

## Internationales Einheitensystem und Erfinder

Im internationalen Einheitensystem SI (Systeme-International-d'Unite's) gibt es die Basiseinheiten und die abgeleiteten Einheiten. Die Basiseinheiten sind aus dem MKSA-System (Meter, Kilogramm, Sekunde, Ampere), auch Giorgisystem genannt, entstanden. Früher gab es auch die Bezeichnung CGS-System (cm, g, sec). Mit diesen vier Größen können zum Beispiel die Maxwellgleichungen beschrieben werden. Zusätzlich zu diesen Größen gibt es noch drei weitere Basiseinheiten.

Es gab im Laufe der Geschichte der Elektrotechnik immer wieder bedeutende Erfinder und Denker, die Entwicklungen vorangetrieben haben. Einige bleiben uns mit ihrem Namen in elektrischen Größen in Erinnerung.

### 1.1 Basiseinheiten

Wir unterscheiden sieben Basiseinheiten, deren Definition sich im Laufe der Zeit zum Teil verändert haben.

#### Meter (Länge):

*Das Meter (m) ist die Länge der Strecke, die Licht im Vakuum während der Dauer von  $1/299792458$  Sekunden durchläuft. [ $\pm 2 \cdot 10^{-10}$ ]*

Die Ableitung erfolgt über die Frequenz und die Vakuumlichtgeschwindigkeit.

Von der Antike bis zur ersten Definition des Meters 1790 wurden Körpermaße wie Elle und Fuß zur Längenmessung festgesetzt. Die erste Meterdefinition war  $1/10^7$  mal der Erdmeridianquadrant. Da eine wiederholte Messung für die Länge in der Praxis zu aufwendig gewesen wäre, wurde aus der ersten Längenmessung ein Balken mit X-förmigen Platin-Iridium als das Urmeter 1889 definiert. Von 1960 bis 1983 wurde das Meter über die Wellenlänge einer Kryptonlampe (Gasentladung) bestimmt. [ $\pm 1 \cdot 10^{-8}$ ] Wie beim Laser finden hier feste Quantenenergiesprünge statt. Das Meter war dann das  $1650763,73$  fache der Wellenlänge die ein Krypton-86-Atom aussendet.

$$\lambda = \frac{c}{\nu} \quad c=299792458 \text{ m/s} \quad \nu=\text{Laserfrequenz} \quad (1.1)$$

Es wird das Meter als optische Wellenlänge (vielfach) eines Lasers einer festen Frequenz bestimmbar oder astronomisch. Wellenlängen werden mit Interferometern (interferieren von Licht) gemessen.

#### Kilogramm (Masse):

*Das Kilogramm (kg) ist die Masse des internationalen Kilogrammprototyps. [ $\pm 1 \cdot 10^{-9}$ ]*

Da schon seit der Antike Balkenwaagen bekannt sind, wurden von den jeweiligen Herrschern oder Staatsformen Vergleichsgewichte zur Messung bereitgestellt. Selbst Städte hatten im Mittelalter eigene Gewichtseinheiten. Um 1790 wurde dann die Masse von einem Kubikdezimeter Wasser als die Masseinheit Grave definiert. Daraus wurde das Gramm und erst 1799 bekam das Kilogramm seinen Namen. Die Masse des Kilogramms entspricht der Masse eines Kubikdezimeters ( $1,000\,027\text{dm}^3$ ) Wassers bei  $4^\circ\text{C}$ . Auch die heutige Definition ist eine alte, da eine Rückführung auf Naturkonstanten bisher nicht möglich ist. Alle Massen werden auf das Platin-Iridium-Urkilogramm [90%; 10%] von 1889 zurückgeführt. Der Kilogrammzylinder hat eine Höhe beziehungsweise einen Durchmesser von etwa 39mm. Es wird im Internationalen Büro für Maße und Gewichte in Servres bei Paris bewahrt. Die Rückführung auf andere nationale Normale findet nur alle 10 bis 15 Jahre statt, um das Urnormal zu schonen.

Der Vergleich zweier Massen, im Gegensatz zum Gewicht (kp) ortsunabhängig, geschieht durch Balkenwaagen. Die Meßunsicherheit für den Vergleich zum Urkilogramm beträgt  $3 \cdot 10^{-9}$ ; bei Stahl-oder Messingnormale wegen anderer Dichte zum Urgewicht jedoch nur  $2 \cdot 10^{-8}$ . Zur Zeit wird versucht das Kilogramm auch auf Naturkonstanten rückzuführen. Dazu wird versucht eine Kugel aus Silizium-Einkristall genau mechanisch zu vermessen und so auf die Masse zu schließen. Die Messunsicherheit von  $3 \cdot 10^{-7}$  ist zur Zeit noch zu hoch und eine Lösung ist noch nicht in Sicht.

#### Sekunde (Zeit):

*Die Sekunde (s) ist das 9192631770 fache der Periodendauer der dem Übergang zwischen den beiden Hyperfeinstruktur-niveaus des Grundzustandes von Atomen des Nuklids Cäsium-133 entsprechenden Strahlung. [ $\pm 1 \cdot 10^{-14}$ ]*

Die Messung erfolgt mit einer Atomstrahlresonanzapparatur.

Von Anbeginn der Menschheit war die Zeit durch die Einteilung des Tagesverlaufs vorgegeben. Um 2000 vor Chr. in Mesopotamien war das Zahlensystem mit der Basis 60 in Gebrauch. Deswegen wird der Tag in 24 Stunden zu 60 Minuten zu 60 Sekunden unterteilt. Die erste Definition war die Sekunde als der 86400 Teil des über ein Jahr gemittelten Sonnentags. Da dies zu ungenau ist, galt ab 1956 die Sekunde als Bruchteil des tropischen Jahres. Die Zeit wurde früher mit mechanischen Zeitmessern und ab etwa 1935 mit Quarzuhren dargestellt. Ab 1967 gilt die Cäsiumdefinition, die genaue konstante quantenatomistische Vorgänge benutzt. Der Cs-Resonator regelt mit seiner Genauigkeit einen geheizten Quarzoszillator. Mit der Sekunde ist auch die Weltzeit bestimmt. In der BRD wird die amtliche Uhrzeit amplitudenkodiert über die Trägerfrequenz von 77.5 kHz von der PTB ausgesendet. Die PTB hat mit den Cäsiumfontänen-Uhren schon eine Genauigkeit von  $\pm 1 \cdot 10^{-15}$  erreicht, aber mit optischen Frequenznormalen ist wohl  $\pm 1 \cdot 10^{-17}$  möglich.

#### Ampere (elektrische Stromstärke):

*Das Ampere (A) ist die Stärke eines konstanten elektrischen Stromes, der, durch zwei parallele, geradlinige, unendlich lange im Vakuum im Abstand von einem Meter voneinander angeordnete Leiter von vernachlässigbar kleinem, kreisförmigen Querschnitt fließend, zwischen diesen Leitern je einem Meter Leiterlänge die Kraft von  $2 \cdot 10^{-7}$  Newton hervorrufen würde. [ $\pm 5 \cdot 10^{-7}$ ]*

$$\frac{F}{l} = \frac{\mu_0 \cdot I_1 \cdot I_2}{2 \cdot \pi \cdot d} \Rightarrow \mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} \left[ \frac{N}{A^2} \right] \quad (1.2)$$

Nach Maxwell gilt:  $\mu_0 \cdot \epsilon_0 \cdot c^2 = 1$ ; da durch die Amperedefinition  $\mu_0$  festgelegt wird und  $c$  bekannt ist, ist damit auch der Zahlenwert für  $\epsilon_0$  bestimmt.

Ab 1898 wurde das Silberampere über die Menge der elektrolytischen Ausscheidung von 1,118mg Silber aus einer Sibernitratlösung pro Sekunde definiert. Die heutige direkte Definition ab 1948 wird mit einer Stromwaage nach Ayrton-Jones realisiert. Es werden die elektromagnetischen Kräftewirkungen zweier Spulen gegen eine Masse auf einer Balkenwaage verglichen. Man kann in der Praxis über die Gleichung  $I = U/R$  indirekt über den Widerstand und die Spannung den Strom bestimmen. Über die klassische Widerstandsherleitung (Thompson-Lampard-Kondensator) und die Spannungswaage sind ähnliche Messunsicherheiten erreichbar. Ab 1980 konnte der Widerstand (Quanten-Hall-Effekt) und schon vorher die Spannung (Josephson-Effekt) auf die Frequenz und die Naturkonstanten  $e$  und  $h$  zurückgeführt werden. Die neue Messunsicherheiten liegen je bei  $1 \cdot 10^{-9}$ . Man versucht neuerdings Nano-Ampere unter Ausnutzung des Tunneleffekts in Halbleitern durch einen gezielten

Ladungstransport ( $e$ ) mit einer definierten Frequenzenergie zu erzeugen. Es gilt dann  $I = e \cdot f$  mit einer Unsicherheit  $2 \cdot 10^{-8}$ .

#### Kelvin (Temperatur):

*Das Kelvin (K), die Einheit der thermodynamischen Temperatur, ist der 273.16te Teil der thermodynamischen Temperatur des Tripelpunktes (Darstellung mit  $\pm 0,00006K$ ) des Wassers. [ $\pm 0K$ (Definition)]*

Die ersten Vorläufer der Thermometer wurden um 1650 gebaut. Mit dem ersten brauchbaren Quecksilberthermometer um 1718 wurde von Gabriel Daniel Fahrenheit (1686-1736) dann 1724 eine Temperaturskala mit Unterteilung und zwei Fixpunkten eingeführt. Anders Celsius (1701-1744) schlug andere Fixpunkte mit dem Eispunkt bei  $100^\circ\text{C}$  und dem Siedepunkt bei  $0^\circ\text{C}$  bei Hunderterteilung vor. Carl Linde (1707-1778) drehte die Fixpunkte um, so wie wir heute die Celsiusskala kennen. Durch das Gasthermometer von Guillaume Amontons das sich die Formel  $p \cdot V = R \cdot T$  zu Nutze macht, konnte eine neue thermodynamische Temperaturskala über ein ideales Gas mit dem absoluten Nullpunkt, bei dem  $V=0$  ist, dargestellt werden. Beim Tripelpunkt von Wasser ( $273,16\text{K}=0,01^\circ\text{C}$ ) sind die Phasen fest, flüssig und gasförmig im Gleichgewicht.

$$t [^\circ\text{C}] = T [\text{K}] - 273.15 \quad (1.3)$$

Heute sind zusätzlich in der internationalen Temperaturskala (ITS-90) mehrere Tripelpunkte verschiedener Stoffe für Temperaturen unter  $0^\circ\text{C}$  und Erstarrungspunkte von Metallen über  $100^\circ\text{C}$  definiert.

#### Mol (Stoffmenge):

*Das Mol (mol) ist die Stoffmenge eines Systems, das aus ebensoviel Einzelteilchen besteht, wie Atome in 0.012 Kilogramm des Kohlenstoffnuklids  $^{12}\text{C}$  enthalten sind. Bei der Benutzung des Mol müssen die Einzelteilchen spezifiziert sein... [ $\pm 1 \cdot 10^{-6}$ ]*

Die Definition des Mols geht über die Avogadroconstante  $N_A = 6.0221367 \cdot 10^{23}$  [Teilchen/mol]. Das heißt, dass 12 Gramm Kohlenstoff  $6,022 \cdot 10^{23}$  Einzelteilchen (Atome) enthalten. Das Mol stellt eine Verbindung zwischen der Chemie und den andern Einheiten her. Es wurde erst 1971 als SI-Einheit eingeführt. Um 1811 machten sich Avogadro (1776-1856) und 1858 Cannizzaro Gedanken über Atomgewichte. Der Begriff Mol von Molekulargewicht wurde um 1893 von Wilhelm Ostwald geprägt. Mit der Definition wird eine Verbindung zwischen dem Kilogramm und der Teilchenanzahl in chemischen Elementen hergestellt.

#### Candela (Lichtstärke):

*Die Candela (cd) 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. [ $\pm 5 \cdot 10^{-3}$ ]*

Die Helligkeit wurde erstmals ab 1725 von Bouguer (1698-1758) mit einem Photometer gemessen. Hierbei wurde die Helligkeit eines Prüflings mit einer Referenzlampe verglichen. Die ersten Referenzlampen (Normale) waren Wachskerzen, später kamen Öllampen zum Einsatz. Als ein sehr zuverlässiges Normal wurde ab 1884 die Hefner-Lampe eingesetzt. Es war ein Flammennormal (Amylacetat) das mit einer Unsicherheit von 1,5% bis 1941 in Gebrauch war. Als Gebrauchsnormale wurden gealterte Glühlampen, die mit einer um 10% bis 20% niedrigeren Nennspannung betrieben wurden, verwendet. Ab 1941 wurde der Erstarrungspunkt von geschmolzenem Platin (2041K) als Lichtquelle für die Definition der Lichtstärke verwendet. Seit 1979 gilt nun die oben beschriebene Definition. Bis etwa 1950 wurde

der Helligkeitsvergleich mit dem menschliche Auge durchgeführt. Heute wird ausschließlich mit physikalischen Empfängern gemessen. Ein Grundsätzliches Problem bei der Lichtstärkenmessung ist heutzutage, dass die modernen Lampen ein von den Normalquellen abweichendes Spektrum haben.

## 1.2 Abgeleitete Einheiten

Die gebräuchliche elektrische abgeleiteten Einheiten werden noch kurz aufgezählt.

Watt (Leistung)	$P=U \cdot I$	W
Hertz (Frequenz)	f	Hz=1/s
Coulomb (Ladung)	Q	C=As
Volt (Spannung)	U	V
Ohm (Widerstand)	R	Ohm=V/A
Siemens (Leitwert)	G	S=1/Ohm
Farad (Kapazität)	C	F=C/V
Weber (mag. Fluss)	PHI	Wb=Vs
Tesla (Induktion)	B	T=Wb/m <sup>2</sup>
Gauß (Induktion)	G	1T=10 <sup>4</sup> *G
Henry (Induktivität)	L	H=Vs/A

Info: PTR = Physikalisch Technische Reichsanstalt ; heute PTB = P. T. Bundesanstalt

## 1.3 Erfinder, Denker und Industrielle

Hier sollen kurz die auch für die elektrische Messtechnik bedeutenden Erfinder, Denker und Industrielle beschrieben werden. In manchen Personen, wie zum Beispiel Siemens, vereinigen sich alle drei Eigenschaften. Die Namen tauchen immer parallel zur Entwicklung der Elektrotechnik mit ihren Spezialkenntnissen auf. Die ersten Entdeckungen wurden in der statischen Elektrotechnik gemacht. Danach folgte die Gleichspannung mit der ersten „Batterie“ von Volta. Mit Gleichspannung konnte nun auch ein Strom mit der Messgröße Ampere erzeugt werden. Dazu fand Ohm das passende Widerstandsgesetz. Weiter wurden Beobachtungen mit elektrischen Spulen gemacht und die Gesetze der Induktivität aufgestellt. Bei Bewegungen von Magneten in Spulen, wurde die Idee des Motors und Generators aufgegriffen. Es folgten die Betrachtungen der Wechselspannung und die Möglichkeit diese zu transformieren und sie so für Netzversorgungssysteme zu verwenden. Nachdem die Erzeugung von Wechselspannung zu höheren Frequenzen möglich wurde und weitere Untersuchungen folgten, befaßte sich schließlich Hertz mit der Funkübertragung.

### 1.3.1 Volta

Alessandro Volta wurde am 18.2.1745 in Como geboren und starb am 5.3.1827 in Como. Er wurde Professor der Physik in Como und 1778 Pavia. Zuerst beschäftigte sich Volta mit der statischen Elektrizität und baute verschiedene Geräte wie die Leydensch Flasche, das Elektroskop, das Elektrophor und das Elektrometer. Das Elektrophor (1775) diente ähnlich einem Kondensator der Speicherung elektrischer Energie. Die Ladungen im Elektrophor wurden durch Reibungselektrizität an diesem erzeugt. Durch die Veröffentlichung (1791) des Luigi Aloysius Galvani (1737-1798) kam er im Gegensatz zum Mediziner Galvani zu der Erkenntnis, dass unterschiedliche Metalle eine Spannung erzeugen und damit die „elektrischen“

Muskelkontraktionen der Froschschenkel verursachten. Als stromleitende Flüssigkeit nahm er feuchte in Salzwasser getränkte Papiere zwischen zwei verschiedene Metalle (Silber-Zink) und stapelte diese in Reihe übereinander. So erhielt er eine „Volta-Säule“ an der kontinuierlich eine Spannung anlag und die auch nennenswerte Ströme lieferte. Das war bisher bei der statischen Elektrizität nicht möglich. Die Messgröße Gleichspannung nahm so ihren Anfang. Seine Säule beschrieb er am 20.3.1800 und demonstrierte sie am 21.11.1801 vor Napoleon Bonaparte. Die Einheit für die Spannung ist nach ihm benannt.

### 1.3.2 Ampere

Andere Marie Ampere wurde am 20.1.1775 bei Lyon geboren und starb am 10.6.1836 in Marseille. Der wißbegierige Ampere war hatte nach seinem autodidaktischem Studium mehrere Lehrerstellen in der Provinz und wurde 1824 Professor der Experimentalphysik in Paris. Amperes starkes Forscherinteresse galt der Chemie. Jedoch die Entdeckung des Elektromagnetismus von Hans Christian Örsted führte 1820 bei Ampere zu der Idee eine Stromwaage zu bauen. Diese zeigt die Wechselwirkung zweier stromdurchfließender paralleler Leiter durch das Abstoßen oder Anziehen dieser an. Die Kraftwirkung nannte er elektrodynamisch und erkannte die  $1/r^2$  Abhängigkeit. Die Einheit für den Strom ist nach ihm benannt.

### 1.3.3 Ohm

Georg Simon Ohm wurde am 16.3.1789 in Erlangen geboren und starb am 6.7.1854 in München. Er studierte mit Unterbrechnung in Erlangen Physik, Mathematik und Philosophie und fand nach seiner Doktorprüfung 1811 an einer Bamberger Realschule seine erste Lehrerstelle. Ab 1817 unterrichtete er an einem Gymnasium in Köln, wo er mit der physikalischen Schulausrüstung nebenher experimentieren konnte. Ohm untersuchte den Stromfluß abhängig von der Drahtlänge bei verschiedenen Metallen. Als Quelle nahm er zuerst galvanische Elemente, die aber stromabhängig waren, und später auch stabilere Thermolemente. Diese wurden von Thomas Johann Seebeck 1821 erfunden. Als Anzeige stand ihm eine Kompassnadel zur Verfügung. Da die Möglichkeiten große Ströme zu erzeugen nicht vorhanden waren, mußte Ohm mit sehr empfindlichen Messgeräten (Torsionsgalvanometer) sein Gesetz verifizieren. Seiner Versuchsergebnisse veröffentlichte er im Jahre 1825 und ermöglichten ihm so 1826 einen Studienaufhalt an der Uni in Berlin. Er beschrieb dann 1827 die erweiterten Erkenntnisse im Ohmschen Gesetz. Es gibt an, dass der Stromfluß proportional zur Spannung und umgekehrt proportional zur Längenänderung seiner Drähte ist, heute ist damit der Widerstand gemeint. Nun hatte er die Möglichkeit einer Professur in Nürnberg 1833 und schließlich 1852 an der Universität München. Er erhielt zahlreiche Anerkennungen in In- und Ausland und die Widerstandseinheit wird nach ihm benannt.

### 1.3.4 Hertz

Heinrich Rudolf Hertz wurde am 22.2.1857 in Hamburg geboren und starb am 1.1.1894 in Bonn. Schon vor seinem Studium der Physik in München (1877) und Berlin (1878) war Hertz vielseitig technisch interessiert und aktiv. Nach seiner Promotion 1880 über die Induktion in rotierenden Kugeln ging er als Assistent zu Hermann Ludwig Ferdinand von Helmholtz. Schon dort beschäftigte er sich unter anderem mit elektrischen Schwingungen. Nach einem Abstecher 1883 in Kiel mit seiner Habilitation über Versuche der Glimmentladung, wurde er 1885 Physikprofessor in Karlsruhe. Hier gelang ihm experimentell im November 1886 die

Erzeugung der elektrischen Schwingungen mit einer Dipolantenne. Dazu benutzte er einen Funkeninduktor von Rühmkorff bestehend aus einer Doppelspule (Transformator), einem Kondensator und einem Unterbrecher für die angelegte Gleichspannung, der kurzzeitig einen Funken in einer Funkenstrecke von 7,5mm erzeugen konnte, ähnlich dem Funken in einer KFZ Zündspule. Mit dem Rühmkorff wurde die niedrige geschaltete Gleichspannung in Spannung mit Schaltspitzen von hoher Spannung umgewandelt. An diese Funkenstrecke schloss er als Dipolantenne an jede Seite einen 3 Meter langen Kupferdraht mit einer Messingkugel von 30cm Durchmesser am Ende an. Im Sendeschwingkreis wirkten die Kugeln als Kondensator, der Draht als Spule und der Funken als Energieschalter. Die Frequenz seines Senders lag bei 10 MHz. Als Empfänger diente eine Art Rahmenantenne mit einer sehr kurzen Funkenstrecke. Dort konnte er nur im Dunkeln mit einem Vergrößerungsglas kleinste Funken beobachten. Er fand in weiteren Experimenten Eigenschaften der Wellen wie Brechung und Reflexion und baute verschiedene Funk(en)strecke mit Sender und Empfänger auf. Zudem konnte er zeigen, daß die elektromagnetischen Wellen sich mit Lichtgeschwindigkeit ausbreiten. 1889 wechselte er an die Uni Bonn. Dort beschäftigte er sich mit der Beziehung von Licht und Elektrizität im Raum. Man kann ihn daher als Vater der drahtlosen Telegrafie betrachten, dessen theoretische Grundlagen schon von James Clark Maxwell in seinen Gleichungen für Felder vorhergesagt waren. Die Einheit für die Frequenz ist nach ihm benannt.

### 1.3.5 Tesla

Nicola Tesla wurde am 10.7.1856 in Smiljan geboren und starb am 7.1.1943 in New York. Er studierte an der Technischen Hochschule in Graz und Prag. Zuerst arbeitete er in einer Telefongesellschaft in Budapest und dann bei einer Pariser Elektrizitätsgesellschaft. Dort baute er in eigener Werkstatt nach seinen Ideen um 1882 einen verschleißarmen Wechselstrommotor ohne Kommutator und Bürsten. Er ging 1884 nach Amerika zur Edison-Gesellschaft, dort fand seine Erfindung kein Interesse. Es lag wohl daran, dass Edison ein Freund der Gleichspannung und Tesla ein Verfechter der Wechselspannung war. Daher verkaufte Tesla sein Wechselstromsystem 1885 an Georg Westinghouse, einem Konkurrenten von Edison. Um 1887 machte er sich mit einem Laboratorium selbständig und meldete 41 Patente zu Drehfeldern (Drehstrom) und zur Energieübertragung an. Tesla entwickelte 1889 einen Hochfrequenz-(Tesla-)Transformator, der sehr hohe Hochfrequenzspannungen erzeugte und so für die drahtlose Energieübertragung genutzt werden konnte. Die Einheit der magnetischen Flussdichte ist nach ihm benannt.

### 1.3.6 Faraday

Michael Faraday wurde am 22.9.1791 bei London geboren und starb am 25.8.1867 in Hampton Court. Aus armen Verhältnissen stammend machte er zuerst eine Buchbinderlehre und las mit viel Eifer Physik- und Chemiebücher. Er bekam durch Glück eine Arbeitsstelle beim Chemiker Sir Humphrey Davy (1778-1829) an der Royal Institution. Durch seine Wissbegier und Fleiß wurde er 1813 der chemische Assistent von Davy, der ihm bei seinen Versuchen und Vorlesungen unterstützte. So fand er 1824 bei Ölanalysen das Benzol. Sein Hauptinteresse war jedoch die Elektrizität. Ihm war durch den Physiker Hans Christian Öersted bekannt geworden, dass ein stromdurchflossener Leiter ein Magnetfeld erzeugt. So dachte er logisch, dass auch der Umkehrschluß möglich sein sollte. Ein Magnetfeld von einem Dauermagneten und ein Draht müßte einen Stromfluß/Spannung bewirken. Durch

Experimente mit bewegten Magneten und Spulen entdeckte er am 29.8.1831 die elektromagnetische Induktion, die an einem Leiter eine Spannung induzierte. Auch baute er einen Transformator mit einer Ringeisenspule und zwei getrennten Wicklungen. Bei Spannungsänderungen an einer Spule fanden Ausschläge des Galvanometers an der anderen Spule durch magnetische Induktion durch den Eisenkern statt. Er beschäftigte sich weiterhin bis 1858 noch mit der genaueren Beschreibung der Induktion, der Elektrolyse, der Drehung der Polarisationssebene des Lichtes im Magnetfeld und der elektrischen Abschirmung durch den Faradayschen Käfig. Faraday prägte auch den Begriff des magnetischen und elektrischen Kraftfelds, was damals sehr umstritten war. Die Einheit für die Kapazität (Farad) ist nach ihm benannt.

### 1.3.7 Henry

Joseph Henry wurde am 17.12.1779 in Albany geboren und starb am 13.5.1878 in Washington. Er war Uhrmacher, Mathematikprofessor und Professor der Physik. Sein besonderes Interesse als Physiker galt dem Elektromagnetismus. Bei seinen Europareisen informierte er sich über die Entdeckung des Physikers Hans Christian Öersted, der den Zusammenhang zwischen Elektrizität und Magnetismus erkannt hatte. Zudem hatte in England der Physiker William Sturgeon (1783-1850) 1823 einen kleinen Gleichstrom-Weicheisen-Elektromagneten gebaut. Henry machte sich seine neuen Erkenntnisse zu Nutze, indem er große Spulenmagnete baute, die eine hohe Traglast hatten. Um die Spulendrähte für die vielen Windungen zu isolieren, verwendete er eine Seidenumhüllung. Seine Elektromagnete nutzte er auch um damit 1831 einen Telegraphen zu bauen. Auch beschäftigte er sich um 1830 mit der elektromagnetischen Induktion. 1835 entwickelte er das elektromagnetische Relais. Die Einheit für die Induktivität ist nach ihm benannt.

### 1.3.8 Wheatstone

Sir Charles Wheatstone wurde am 6.2.1802 in Gloucester geboren und starb am 19.10.1875 in Paris. Zuerst fabrizierte er in London Musikinstrumente und wurde 1834 Professor der Physik am King's College. Sein Fachgebiet war eigentlich die Akustik. Zusammen mit William Fothergill Cooke (1806-1879) ließ er 1837 den elektromagnetischen Telegraphen patentieren. Er wurde zuerst von der Eisenbahn benutzt und ersetzte schließlich den Nadeltelegraphen. Er konstruierte auch eine elektromagnetische Uhr und 1843 die Wheatstonesche Brücke, eine Widerstandsmessbrücke, obwohl der eigentliche Erfinder der Brücke Samuel Hunter Christie (1784-1865) war.

### 1.3.9 Coulomb

Charles Augustin de Coulomb wurde am 14.6.1736 in Angouleme geboren und starb am 23.8.1806 in Paris. Er studierte Mathematik und Naturwissenschaften in Paris und wurde dann Offizier beim Bau von Festungsbauten. Er wurde 1782 zum Mitglied der Französischen Akademie benannt, nachdem er ein technisches Navigationsproblem beim Kompass gelöst hatte. Nebenher beschäftigte er sich mit dem Magnetismus und der Mechanik. Er baute einen Ladungsmesser (Coulombmeter) in Form eines Spiegelgalvanometers, mit dem er kleinste Ladungskräfte bestimmen konnte. So konnte er auf Grund seiner Messungen im Jahr 1785 das „Coulombsche Gesetz“, was die Kraftwirkung zwischen zwei Ladungen im Verhältnis zu deren Abstand beschreibt, aufstellen. Zudem fand er heraus, dass beim Magnetismus die

Wirkung der Pole ähnlich denen der in Elektrostatik ist. Die Einheit für die Ladung ist nach ihm benannt.

### 1.3.10 Siemens

Werner Siemens wurde am 13.12.1816 bei Hannover geboren und starb am 6.12.1892 in Berlin. In seiner Zeit am Lübecker Gymnasium zeigte er großes Interesse an Mathematik und Physik. Er ging dann zum Militär um dort eine Ausbildung an der Artillerie- und Ingenieurschule in Berlin zu erhalten, mit dem Abschluß als Artillerieoffizier (1838). Nebenher betrieb er wissenschaftlich-technische Studien und erlangte 1842 ein ertragreiches Patent für die Galvanisierung. Im Jahr 1846 verbesserte er den Wheastonschen Zeigertelegraph, den er vom Militär kannte, mit einem Wagnerschen Hammer eine Erfindung von Philipp Wagner (1799-1879) aus dem Jahr 1837. Er sah die Zukunft der elektrischen Nachrichtenübertragung voraus und gründete mit dem Mechaniker Georg Halske 1847 eine Firma, die Keimzelle von Siemens. Viele elektrotechnische Erfindung gehen auf ihn zurück. Bedeutend sind die Dynamomaschine (Motor/Generator) 1866 mit Selbsterregung ohne Dauermagnet, die erste elektrische Lokomotive 1879 und 1849 ein verbesserter Morsetelegraph. Schon 1883 machte sich Siemens Gedanken zur Gründung eines Nationalen Instituts für präzise Messtechnik und exakte Naturforschung. Als Anreiz verschenkte er eine große Geldsumme und ein Grundstück in Berlin Charlottenburg auf dem dann die Gebäude der Physikalisch-Technischen Reichsanstalt (1887) gebaut wurden. Auch heute ist der Nachfolger PTB in Braunschweig und Berlin für die Rückführung elektrischer und anderer Messgrößen verantwortlich.

Gauß und Weber hatten in Göttingen das CGS-System für absolute Einheiten geschaffen, was aber mehr theoretisch war (C=Zentimeter, G=Gramm, S=Sekunde). Da sich Metalldrähte abhängig von ihrer Beschaffenheit unterscheiden und deswegen für eine absolute Einheit des elektrischen Widerstands nicht geeignet sind, schlug Siemens 1860 ein Quecksilbernormal vor. Die internationale Einheit Ohm (1/Siemens[ab 1935]) war bis 1881 eine Quecksilbersäule von einem Quadratmillimeter Querschnitt bei 1,0628 Meter Länge und 0°C. Der Vorschlag des Widerstandnormals von Siemens von 1 Meter Länge wurde wegen des spezifischen Widerstands von dann 0,941 für das Ohm nicht angenommen. Es paßte nicht optimal in das CGS-System von Strom und Spannung. Die Einheit für den Leitwert ist nach ihm benannt.

### 1.3.11 Weber

Wilhelm Eduard Weber wurde am 24.10.1804 in Wittenberg geboren und starb am 23.6.1891 in Göttingen. Er studierte Naturwissenschaften in Halle und wurde 1831 Professor der Physik in Göttingen. Zusammen mit seinem Freund Gauß erforschte er den Magnetismus und zusammen bauten sie 1833 den elektromagnetischen Telegrafen. Auf Grund von politischen Äußerungen wurde er 1837 entlassen und erst 1843 wieder als Professor an der Uni Leipzig angestellt. In seiner Wartezeit befaßte er sich weiter mit dem Magnetismus und baute um 1846 das Elektrodynamometer, mit dem er elektrische Ströme sehr präzise messen konnte. Um 1849 wurde er wieder zurück nach Göttingen berufen. Hier versuchte er absolute elektrische Maßeinheiten einzuführen. Dazu nutze er das Magnetfeld der Erde und deren elektromotorische Kräfte auf Spulen, die von Strom durchflossen sind. Er baute mehrere sehr präzise Messgeräte (Bifilargalvanometer, rotierender Erdinduktor, kompensiertes Magnetometer, Dynamometer) um eine hohe Genauigkeit für seine elektrischen Messungen zu erhalten. Die Einheit für den magnetischen Fluß ist nach ihm benannt.



### 1.3.12 Seebeck

Thomas Johann Seebeck wurde am 9.4.1770 in Reval geboren und starb am 10.12.1831 in Berlin. Er entdeckte zufällig mit Hilfe einer bewegten Kompaßnadel an einem Stromkreis aus zwei Metallen 1822 die Thermoelektrizität. Die Umkehrwirkung wurde von Peltier beschrieben. Der Thermoelektrische Effekt wird noch heute bei der Temperaturmessung mit Thermoelementen genutzt. Zugleich kann er eine unerwünschte Störspannung bei Präzisionsspannungsmessungen hervorrufen.

### 1.3.13 Peltier

Jean-Charles-Athanase Peltier wurde am 22.2.1785 in Ham (Somme) geboren und starb am 27.10.1845 in Paris. Bis 1815 war er Uhrmacher in Paris und entdeckte 1834 den Peltiereffekt, die thermoelektrische Wärmewirkung zwischen zwei verschweißten Metallen bei Stromfluß. Bei den heute üblichen Peltierelementen kann durch Betrieb mit Gleichspannung eine Kühl- oder Wärmeerzeugung erreicht werden.

### 1.3.14 Franklin

Benjamin Franklin wurde am 17.1.1706 in Boston geboren und starb am 17.4.1790 in Philadelphia. Durch Fleiß und Sparsamkeit, da er aus armen Verhältnissen stammte, konnte er sich nach großen wirtschaftlichen Erfolgen von seinem Buchdruckereigeschäft und der Verlegerstätigkeit mit einem großen Vermögen um 1748 zurückziehen und so seinen Interessen nachgehen. Außer der Beschäftigung mit den elektrischen Ladungen war er noch Philosoph und Staatsmann (ab 1751). Er gilt mit seinen berühmten Drachenversuchen bei Gewitter (1752), als der Erfinder des Blitzableiters und die Entdeckung der elektrischen Ladung (Elektron) im Jahr 1747 geht auch auf ihn zurück. Die Bezeichnung Batterie für die Reihenschaltung von Leidener Flaschen (Spannungsquelle), soll von ihm sein.

### 1.3.15 Oersted

Hans Christian Oersted wurde am 14.8.1777 in Rudkøbing (Dänemark) geboren und starb 1851. Der Vater war Apotheker und der Sohn zeigte starkes Interesse an der Chemie. Da er in Kopenhagen dies nicht studieren konnte, wählte er Pharmazie. 1806 wurde er dort Professor und baute den Physik- und Chemiebereich aus. Sein vielseitiges Interesse brachte ihn zu Studienaufenthalten in Europa. Seine starke Neigung zur experimentellen Physik und der Nachbau der Voltasäule brachten ihn 1820 zur Entdeckung des Elektromagnetismus. Mit einem stromdurchflossenen Draht und einer magnetisierten Kompaßnadel führte er verschiedene Experimente durch. Er erkannte, dass die Ablenkung der Nadel von der Stromrichtung und der Lage zum Leiter abhängig war. Auch die Kraftwirkung eines Magneten auf eine stromdurchflossene Leiterschleife wurde von ihm untersucht. Schon ein paar Monate später beschrieben die Physiker Jean-Baptiste Biot (1774 bis 1820) und Felix Savart (1791 bis 1841) den mathematisch genauen Zusammenhang.

### 1.3.16 Gauss

Karl Friedrich Gauss wurde am 30.4.1777 in Braunschweig geboren und starb am 23.2.1855 in Göttingen. Der mathematisch begabte Schüler ging 1795 zum Studium an die Uni in

Göttingen. Er promovierte 1799 über Algebra und wird 1807 Direktor der Göttinger Sternwarte und erhält den Lehrstuhl für Astronomie. Die Lehrtätigkeit ist ihm eine Last und so beginnt er sich nach intensiver Erkenntnissarbeit in der Mathematik um 1828 verstärkt mit der Physik zu beschäftigen. Zuerst beschäftigte er sich mit dem Erdmagnetfeld und dessen meßbare Wirkung auf eine Magnetnadel. In der Zusammenarbeit ab 1831 mit Wilhelm Weber entwickelt er 1833 den ersten elektromagnetischen Telegraphen (Nadeltelegraph). Um 1838 baute er das zweipolige Magnetometer zur Messung magnetischer Wirkungen. Nach ihm wurde die Einheit für den magnetischen Fluß mit Gauß bezeichnet.

### **1.3.17 Schweigger**

Johann Salomon Christoph Schweigger wurde am 8.4.1779 in Erlangen geboren und starb am 6.9.1867 in Halle. Er war ab 1817 Professor der Physik und Chemie in Erlangen und 1819 in Halle. Durch eine Mehrzahl von stromdurchflossenden Windungen vergrößerte Schweigger die elektromagnetische Kraft, um so ein empfindliches Galvanometer zu bauen (1821 und 1854). Die Drähte seines „Multiplikators“ isolierte er erstmals mit Seide und Wachs. Nur bis 1834 veröffentlichte er regelmäßig physikalische Abhandlungen und wurde schließlich 1854 von Hermann Knoblauch abgelöst.

### **1.3.18 Poggendorf**

Johann Christian Poggendorf wurde am 29.12.1796 in Hamburg geboren und starb am 24.1.1877 in Berlin. Er war zunächst Apotheker, später Chemiker und Experimentalphysiker und ab 1834 Professor an der Uni Berlin. Von ihm wurden auch die berühmten „Poggendorfschen Annalen“ herausgegeben. Er befaßte sich mit dem Magnetismus und verbesserte 1821 das Nadelgalvanometer und erfand 1827 die Spiegelablesung. Das von ihm 1841 erstmals angewendete Kompensationsmethode für elektrische Kalibrierzwecke wurde nach ihm als Poggendorffsches Kompensationsverfahren benannt.

### **1.3.19 Kirchhoff**

Gustav Robert Kirchhoff wurde am 12.3.1824 in Königsberg geboren und starb am 17.10.1887 in Berlin. Er studiert in Königsberg ab 1842 Physik und habilitiert 1848 in Berlin. Schon 1850 wird er Professor für Physik in Breslau und befreundet sich mit dem Chemiker Robert Bunsen. Er folgt diesem dann 1854 als Professor an die Universität nach Heidelberg. Beide entdecken hier die Spektralanalyse die auch für die Bestimmung der Elemente in Sonnen von Bedeutung ist. Ab 1875 geht er dann als Professor nach Berlin. In der Elektrizitätslehre sind ab 1845, aus seiner ersten Publikation, die Gesetze der Stromverzweigung (Maschen [U]- und Knoten-Regel [I]) als die Kirchhoffschen Sätze bekannt.

### **1.3.20 Thomson / Kelvin**

William Thomson (Lord Kelvin ab 1892) wurde am 26.6.1824 in Belfast als Sohn eines Mathematikprofessors geboren und starb am 17.12.1907 in Netherhall. Er studierte in Glasgow Physik und bekam auch dort 1846 eine Professur angeboten. Er beschäftigte sich mit der Wärmeleitung, der Thermodynamik und der Elektrotechnik. Hier war er besonders mit dem Verlegen von langen Unterwasserkabeln bis nach Amerika beschäftigt. Die Anfänge der Leitungstheorie von pulsformigen Signalen der Telegraphie auf langen Leitungen wurden von

ihm ab 1854 behandelt. Auch konstruierte er mehrere Geräte um den Empfang der sehr schwachen Signale besser zu empfangen. 1858 wurde das erste transatlantische Kabel in Betrieb genommen, aber es versagte wegen zu hoher Sendespannung mit Isolationsüberschlägen schnell den Dienst. Erst 1866 wurde ein neues Kabel verlegt und dieses arbeitete mit nun richtiger Handhabung sehr gut. Mit der von ihm gebauten Kelvinsche Stromwaage konnte der Zusammenhang zwischen mechanischer Kraft und Stromstärke sehr gut bestimmt werden. Das absolute Elektrometer und das Quadrantelektrometer von 1860 geht auf ihn zurück. Die Temperatureinheit Kelvin und die von ihm gebaute Kelvin-Messbrücke (Thomson-Messbrücke) für niederohmige Widerstände wurde nach ihm benannt.

### 1.3.21 Maxwell

James Clerk Maxwell wurde am 13.6.1831 in Edinburgh geboren und starb am 5.11.1879 in Cambridge. Er studierte in Cambridge Mathematik mit Abschluss 1854 als zweitbesten Student. Schon 1856 erhielt er eine Professur in Aberdeen, dann ab 1860 am King's College in London und 1871 kam er zurück nach Cambridge und richtete dort das 1874 eröffnete Cavendish-Laboratorium für Experimentalphysik ein. Bekannt ist er für seine Maxwell'schen Differentialgleichungen, welche die Zusammenhänge der elektrischen und magnetischen Wechselfelder theoretisch noch vor den Versuchen von Hertz beschrieben. Durch die Experimente und Ergebnisse von Faraday mit Feldern kam Maxwell auf die Idee diese mit mathematische Formeln 1855 und 1860 zu beschreiben. Faraday war auf Grund seiner mathematischen Schwäche nicht in der Lage dies selbst zu tun. Sein ausführliches Gesamtwerk über die Gleichungssysteme wurde 1873 veröffentlicht.

### 1.3.22 Bell

Alexander Graham Bell wurde am 3.3.1847 in Edinborough geboren und starb am 2.8.1922 in Baddeck/Neu-Schottland. Er wurde 1873 Professor für Stimmphysiologie an der Rednerschule der Universität Boston. Aus eigenem Forscherinteresse, beim Unterrichten von Gehörlosen, beschäftigte er sich mit der Idee, Töne in elektrische Signale zu wandeln. Erste Versuche machte er mit Elektromagneten und Stimmgabeln in unmittelbarer Nähe sowohl auf der Geber- als auch auf der Empfängerseite. Er nahm 1875 Kontakt zu Josef Henry auf, der ihn ermutigte weiter zu forschen. Die Stimmgabeln ersetzte er durch Stahllamellen und durch einen Zufall entdeckte er mit seinem Assistenten Watson am 2.6.1875, daß Töne von einem Ende der Leitung am anderen Ende in den Lamellen zu hören waren. Dann am 10.3.1876 konnten mit einer besseren Konstruktion ohne Lamellen Worte deutlich übertragen werden. Da sein Sender noch Schwierigkeiten machte, ersetzte er ihn später durch ein Kohlemikrofon, ein Patent von Edison. Er zog sich 1880 finanziell gesichert in Privatleben zurück. Auch ersetzte er die Metallfolien des Phonographen durch Hartwachsplatten, die bald das Metall verdrängten. Bekannt ist die nach ihm benannte Einheit Dezibel = 1/10 Bell.

### 1.3.23 Edison

Thomas Alva Edison wurde in Milan (Ohio) am 11.2.1847 geboren und starb am 18.10.1931 in West Orange. Er war ein intelligenter Junge, der keine Möglichkeit hatte eine akademische Laufbahn einzuschlagen. Da er aber sehr praktisch veranlagt war und sich durch Lesen in Mechanik, Elektrizitätslehre und Chemie weiterbildete, waren so die Grundvoraussetzungen für seine Erfinderkarriere gelegt. Um seinem Hobby dem Experimentieren im eigene Labor

nachgehen zu können, arbeitet er als Journalist und dann als Telegraphist. Seine erste Erfindung mit Patent 1868 war ein elektrischer Stimmzähler und dann 1871 ein Börsenfern-schreiber für den er eine hohe Summe erhielt. So konnte er sich mit einer eigenen Werkstatt für Telegraphenapparate selbständig machen. Das berühmte Labor Menlo Park in New Jersey errichtet er 1876. Das Kohlemikrophon baute er 1876, den Phonographen 1877, die Glühlampe ab 1879 in Fabrikproduktion und 1883 eine komplette Lichtversorgung mit Leitungen, Lampen und einem Kraftwerk (Pearl Street Station) im Ort Sunbury (Pensilvania) auf. Ab 1889 befaßte er sich auch mit bewegten Bildern (Film) und 1907 entwickelte er den Universalmotor für Gleich- und Wechselstrom. Edison war nach heutigem Maß kein genialer Wissenschaftler sondern ein Ingenieur-Erfinder, der die Möglichkeiten der Zeit nutzte und vermarkten konnte. Nach ihm wurde der Edison Effekt bezeichnet. Bei diesem glühelektrischen Effekt handelt es sich um die Emission freier Elektronen aus einem erhitzten Draht. Dieser Effekt wurde später bei Elektronenröhren zwischen der Kathode (heiß) und der positiven Anode genutzt. Zwei Besonderheiten sollen noch erwähnt werden: Das heute übliche Lampengewinde zum Einschrauben der „normlen“ Glühbirne heißt Edisongewinde und wurde dem Schraubverschluss eines Petroleumkanisters nachempfunden. Der 35mm (1,5inch) Kinofilm mit Perforation war ein aus Kostengründen geteilter preiswerter 70mm Fotofilm von George Eastmann (Kodak), der für die Boxkamera hergestellt wurde.

### 1.3.24 Watt

James Watt wurde am 19.1.1736 in Greenock geboren und starb am 5.8.1819 in Birmingham. Er machte zuerst eine Mechanikerlehre und gründete danach eine eigene Werkstatt zur Bearbeitung mechanischer Instrumente. Bei einer Reparatur eines Modells einer Art Dampfmaschine, die nicht optimal konstruiert war, kam er auf die Idee sich mit Dampfmaschinen zu beschäftigen und sie zu verbessern. Er baute ein Modell seiner verbesserten Version einer Dampfmaschine und meldete sie am 5.2.1768 als Patent an. Watt arbeitete als Feldmesser um seinen Lebensunterhalt zu verdienen. Nachdem er um 1775 die Bekanntschaft mit dem Industriellen Matthew Boulton gemacht hatte, konnten Dampfmaschinen nach seinem Patent gebaut und verkauft werden. Nach Ablauf des Patents zog sich Watt mit bescheidenem Vermögen zurück. Nach ihm wird die Einheit für die (elektrische) Leistung in Watt angegeben.

### 1.3.25 Wien

Max Carl Werner Wien wurde am 25.12.1866 in Königsberg geboren und starb am 24.2.1938 in Jena. Er studierte Physik in Königsberg, Freiburg und Berlin. Von 1892 bis 1895 war er Assistent bei Röntgen, von 1898 bis 1904 Dozent an der TH Aachen und dann Professor für Physik in Darmstadt. Zuletzt von 1911 bis 1935 war er an der Uni Jena tätig. Er befaßte sich mit der Akustik, der Wechselstrommesstechnik und HF-Schwingungserzeugung. Er baute ein Nullinstrument um im schmalen Frequenzbereich Wechselstrommessbrücken einzustellen. Es wird als „Optisches Telephon“ bezeichnet und besteht aus einer schwingenden Membran mit optischer Anzeige. Zudem konstruierte er eine Frequenzmessbrücke. Im Hochfrequenzbereich beobachtete er die Stromverdrängung und entdeckte 1906, daß Löschfunken zur Erzeugung von HF-Schwingungen genutzt werden können. Dies nutzte Telefunken dann für seine Sender aus. Im ersten Weltkrieg war er mit dem Funkwesen beschäftigt. Später entdeckte er, daß die elektrische Leitfähigkeit von Elektrolyten von der Feldstärke abhängig ist (Wien-Effekt).

Nach ihm ist die Wien-Brücke zur Messung von Kapazitäten oder Induktivitäten und der Wien-Robinson-Oszillator benannt.

### 1.3.26 Schering

Harald Ernst Malmstein Schering wurde am 25.11.1880 in Göttingen geboren und starb am 10.4.1959 in Hannover. Er studierte Physik in Göttingen trat 1904 in die PTR ein und arbeitete im Laboratorium für Wechselstrom-Messtechnik. 1919 wurde er zum Professor bei der PTR ernannt. Zuletzt war er Leiter des Hochspannungslabors was er 1927 verließ und als Professor an die Uni Hannover ging. Eine Reihe von messtechnischen Entwicklungen für die Hochspannungstechnik wie Nadel-Vibrationsgalvanometer und Meßkondensatoren gehen auf ihn zurück. Auch war er mit dem Bau der Scheringbrücke im Jahr 1919 zur Messung von Kapazitäten und Verlustwinkeln bei Hochspannung beschäftigt. Zudem beschäftigte er sich auch mit Messbrücken zur Bestimmung des komplexen Widerstandes bis zu einer Frequenz von 60 MHz.

### 1.3.27 Reis

Philipp Reis wurde am 7.1.1834 in Gelnhausen geboren und starb am 14.1.1874 in Friedrichsdorf. Er war ein sehr guter Schüler und trotz anfänglicher familiärer Schwierigkeiten durch den frühen Tod der Eltern, wurde er Lehrer. Er unterrichtete Mathematik, Physik und wurde Mitglied des Frankfurter Physikalischen Vereins. Um 1862 beschäftigte er sich als erster mit einem Sender-Empfänger zur Sprachübertragung. Diese System ermöglichte jedoch keine gut verständliche Tonübertragung. Erst durch Graham Bell wurde das Telefon für den praktischen Einsatz verbessert.

### 1.3.28 Lichtenberg

Georg Christoph Lichtenberg wurde am 1.7.1742 in Ober-Ramstadt geboren und starb am 24.2.1799 in Göttingen. Er studierte von 1763 bis 1767 Mathematik, Physik und Astronomie in Göttingen. Zuerst wurde er dort 1769 Professor für Mathematik und ab 1775 auch der Physik. Der Universalgelehrter betrieb intensive Forschungen auf dem Gebiet der Astronomie und experimentellen Physik. Er errichtete 1780 an seinem Gartenhaus den ersten Blitzableiter in Göttingen. Berühmt war er für seine Freiluftvorlesungen auch für Bürger der Stadt. Dort ließ er einen Drahtpapierdrachen steigen, um die Luftpoletrizität zu sammeln und sie dann mit seinem Elektroskop zur Anzeige zu bringen. Je nach Wetterlage konnte er mit der Luftpoletrizität (Ladungen) auch Menschen einen „Schlag“ versetzen. Nach ihm wurden die Lichtenberg-Figuren (1777), Staubfiguren auf einer Isolierplatte auf Grund von elektrischen Ladungen, benannt. Als Indikatoren kann man zum Beispiel Bärlappsporen verwenden. Nach diesem Prinzip mit Ladungsbildern und Toner als „Indikator“ funktioniert heute der Laserdrucker. Die Benennung von positiven und negativen Ladungen sind auf ihn zurückzuführen.

### 1.3.29 Ayrton

William Edward Ayrton wurde am 14.9.1847 in London geboren und starb dort auch am 8.11.1908. Er studierte am University College in London. Ab 1873 war er Professor für Physik in Tokyo und 1884 Professor für Elektrotechnik in South Kensington. Ayrton

beschäftigte sich auf vielen Gebieten, so auch mit der Konstruktion von Galvanometer und induktionsarmen Widerständen. So gibt es von ihm eine zusammen mit J.V. Jones gebaute Stromwage die aus zwei vertikalen zylindrischen gleichen beweglichen Spulen besteht. Umgeben sind sie von festen Spulen und so wirken bei Stromfluss die magnetischen Kräfte auf die beweglichen Spulen.

### **1.3.30 Bellati**

Manfredo Bellati wurde am 27.2.1848 in Feltre geboren und starb dort auch am 22.10.1932. Er studierte in Padua und wurde dort 1879 Professor für technische Physik. Er beschäftigte sich intensiv mit dem Seebeck- und Peltier-Effekt. Von ihm wurde ein Elektrodynamometer zur Messung von kleinen Wechselströmen konstruiert, was sich an das Nobili-Galvanometer anlehnt. Das Gerät wurde dann auch kommerziell hergestellt.

### **1.3.31 Deprez**

Marcel Deprez wurde am 19.12.1843 in Aillant-sur-Milleron geboren und starb am 16.10.1918 in Vincennes. Er lernte an einer höheren Bergbauschule und war danach dort auch tätig. Professor für Elektrotechnik wurde er 1886 auf Grund seiner vorherigen Tätigkeiten und Forschungen. Um 1881 entwickelte er mit d'Arsonval ein Drehspulengalvanometer. Hierbei hängt eine Stromspule drehbar zwischen den Polen eines Dauermagneten. Von äußeren magnetischen Störungen ist die Konstruktion unabhängig. Zusammen mit Miller baute er zur Internationalen Elektrizitätsausstellung im Glaspalast in München 1882 eine Gleichstromübertragung von 57 km Länge mit etwa 2KV Spannung auf. Die Fernübertragung vom Miesbacher Kohlebergwerk zeigte trotz nur kurzer Betriebsdauer, daß Stromerzeugung und Verbraucher durch Versorgungsnetze zu verbinden sind.

### **1.3.32 Dießenhorst**

Hermann Dießenhorst wurde am 1.12.1870 in Peine geboren und starb am 22.2.1961 in Braunschweig. Er studierte an der TH Berlin und arbeitete ab 1894 bei der PTR. 1910 wurde er Professor der Physik an der TH Braunschweig. Bekannt wurde er durch ein ballistisches Galvanometer mit kleiner Schwingzeit bei einer hohen Empfindlichkeit.

### **1.3.33 Dolivo-Dobrowolsky**

Michael Ossipowitsch von Dolivo-Dobrowolsky wurde am 2.1.1862 bei St. Petersburg geboren und starb am 15.11.1919 in Darmstadt. Er begann sein Studium 1878 in Riga und setzte es 1883 in Darmstadt fort. Nach dem erfolgreichem Studium um 1887 ging er zu AEG um sich mit den neuen Wechselstrommotoren zu beschäftigen. In Europa erhielt Dolivo-Dobrowolsky 1889 mit einem lauffähigen Drehstrom-Asynchronmotor Käfigläufer ein Patent. Später befaßte er sich mit dem Bau von Messgeräten und stellte 1890 ein Weicheisenmesswerk mit Spitzenlagerung vor. Es konnte sowohl Gleichstrom als auch Wechselstrom messen und kann als Vorfahr der Dreheiseninstrumente bezeichnet werden.

### 1.3.34 Dorn

Ernst Friedrich Dorn wurde am 27.7.1848 in Guttstatt geboren und starb am 6.12.1916 in Halle. Er studierte erst in Königsberg, ging dann als Dozent nach Greifswald um 1881 als Professor an die TH Darmstadt zu gehen. Seine letzte Station war 1886 der Ruf nach Halle. Von 1910 an war er Kuratoriumsmitglied der PTR und beschäftigte sich dort mit der absoluten Widerstandsbestimmung. Er fertigte 1893 ein Gutachten an, was die verschiedenen Methoden der Widerstandsbestimmung mit ihren Normalen beleuchtete. Dieses wurde dann 1898 die Grundlage für die Festlegung der Widerstandseinheit (Quecksilbersäule).

### 1.3.35 Einthoven

Willem Einthoven wurde am 21.5.1860 in Semarang geboren und starb am 28.9.1927 in Leiden. Er studierte Medizin und wurde 1885 Professor für Physiologie an der Uni Leiden. Bei seinen Messungen von Herzströmen, brauchte er ein genaues und empfindliches Anzeigergerät, was er selber konstruieren mußte. So baute er 1901 das Saiten-Galvanometer, eine Art Spulengalvanometer. Dabei ist ein dünner Faden in einem starken Magnetfeld gespannt. Dessen Auslenkungen, die rasch erfolgen können, werden mit einem Mikroskop betrachtet.

### 1.3.36 Giorgi

Giovanni Giorgi wurde am 27.11.1871 in Lucca geboren und starb am 19.8.1950 in Castiglione. Er studierte in Rom Naturwissenschaften und ging dann für zehn Jahre in die Industrie. Danach war er Dozent, Ordinarius für Physik und ab 1934 Professor für Nachrichtentechnik an der Uni Rom. Interessant ist sein Vorschlag für die Erweiterung des MKS - Systems um eine elektrische Größe auf dem elektrotechnischen Kongress in Rom. Man konnte sich jedoch zu diesem Zeitpunkt nicht darauf einigen, welche elektrische Größe ( $I/U/R$ ) zu nehmen sei.

### 1.3.37 Halske

Johann Georg Halske wurde am 30.7.1841 in Hamburg geboren und starb am 18.3.1890 in Berlin. Er lernte Präzisionsmechaniker und gründete 1844 mit Franz Böttcher eine Werkstatt für elektrische Instrumente. Am 1.10.1847 wurde dann mit Siemens die Firma „Telegraphenbauanstalt von Siemens&Halske“ gegründet. Außer Geräten für die Telegraphie wurden auch elektrische Messgeräte gebaut. 1867 schied Halske als Leiter der Werkstatt aus der Firma aus.

### 1.3.38 Hummel

Georg Hummel wurde am 1.12.1856 in Moosburg geboren und starb am 12.3.1902 in München. Er studierte an der TH München und befaßte sich dann bei der Firma Schuckert mit der elektrischen Messtechnik. Er verbesserte die Messgeräte für Gleich- und Wechselstrom und verringerte bei Dreheiseninstrumenten die bewegliche Masse.

### 1.3.39 Gossen

Paul Gossen wurde am 13.12.1872 in Stargard geboren und starb am 30.6.1942 in Nürnberg. Er studierte nach einer Feinmechanikerlehre an der TH Berlin. Ab 1903 war er bei

verschieden Firmen tätig bis er dann 1919 eine eigene Firma zu Herstellung von Messgeräten gründete. Bekannt wurde er auch durch Belichtungsmesser für Fotografen.

#### **1.3.40 Hartmann**

Wilhelm Eugen Hartmann wurde am 26.5.1853 in Nürtingen geboren und starb am 18.10.1915 in München. Nach der Realschule machte Hartmann eine Mechanikerlehre. In Göttingen nahm er an Vorlesungen teil und wurde bei Wilhelm Weber Assistent. 1879 gründete er zusammen mit Braun die Messgerätefirma „Hartmann&Braun. 1901 wurde ihm der Professorentitel verliehen. So sind in manchen älteren Messlabors bis heute die H&B Manganin-Normalwiderstände in Gebrauch. Die Firma gibt es in Teilen bei ABB.

#### **1.3.41 Keithley**

Josef F. Keithley wurde am 3.8.1915 in Peoria geboren und starb am 1.10.1999 in Cleveland. Er studierte bis 1938 am MIT und ging dann zu den Bell Telephone Laboratories. Ab 1940 war er Ingenieur bei der Marine und 1946 gründete er seine eigene Firma Keithley Instruments in Cleveland. 1950 brachte er ein empfindliches DC-Voltmeter (Electrometer) mit sehr hochohmigem Eingang auf den Markt. Bis heute ist Keithley führend bei dem Bau von empfindlichen Messinstrumenten für kleinste Spannungen (nV), Ströme (pA) und hochohmige Widerstände (TOhm). In der Firmenbroschüre „Low Level Measurements“ werden die technischen Hintergründe und Messprobleme ausführlich beschrieben.

#### **1.3.42 Kohlrausch**

Friedrich Wilhelm Georg Kohlrausch wurde am 14.10.1840 in Rinteln geboren und starb am 7.1.1910 in Marburg. Er studierte Physik in Erlangen und Göttingen. Danach wurde er ab 1870 Professor an der ETH Zürich, in Darmstadt, Würzburg und Straßburg. Von 1895 bis 1905 war er Präsident der PTR, was seinem Interesse an der exakten Messtechnik entgegen kam. So befaßte er sich unter anderem mit der Bestimmung der absoluten Werte für Stromstärke und Widerstand. Mit seinem Bruder Wilhelm (1855-1936) bestimmte er um 1890, daß ein Strom von 1A in einer Sekunde aus einer Lösung von Silbernitrat 1,1183mg Silber ausscheidet. Diese Definition diente ab 1898 gerundet mit 1,1180mg als gesetzliche Einheit für die Stromstärke. Bekannt ist er bis in jüngster Zeit durch sein Buch „Leitfaden der praktischen Physik“ ab 1880, daß zuletzt 1996 unter dem Titel „Praktische Physik“ in 24. Auflage erschien. Ein Schwerpunkt ist hierbei die Mess- und Labortechnik, was sich durch die Autorenschaft begründet, die zum großen Teil von der PTB stammt.

#### **1.3.43 Lorenz**

Ludvig Valentin Lorenz wurde am 18.1.1829 in Helsingör geboren und starb am 9.6.1891 in Frederiksberg. Er studierte zuerst auf Lehramt und später noch Physik und Mathematik. Von 1866 bis 1887 arbeitete er als Physiklehrer und wurde 1866 Mitglied der Dänischen Akademie der Wissenschaften. Daher vertrat er um 1883 Dänemark bei der internationalen Konferenz zur Festlegung der elektrischen Einheiten. Für seine Leitfähigkeitsmessungen an Metallen ( $Y=k \cdot T$ ), benötigte er sehr genaue Messverfahren und so bestimmte er 1873 die Länge einer Quecksilbersäule mit 1mm<sup>2</sup> Querschnitt und 1 Ohm Widerstand bei 0°C zu 107,1 cm (später 106,19cm). Bei der Konferenz wurde schließlich eine Länge von 106,3cm für ein



internationales Ohm festgelegt. Auch erkannte er um 1886 die Bedeutung einer Induktivitätserhöhung von Telefonkabeln zur Dämpfungsverringerung. Sein Vorschlag hierzu kam erst um 1902 mit dem Krarup-Kabel zur Ausführung. Nach ihm wurde mit  $k$  die „Lorenz'sche Zahl benannt.

#### 1.3.44 Nobili

Leopoldo Nobili wurde am 7.7.1784 in Lucca geboren und starb am 17.8.1835 in Florenz. Er studierte an der Artillerieschule in Modena und wurde Lehrstuhlinhaber für Physik in Florenz. Bekannt wurde er durch den Bau eines astatischen Galvanometers um 1825. Nach den Ideen von Schweiger und Ampere konstruierte er ein Messinstrument, daß durch geschickten Aufbau von Spulen und Magnetnadeln den Einfluß des Erdmagnetfeldes ausschaltete. Diese Strommesser sind sehr empfindlich und daher nicht für größere Ströme geeignet.

#### 1.3.45 Hewlett-Packard

William Redington (Bill) Hewlett wurde am 20.5.1913 in Ann Arbor geboren und starb am 12.1.2001 in Palo Alto. Er studierte bis 1939 am MIT und in Stanford Elektrotechnik. Im zweiten Weltkrieg war er ab 1941 Nachrichtenspezialist. David (Dave) Packard wurde 7.9.1912 in Pueblo geboren und starb am 26.3.1996 in Stanford. Er studierte an der Uni in Stanford Elektrotechnik wo er seinen Freund William kennenlernte. Mit einem Kapital von 538\$ gründeten sie am 1.1.1939 die elektrotechnische Firma „Hewlett-Packard“ in einer Garage in Palo Alto (USA). Schon zu Anfang befaßten sie mit dem Bau von Messgeräten. Acht Audiooszillatoren (RC mit 2Röhren) die sie zu Beginn an Walt Disney für eine Film verkauften, wurden ihr erster Erfolg. Nach der Armeezeit 1945 konnten beide wieder in ihrer Firma aktiv werden. Schon 1947 war HP eine Aktiengesellschaft in der Hewlett bis 1987 und Packard bis 1993 in verschiedenen Funktionen tätig waren. HP verband sich immer wieder mit anderen Firmen, so zum Beispiel 1963 mit der japanischen Firma Yokogawa, von der die vierpoligen Normal-Luft-Kondensatoren des Typs 16380 stammen. Da HP ab 1966 auch stark in den Computerbereich einstieg, schufen sie 1975 den HP-IB-Interfacebus für die Steuerung der Messinstrumente, der sogar Industriestandard wurde. Bekannt wurde der erste Vergleich der Frequenz 1964 (Flying Clock) mit einem transportablem HP-5061 Cäsiumfrequenznormal von einem Labor in den USA mit einem in der Schweiz. Obwohl sich HP eigentlich aus der Messtechnik entwickelt hatte, wurde der weltweit bekannte Name für den Drucker und Heimcomputerbereich behalten und die unbekanntere Messtechnik zuerst Agilent und dann mit Keysight bezeichnet.

#### 1.3.46 Fluke

John Maurice Fluke wurde am 14.12.1911 in Tacoma geboren und starb am 11.2.1984. Er interessierte sich schon früh für Elektrotechnik und beendete sein Studium an der Uni von Washington und beim MIT 1936. Während des Krieges war er bei der Marine, arbeitete danach zwei Jahre als Angestellter und gründete 1948 seine eigene Firma „John Fluke Company“ in Springdale. Er baute von Anfang an Messgeräte im NF-Bereich wie Ohmmeter, Voltmeter und Amperemeter. 1955 kam das erste DC Differentialvoltmeter auf den Markt. Fluke verkaufte auch Messgeräte an HP. Die Firma suchte sich eine Nische im stark umkämpften Gerätemarkt und spezialisierte sich schon früh auf sehr genaue Messgeräte und Kalibratoren für DC/AC/U/I. Die Messgeräte Firmen Datron/Wavetek wurden von Fluke um 2000

übernommen. Besonders die englische Firma Datron war mit ihren AC/DC-Kalibratoren ein große Konkurrent zu Fluke. Die Firma Fluke ist heute auf dem Gebiet der Kalibratoren und Referenzspannungen führend. 1993 kaufte Fluke den Messgerätebereich von Philips und 1998 wurde Fluke selbst verkauft. In der Firmenbroschüre „Calibration - Philosophy in Practice“ werden technischen Hintergründe und Messprobleme ausführlich beschrieben.

### **1.3.47 Rohde&Schwarz**

Lothar Rohde wurde am 4.10.1906 in Leverkusen geboren und starb am 25.7.1985 in München. Er studierte an der Uni Jena Physik. Hermann Schwarz wurde am 29.3.1908 in Nördlingen geboren und starb am 10.11.1995 in München. Er studierte in Heidelberg, München und Jena Physik und Mathematik. Beide promovierten 1931 in Jena bei Professor Esau (1884 - 1955) einem Pionier für UKW. Als Studienfreunde bauten sie dann 1932 einen Präzisionsfrequenzmesser bis 50MHz. Da sie mit diesem Gerät Erfolg hatten, gründeten sie unter ihren beiden Namen am 11.11.1933 in München ein Entwicklungslabor. Über ihre gebauten Geräte und Messungen schrieben sie Fachaufsätze und kamen durch diese Werbung schon 1934 an einen Exportauftrag. Zur Leipziger Frühjahrsmesse 1934 präsentierten sie ihre Geräte und im gleichen Jahr wurde der erste 1kW-Kurzwellensender und eine tragbare Quarzuhr gebaut. Die Firma bekam immer mehr Aufträge und hatte 1939 schon 100 Mitarbeiter. Nach dem Krieg hielt man sich mit Reparatur und Wartungsarbeiten für das US-Militär über Wasser. Durch den Aufbau des UKW-Rundfunks (1949) und UHF-Fernsehfunks hatte die Firma große Aufträge, auch im Ausland erhalten. So stand dem Wachstum dieser innovativen Firma mit mittlerweile weltweiten Niederlassungen nichts im Wege. In der letzte Zeit hat die Firma durch den Mobilfunkmarkt mit ihren Sendern und Antennen wieder neue Kunden erreicht. Die Firma Rohde&Schwarz hatte sich schon damals auf den Bereich der Hochfrequenz spezialisiert und ist bis heute auf diesem Gebiet mit etwa 4000 Mitarbeitern in Europa führend. Außer Sendern, Empfängern und Antennen hat die Firma ein großes Angebot an hochwertigen Messgeräten für die HF-Technik.