



Ferdinand Braun in Leipzig

Zum 150. Geburtstag des Entdeckers des Halbleitereffektes und des Erfinders der Kathodenstrahlröhre

Wolfgang Schreier

Nobelpreiszewinner Ferdinand Braun worked as a teacher for three years (1874–1877) at the Leipzig Thomas School. In this time, essential for him, he developed his most important discovery: the effect of semiconductivity. Furthermore he demonstrated his pedagogical talent as a teacher and wrote an appraisal, popularized book for young people. The experiences of that time had a influence upon his future work.

Nobelpreisträger Ferdinand Braun, dessen 150. Geburtstag wir am 6. Juni 2000 beginnen, war drei Jahre Lehrer an der Leipziger Thomasschule. Dieser Gedenktag fällt in dasselbe Jahr wie der 250. Todestag des weltberühmten Thomaskantors Johann Sebastian Bach. Gewiß ist das ein zufälliges Zusammentreffen; aber dennoch eine erfreuliche Tatsache, daß Kunst und Wissenschaft an derselben Institution gediehen.

Für Braun, einem der Urväter der modernen Kommunikationstechnik, stellte der kurze Leipziger Lebensabschnitt eine Wende in verschiedener Hinsicht dar. Deshalb ist es mein Anliegen, nicht sein Leben und Werk im ganzen zu würdigen, sondern auf die Zeit von Michaelis 1874 (Anfang Oktober 1874) bis Michaelis 1877 einzugehen.

Dazu einige Vorbemerkungen: An der Universität Würzburg als Assistent von Georg Hermann Quincke (1834–1924) unternahm Braun neben seiner physikalischen Forschung etwas Ungewöhnliches: Er veröffentlichte in der damals weitverbreiteten Zeitschrift *Fliegende Blätter* einige satirisch-ironische Beiträge. Schon hier zeigte sich eine unter Naturwissenschaftlern nicht so häufige Begabung: Er schrieb einen flüssigen Stil und verstand es, sich klar und allgemein verständlich auszudrücken. Mit diesen literarischen Arbeiten und Nachhilfeunterricht besserte er sein geringes Gehalt auf.

Doch traf er 1873 wegen der unsicheren Zukunftsaussichten noch eine andere Vorsorge: Nach der Promotion erwarb er die „Lehrbefugnis (an höheren Schulen) in den vier mathematisch-naturwissenschaftlichen Fächern und für die unteren Klassen bis einschließlich Obertertia in Deutsch“ [Kurylo 1965, S. 42.]; wie damals üblich, hätte er nun, wenn notwendig, auch Deutsch unterrichten müssen.

Als Quincke 1874 nach Heidelberg berufen wurde und Braun endlich finanziell unabhängig sein wollte, bewarb er sich um eine neu eingerichtete Lehrerstelle an der Thomasschule zu Leipzig. Die Wahl Leipzigs war offensichtlich wohl begrün-



Ferdinand Braun im Alter von 36 Jahren.

det: Er hoffte in der aufstrebenden Messe- und Buchstadt mit ihrer angesehenen Universität mehr Möglichkeiten zu haben, um beispielsweise durch eine Habilitation in das akademische Lehramt aufzusteigen. Das wird dadurch unterstrichen, daß bis 1873 im naturwissenschaftlich-medizinischen Viertel Leipzigs ein eigenes Gebäude für das Physikalische Institut mit Hörsälen, Sammlungs-, Labor- und Praktikumsräumen erbaut worden war. Es war so groß, daß auch das mineralogisch-geologische Institut mit aufgenommen werden konnte. Dieses Gebäude beherbergte in seiner wechselvollen Geschichte auch Mathematik und Geophysik; es steht noch heute. [Schreier 1985, S. 14]

Damals fungierte als Institutsdirektor Wilhelm Gottlieb Hankel (1814–1899), der zur Theorie der Elektrodynamik arbeitete und sich mit elektrischen Gerätekonstruktionen und pyroelektrischen Erscheinungen der Kristalle befaßte. Außerdem amtierte in Leipzig auch Gustav Wiedemann (1826–1899) zunächst als Professor für Physikalische Chemie. Er gab ab 1860 ein hochanerkanntes, später mehrbändiges Standardwerk *Die Lehre von der Elektrizität* heraus. In Leipzig war also die Elektrophysik Forschungsschwerpunkt; und es ist anzunehmen, daß Braun das reizte, denn er hatte sich bereits in Würzburg dieses Themas angenommen.

Braun erhielt zu Michaelis 1874 an der Thomasschule eine „provisorische Oberlehrerstelle“, aber schon zu Ostern 1875 wurde er „17. ständiger Oberlehrer“ und gelobt, „dass er auf dem Gebiet des naturwissenschaftlichen Unterrichts sehr erspriesliche Dienste geleistet hatte“. Sein Aufstieg ging unter Nutzung günstiger Umstände rasch weiter: „Nach Ablehnung eines Rufes an das protestantische Gymnasium zu Strassburg wurde ihm (Braun) vom 1. Juli (1875) ab die 15. Oberlehrerstelle verliehen.“ [Progr. Thomassch. 1875–76, S. 48, 49]. Unter den jüngeren Lehrern hatte er damit einen Spitzenplatz in der Lehrerhierarchie erreicht. 1877 schwingt dann neben der Anerkennung in den Worten des Rektors Friedrich August Eckstein (1810–1885) etwas Trauer um den Weggang des hochtalentierten Lehrers mit:

”Aus dem Collegium schied zu Michaelis 1877 Oberlehrer Dr. Braun ... Wir haben den trefflichen Amtsgenossen, der in den wenigen Jahren seiner hiesigen Thätigkeit den naturwissenschaftlichen Unterricht mit regem Eifer gefördert und auch bei den dafür erforderlichen Einrichtungen des neuen Schulhauses unermüdlich mit gewirkt hat, ungern verloren.“ [Progr. Thomassch. 1876–77, S.39]

Diese Abschiedsworte beziehen sich auch auf den Umzug der Thomasschule vom alten Haus am Thomaskirchhof (in dem noch Bach lehrte) in ein neuerbautes, hochmodernes Gebäude an der Schreiberstraße (wo heute noch das Alumnatsgebäude des Thomanerchores mit Front zur Hillerstraße steht und das 1943 durch Bomben zerstört wurde). Ab 1876 entstand die neue „Schola Thomana“, und sie wurde ab Mitte 1877 eingerichtet.

In dieser Zeit des Aufschwungs der Naturwissenschaften war in diesem neuen Haus dafür gesorgt, daß „auch für Chemie, Physik und Naturgeschichte ... besondere Unterrichts- und Sammlungsräume vorhanden“ sind [Bericht 1878, S. 3]. Insbesondere bot „das Auditorium für Physik“, amphitheatralisch angeordnet, rund 50 Schülern Raum. Es gab auch einen Experimentiertisch mit Gas- und Wasseranschluß. Ebenso wurden für die neue Schule viele „experimentelle Hilfsmittel“, „größere Demonstrationsapparate“ und sogar ein „Störerscher Projektionsapparat“ angeschafft. Es steht außer Zweifel, daß Braun an der Auswahl und der Besorgung von Geräten sowie der Ausgestaltung der Räume beteiligt war, obwohl er an der Einweihung der neuen Schule am 5. November 1877 wohl nicht mehr teilnahm.

Übrigens hatte Braun, der am Anfang der jetzigen Friedrich-Ebert-Straße wohnte, nur einen relativ kurzen Weg (ca. 500 m) bis zur alten und neuen Thomasschule zurückzulegen.

Nach dem Stundenplan der Schule hat Braun 1875 16 Stunden Naturkunde und 8 Stunden Mathematik, also insgesamt 24 Wochenstunden; sowie 1876 12 Stunden Naturkunde und 8 Stunden Mathematik, insgesamt 20 Wochenstunden, unterrichtet. Diese Stunden lagen mit einer Ausnahme in den unteren Klassen ab der Sexta, also bei jüngeren Schülern [Progr. Thomassch. 1875–76, 1876–77]. Das Fach Physik wurde damals allerdings nur in der Unter- und Oberprima gelehrt. Die Eltern vor allem der jüngeren Thomasschüler, darunter wohlhabende Bürger, zum Beispiel Verleger (u.a. Brockhaus) wurden rasch auf den begabten Lehrer aufmerksam, der sich auch schnell in die kulturvolle Leipziger Gesellschaft, u.a. in die Naturforschende Gesellschaft, einführte und auch im Volksbildungsverein einen Physikkurs leitete.

So blieb nicht aus, daß Anfang 1875 der bekannte Verleger Otto Spamer (1829–1886) an Braun mit der Bitte herantrat, für seine Reihe *Neue Jugend- und Hausbibliothek – Lehrreiches und Wissenswerthes für Jung und Alt* einen Band Mathematik zu schreiben. Braun mit seinem pädagogischen Geschick und seinen literarischen Ambitionen schien dafür prädestiniert.

Solche Bücher lagen im Trend der Zeit: Denn mit der beginnenden Industrialisierung wurden neue Bildungsbedürfnisse geweckt. Man legte nun auch Wert auf praktikables Realien- und naturwissenschaftliches Wissen. In Leipzig, der damals führenden Stadt des wissenschaftlichen Buches, hatte man diese Tendenz schnell aufgegriffen. Außerdem war sich Braun der mangelnden Ausbildung in den Naturwissenschaften vornehmlich an den humanistischen Gymnasien bewußt: So standen in den unteren Klassen 2 Wochenstunden Naturkunde 10 Latein- und 6 Griechischstunden gegenüber.

Der Verlag wünschte ursprünglich ein Buch, das vorzüglich mit „mathematischen Kunststücken und Knobeleyen“ sowie „Schnurrpfeifereien“ aufwarten sollte. Dagegen wollte Braun in anregender Weise Erkenntnisse vermitteln und den Unterrichtsstoff ergänzen. Ihm war wesentlich, die Mathematik nicht isoliert zu betrachten, sondern „darauf aufmerksam (zu) machen, wie durch alle Zweige der Naturerkenntnis sich Zahlengesetzmäßigkeiten hindurchziehen“ [Braun 1876/2, S. VII]. Deshalb änderte er den Buchtitel; aus dem *Jungen Mathematiker* wurde *Der junge Mathematiker und Naturforscher*. Das wurde wohl ziemlich kurzfristig entschieden, denn auf dem Umschlag steht noch der alte Titel.

Brauns Devise „Ich will mein kleines Publikum heraufführen auf die Höhe, nicht ihm ins Flache folgen“ [Braun 1876/2, S. VI] war die Voraussetzung, der Jugend ein Grundverständnis für die Naturwissenschaften nahezubringen. Er schuf so einen Vorläufer der modernen populärwissenschaftlichen Literatur für die Jugend. Das 420 Seiten umfassende und mit rund 320 Abbildungen ausgestattete Buch sollte aber keinesfalls trocken und langweilig sein. Deshalb hatte er es mit einer Rahmenhandlung, bestehend aus 25 Unterhaltungen, versehen. Hier sei nur daran erinnert, daß, natürlich auf wissenschaftlicher Ebene, Galileis Werk über die Weltsysteme auch in Gesprächsform verfaßt ist, um das Für und Wider der Anschauungen klar zu kennzeichnen.

Die Geschichte beginnt folgendermaßen: Auf einer Geburtstagsfeier des 13jährigen Sohnes Max kurz nach Weihnachten werden die Gäste der Kinderspiele bald überdrüssig. So erzählt der Vater eine Geschichte, in der allerhand Aufgaben und Knobeleyen vorkommen, die die Geburtstagsgäste, natürlich auch die Leser, zur Lösung anregen. Das finden die Kinder so kurzweilig, daß beschlossen wird, künftig aller zwei Wochen eine solche Zusammenkunft zu veranstalten. Die Kinder kommen in wechselnder Zahl zu 25 Abendunterhaltungen im Jahresverlauf zusammen.

Im Winter beginnt man mit Teilgebieten der Mathematik und geht im Frühling über zur Beobachtung in der Natur. Im Sommer werden am schrägen Wurf eines Armbrustpfeils Probleme der Kinetik und Dynamik erörtert. Ein Gewitter im August bietet Anlaß zu Betrachtungen über Elektrizität und Akustik. Im Herbst kommt das Gespräch auf die Astronomie und auf Fragen der Optik. Schließlich endet das Buch mit Erklärungen über chemische Gesetzmäßigkeiten. Natürlich sind in allen Teilen Experimente, insbesondere nachvollziehbare Freihandversuche, und einfache Konstruktionen eingestreut. Eine wertvolle Ergänzung stellen die Auflösungen, Aufgaben und Versuche am Schluß des Buches dar.

Überlegt man, was Brauns Buch für die Jugendlichen interessant und auch spannend machte, so ist zuerst auf den Abwechslungsreichtum der Unterhaltungen hinzuweisen. Sie sind in humorvoller, plastischer Sprache mit vielen Anstößen zum Mitmachen und Mitdenken verfaßt [Franke 1993, S. 54]. Die Einbindung in eine anregende Rahmenhandlung gibt es zwar in dieser Literatur nicht so häufig, aber in mannigfaltigen Formen. Beispielsweise zeigt der Erfolg von Jostein Gaarders Roman *Sofies Welt* über die Geschichte der Philosophie mit einer ganz anderen Art der Rahmenhandlung die Unvergänglichkeit dieser Darstellungsweise.

Braun hat an dem Jugendbuch offensichtlich so intensiv gearbeitet, daß er es laut Vorwort am 18. Oktober 1875 abschließen und es noch zu Weihnachten 1875 erscheinen konnte, also nach 6 bis 8 monatiger Arbeit. Die Frage ist nun, ob er seit seinem

Eintreffen in Leipzig (Anfang Oktober 1874) auch seine physikalischen Studien vorangetrieben hat.

Schon in Würzburg befaßte sich Braun mit Problemen der elektrischen Leitfähigkeit. Zu dieser Zeit waren die Grundlagen der metallischen-, elektrolytischen und Gasleitfähigkeit noch weitgehend hypothetisch. Es sei daran erinnert, daß erste klare Zusammenhänge in den 1880/1890er Jahren mit der Erforschung der Dissoziation und der Entdeckung des Elektrons gefunden wurden. Braun hatte also ein zukunftsorientiertes Feld gewählt, in das er mit möglichst übersichtlichen Versuchsbedingungen Klarheit bringen wollte.

Eigentlicher Ausgangspunkt für seine Beschäftigung mit „Halbleitern“ war ein Artikel von Johann Wilhelm Hittorf (1824–1914) über die Leitfähigkeit in „Schwefelmetallen“. Braun untersuchte nicht nur dieselbe Stoffgruppe, sondern nutzte nach Vorversuchen auch die von Hittorf angegebene Halterung: Angespitzte Silberdrähte wurden mittels einer Schraube auf den Probekörper gepreßt. Als Fazit stellte Braun in seinem Artikel *Über die Stromleitung durch Schwefelmetalle* fest: „Bei einer großen Anzahl natürlicher und Künstlicher Schwefelmetalle ... habe ich gefunden, daß der Widerstand derselben verschieden war mit Richtung, Intensität und Dauer des Stromes.“ [Braun 1874/1, S. 557]. Nach heutigem Sprachgebrauch hatte er erstmals den Gleichrichtereffekt bei Halbleiter-Metall-Kontakt beschrieben. Er konnte ausschließen, daß diese „Anomalie“ (Halbleitereffekt) durch „Gasschichten“, „thermoelektrische Erregung“, unvollkommenen Kontakt oder durch „krystallographische Eigenschaften“ (ausgezeichnete Kristallrichtung) verursacht wurde. Allerdings verwies er auf die „Eigenthümlichkeit der Kontakte (Uebergangswiderstand)“, und es überraschte ihn, „daß auch bei kleinen Intensitäten und ersten Ausschlägen die Anomalien eintreten“ [Braun 1874/1, S. 563]. Bis auf eine nicht genauer definierte „elektrische Nachwirkung“ konnte er jedoch keine Erklärung des Effektes geben.

Braun hatte den Artikel in „Leipzig, den 23. November 1874“ [Braun 1874/1, S. 563] eingereicht, nachdem er rund zwei Monate zuvor seine Tätigkeit an der Leipziger Thomasschule aufgenommen hatte. Einige Geräte, die Braun bei den Versuchen zum Halbleitereffekt verwandte, waren identisch mit denjenigen, die er für seine in Würzburg entstandenen Arbeiten benutzte. Daraus wird gefolgert, daß auch die ersten Versuche zum Halbleitereffekt in Würzburg ausgeführt worden sind bzw. auch der gesamte erste Artikel darüber dort verfaßt worden ist. [Hars 1999, S. 45] Somit habe er, wie gelegentlich vermutet, die Mineraliensammlung der Thomasschule für Halbleiterexperimente wohl kaum gebraucht.

Daß Braun dieses Thema auch in Leipzig weiter verfolgte, ist einem Hinweis aus den Sitzungsberichten der Naturforschenden Gesellschaft bereits am 29.1.1875 zu entnehmen: „Den Schluß machte eine Mitteilung des Herrn Dr. F. Braun über Stromleitung durch Schwefelmetalle.“ 1876 merkte er an, daß diese Mitteilung eine konzentrierte Zusammenfassung seines Artikels aus dem Jahre 1874 gewesen sei [Braun 1876/3, S. 50]. Dazwischen lag am 12.2.1875 wieder ein Vortrag Brauns vor der Naturforschenden Gesellschaft „über galvanische Polarisation“, der nicht abgedruckt wurde.

Es verwundert kaum, daß Brauns intensive Mitarbeit in der Naturforschenden Gesellschaft zu Beginn seiner Leipziger Zeit für den Rest des Jahres 1875 nachläßt

bzw. ganz aussetzt. Er wurde offensichtlich durch die Ausarbeitung seines Jugendbuches in Anspruch genommen.

1876 hatte er neben seiner schulischen Tätigkeit wieder mehr Zeit, sich physikalische Untersuchungen zu widmen. Zunächst entstand seine Arbeit *Ueber die Natur der elastischen Nachwirkung* [Braun 1876/4]. F. Hars hat nachgewiesen, daß Braun die „unipolare Leitung“, also den Halbleitereffekt, damit zu erklären suchte [Hars 1999, S.48], aber auch angemerkt, daß er dieses Thema wählte, weil ihm an der Thomasschule „die für ausführliche elektrische Versuche nötigen materiellen Voraussetzungen fehlten.“ [Hars 1999, S. 47, 50].

Letzteres steht allerdings im Widerspruch zu Brauns Vortrag vor der Naturforschenden Gesellschaft am 14.11.1876 mit dem Titel *Versuche über Abweichungen vom Ohm'schen Gesetz in metallisch leitenden Körpern* [Braun 1876/3]. Am Ende dieses Vortrags führte Braun fünf Experimente zum Halbleitereffekt den Anwesenden vor, bei denen damals wissenschaftlich gängige Instrumente (u.a. Wiedemann'sche Bussole, Grove'sches Element, Stöpselrheostat) und gut ausgewählte Probestoffe (u.a. Braunstein, Bleiglanz, Selen) verwendet wurden [Braun 1876/3, S. 61, 62]. Die Vermutung liegt nahe, daß diese, wenn sie nicht der Thomasschule oder der Naturforschenden Gesellschaft gehörten, vom hervorragend ausgestatteten Leipziger Physikalischen Institut zur Verfügung gestellt wurden, und wahrscheinlich nicht nur zur Vorführung.

Diesen Vortrag, der auch als Artikel erschien, kann man als Kernstück von Brauns Forschungen zum Halbleitereffekt betrachten. Er verteidigte sich gegen eine Kritik an seinen Ergebnissen und stellte noch einmal heraus, daß die „anormalen Erscheinungen“ am leichtesten auftreten, „wenn wenigstens eine Electrode klein ist.“ [Braun 1876/3, S. 51]: Ein Draht als Elektrode wurde mittels Spiralfeder gegen den Kristall gepreßt. Diese Ausführungsform wurde später beim „Kristalldetektor“ meistens angewandt. Braun weist auch auf die von „Adams und W. Siemens“ am Selen kurz zuvor gefundenen ähnlichen Effekte hin. Ebenso schließt er noch einmal die bereits 1874 erwähnten Ursachen aus. Trotz der vielen Abweichungen und Unterschiede erklärt er es als ein „qualitatives Gesetz“, „daß der Widerstand für beide Richtungen sich mit Stromintensität ändert, jedoch in verschiedenem Maasse“ [Braun 1876/3, S. 54, 55]. Der Ursprung liege in „dünnen Oberflächenschichten“. In Worten wird so die heutige Kennlinie eines Halbleitergleichrichters beschrieben. Außerdem zeige sich mit „alternierenden Inductionsströmen“ eine „Ventilwirkung“ [Braun 1876/3, S. 60], eine für die Zukunft wichtige Eigenschaft. Allerdings endet sein Artikel „über dieses schwer zu übersehende Gebiet“ mit einer resignierenden Bemerkung: „Ausführliche Mitteilungen scheinen solange ohne Interesse, als es nicht gelingt, durchgängige Regelmässigkeiten zu finden.“ [Braun 1876/3, S. 61].

Der Artikel zeigt also auch, daß die experimentellen Ergebnisse nur schwierig reproduzierbar waren. Wiedemann hielt die Erscheinungen für „äußerst unregelmäßig und unbestimmt.“ Es verwundert deshalb nicht, daß sich die Spitzen der Leipziger Physik als Kapazitäten auf dem Gebiet der Elektrophysik skeptisch verhielten. Zudem waren zu dieser Zeit Abweichungen vom Ohmschen Gesetz irgendwie suspekt, wenn sie nicht eindeutig begründet werden konnten.

Braun hat in den 1880er Jahren noch andere Arbeiten zur Elektrophysik verfaßt, aber nur noch zwei, die sich auf den Halbleitereffekt bezogen. Er hielt es für einen Mangel, daß es ihm nicht gelang, eine Erklärung für diese Erscheinung zu

geben, obwohl er „anderweitig bekannte Tatsachen“ als Ursache ausschließen konnte. Retrospektiv betrachtet war die Bedeutung des Halbleitereffektes in der damaligen Physik noch keineswegs erkennbar.

Erst rund 50 Jahre später, um 1930, wurde die quantentheoretische Deutung des Halbleitereffektes gegeben. Etwas später begann auch die technische Entwicklung der Halbleiterelemente von den Dioden (um 1938) über die Transistoren (ab 1947) bis zur Mikroelektronik (etwa ab 1970). Sie erforderte eine intensive Forschung auf vielen verschiedenartigen Gebieten.

Es zeugt jedoch von Brauns Kombinationsvermögen, daß er sich um 1900, mitten im Aufschwung der neuen Funktechnik (an dem er führend beteiligt war) an den Halbleitereffekt erinnerte. Er stellte, gemeinsam mit dem Straßburger theoretischen Physiker Emil Cohn (1854–1944), fest, daß ein Kristalldetektor mit Halbleiter-Metallkontakt als Hochfrequenzgleichrichter eingesetzt werden konnte, weil die „Ventilwirkung“ auch bei hohen Frequenzen vorhanden war.

Der Erfolg blieb nicht aus: Wenn von einem Sender Wellenzüge im Empfänger „schwache, schnelle Schwingungen“ erregten, waren im Fernhörer „deutliche und scharfe Laute“ zu hören, die beim Durchgang der gleichgerichteten gedämpften Schwingungen entstanden [Braun 1906/5].

Zu Beginn der Rundfunkzeit (etwa ab 1923) erlebte der Kristalldetektor eine Renaissance: Amateure bauten mit ihm Empfänger und konnten so die amplitudenmodulierten Wellen der Radiosender im Kopfhörer sofort hören. Allerdings wurde der Kristalldetektor bald durch die betriebssichereren Elektronenröhren verdrängt.

Am 12. Juli 1877 hat Braun an der Thomasschule um Entlassung gebeten, da er auf eine außerordentliche Professur für theoretische Physik nach Marburg berufen wurde, ohne habilitiert zu sein. Ob er diese Ernennung seinen originellen physikalischen Arbeiten und/oder seinem Lehrtalent (möglicherweise auch seinem klar geschriebenen Jugendbuch) verdankte, wird unterschiedlich beurteilt.

Brauns Schaffen in den Leipziger Jahren war jedenfalls weitgespannt: Entsprechend der jetzigen Bedeutung, hatte er seine wichtigste Entdeckung weiterentwickelt und „ausexperimentiert“, sein pädagogisches Talent bewiesen und einen wertvollen Beitrag für die naturwissenschaftliche Bildung der Jugend geleistet. In Leipzig hat Braun also sehr unterschiedliche Erfahrungen gemacht und Anregungen empfangen; sie haben sich ganz allgemein auf seine Flexibilität in seiner künftigen Arbeit als Forscher und Hochschullehrer ausgewirkt.

Literatur

Bericht über die Einweihung der Thomasschule zu Leipzig. Leipzig 1878.

Braun, Ferdinand: „Ueber die Stromleitung durch Schwefelmetalle“. In: *Pogg. Annalen* 154 (1874)/1 S. 556–563.

Braun Ferdinand: *Der junge Mathematiker und Naturforscher*, Verlag von Otto Spamer. Leipzig 1876/2.

Braun, Ferdinand: „Versuche über Abweichungen vom Ohm’schen Gesetz in metallisch leitenden Körpern“. In: *Sitzungsber. Naturforsch. ges. Leipzig* 1876/3 S. 49–62.

Braun, Ferdinand: „Ueber die Natur der elastischen Nachwirkung“. In: *Sitzungsber. Naturforsch. ges. Leipzig* 1876/4, S. 28–35.

- Braun, Ferdinand: „Ein neuer Wellenanzeiger (Unipolar-Detektor)“. In: *Elektrot. Zs.* 27 (1906)/5, S. 1199–1200.
- Franke, Martin: „Karl Ferdinand Braun – Gymnasiallehrer in Leipzig 1874–1877“. In: *Beitr. zur Gesch. v. Technik und technischer Bildung*: Leipzig (1993) S. 43–58.
- Hars, Florian: *Ferdinand Braun (1850–1918) Ein wilhelminischer Physiker*, Verlag für Gesch. der Naturwiss. u. Technik: Berlin. Diepholz 1999.
- Kurylo, Friedrich: *Ferdinand Braun*. Heinz Moos Verlag: München 1965.
- Programm der Thomasschule in Leipzig für das Schuljahr Ostern 1875–1876.
- Programm der Thomasschule in Leipzig für das Schuljahr Ostern 1876–1877.
- Schreier, Wolfgang: „Die Physik an der Leipziger Universität bis zum Ende des 19. Jahrhunderts“. In: *Wiss. Zs. der Karl-Marx-Univ. Leipzig. Math.-Naturwiss. Reihe* 34 (1985) 1, S. 5–19.

Anschrift des Verfassers:

Univ.-Dozent Dr. habil. Wolfgang Schreier
 Gaußstr. 28
 D-04179 Leipzig