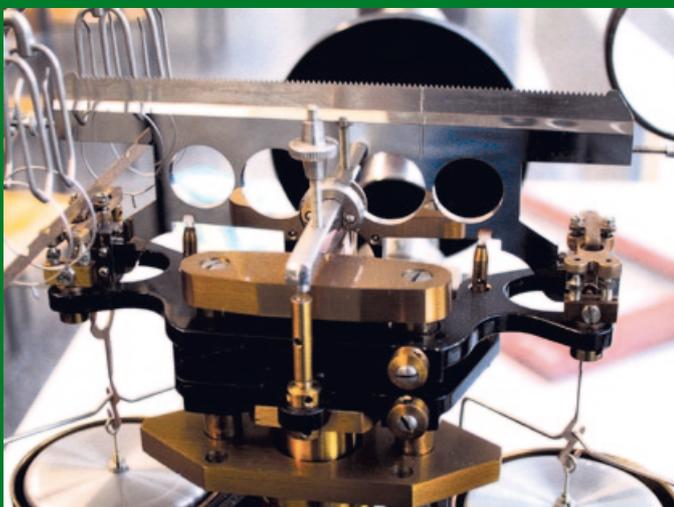
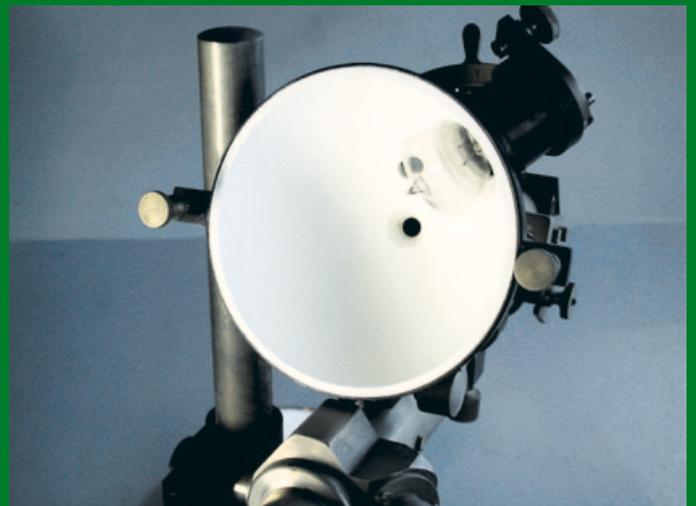


Friedrich Balck

# HISTORISCHE GERÄTE DER EXPERIMENTELLEN PHYSIK



Friedrich Balck

# HISTORISCHE GERÄTE DER EXPERIMENTELLEN PHYSIK

Zur Sammlung historischer Geräte des Institutes für Physik und Physikalische Technologien gehören feinmechanische Instrumente aus den Bereichen Mechanik, Elektrizitätslehre und Optik. Die Geräte zeigen anschaulich, wie die Physiker in den letzten 150 Jahren Geräte gebaut und verwendet haben. Zu jener Zeit, als es noch keine Elektronik gab, gehörte die hohe Kunst der Feinmechanik zu den wichtigsten Voraussetzungen für exakte Experimente.

Blank geputzte Messingteile lassen noch heute erahnen, welchen Wert die Geräte für die damaligen Experimentatoren gehabt haben müssen. Doch auch in unserer Zeit sind sie wertvoll, sofern wir die Geräte nicht in dunklen Schränken aufbewahren, sondern ansprechend präsentieren.

Während heute elektronische Vielfachmeßgeräte für Spannung, Strom und Widerstand bereits für unter 20 DM erhältlich sind, kostete das Torsionsgalvanometer von Siemens & Halske aus dem Jahr 1883 noch 283 Goldmark. Die alten Geräte haben aber einen entscheidenden Vorteil: Sie lassen sich in der Regel auch ohne Bedienungsanleitung verwenden, weil ihre Wirkungsweise einfachen Grundla-

gen der Physik gehorcht, beispielsweise durch Umsetzung der Meßgröße in eine Kraft und deren Darstellung über eine Feder mit Zeiger.

Viele der heutigen Geräte sind als *black box* konstruiert und verwenden komplizierte Zusammenhänge zwischen der eigentlichen physikalischen Meßgröße und dem Signal aus einem elektronischen Sensor. Durch den Einsatz von Mikroprozessoren und der Möglichkeit zu aufwendigen mathematischen Umrechnungsverfahren erscheinen die modernen Geräte sehr einfach, obwohl sie im Inneren sehr komplex sind.

Die hier vorliegende Bildersammlung soll einen kleinen Einblick in die Funktion der Instrumente geben. Für ein weitergehendes Studium sei auf die Lehrbücher aus dem 19. Jahrhundert in der Universitätsbibliothek verwiesen. Zum Beispiel:

- ▶ Wilhelm Weber: *Zur Galvanometrie*. 1862. Thema: Erdinduktor.
- ▶ Friedrich Kohlrausch: *Leitfaden der Praktischen Physik*. 1884. Thema: Erdinduktor, Zurückwerfungsmethode, optische Spektrometer.

Länge · Winkel · Gewicht · Dichte · Zeit



Abb. 1: Dickenmesser mit Mikrometer für Platten und Bleche, 0–30 mm, Auflösung  $\frac{1}{1000}$  mm. Die Probe liegt auf einem Waagearm mit Libelle, der für konstanten Andruck durch die Tastspitze sorgt. F. W. Breithaupt & Sohn, Cassel.

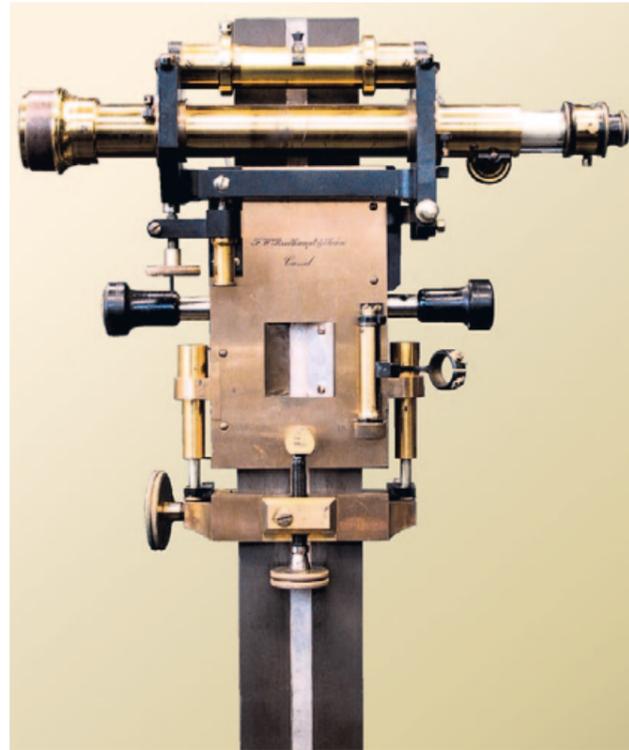


Abb. 3: Präzisionskathetometer, Nivellierfernrohr. Fernrohr und Libelle können umgeschlagen werden. F. W. Breithaupt & Sohn, Cassel.

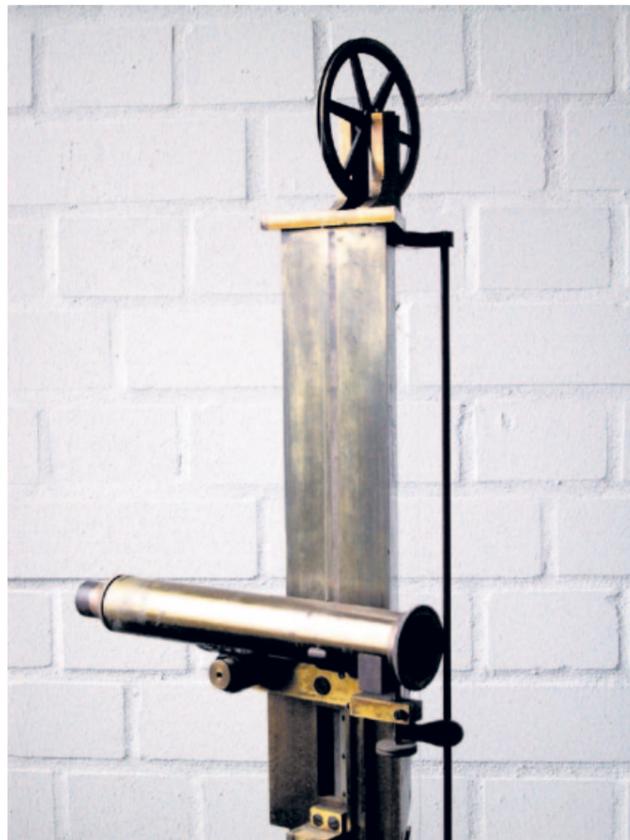


Abb. 4: Winkelmesser, Anlegegoniometer mit Vollkreis, 1880.

Links Abb. 2: Kathetometer, Fernrohr mit Feintrieb zur Höhenverstellung – dient zum präzisen Ausmessen von Höhendifferenzen. F. H. Kulle in Clausthal.

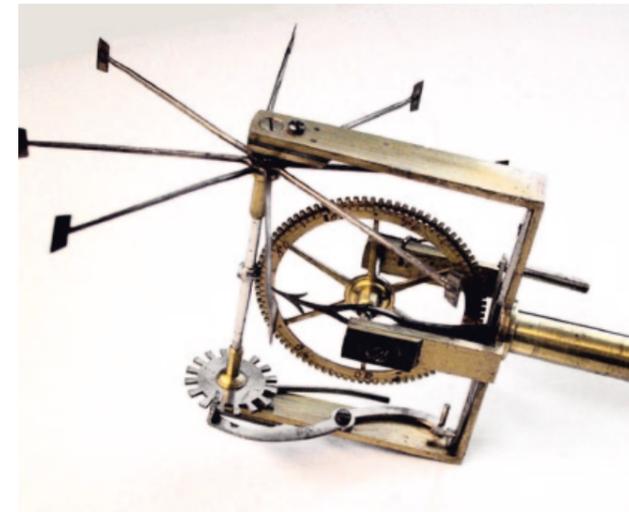


Abb. 5: Hydrometrischer Flügel, Geschwindigkeitsmesser für Flüssigkeiten – Flügelrad mit Untersetzungsgetriebe, Start- und Stopphebel. 1880.

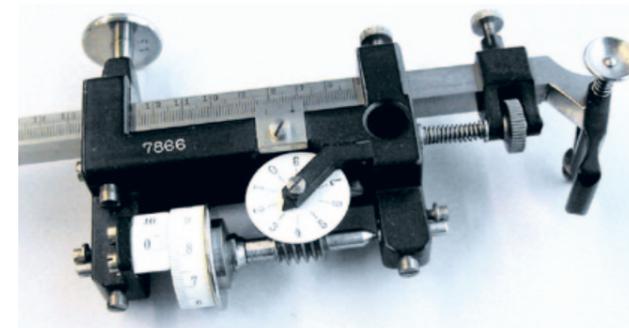


Abb. 6: Planimeter zur Flächenbestimmung. Firma Reiss, Liebenwerden, 1934.

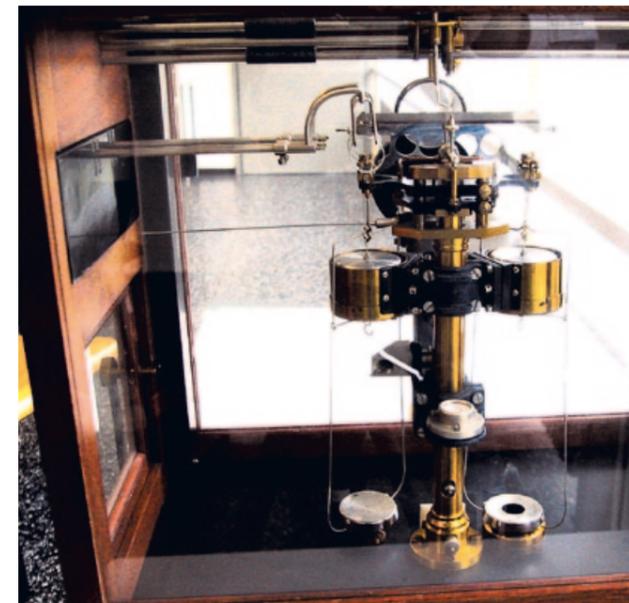


Abb. 8: Analysenwaage – Waagebalken mit Luftdämpfern. Sartorius, Göttingen, 1937.



Abb. 7: Gewichtsatz für Pfund – 1 Pfund Glaskugel und Messinggewichte.

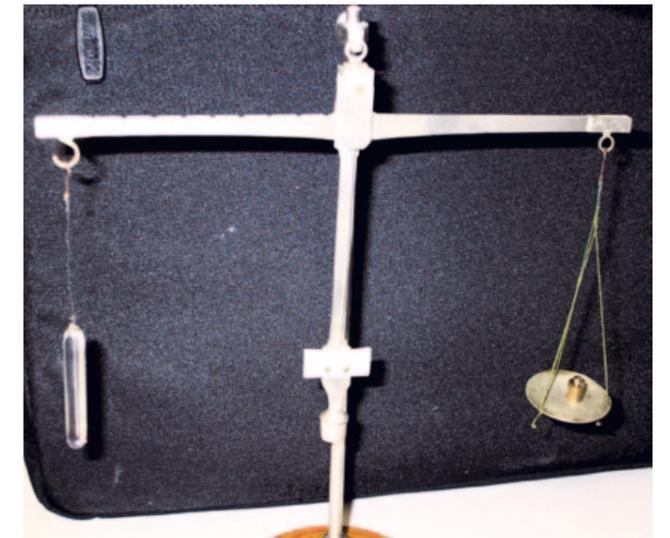


Abb. 9: Mohrsche Waage zur Dichtebestimmung – gläserner Verdrängungskörper und Waagschale. Vor 1870.



Abb. 10: Solwaage im Samtkasten. 1923.



Abb. 11: Aräometer, Senkwaage zur Dichtebestimmung von Flüssigkeiten – Oberteil des Schwimmkörpers mit Skala. Vor 1920.



Abb. 12: Aräometer zur Dichtebestimmung von Flüssigkeiten – Schwimmkörper mit Waagschalen und Zusatzgewichten.

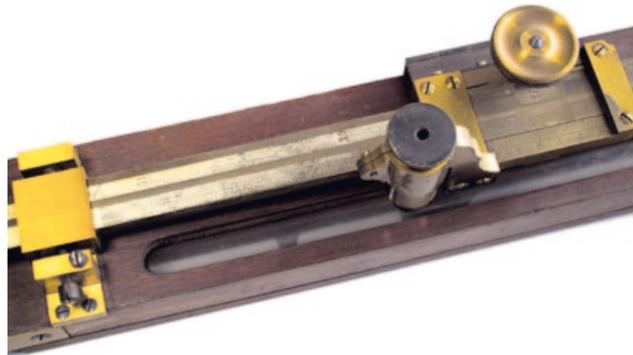


Abb. 13: Quecksilberbarometer – Toricellirohr, Skala mit Ableselupe. F. G. Greiner junior, Berlin, N<sup>o</sup> 120.



Abb. 14: Kreisel zur Untersuchung der Präzession.

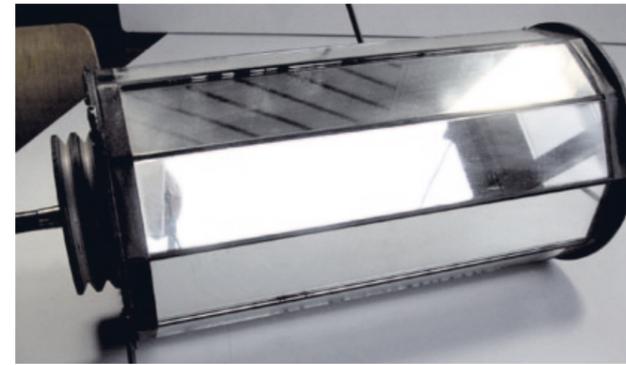


Abb. 17: Drehspeigel – erlaubt die zeitliche Auflösung von Bewegungsvorgängen.

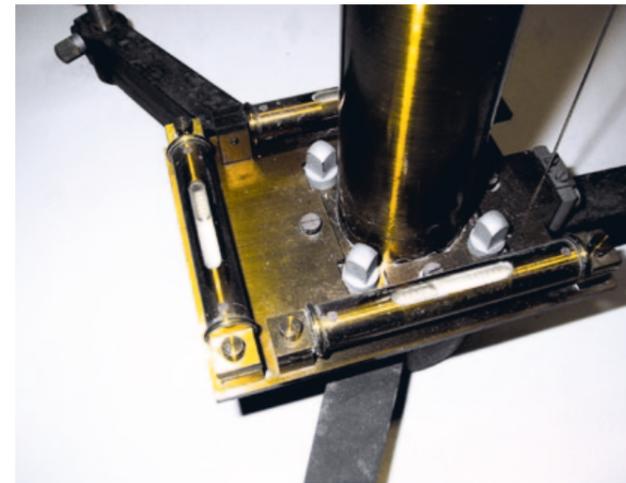


Abb. 18a und 18b: Horizontalpendel, Seismometer. Eine Masse, versehen mit einem Spiegel für einen Lichtzeiger (links), hängt an zwei gespannten Drähten. Bei Erschütterungen am Stativ kann sie sich bewegen. Mit drei empfindlichen Libellen und Justierschrauben läßt sich der Fuß horizontieren.



Abb. 15: Metronom nach Mälzel. 1852.



Abb. 16: Stoppuhr mit elektromechanischer Auslösung, 1/100 Sekunde. Mikrograph, Löbner, Berlin.

## Temperatur



Abb. 19: Ältere Temperaturskala in Réaumur.

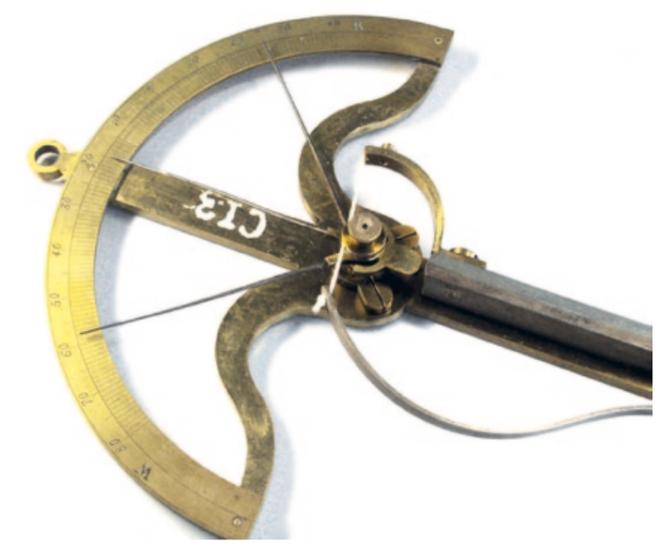


Abb. 20a und 20b: Bimetall-Thermometer mit Schleppzeiger für Minimum und Maximum.

## Magnetfeld und elektrischer Strom



Abb. 21: Taschenkompaß mit zusätzlichem Neigungsmesser. R. Fuess, Steglitz-Berlin, vor 1876.



Abb. 22: Nadelgalvanoskop, 1923. Eine Kompaßnadel ruht drehbar auf einer Spitze in einer Drahtspule aus mehreren Windungen (Multiplikator).

Das Magnetfeld der Erde (N-Markierung auf der Skala) und das eines durch die Spule fließenden Stromes wirken auf die Nadel. Der Zeigerausschlag ist ein Maß für das Verhältnis beider Größen. Die beiden hier sichtbaren Zeiger sind fest mit der Nadel verbunden und stehen senkrecht zu ihr.



Abb. 23: Tangentenbussole. Eine kleine Kompaßnadel ruht drehbar auf einer Spitze in einer Drahtspule aus mehreren Windungen. Zwei dünne Zeigespitzen sind senkrecht zur Nadel an dieser befestigt.

Das Magnetfeld der Erde und das eines durch die Spule fließenden Stromes wirken auf die Nadel. Der Zeigerausschlag ist ein Maß für das Verhältnis beider Größen. F. H. Kulle, Clausthal, 1877.

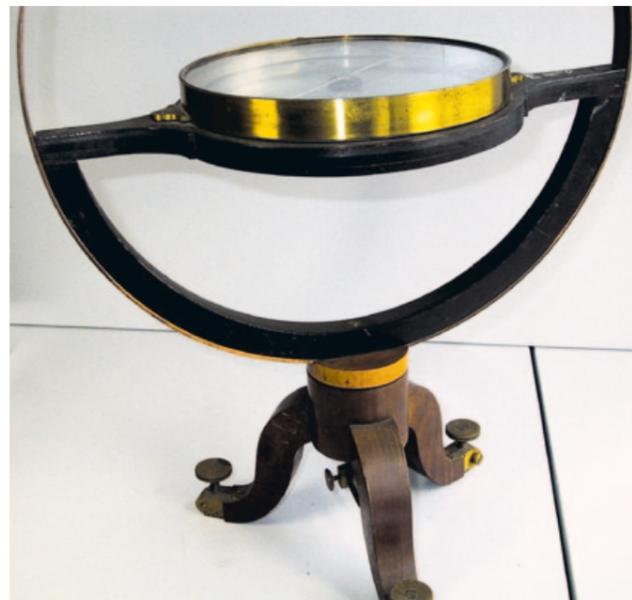


Abb. 24: Tangentenbussole mit einer Windung aus Kupfer. Osterland, Freiberg 1859/60.



Abb. 25: Elektromagnet mit Gewicht. Die Beschriftung auf dem Gewicht »1 kg« und »7 Mark« gibt die Umrechnung zwischen dem alten Gewicht Mark und dem heutigen Kilogramm: 1 Mark = 0,236 kg.



Abb. 26: Galvanischer Unterbrecher (Wagnerscher Hammer). 1876.

Abb. 27: Kleine elektromagnetische Maschine nach Page. Fessel, Köln, 1859, 57 Mark.

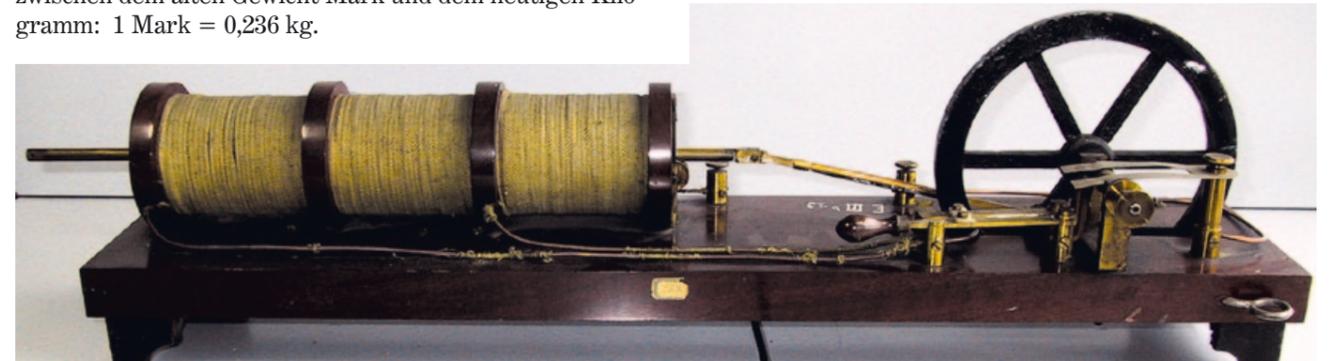


Abb. 28: Elektromagnetische Rotationsmaschine nach Ritchie – Motor mit Quecksilberschleifring. 1886.

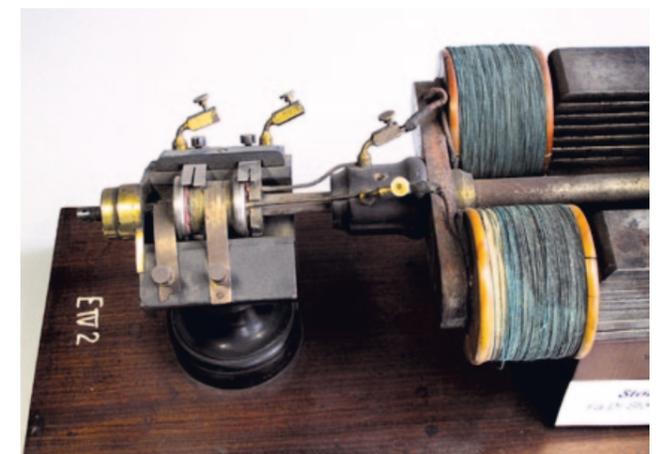


Abb. 29: Induktionsmaschine nach Stöhrer – Generator mit Handkurbel. Dr. Stöhrer, Leipzig.

Spannungsquellen · Normalelemente

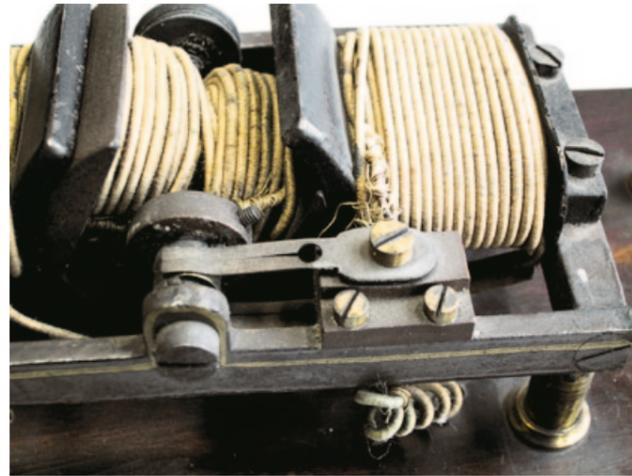


Abb. 30a und 30b: Generator und Motor – Modell einer dynamoelektrischen Maschine. 1884.



Abb. 33a und 33b: Normalelement nach L. Clark. O. Wolff, Berlin, 1895.

Abb. 35: Weston-Normalelement. Hartmann & Braun, Nr. 16564.

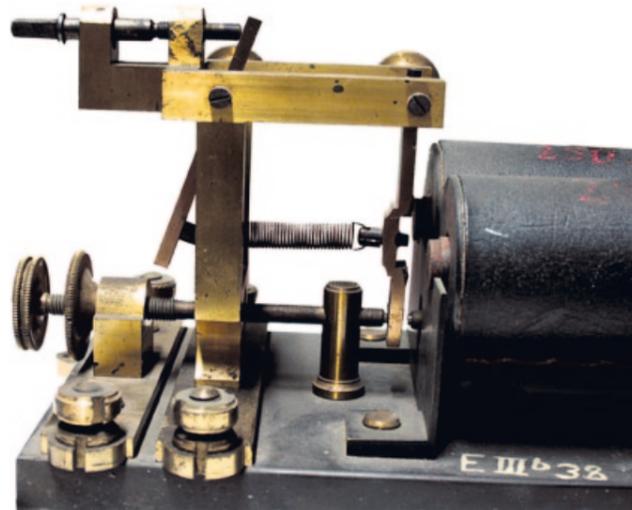
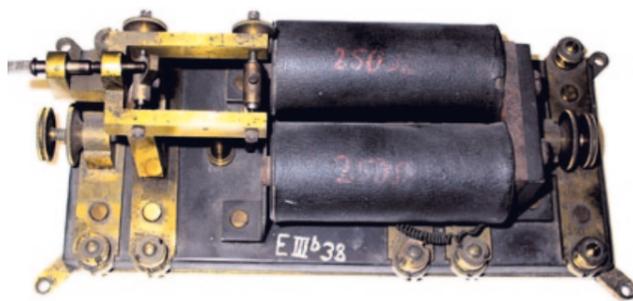


Abb. 31a und 31b: Relais mit liegendem Elektromagnet. Kaiserliche Post, 1888.



Abb. 34: Normalelement.



Abb. 37: Kohle-Zink-Element nach Meidinger. 1864.

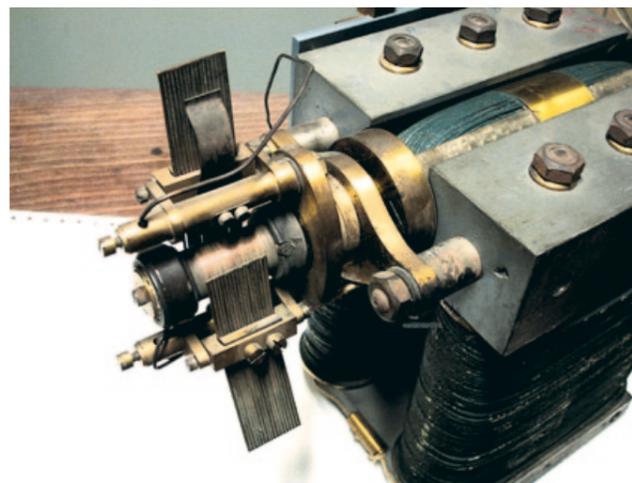


Abb. 32a und 32b: Nachbau der ersten Dynamomaschine von Siemens nach dem dynamoelektrischen Prinzip – Geschenk der Firma Siemens. 1920er Jahre.



Abb. 36: Zamboni-Säule (langlebige Spannungsquelle). 19. Jahrhundert.

# Elektromagnetische Meßgeräte

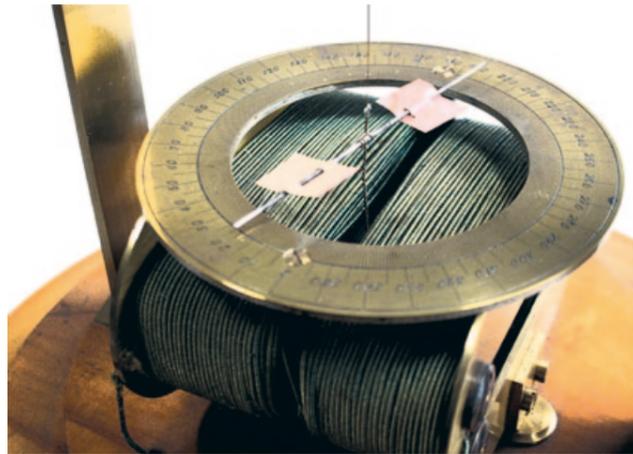


Abb. 39a und 39b: Astaticsches Galvanometer. Zwei Magnetnadeln mit entgegengesetzter Polung, die eine oberhalb und die zweite innerhalb der Spule (genannt *Multiplikator*) hängen an einem Torsionsfaden. Ein durch die Spule fließender Strom läßt sich damit messen. Er lenkt das Nadelsystem aus seiner Ruhelage ab. Das Magnetfeld der Erde hat bei dieser Anordnung keinen Einfluß. Vor 1870.



Abb. 38: Federgalvanometer.

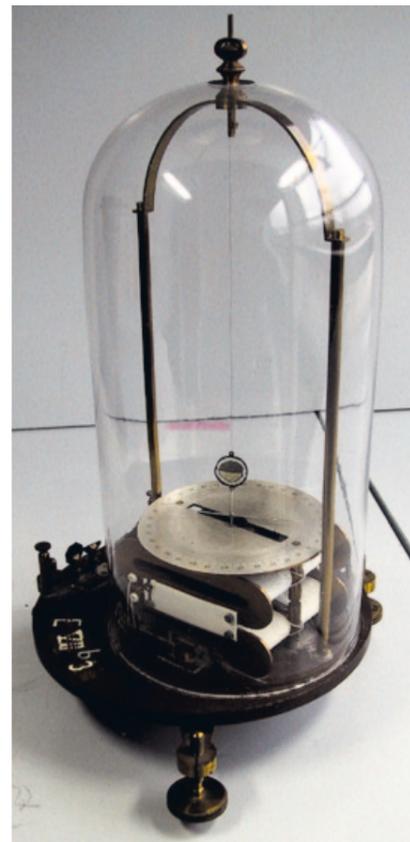


Abb. 40: Astaticsches Galvanometer mit Spiegelablenkung. Über den Spiegel und einen Lichtzeiger läßt sich die Auflösung verbessern. Apel, Göttingen, 1882/83, 36 Mark.

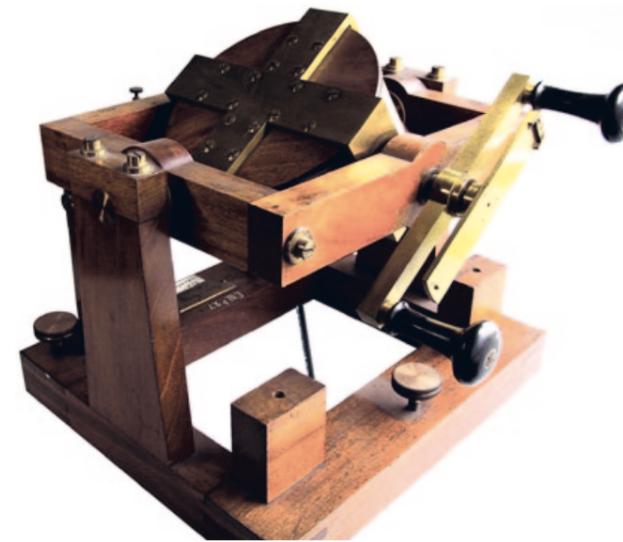


Abb. 41: Erdinduktor – diente nicht nur zur Bestimmung des Erdmagnetfeldes. Zusammen mit einem Galvanometer konnten präzise Widerstandsmessungen vorgenommen werden. Hierzu ließ sich mit dem Induktor ein durch das Erdfeld genormter Spannungsstoß erzeugen. Bartels, Göttingen, 1911.



Abb. 42: Astaticsches Galvanometer für Erdinduktor mit Spiegel für Lichtzeiger. Deutlich sichtbar sind die beiden (dicken) Magnetnadeln. Georg Bartels, Göttingen, 1911.



Abb. 43: Torsionsgalvanometer. Ein Magnet hängt drehbar um eine senkrechte Achse innerhalb einer Spule. Kleine Flügel dämpfen seine Bewegung. Auf den Magneten wirken neben dem Magnetfeld des Stromes durch die Spule auch das Erdmagnetfeld (N-Markierung auf dem Magneten). Mit einer kleinen Torsionsfeder läßt sich ein Gegendrehmoment erzeugen, mit dem das der Magnetfelder kompensiert werden kann. Im kompensierten Zustand ist die Anspannung der Torsionsfeder ein Maß für den Strom durch die Spule (Nullinstrument). Siemens & Halske, 1883, 283 Mark.

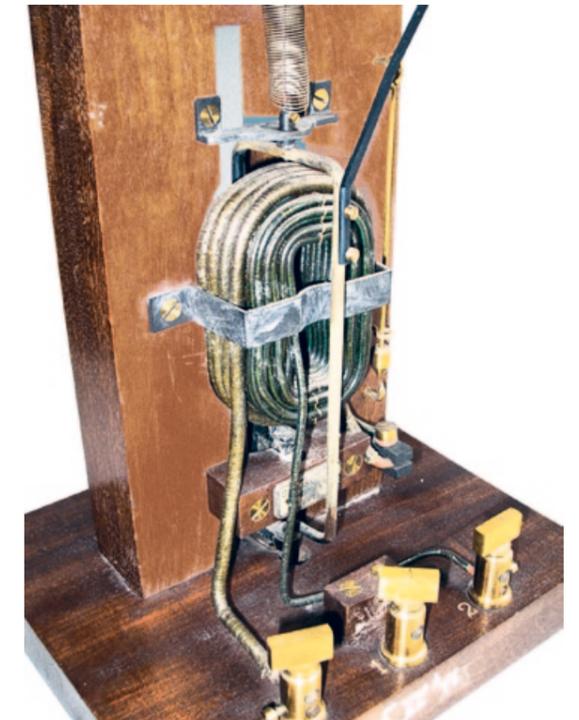


Abb. 44: Elektrodynamometer. Eine Leiterschleife hängt drehbar um eine senkrechte Achse innerhalb einer Spule. Fließt nun Strom durch Spule und Leiterschleife, dann entsteht ein Magnetfeld und damit bekommt die Drahtschleife ein Drehmoment. Mit einer kleinen Torsionsfeder läßt sich ein Gegendrehmoment erzeugen und die Wirkung des Magnetfeldes kompensieren. Die Anspannung der Torsionsfeder ist bei Kompensation ein Maß für den Strom durch die Spule (Nullinstrument). Siemens & Halske, Berlin, 1888.



Abb. 45: Spiegelgalvanometer. Eine Spule mit Spiegel für einen Lichtzeiger hängt an einem Torsionsfaden in einem Magnetfeld. Schon ein geringer Strom durch die Spule bewirkt ein Drehmoment, dessen Größe an der Stellung des Spiegels abzulesen ist. Systemwiderstand  $300 \Omega$ , Gesamtwiderstand  $10\,000 \Omega$ . Siemens & Halske, Nr. 1657094.

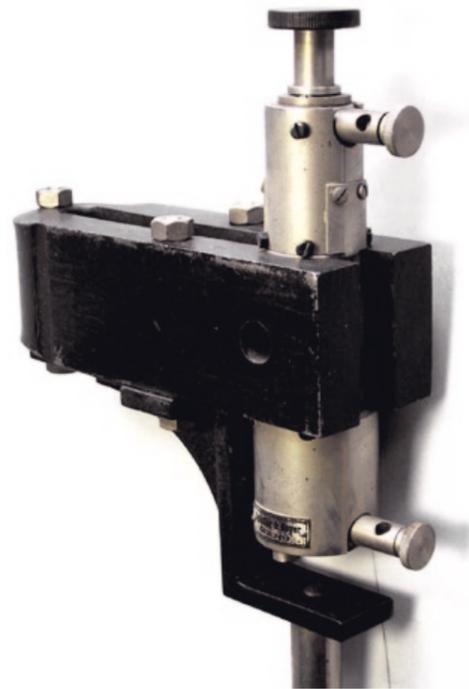


Abb. 47: Saitengalvanometer für Projektion nach Pohl. In einem Magnetfeld erfährt ein stromdurchflossener Leiter eine Kraft. Die Bewegung des Drahtes (Saite) wird mit einer Optik auf einen Schirm projiziert. Spindler und Hoyer, 1928.



Abb. 49: Galvanometer – robust gekapseltes Drehspulmeßwerk mit Spiegel für einen Lichtzeiger. Kipp-Delft.



Abb. 50: Kriechgalvanometer (Hartmann und Braun, etwa 1947) und äußerlich baugleiches Drehspul-Spiegel-Galvanometer,  $R = 2600 \Omega$  (Hartmann und Braun, 1927).

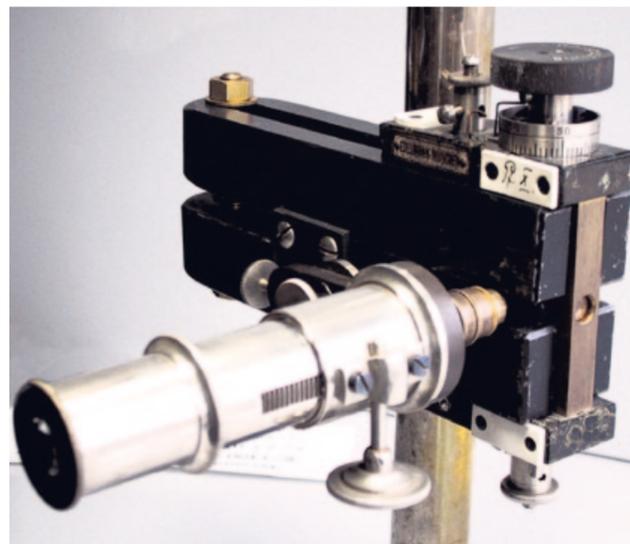


Abb. 46: Permanent-Saitengalvanometer. In einem Magnetfeld erfährt ein stromdurchflossener Leiter eine Kraft. Zur Beobachtung der Bewegung des Drahtes (Saite) dient ein Mikroskop.  $R = 3300 \Omega$ ,  $C_V = 2,5 \cdot 10^{-8} \text{ A/Skalenteil}$ . Edelmann, München, Nr. 499, 1912.

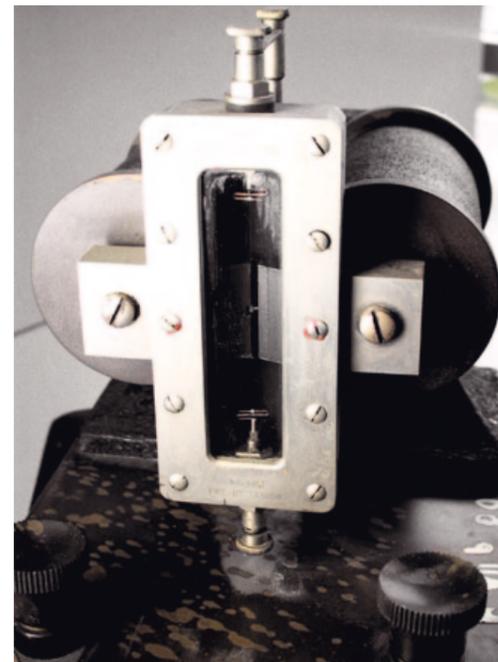


Abb. 48: Vibrationsgalvanometer mit Elektromagnet. Der zwischen Federn gespannte Draht mit dem kleinen Spiegel kann innerhalb des Magnetfeldes der beiden Spulen zu Schwingungen angeregt werden, wenn durch ihn ein Wechselstrom fließt. Bei Resonanzfrequenz tritt eine deutlich sichtbare Amplitude auf. So lassen sich Wechselspannungen erfassen. Die Resonanzfrequenz ist über die Federspannung und die Stärke des Magnetfeldes einstellbar. Kipp und Zonen. N $\circ$  144B, 1936.



Abb. 51: Lichtzeiger-Galvanometer. Empfindlichkeit  $4 \cdot 10^{-9} \text{ A/Skalenteil}$ . Firma Lange.

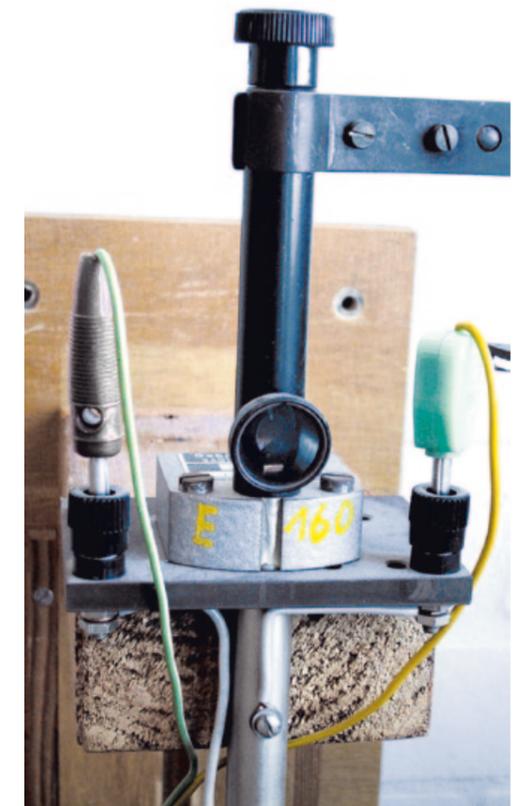


Abb. 52: Galvanometer – in der Mitte der Permanentmagnet, hinter dem Fenster der Spiegel für einen Lichtzeiger. Gebr. Rustrat, Göttingen.

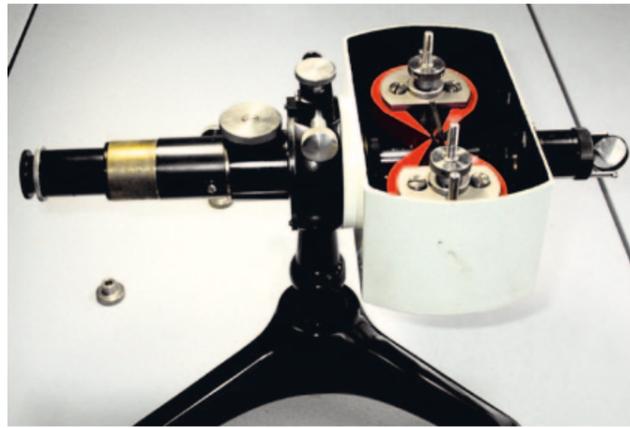


Abb. 53: Schleifengalvanometer. Eine Leiterschleife ist zwischen den Polen zweier Permanentmagneten beweglich angebracht. Fließt ein Strom durch die Schleife, kann die Größe der Bewegung mit einem Mikroskop gemessen werden. Carl Zeiss, Jena, Nr. 12707.

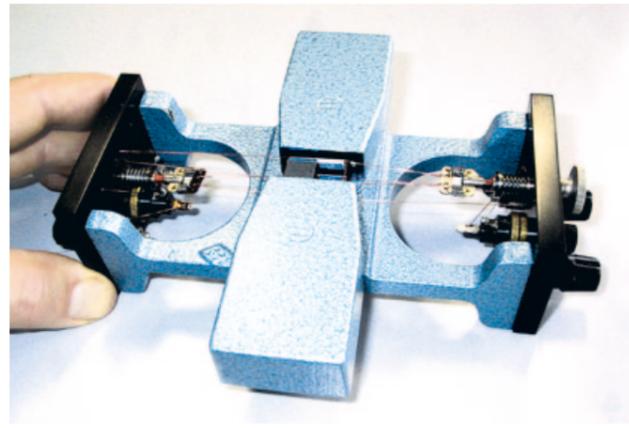


Abb. 54: Schleifenoszillograph. Zwei Spiegel mit je einer Drahtspule sind beweglich zwischen den Polen eines Permanentmagneten aufgehängt. Über einen Lichtzeiger und ein zusätzliches Spiegelsystem lassen sich die Bewegungen der beiden Spiegel senkrecht zueinander darstellen. Leybold, 560 43 Baureihe 1.

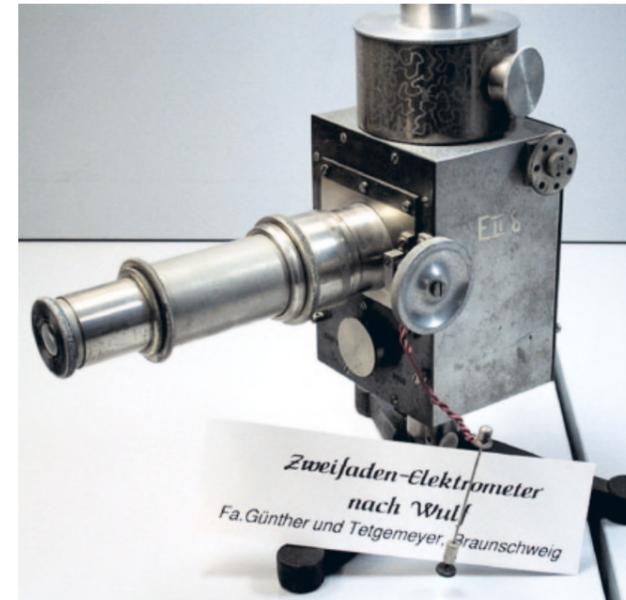


Abb. 57: Zweifaden-Elektrometer nach Wulf. Zwei gleichsinnig elektrisch geladene Fäden stoßen einander ab. Die Kraft zwischen ihnen ist ein Maß für die elektrische Spannung. Die Beobachtung erfolgt mit einem Mikroskop. Firma Günther und Tetgemeyer, Braunschweig, Nr. 4901.

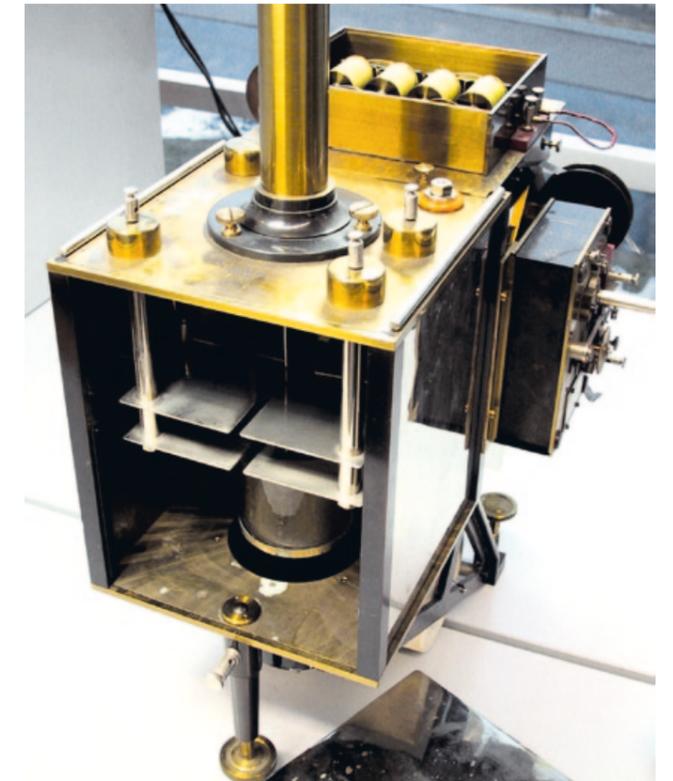


Abb. 59: Benndorf-Elektrometer mit Registriereinrichtung zur Messung der Lufterlektrizität, mit Uhrwerk für Papieranschub, Quadrantenelektrometer. Firma Castagna, Wien, 1911.

## Elektrostatische Meßgeräte



Abb. 55: Elektrometer. Gleichsinnig elektrisch geladene Platten stoßen einander ab. Die Kraft zwischen den Platten ist ein Maß für die elektrische Spannung. E. Leybold's Nachfolger, Coeln-Rhein.



Abb. 56: Elektroskop nach Exner – mit Goldblatt. Müller-Uri, Braunschweig, 1900.

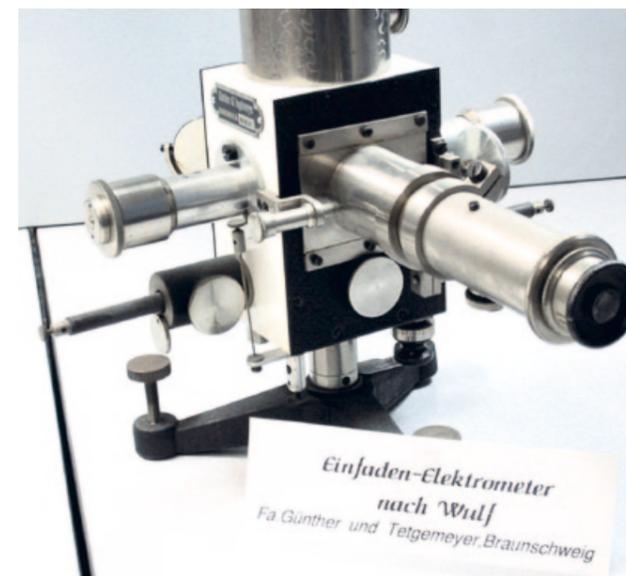


Abb. 58: Einfaden-Elektrometer nach Wulf. Ein elektrisch geladener Faden befindet sich im Feld zweier unterschiedlich geladener Elektroden. Die Kraft auf den Faden ist ein Maß für die Spannungen. Zur Beobachtung dient ein Mikroskop. Firma Günther und Tetgemeyer, Braunschweig, Nr. 3559.

Abb. 60: Quadrantenelektrometer. Das elektrische Feld zwischen vier unterschiedlich geladenen äußeren Elektroden (Quadranten) und einer drehbar an zwei feinen Fäden aufgehängten Metallplatte erzeugt ein Drehmoment, das sich mit Spiegel und Lichtzeiger beobachten läßt. Dr. Stöhrer & Sohn, Leipzig.



## Robuste Zeigerinstrumente

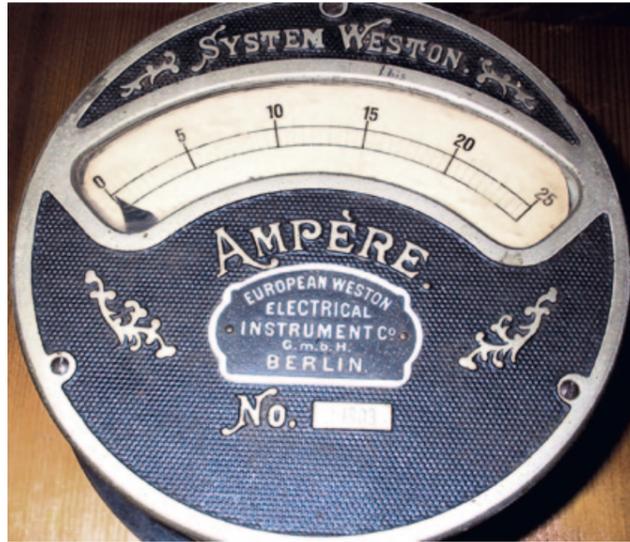


Abb. 61: Ampèremeter. European Weston, Electrical Instrument Co., Berlin, Nr. 19803.



Abb. 62: Milliampèremeter. Hartmann & Braun, Nr. 11698, 150 Goldmark.



Abb. 63: Präzisions-Volt- und Ampèremeter für Gleichstrom. Siemens & Halske, 1912.



Abb. 64: Drehspulinstrument.  $4,7 \cdot 10^{-6}$  A/Skalenteil Empfindlichkeit. Hartmann & Braun.



Abb. 65: Volt- und Ampèremeter für Gleichstrom mit sieben Meßbereichen. Siemens & Halske, 1914.



Abb. 66: Weicheisen-Instrument. Gossen.



Abb. 67: Elektrischer Zungenfrequenzmesser, 44-64 Hertz.

## Widerstände



Abb. 68: Stöpselrheostat 1-50  $\Omega$ , Widerstandskette - Neusilber, richtig bei 20 °C. Siemens & Halske, Berlin, 1883.



Abb. 70: Stöpselwiderstände. Ruhstrat, Göttingen.



Abb. 69: Widerstandsnormal 1  $\Omega$  - richtig bei 13,5 °C,  $\alpha = 0,00015$ . No 2847, November 1891.



Abb. 71: Präzisionsschleifring-Widerstand, Walzenmeßbrücke. Hartmann & Braun, No 909, 1929.

# Induktion · Drehfeld · Hochspannung



Abb. 72a und 72b: Induktionsapparat zur Walzenmeßbrücke. Primär 800 Wicklungen mit ca. 4 Ω, sekundär 5000 Wicklungen, ca. 314 Ω. Hartmann & Braun, Nr. 646, 1922.

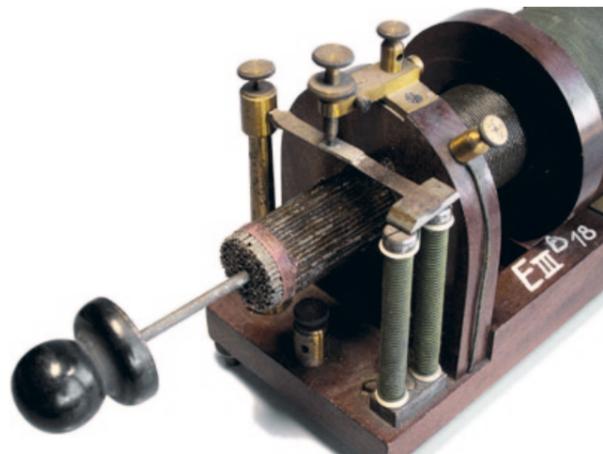
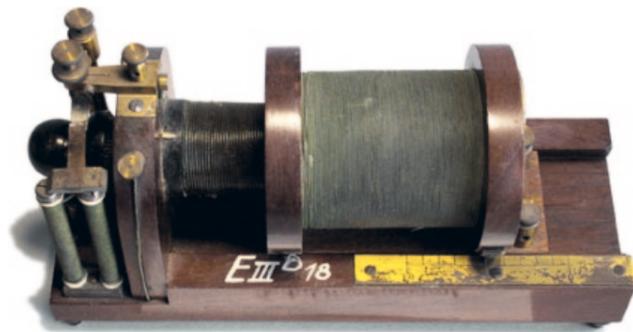


Abb. 73a und 73b: Induktionsapparat nach Du Bois-Reymond. Der Kern aus eisernen Drähten kann herausgenommen werden. F. H. Kulle, Clausthal, 1883.



Abb. 74: Apparat zur Demonstration eines Drehfeldes. Firma Lorenz, Chemnitz, 1892.

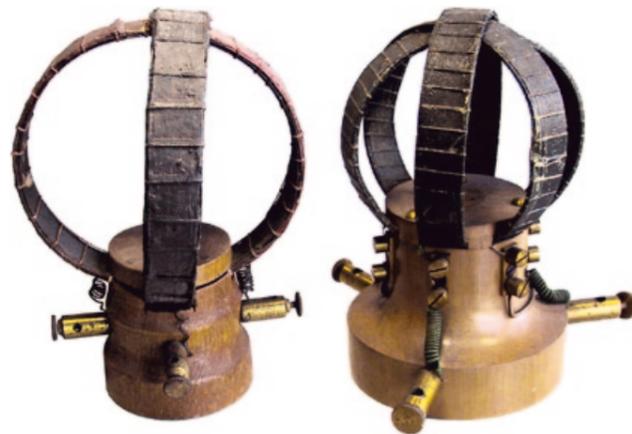


Abb. 75: Spulen mit Spitzenlager für Kompaßnadel zur Anzeige eines Drehfeldes. Firma Lorenz, Chemnitz, 1892.



Abb. 76: Tesla-Transformator. Max Kohl, Chemnitz, 1896.

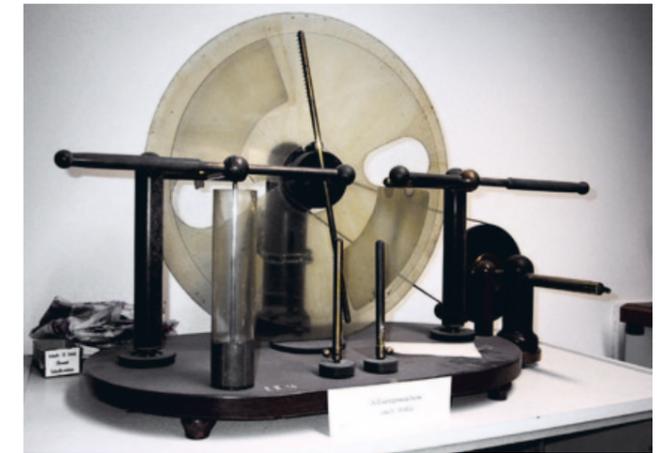


Abb. 77: Influenzmaschine nach Holtz. 1873.



Abb. 78a und 78b: Influenzmaschine.



Abb. 79: Kugel-Kilovoltmeter nach Dr. Sterzel (150 kV). 1924.



## Optische Instrumente



Abb. 80: Mikroskop. Ernst Leitz, Wetzlar, Nr. 217657.

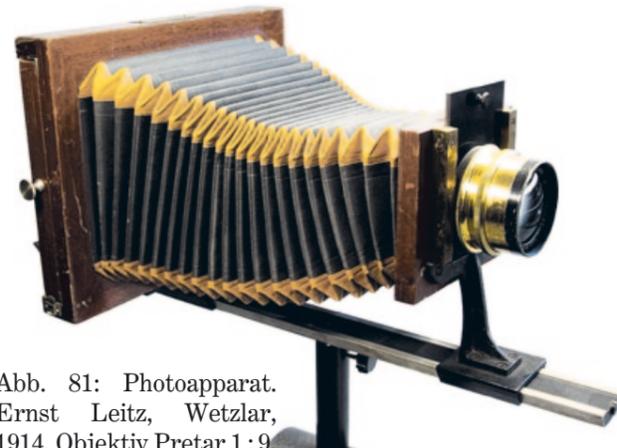


Abb. 81: Photoapparat. Ernst Leitz, Wetzlar, 1914. Objektiv Pretar 1:9,  $F = 317$  mm, N<sup>o</sup> 84215. Carl Zeiss, Jena.

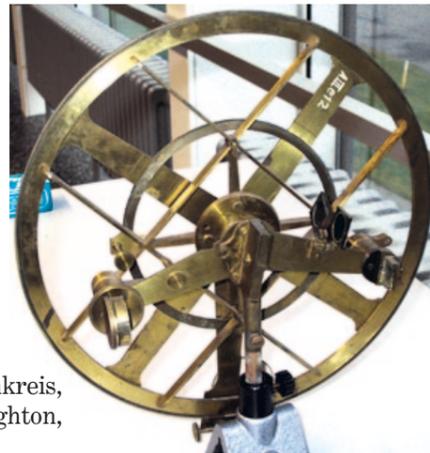


Abb. 83: Prismenkreis, (Sextant). Troughton, London, N<sup>o</sup> 79.



Abb. 84: Theodolit. Otto Fennel in Cassel, 1873.



Abb. 82: Dosenquadrant. F. W. Breithaupt, Cassel.

## Spektrometer



Abb. 85: Spektralapparat nach Kirchhoff und Bunsen. Firma Steinheil, München, 1892.

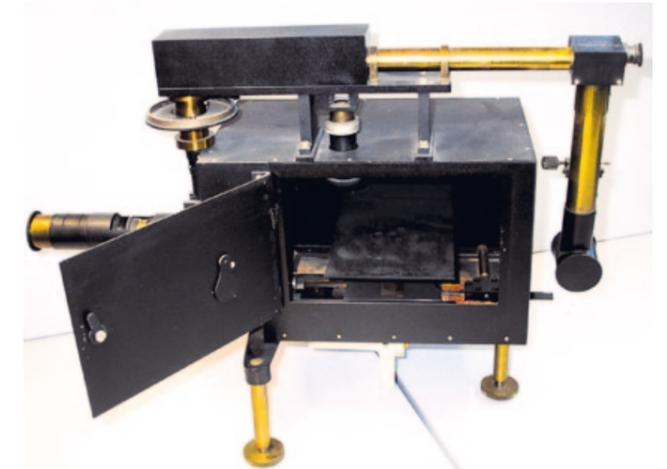


Abb. 88: Tyndallmeter nach Mecklenburg und Valentiner. Lichteintritt von links, Beobachtung rechts – Zweistrahlssystem. Firma Schmidt-Haenisch, Berlin, 1928.



Abb. 86: Spektralapparat mit Rutherford-Prisma. Carl Zeiss, Jena, Nr. 6767.

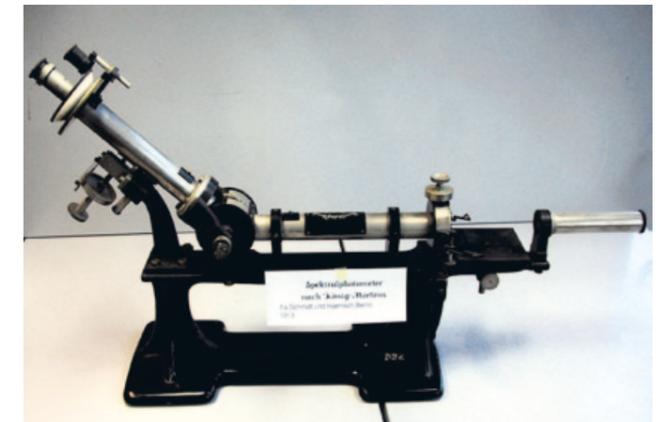


Abb. 89: Spektralphotometer nach König-Martens. Firma Schmidt-Haenisch, Berlin, 1913.



Abb. 87: Monochromator. Firma Leiss, Berlin, 1923, 1 625500 Mark.



Abb. 90: Lumineszenz-Photometer. Firma Schmidt-Haenisch, Berlin, 1916.



Abb. 91: Infrarot-Spiegelspektrometer nach Rubens. Firma Schmidt und Haensch, Berlin, 1916.

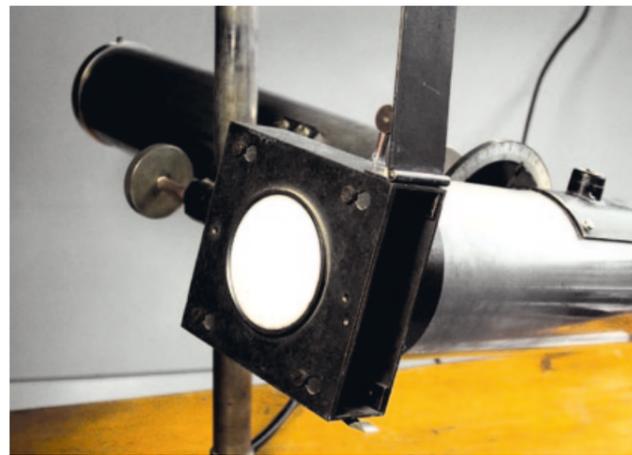


Abb. 92: Photometer nach Dr. Leonhard Weber. Milchglas mit Filterkasten für Lichteintritt der zu untersuchenden Lichtquelle.



Abb. 93 und 94: Hefnerkerzen – Lichtquellen definierter Stärke, Öllampen.



Abb. 95: Ölkanne – Zubehör für die Petroleumlampe am Photometer nach Dr. Leonhard Weber.



Abb. 96: Photozelle – Kalium und Argon. Günther & Tetge-  
meier, Braunschweig.



Abb. 97a und 97b: Resonatoren nach Helmholtz.

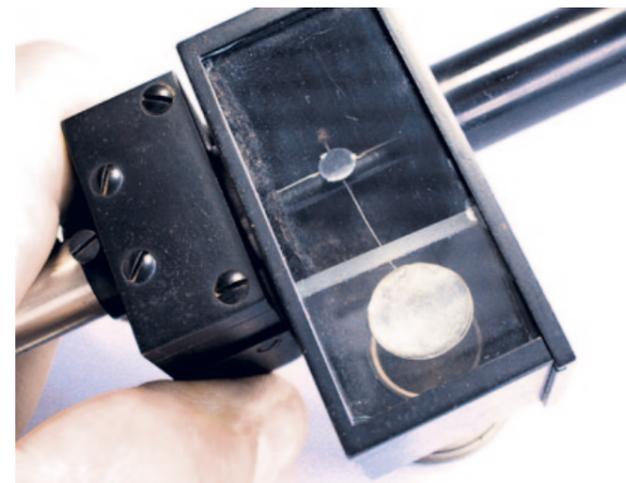


Abb. 99: Schallradiometer, Schalldruckmesser. Ein kleiner Spiegel und ein Lichtzeiger dienen zur Anzeige der auf die große Platte wirkende Kraft.

## Akustik



Abb. 98a und 98b: Doppelsirene nach Helmholtz – erzeugt acht Töne unterschiedlicher Frequenz und Phasenlage. Über ein Untersetzungsgetriebe mit Zählwerk zusammen mit einer elektrisch schaltbaren Stoppuhr kann die Frequenz der Töne präzise gemessen werden. Max Kohl, Chemnitz, 1894.

# Vakuum

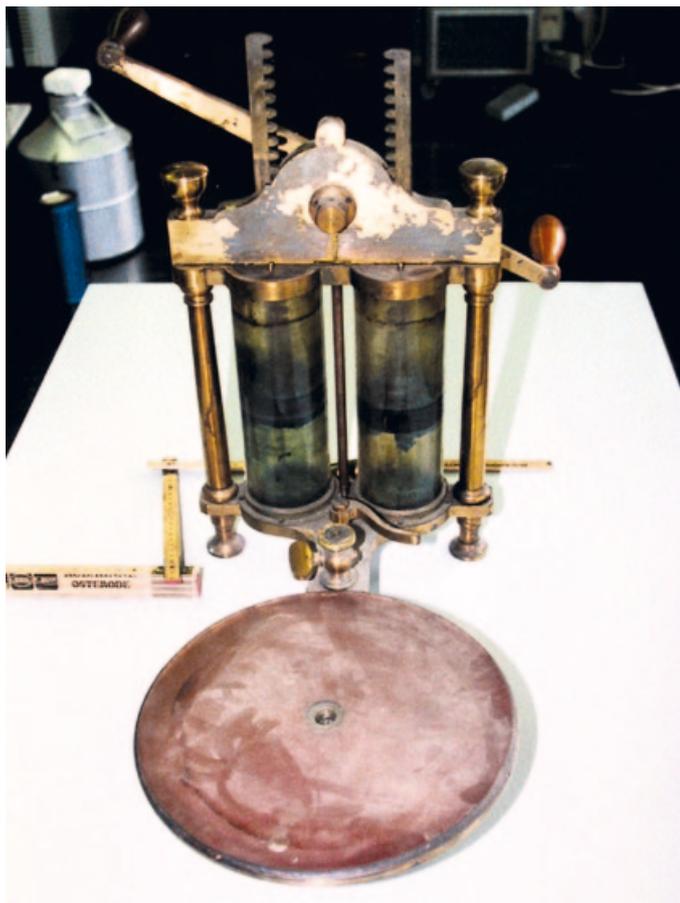


Abb. 100: Zweistiefelige Luftpumpe. W. Haack, Wien. (Oberharzener Bergwerksmuseum).

Abb. 101: Quecksilber-Diffusionspumpe. System Gaede, Leybold, 1919.

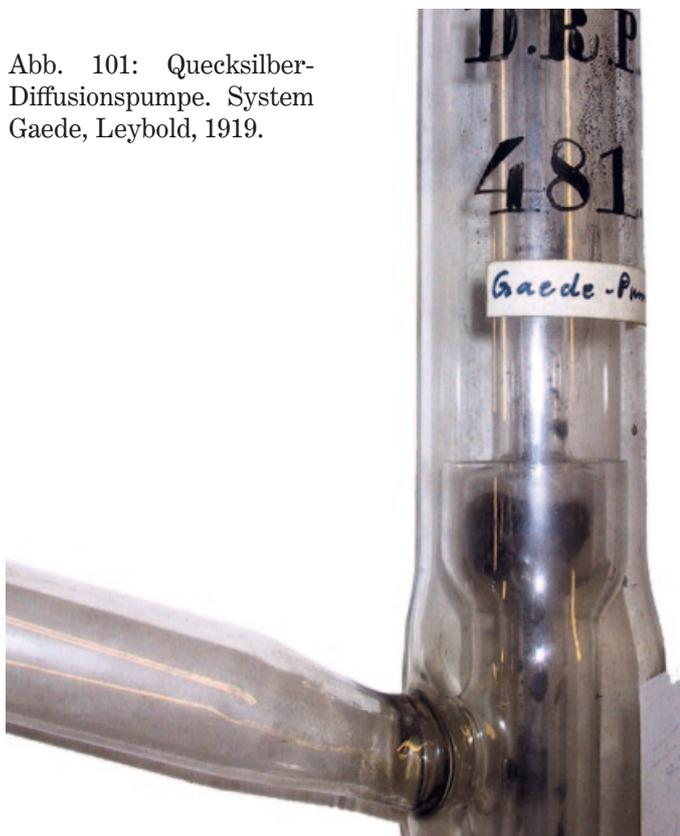


Abb. 102: Röhrenverstärker mit Anzeige für ein Vakuummeßgerät, oben eine Umrechnung für Anzeige-Druck.

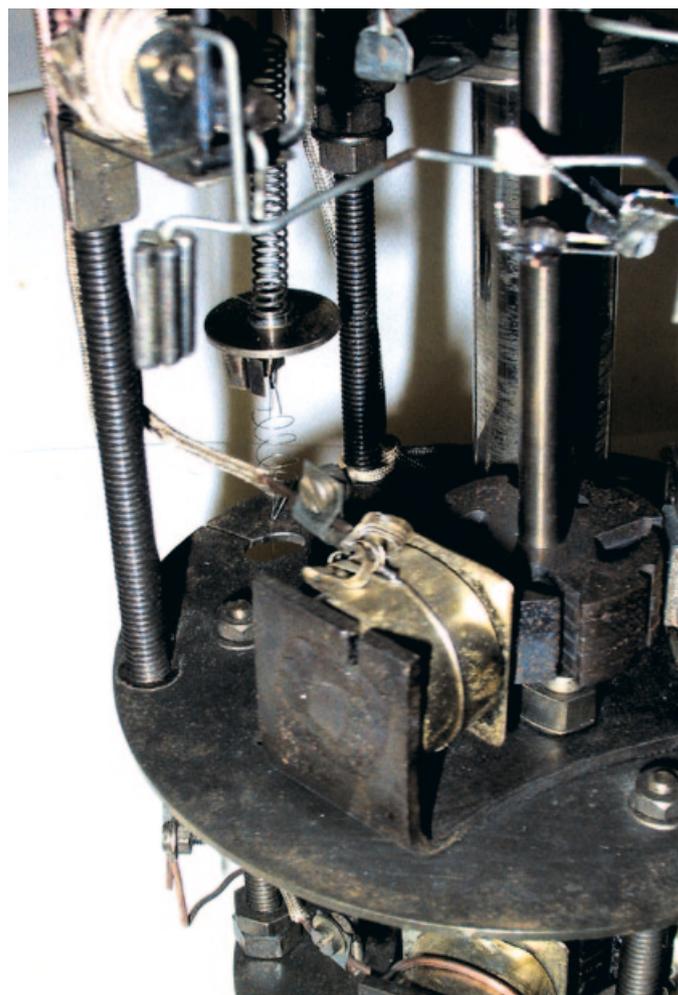


Abb. 103: Schrittmotor für Hochvakuumapparatur, ausheizbar – für Doktorarbeit handgefertigt.)

# Geräteverzeichnis

## *Länge · Winkel · Gewicht · Dichte · Zeit*

Abb. 1:	Dickenmesser mit Mikrometer	2
Abb. 2:	Kathetometer	2
Abb. 3:	Präzisionskathetometer	2
Abb. 4:	Winkelmesser	2
Abb. 5:	Hydrometrischer Flügel	3
Abb. 6:	Planimeter	3
Abb. 7:	Gewichtsatz für Pfund	3
Abb. 8:	Analysenwaage	3
Abb. 9:	Mohrsche Waage	3
Abb. 10:	Solwaage im Samtkasten	4
Abb. 11:	Aräometer	4
Abb. 12:	Aräometer	4
Abb. 13:	Quecksilberbarometer	4
Abb. 14:	Kreisel	4
Abb. 15:	Metronom nach Mälzel	4
Abb. 16:	Stoppuhr mit elektrischer Auslösung	4
Abb. 17:	Drehspiegel	5
Abb. 18:	Horizontalpendel	5

## *Temperatur*

Abb. 19:	Thermometer mit Réaumur-Skala	5
Abb. 20:	Bimetall-Thermometer	5

## *Magnetfeld · elektrischer Strom*

Abb. 21:	Taschenkompaß	6
Abb. 22:	Nadelgalvanoskop	6
Abb. 23:	Tangentenbussole	6
Abb. 24:	Tangentenbussole	6
Abb. 25:	Elektromagnet mit Gewicht	7
Abb. 26:	Galvanischer Unterbrecher	7
Abb. 27:	Elektromagnetische Maschine nach Page	7
Abb. 28:	Elektromagnetische Rotationsmaschine nach Ritchie	7
Abb. 29:	Induktionsmaschine nach Stöhrer	8
Abb. 30:	Generator und Motor	8
Abb. 31:	Relais mit liegendem Elektromagnet	8
Abb. 32:	Dynamomaschine von Siemens	8

## *Spannungsquellen · Normalelemente*

Abb. 33:	Normalelement	9
Abb. 34:	Normalelement nach L. Clark	9
Abb. 35:	Weston-Normalelement	9
Abb. 36:	Zamboni-Säule	9
Abb. 37:	Kohle-Zink-Element nach Meidinger	9

## *Elektromagnetische Meßgeräte*

Abb. 38:	Federgalvanometer	10
Abb. 39:	Astatisches Galvanometer	10
Abb. 40:	Astatisches Galvanometer mit Spiegel	10
Abb. 41:	Erdinduktor	11
Abb. 42:	Astatisches Galvanometer	11
Abb. 43:	Torsionsgalvanometer	11
Abb. 44:	Elektrodynamometer	11
Abb. 45:	Spiegelgalvanometer	12
Abb. 46:	Permanent-Saitengalvanometer	12
Abb. 47:	Saitengalvanometer für Projektion	12
Abb. 48:	Vibrationsgalvanometer mit Elektromagnet	12
Abb. 49:	Galvanometer	13
Abb. 50:	Kriechgalvanometer und Drehspul-Spiegel-Galvanometer	13
Abb. 51:	Lichtzeiger-Galvanometer	13
Abb. 52:	Galvanometer	13
Abb. 53:	Schleifengalvanometer	14
Abb. 54:	Schleifenoszillograph	14

## *Elektrostatische Meßgeräte*

Abb. 55:	Elektrometer	14
Abb. 56:	Elektroskop nach Exner	14
Abb. 57:	Zweifaden-Elektrometer nach Wulf	15
Abb. 58:	Einfaden-Elektrometer nach Wulf	15
Abb. 59:	Benndorf-Elektrometer	15
Abb. 60:	Quadrantenelektrometer	15

## *Robuste Zeigerinstrumente*

Abb. 61:	Ampèremeter	16
Abb. 62:	Milliampèremeter	16
Abb. 63:	Präzisions-Volt- und Ampèremeter	16
Abb. 64:	Drehspulinstrument	16
Abb. 65:	Volt- und Ampèremeter	16
Abb. 66:	Weicheisen-Instrument	17
Abb. 67:	Elektrischer Zungenfrequenzmesser	17

## *Widerstände*

Abb. 68:	Stöpselrheostat 1–50 Ω	17
Abb. 69:	Widerstandsnormal 1 Ω	17
Abb. 70:	Stöpselwiderstände	17
Abb. 71:	Präzisionsschleifring-Widerstand	17

## *Induktion · Drehfeld · Hochspannung*

Abb. 72:	Induktionsapparat zur Walzenmeßbrücke	18
Abb. 73:	Induktionsapparat Du Bois-Reymond	18
Abb. 74:	Apparat zur Demonstration eines Drehfeldes	18
Abb. 75:	Spulen zur Anzeige eines Drehfeldes	18
Abb. 76:	Tesla-Transformator	19
Abb. 77:	Influenzmaschine nach Holtz	19
Abb. 78:	Influenzmaschine	19
Abb. 79:	Kugel-Kilovoltmeter nach Dr. Sterzel	19

## *Optische Instrumente*

Abb. 80:	Mikroskop	20
Abb. 81:	Photoapparat	20
Abb. 82:	Dosenquadrant	20
Abb. 83:	Prismenkreis (Sextant)	20
Abb. 84:	Theodolit	20

## *Spektrometer*

Abb. 85:	Spektralapparat nach Kirchhoff und Bunsen	21
Abb. 86:	Spektralapparat mit Rutherford-Prisma	21
Abb. 87:	Monochromator	21
Abb. 88:	Tyndallmeter nach Mecklenburg und Valentiner	21
Abb. 89:	Spektralphotometer nach König-Martens	21
Abb. 90:	Lumineszens-Photometer	22
Abb. 91:	Infrarot-Spiegelspektrometer nach Rubens	22
Abb. 92:	Photometer nach Dr. Weber	22
Abb. 93:	Hefnerkerze	22
Abb. 94:	Hefnerkerze	22
Abb. 95:	Ölkanne	22
Abb. 96:	Photozelle	22

## *Akustik*

Abb. 97:	Resonatoren nach Helmholtz	23
Abb. 98:	Doppelsirene nach Helmholtz	23
Abb. 99:	Schallradiometer	23

## *Vakuum*

Abb. 100:	Zweistufige Luftpumpe	24
Abb. 101:	Quecksilber-Diffusionspumpe	24
Abb. 102:	Röhrenverstärker für ein Vakuummeßgerät	24
Abb. 103:	Schrittmotor für Hochvakuumapparat	24