturskala.

Das neue SI für die Öffentlichkeit

Die gute Nachricht für alle Bürger über das neue SI wird sein, dass niemand umdenken muss. Die Messungen am Tag nach der Verabschiedung der Neudefinitionen werden nicht anders ausfallen als die Messungen am Tag zuvor. Die Änderungen an der Systematik des SI werden im alltäglichen Leben unbemerkt bleiben. Die Waage im Supermarkt und die Zapfsäule an der Tankstelle werden auch nach den Neudefinitionen genauso arbeiten wie vorher. Weder das kleine Blutbild im medizinischen Labor noch das große Koordinatenmessgerät in der Industrie werden neue Werte liefern. Und auch die Stromrechnung wird sich, zumindest deswegen, nicht ändern. Dieser lücken- und reibungslose Übergang stellt eine der wichtigsten Anforderungen bei der Revision des Einheitensystems dar. Schließlich geht es beim SI weniger um ein höchstästhetisches Theoriegebilde (auch wenn sich die Metrologen über die Systematik des neuen Systems freuen) als vielmehr um ein praxistaugliches System, das es gestatten soll, unseren technischen Alltag in einer globalisierten Welt zu managen. Daher lautet die wirklich gute Nachricht für alle Bürger über das neue SI so: „Große globale Einigkeit: Kilogramm, Kelvin und Co. haben einen festen und zukunftsicheren Boden unter die Füße bekommen.“ Und die gute Zusatznachricht für alle exportorientierten Staaten: „Einem regen Handel mit allen Marsianern et al. steht nun nichts mehr im Wege.“



Fotos und Grafiken: Im neuen SI geht es abstrakter zu als im alten. Jede Einheit ergibt sich in diesem System aus einer multiplikativen Verknüpfung von Naturkonstanten. Im Regelfall sind tatsächlich mehrere Konstanten nötig, um eine Einheit darzustellen. So benötigt beispielsweise der Meter zwei Konstanten oder das Kilogramm drei.

DAS NEUE SI

*“für alle Zeiten und für alle,
auch ausserirdische und
außermenschliche Culturen”*

Max Planck

Einheiten und „ihre“ Konstanten

Sieben Naturkonstanten erhalten im neuen SI festgelegte Werte; die Zahlenwerte werden den Ausgleichsrechnungen von CODATA im Sommer 2017 entstammen. (Hier verwendete Werte stammen aus CODATA 2014 – allerdings ohne Unsicherheitsangaben, so wie es für die Zukunft ja auch geplant ist.)

- Frequenz des **Hyperfeinstrukturübergangs** des Grundzustands im ^{133}Cs -Atom
 $\Delta = 9\,192\,631\,770\text{ s}^{-1}$
- **Lichtgeschwindigkeit** im Vakuum
 $c = 299\,792\,458\text{ m s}^{-1}$
- **Planck-Konstante**
 $h = 6,626\,070\,040 \cdot 10^{-34}\text{ J s}$ ($\text{J s} = \text{kg m}^2 \text{s}^{-1}$)
- **Elementarladung**
 $e = 1,602\,176\,620\,8 \cdot 10^{-19}\text{ C}$ ($\text{C} = \text{A s}$)
- **Boltzmann-Konstante**
 $k = 1,380\,648\,52 \cdot 10^{-23}\text{ J K}^{-1}$ ($\text{J K}^{-1} = \text{kg m}^2 \text{s}^{-2} \text{K}^{-1}$)
- **Avogadro-Konstante**
 $N_A = 6,022\,140\,857 \cdot 10^{23}\text{ mol}^{-1}$
- Das **Photometrische Strahlungsäquivalent** K_{CD} einer monochromatischen Strahlung der Frequenz $540 \cdot 10^{12}\text{ Hz}$ ist genau gleich 683 Lumen durch Watt.

Die Einheit der Zeit – Sekunde (s)

$$1\text{ s} = 9\,192\,631\,770/\Delta$$

Sekunde

Meter

Die Einheit der Länge – Meter (m)

$$1\text{ m} = (c/299\,792\,458)\text{ s} = 30,663\,318\dots c/$$

Kilogramm

Die Einheit der Masse – Kilogramm (kg)

$$1 \text{ kg} = (h/6,626\ 070\ 040 \cdot 10^{-34}) \text{ m}^{-2} \text{ s} = 1,475\ 521... \cdot 10^{40} h \Delta / c^2$$

Die Einheit der Stoffmenge – Mol (mol)

Mol

$$1 \text{ mol} = 6,022\ 140\ 857 \cdot 10^{23} / N_A$$

Die Einheit der elektrischen Stromstärke – Ampere (A)

$$1 \text{ A} = e/(1,602\ 176\ 620\ 8 \cdot 10^{-19}) \text{ s}^{-1} = 6,789\ 687... \cdot 10^8 \Delta e$$

Ampere

Kelvin

Die Einheit der Temperatur – Kelvin (K)

$$1 \text{ K} = (1,380\ 648\ 52 \cdot 10^{-23} / k_B) \text{ kg m}^2 \text{ s}^{-2} = 2,266\ 665 \Delta h/k$$

Die Einheit der Lichtstärke – Candela (cd)

$$1 \text{ cd} = (K_{cd}/683) \text{ kg m}^2 \text{ s}^{-3} \text{ sr}^{-1} = 2,614\ 830 \cdot 10^{10} (\Delta)^2 h K_{cd}$$

Candela



Bildquellen, Urheber

- Seite 3: fotolia – Adrian Grosu
Seite 4/5: fotolia – Vjom
Seite 6/7: fotolia – Z oto, Piliponis
Seite 8/9: fotolia – phive2015
Seite 10/11: fotolia – releon8211, edqc, Gstudio Group
Seite 12/13: fotolia – manfredxy, releon8211, redqc
Seite 14/15: fotolia – Pavel Timofeev
Seite 16/17: fotolia – psdesign1
Seite 18/19: fotolia – bruiser, radiorio, pippee29
Seite 20/21: fotolia – Exentia
Seite 22/23: fotolia – Frédéric Prochasson, adimas
Seite 24/25: fotolia – crevis
Seite 26/27: fotolia – salita2010, razvart
Seite 28/29: fotolia – tunedin
Seite 30/31: fotolia – Werner Weber, powell83
Seite 32/33: fotolia – jakkapan, Erica Guilane-Nachez
Seite 34/35: fotolia – kishivan, exclusive-design, Terriana, JackStock
Seite 36/37: fotolia – Paulista, Ra el, JackStock
Seite 38/39: fotolia – surangaw, Lilya, kalchenko, nickolae
Seite 40/41: fotolia – samarets1984, derdy, ilolab, oleg7799
Seite 42/43: fotolia – Tim UR, parallel_dream, wow_subtropica, take
Seite 44/45: fotolia – sdecoret + Created by Freepik
Seite 46/47: fotolia – Kseniya Ragozina
Seite 48/49: fotolia – trodler1, UA_PM, Sergey
Seite 50/51: fotolia – rea_molko, maciek905
Seite 52/53: fotolia – euthymia, Pierell
Seite 54/55: fotolia – Giuseppe Porzani, Popova Olga, pico
Seite 56/57: fotolia – Giuseppe Porzani, pics ve, Vic
Seite 58/59: fotolia – Grigory Bruev, luzitanija
Seite 60/61: fotolia – Spectral-Design, ecco
Seite 62/63: fotolia – Photocreo Bednarek
Seite 64/65: fotolia – zoya
Seite 66/67: fotolia – Simone Polattini
Seite 68/69: fotolia – fotomaster, Giuseppe Porzani, Alexander Potapov, Juulij
Seite 70/71: fotolia – dobrydnev
Seite 72/73: fotolia – Juulij | Fotograf – E. V. Grieve
Seite 74/75: fotolia – balabolka, Hans-Jörg Nisch, FishCoolish
Seite 76/77: fotolia – intueri
Seite 84 / 85: fotolia – dracozlat

Impressum

Die PTB-Mitteilungen sind metrologisches Fachjournal der Physikalisch-Technischen Bundesanstalt, Braunschweig und Berlin. Als Fachjournal veröffentlichen die PTB-Mitteilungen wissenschaftliche Fachaufsätze zu metrologischen Themen aus den Arbeitsgebieten der PTB. Die PTB-Mitteilungen stehen in einer langen Tradition, die bis zu den Anfängen der Physikalisch-Technischen Reichsanstalt (gegründet 1887) zurückreicht.

Verlag

Fachverlag NW in der
Carl Schünemann Verlag GmbH
Zweite Schlachtpforte 7
28195 Bremen
Internet: www.schuenemann.de
E-Mail: info@schuenemann-verlag.de

Herausgeber

Physikalisch-Technische Bundesanstalt (PTB)
ISNI: 0000 0001 2186 1887
Postanschrift:
Postfach 33 45,
38023 Braunschweig
Lieferanschrift:
Bundesallee 100,
38116 Braunschweig

Redaktion/Layout

Presse- und Öffentlichkeitsarbeit, PTB
Sabine Siems
Dr. Dr. Jens Simon (verantwortlich)
Telefon: (05 31) 592-82 02
Telefax: (05 31) 592-30 08
E-Mail: sabine.siems@ptb.de

Leser- und Abonnement-Service

Karin Drewes
Telefon (0421) 369 03-56
Telefax (0421) 369 03-63
E-Mail: drewes@schuenemann-verlag.de

Anzeigenservice

Karin Drewes
Telefon (0421) 369 03-56
Telefax (0421) 369 03-63
E-Mail: drewes@schuenemann-verlag.de

Erscheinungsweise und Bezugspreise

Die PTB-Mitteilungen erscheinen viermal jährlich. Das Jahresabonnement kostet 39,00 Euro, das Einzelheft 12,00 Euro, jeweils zzgl. Versandkosten. Bezug über den Buchhandel oder den Verlag.
Abbestellungen müssen spätestens drei Monate vor Ende eines Kalenderjahres schriftlich beim Verlag erfolgen.

Alle Rechte vorbehalten. Kein Teil dieser Zeitschrift darf ohne schriftliche Genehmigung des Verlages vervielfältigt oder verbreitet werden. Unter dieses Verbot fällt insbesondere die gewerbliche Vervielfältigung per Kopie, die Aufnahme in elektronische Datenbanken und die Vervielfältigung auf CD-ROM und in allen anderen elektronischen Datenträgern.

Printed in Germany ISSN 0030-834X

Die fachlichen Aufsätze aus dieser Ausgabe der PTB-Mitteilungen sind auch online verfügbar unter: **doi: 10.7795/310.20170299**



Bundesministerium
für Wirtschaft
und Energie

Die Physikalisch-Technische Bundesanstalt, das nationale Metrologieinstitut, ist eine wissenschaftlich-technische Bundesoberbehörde im Geschäftsbereich des Bundesministeriums für Wirtschaft und Energie.



Bundesministerium
für Wirtschaft
und Energie

Die Physikalisch-Technische Bundesanstalt, das nationale Metrologieinstitut, ist eine wissenschaftlich-technische Bundesoberbehörde im Geschäftsbereich des Bundesministeriums für Wirtschaft und Energie.



**Physikalisch-Technische Bundesanstalt
Braunschweig und Berlin**
Nationales Metrologieinstitut

Bundesallee 100
38116 Braunschweig

Presse- und Öffentlichkeitsarbeit

Telefon: 0531 592-3006
Fax: 0531 592-3008
E-Mail: presse@ptb.de
www.ptb.de