

Technik-Geschichte
in Jena e.V.



VERLAG
VOPELIUS
JENA

JENAER JAHRBUCH ZUR TECHNIK- UND INDUSTRIEGESCHICHTE

Renate Tobies (Jena)

Ernst Abbe

JJB 24 (2021) S. 13–42

Nutzungsbedingungen:

Dieses Dokument ist ausschließlich für den persönlichen, nicht-kommerziellen Gebrauch bestimmt. Sie dürfen dieses Dokument nicht in irgendeiner Weise abändern, noch dürfen Sie dieses Dokument für öffentliche oder kommerzielle Zwecke vervielfältigen, öffentlich ausstellen, aufführen, vertreiben oder anderweitig nutzen.

Mit der Verwendung dieses Dokuments erkennen Sie die Nutzungsbedingungen an.

Renate Tobies (Jena)

Ernst Abbe

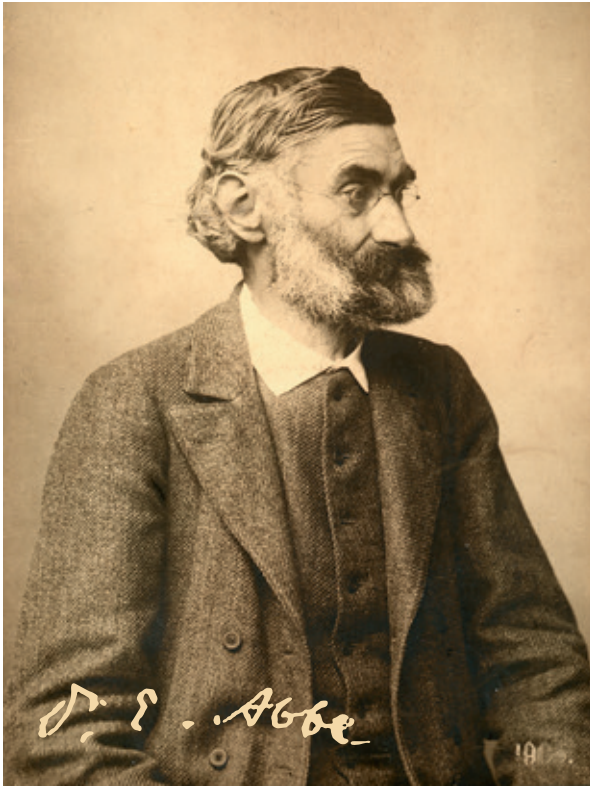


Bild 1: Ernst Abbe
(ZEISS Archiv).

- Geboren 23. 1. 1840 Eisenach, Gestorben 14. 1. 1905 Jena.
- *Physiker, Mathematiker, Hochschullehrer, Geschäftsführer, Sozialreformer.*
- *Vater:* Georg Adam Abbe (1813–1874), Arbeiter in einer Buchdruckerei, dann in der Kammgarnspinnerei (Spinnmeister; Vorarbeiter) in Eisenach.
- *Mutter:* Elisabeth Christina Abbe (1809–1857; † an Tuberkulose), Tochter des Johann Georg Barthfeldt (1773–1812), Zeug- und Feintuchweber in Eisenach, und der Sophie Wilhelmine Noll (1783–1856).
- *Schwester:* Sophie Abbe (1841–?).

- *Ehefrau*: Elisabeth (Elise) Snell (1844–1914), Tochter von Karl Snell (1806–1886) in Jena. Hochzeit am 24. September 1871 ohne kirchliche Trauung. *Tochter* Margarete (Grete) Abbe, verh. Unrein (1872–1945); *Tochter* Pauline (Paula) Abbe, verh. Wette (1874–1945).

Die Stadt Jena mit öffentlichen Gebäuden, Universität, Wirtschaft und Wissenschaft würde heute ohne Ernst Abbe anders aussehen. Als Wissenschaftler und Erfinder auf dem Gebiet des optisch-wissenschaftlichen Gerätebaus, Förderer von Begabungen, als Firmenchef mit Weitblick und Verantwortungsgefühl war er nahezu einmalig in seiner Zeit.

Ernst Abbes Leben und Wirken ist in zahlreichen Biographien behandelt worden. Seine *Gesammelten Abhandlungen* (GA) liegen in fünf Bänden vor. Die Editionen von Briefen an seine Jugendfreunde Carl Martin (1838–1907) und an Harald Schütz (1840–1915) – mit dem sich Abbe wie das klassische Freundespaar Orest und Pylades verbunden fühlte (Wahl/Wittig 1986) – sowie die Korrespondenz mit A. F. Weinhold (1841–1917) bieten authentischen Einblick in sein Denken und Handeln (Feige/Szöllösi 1990). Die Publikationen Wittig 1989a und 1989b basieren auf tiefen Quellenanalysen. Das Buch Stolz/Wittig 1993 ging aus einer Abbe-Konferenz hervor. Auch unser Jahrbuch, vor allem Bd. 1 (1999) und Bd. 7 (2005), enthält wichtige Beiträge über Abbe und von ihm beeinflusste Gebiete. Seine Bedeutung zu erfassen, erfordert, ihn von den verschiedensten Seiten zu beleuchten. Das soll hier im Überblick versucht werden. Dabei ist es schwierig, etwas weitgehend Unbekanntes auszusagen, aber nicht vollkommen unmöglich.

Der Weg in die Wissenschaft

Nachdem Abbes überdurchschnittliche Begabung früh entdeckt und ihm der Besuch des Realgymnasiums seiner Heimatstadt ermöglicht worden war, erwarb er ein Jahr vorfristig, im Alter von 17 Jahren (März 1857), das Reifezeugnis. Aus seinem Tagebuch geht hervor, wie sich der aus ärmlichen Verhältnissen Kommende Zusatzwissen im *täglichen* Selbststudium aneignete, auch sonntags und in den Ferien; allein im Jahre 1856 verschlang er 88 Bücher zu allgemeiner Naturwissenschaft, Physik, Astronomie, Mathematik u. a. (Stolz/Wittig 1993: S.205–208). Abbes

Aufzeichnungen über analytische Geometrie und Differential- und Integralrechnung zeugen ebenfalls davon, dass er über den Pflichtstoff damaliger Gymnasien hinausging. Daneben erteilte er Mitschülern Nachhilfeunterricht in Englisch und Französisch, um sein Taschengeld aufzubessern. Abbe gehörte dem Naturwissenschaftlichen Verein Eisenacher Gymnasiasten an, deren Mitglieder Vorträge hielten und sich Aufgaben stellten. Der Verein verfügte über Mittel, Sammlungsobjekte und Bücher; Abbe amtierte zeitweise als Kassierer bzw. Bibliothekar und Archivar. Für die schriftliche Abiturarbeit wählte er ein optisches Thema: „Allgemeine Bestimmung der Lage, Größe und Gestalt des Bildes, welches ein sphärischer Hohlspiegel von einem Gegenstande entwirft, der unendlich weit von ihm entfernt ist, und in seiner Axe liegt (nebst Zahlenbeispiel)“; anspruchsvoll war auch die mathematische Abiturarbeit: „Wie groß ist der Krümmungshalbmesser einer Parabel, von 12" Parameter, in dem Punkte, dessen Ordinate durch den Brennpunkt geht, und wie groß ihr Bogen von ihm bis zum Scheitel? Allgemeine Entwicklung der hierbei gebrauchten Formeln“. (Ebd.: S. 210–213).

Ab April 1857 studierte Abbe in Jena, finanziell erleichtert durch ein „Armuthszeugnis“. Gemäß seinem Arbeitsethos lehnte er korporative Studentenverbindungen ab und konzentrierte sich auf Mathematik und Physik, ergänzt durch Botanik (bei M. J. Schleiden¹), Kristallographie, Pädagogik, Philosophie, Logik, Neueste Geschichte u. a.² Engen Kontakt fand er vor allem zu Karl Snell, o. Professor für Mathematik *und* Physik, sowie zum ao. Professor Hermann Schäffer (1824–1900), dessen pädagogisches Geschick und Lehrtalent Abbe später in einer Gedächtnisrede rühmte (Abbe 1906, GA, Bd. 2, S. 342–346). In Schäffers *Mathematischer Gesellschaft* (gegr. 1850) trugen auch Studenten vor, Abbe erstmals am 9. Juli 1857 „Ueber Schnitte am Kegel“ (Tobies 1993: S. 305–306). Er referierte hier ebenfalls über seine Schrift zur Preisaufgabe, eine „historische Darstellung und eine Beurtheilung der wichtigsten Arbeiten der Physiker, durch welche dieselben die bei einer Volumveränderung der Gasarten innerhalb der Grenzen ihrer Permanenz entstehenden und verschwindenden Wärmemengen theoretisch und experimentell zu bestimmen gesucht haben“ zu liefern. Abbe hatte seine Arbeit am 30. April 1858 eingereicht und erhielt den ersten Preis gemäß Snells Gutachten (Vortragsreferat und Gutachten in Wittig 1989b: S. 133–148; 169). Snell betonte Abbes frühe Ansicht, dass Naturgesetze auf induktivem Wege durch mathematisches Herangehen zu begründen seien – wobei ihn Denker

wie Francis Bacon (1561–1626) u. a. früh geprägt hatten (vgl. H. Schröpfer in Stolz/Wittig 1993: S. 218–232).

In der Preisschrift offen gebliebene Fragen bewältigte Abbe mit seiner Dissertation *Erfahrungsmässige Begründung des Satzes von der Aequivalenz zwischen Wärme und mechanischer Arbeit* (Abbe 1861; Reprint in Abbe 1906, GA, Bd. 2 S. 2–32), die Wilhelm Weber (1804–1891) in Göttingen annahm. Abbe war im April 1859 dorthin gewechselt und strebte – was wenig bekannt ist – zunächst eine Dissertation in Mathematik (zur Funktionentheorie) an, wie er am 16. September 1860 Harald Schütz mitteilte (Wahl/Wittig 1986: S. 49). Da er jedoch mit diesem Thema nicht schnell genug vorankam, aber das (teure) Studium möglichst schnell mit einem Dokortitel abschließen wollte, baute er seine erwähnte Preisschrift zur Dissertation aus. Neben dem Physiker Weber prägte ihn vor allem der Mathematiker Bernhard Riemann (1826–1866). Abbe arbeitete dessen Vorlesungen zur Funktionentheorie (worin auch Cauchys Integralsatz, Integralformel und Konvergenzkriterium benutzt wurden)³ und zur Potentialtheorie so gut aus, dass Mitstudenten und selbst Riemann sie erbat (ebd.: S. 82–83; Brief Abbes v. 20. 5. 61). Abbe verglich Riemanns geometrisch-physikalische Begründung der Theorie komplexwertiger Funktionen auch mit dem analytischen Herangehen von Karl Weierstraß (1815–1897) – dessen Vorlesungsmitschriften er durch Schütz aus Berlin erhielt. Optik hörte Abbe bei J. B. Listing (1808–1882), der einen Forschungsschwerpunkt in der physiologischen Optik hatte.

Nach Abschluss des Promotionsverfahrens (23. 3. 1861) hörte Abbe in Göttingen weitere, vor allem mathematische Vorlesungen bei Riemann und Moritz Abraham Stern (1807–1894), gab Nachhilfestunden, arbeitete als Assistent an der Sternwarte unter Wilhelm Klinkerfues (1827–1884) sowie praktisch und rechnerisch in der Werkstätte von Moritz Meyerstein (1808–1882), der auch Universitätsmechanicus war. Abbe half Meyerstein u. a., dessen Arbeit über ein vereinfachtes Spektrometer zu verbessern und Fehlergrenzen abzuschätzen (von Rohr 1940: S. 13, 223; Wittig 1989a: S. 29–30). Darin kann ein Ausgangspunkt für Abbes Habilitationsschrift *Ueber die Gesetzmässigkeit in der Vertheilung der Fehler bei Beobachtungsreihen* (Jena: Frommann, 1863; Reprint: Abbe 1906, GA, Bd. 2: S. 55–81) gesehen werden, die als wichtiger Beitrag zur Anwendung der Wahrscheinlichkeitsrechnung auf die Fehlerrechnung gilt. Anknüpfend an C. F. Gauß' (1777–1855) Methode der kleinsten Quadrate entwickelte Abbe ein Kriterium, um den Wahrscheinlichkeitsgrad, die Zufälligkeit eines Fehlers

numerisch zu bestimmen. Das ging als *Abbesches Kriterium* in die Literatur ein (Naas/Schmid 1961: S. 595; Schneider 1989: S. 219, 293–297). Später erreichte Abbe weitere Pionierleistungen in der Stochastik: Er gehörte zu den Ersten, die den *Poissonschen Punktprozess* genauer analysierten (Keeler 2018). In (Abbe 1878b) wird der Grad der Zuverlässigkeit eines mikroskopischen Geräts für die Zählung von Blutzellen diskutiert; in (Abbe 1895) werden die beiden Grenzwertsätze abgeleitet und der Grad der Annäherung durch die Grenzwertverteilung betrachtet. (Vgl. Seneta 1983)

Um seine mathematische Habilitationsschrift auszuarbeiten, bedurfte es allerdings einer Zwischenphase in Frankfurt/Main, wo Abbe Geld und Zeit dafür fand.

Frankfurt/M.: Platz zum Lehren, Forschen und Sichern der finanziellen Basis

Wie Abbes Briefe dokumentieren, wünschte er keine Stelle als Lehrer im höheren Schuldienst. Vielmehr suchte er eine Position, in welcher er kreativ wissenschaftlich tätig sein konnte. Der erwähnte Moritz Abraham Stern hatte Abbes Befähigung erkannt und half ihm; es ist bisher wenig bekannt, wie dies konkret geschah.

M. A. Stern hatte 1829 unter Gauß in Göttingen mit Bestnote promoviert und sich habilitiert, aber erst nach dreißig Jahren eine *ordentliche* Professur erhalten; Abbe thematisierte Sterns Berufung in einem Brief vom 26. Dezember 1859 (Wahl/Wittig 1986: S. 10). Stern war deutschlandweit der erste *ordentliche* Mathematik-Professor mit jüdischer Religion. Er entstammte der Familie eines Weinhändlers aus Frankfurt/M. – wo eine Universität erst im Jahre 1914 mit jüdischem Stiftungsmittel gegründet wurde. Es bestand jedoch früh ein *Physikalischer Verein*, den Goethe einst initiiert hatte und der mit Apparaten, Instrumenten, Büchern sowie einem Museum reichhaltig ausgestattet war. Seit 1838 gehörte eine Sternwarte im Turm der Paulskirche dazu, mit welcher die Zeit der öffentlichen Turmuhren genau bestimmt werden sollte. Mitglieder des Vereins erarbeiteten Gutachten über Patentanträge. Es gab festangestellte Dozenten, wofür sich Abbe, empfohlen durch Stern, bewarb.

Nach Probevortrag im Mai 1861 begann Abbe ab Oktober 1861 in diesem Verein, wobei ihm die Festanstellung erst nach einem Jahr in Aussicht gestellt wurde. Er las eine Wochenstunde Experimentalphysik, 14-tägig über neuere physikalische Ergebnisse, be-

gutachtete technische Projekte, hielt zusätzliche Vorträge im Verein für Naturkunde in Offenbach (Liste aller Vorträge in Wahl/Wittig 1986: S. 332–334) und beteiligte sich an astronomischen Beobachtungen im „Paulsturm“. Dafür verbesserte er das benutzte Instrumentarium (*Collimator; Meridian-Instrumente*) und publizierte seine ersten Artikel darüber (Abbe 1861/62). Daneben blieb Zeit für mathematische Studien; Abbe diskutierte mathematische Probleme mit Harald Schütz und schwärmte von Hermann Grassmanns *Ausdehnungslehre* (1844) (Wahl/Wittig 1986: S. 214–215, 221), womit erstmals eine Geometrie mehrdimensionaler Räume begründet worden war.

Als die Festanstellung ausblieb, unterstützte ihn erneut M. A. Stern; er empfahl Abbe für Professuren an polytechnischen Schulen, besuchte ihn in Frankfurt und vermittelte den Kontakt zum Mathematiker Michel [Michael] Reiß (1805–1869). Dieser hatte 1825 den Dokortitel in Göttingen erworben und war mit Sterns Mutter, eine geborene Reiß (Vogel Eva Reiß, 1775–1859), verwandt. Michel Reiß lebte nun als (reicher) Privatgelehrter in seiner Heimatstadt (vgl. Cantor 1889); er borgte Abbe mathematische Bücher (Wahl/Wittig 1986: S. 232–233) und stiftete ihm 1.000,– Gulden (Auerbach 1918: 107). Somit konnte sich Abbe ab Herbst 1862 auf das Ausarbeiten der erwähnten Habilitationsschrift konzentrieren.

Hochschullehrer in Jena

Am 19. Juni 1863 befürwortete der Dekan in Jena den Habilitationsantrag von Abbe, der dafür zunächst nur seine Dissertation sowie die zwei oben erwähnten, in Frankfurt publizierten Artikel eingereicht hatte [UA Jena]. Die eigentliche Habilitationsschrift mit dem (vorläufigen) Titel „Ueber die Berücksichtigung der Fehlervertheilung bei Anwendung der Methode der kleinsten Quadrate“ reichte er bis zum 26. Juni nach; Snell begutachtete. Am 26. Juni stimmte die Philosophische Fakultät mit 7 gegen 2 Stimmen dafür, Abbe eine mündliche Prüfung (Colloquium) zu erlassen. Bereits ab Juni 1863 las er (in Snells Auditorium, vgl. v. Rohr 1940: S. 17) unentgeltlich über *Bestimmte Integrale, besonders über die Fourierschen Methoden* und über *Grundbegriffe der Potentialtheorie*. Nachdem die Habilitationsschrift publiziert sowie Disputation und Probevorlesung (am 8. und 10. August 1863) absolviert waren, wurde Abbe Privatdozent für Mathematik *und* Physik.

Abbe pflegte, typisch für die damalige Zeit, die Kommunikation in zahlreichen Vereinen. Er integrierte sich 1863 wieder in die Mathematische Gesellschaft, wurde am 27. November 1863 Mitglied der Medicinisch-naturwissenschaftlichen Gesellschaft,⁴ trat dem Turnverein und 1864 der Mineralogischen Gesellschaft bei. Ernst Haeckel (1834–1919) gewann ihn 1871 auch für seine interdisziplinären Referierabende. Das Jenaer Vereinsleben wurde durch Karl Snells Sonntagabend-Kreise zur Diskussion naturphilosophischer Fragen ergänzt.

Mit seinen Vorlesungen versuchte Abbe, orientiert an Göttingen, das theoretische Niveau in Jena zu heben. Im Winter 1863/64 arbeitete er „besessen“ daran, die *Mechanik* „als rein mathematische Disciplin“ für die Vorlesung darzustellen und die „Fundamente für die Functionentheorie“ zu erweitern. Er las außerdem, nach Göttinger Beispiel, über *Theorie physikalischer Meßinstrumente* (Winkelmesser mit Fernrohr, Pendeluhr, Waage, Drehwaage, Bifilarwaage etc.) und half Snell, dessen Vorlesung Experimentalphysik vorzubereiten – die er im Sommer 1864 selbst übernehmen sollte. Abbe verbrachte viel Zeit damit, Apparate „zusammenzubasteln“, da die Jenaer Ausstattung weit schlechter als in Göttingen und Frankfurt war. Im November 1863 beauftragte er Carl Zeiß (1816–1888) – der 1860 zum Universitätsmechanicus und 1862 auch zum Hofmechanicus ernannt worden war – einen universell einsetzbaren Apparat zur Messung kleiner elektrischer Ströme und des Magnetismus (nach Gauß-Weberschen Methoden) zu fertigen. Da dies für Zeiß neu war, beaufsichtigte Abbe selbst minutiös den Herstellungsprozess (Wahl/Wittig 1986: S. 262; 268–269, 281). Zeiß wurde dabei bewusst, was er durch Kooperation mit Abbe gewinnen kann.

Im Sommer 1864 stand nicht nur die Vorlesung Experimentalphysik auf Abbes Programm, er las zugleich über (Elemente der) *Zahlentheorie*, über *Mechanik* und etablierte erstmals in Jena *physikalische Übungen*. Dieses *Praktikum* zog im darauf folgenden Semester unerwartet viele Studenten (17) an; Abbe bildete zwei Gruppen und band die Teilnehmer in experimentelle Forschungsprojekte ein. (Wahl/Wittig 1986: S. 294–296; 328). In ca. 30 Jahren bot Abbe insgesamt ca. 130 Lehrveranstaltungen an (vgl. Schielicke in Steinbach 2005). Seine erste Vorlesung mit optischem Inhalt hielt er 1874, nachdem er Grundlagen für seine Theorie des Mikroskops publiziert hatte. In seinen Lehrveranstaltungen entdeckte er auch Talente, die er zu Dissertationen anregte, als Mitarbeiter bzw. Nachfolger gewann, darunter Paul Riedel (1852–1909),⁵ Otto Knopf (1856–1945), Paul Rudolph (1858–1935), Rudolf Straubel (1864–

1943), Karl Bratuschek (1865–1913), Albert König (1871–1946). Abbes letzte Vorlesung 1897/98 besuchten fünf Hörer, darunter Otto Eppenstein (1876–1942) und Hans Boegehold (1876–1965), beide später bei Zeiss [CZA 32428].

Abbe lebte lange Zeit in finanziell begrenzten Verhältnissen. Privatdozenten waren auf Hörengelder und elterliche Unterstützung angewiesen; beides war für ihn gering. Kurator Moritz Seebeck (1805–1884) und Snell erwirkten ab 1865 für Abbe einen staatlichen Zuschuss von 200, später 300 Talern im Jahr (vgl. v. Rohr 1940: S. 19–21). Als ao. Professor ab 5. Mai 1870 erhielt Abbe ein Jahresgehalt von 1.500,- Mark (Angabe von 1875, nachdem die Mark als Währung galt). Somit war es für ihn nicht nur eine wissenschaftliche Herausforderung, sondern auch eine wichtige Absicherung, als ihn Carl Zeiß ab 3. Juli 1866 mit finanziellen Zuwendungen in seine Werkstatt einbezog und mit Vertrag vom 22. Juli 1876 zum (stillen) Teilhaber erklärte, rückwirkend zum 15. Mai 1875. Dies führte dazu, dass Abbe Rufe auf o. Professuren nach Marburg 1875 (vgl. Abbe GA, Bd. 3: IX) sowie Berlin und Jena ablehnte. Er übernahm aber 1877 das Direktorat der „Großherzoglichen“ Jenaer Sternwarte und wurde zum o. *Honorar*professor ernannt (25. Juli 1878), wofür er 900 Mark erhielt. Sein Engagement für Sternwarte, Neubau mit eigenen Mitteln, ihre instrumentelle Ausstattung, seine astronomischen Lehrveranstaltungen, sein Heranziehen von Otto Knopf als geeigneten Nachfolger bis hin zum formalen Schritt des Übergangs zur „Universitäts“-Sternwarte 1902 sind bei R. E. Schielicke (in Steinbach 2005: S. 149–61) beschrieben.

Als Abbe 1878 den erkrankten Karl Snell als Dekan der Philosophischen Fakultät vertrat, gewann er Einfluss auf die Berufungspolitik. Es gelang, selbstständige Ordinariate für Mathematik bzw. Physik zu etablieren. 1879 erhielten Johannes Thomae (1840–1921) die o. Professur für Mathematik und der Logiker Gottlob Frege (1848–1925) eine ao. Professur (ab 1896 o. *Honorar*professur). Ordinarius für Physik wurde zum 9. Oktober 1882 Leonhard Sohncke (1842–1897), der den von Abbe geplanten Bau eines physikalischen Instituts leitete, aber bereits 1886 an die TH München wechselte (vgl. Schlote/Schneider 2011: S. 112–23). In Jena folgte Adolph [Adolf] Winkelmann (1848–1910), der gut mit Abbe kooperierte, ihn für den Nobelpreis vorschlugen und mit einer inhaltsreichen, bemerkenswerten Gedächtnisrede ehren sollte (Winkelmann 1905). Gemäß Abbes Vorschlag konnte 1889 ein Extraordinariat für theoretische Physik mit Felix Auerbach (1856–1933) besetzt werden – entgegen antisemitischer Vorbehalte,

aber unterstützt durch Winkelmann und Heinrich Eggeling (1838–1911), ein Studienfreund Abbes und seit 1884 Universitätskurator (Schlote/Schneider 2011: S. 130–36). Abbe war es auch zu danken, dass 1899 ein Extraordinariat für Mikroskopie etabliert und der Botaniker Hermann Ambronn (1856–1927) dafür gewonnen werden konnte, der bis 1907 zugleich die „Mikro“-Abteilung bei Zeiss leitete. Abbes kreative Ideen trugen dazu bei, dass in Jena seismologische Forschungen (Erdbebenstation)⁶ sowie Fluorit (CaF₂)-Forschungen (am Mineralogischen Institut) betrieben und die Institute gefördert wurden.⁷

Diese Einflussnahme wurde möglich, weil Abbe das Geld, das er als Teilhaber der Zeiss-Werkstätte erwarb, zu großen Teilen der Universität verfügte. 1885 verzichtete er auf die erwähnte Besoldung von 900 Mark und verwendete sie für Zwecke der Sternwarte. Im Mai 1886 stiftete er einen geheim gehaltenen „Ministerialfonds für wissenschaftliche Zwecke“, aus dem die Universität jährliche Zuschüsse erhielt. Dieser Fonds floss 1889 in die von ihm verfügte Carl Zeiß-Stiftung ein, die bevorzugt Mathematik, Physik, Astronomie und schließlich, nach Erweiterung auf soziale Aspekte, viele weitere Gebiete und Gebäude von Universität und Stadt förderte. Dazu gehörten eine 1895 beschlossene und 1896 errichtete Öffentliche Lesehalle und Leihbibliothek, die als Modelleinrichtung des deutschen Bibliothekswesens galt (die spätere Ernst-Abbe-Bibliothek). Dies wurde in das 1901 bis 1903 errichtete Volkshaus integriert, welches Abbe persönlich gegen Widerstände als öffentliches Gebäude für kulturelle und politische Veranstaltungen durchsetzte.

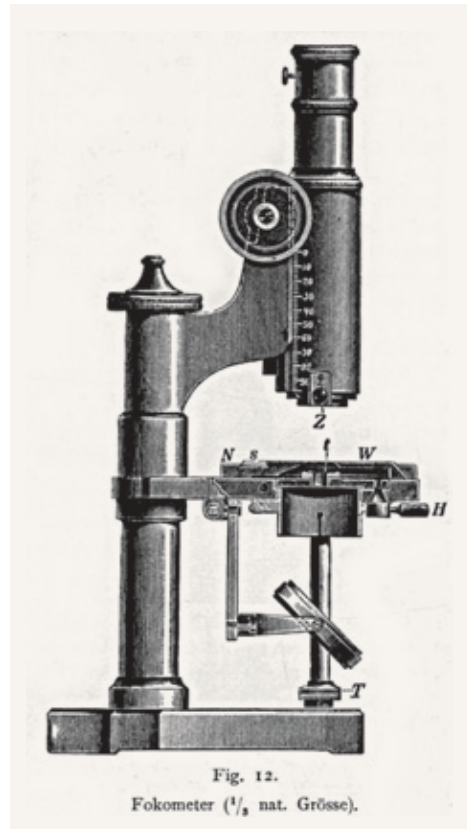
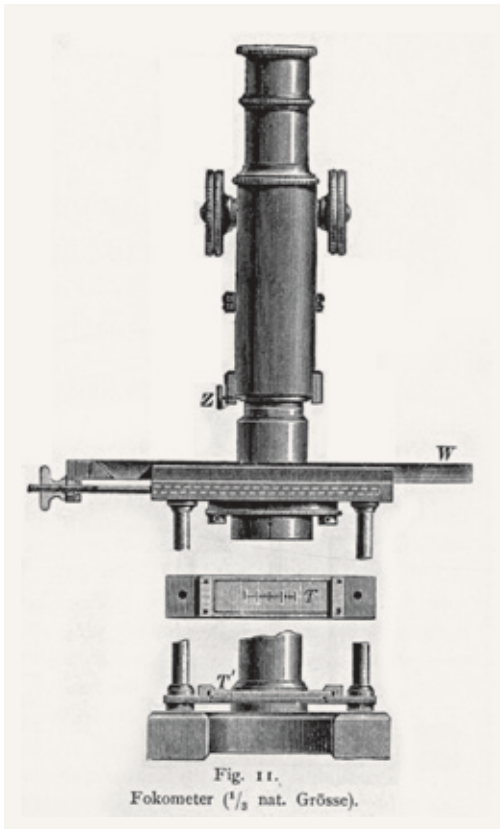
Einheit von Handwerk und Wissenschaft: Carl Zeiß & Ernst Abbe

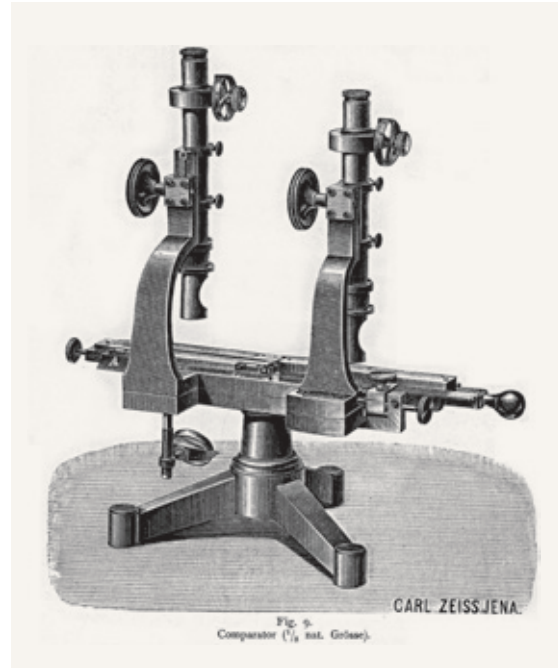
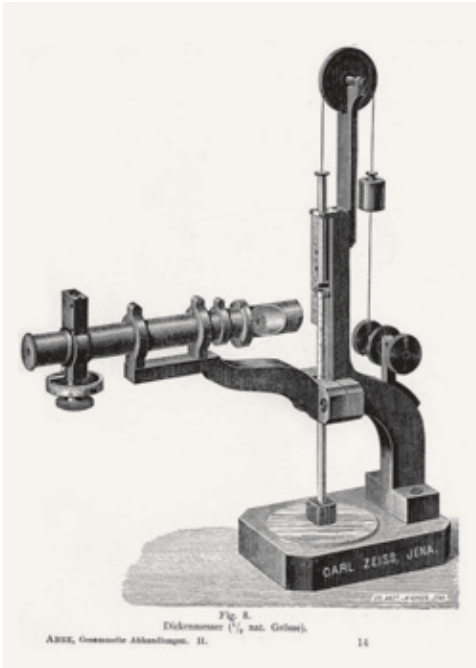
Carl Zeiß, der das notwendige enge Verbinden von Handwerk und Wissenschaft bereits durch seinen Lehrmeister Friedrich Körner verinnerlicht hatte, war mit seiner feinmechanisch-optischen Werkstatt auch im Mikroskopbau zunächst „präbelnd“ erfolgreich. Mitte der 1860er Jahre überwog jedoch die Ansicht, dass weitere Fortschritte eine neue theoretische Basis erfordern. Zeiß sah die Erfolge aufgrund mathematischer Berechnungen im Fernrohrbau bei Joseph Fraunhofer (1787–1826) sowie beim Bau photographischer Objektive und hoffte, mit Abbes Hilfe im Mikroskopbau ähnlich voranzukommen.

Dank Abbes Mitarbeit wurden in der Zeiss-Werkstätte optische Systeme und Stative in *Teilarbeit* gefertigt, was eine schnellere und auch präzisere Produktion ermöglichte. Um die optischen Bauelemente des Mikroskops genau zu bestimmen, entwickelte Abbe *Mess- und Prüfgeräte* für alle Parameter (Radien, Dicken, Durchmesser, Abstände, etc.):

- ein Fokometer (1867): ein Mikroskopstativ mit verschiebbarem Tischschlitten und zwei Glasskalen, um die Brennweite von Linsen und Linsensystemen zu bestimmen (Bild 2);
- einen Dickenmesser (Contact-Mikrometer), um Dicken bis zu 50 mm zu bestimmen (Bild 3),
- einen Komparator, um Dicken bis 100 mm sowie Gitter, Skalen u. a. Objekte auszumessen (Bild 4); zur Weiterentwicklung vgl. Steinbach 2005: S. 9–69);
- ein Sphärometer, um Radien von Kugelflächen zu ermitteln (Bild 5),
- Apparate zur Bestimmung des Brechungs- und Zerstreuungs-

Bild 2: Front- und Seitenansicht eines Fokometers – Gerät zur Bestimmung der Brennweite von Linsen (Abbe 1906, Bd. 2, S. 217, 218); W Schlitten, Z Zentrierkopf, t Scale, H Hebel.





vermögens: der dioptrischen Constanten mittels Prismen; ein verbessertes Spectrometer, ein Refraktometer (1869), siehe Bild 6, um Brechzahlen (und Teildispersionen) von Glasproben (in Form von Prismen) bzw. von Flüssigkeiten (mittels Totalreflexion) zu messen (Abbe 1906, GA, Bd. 2: S. 82–164; S. 169–179, vgl. zu Weiterentwicklungen L. Kramer in Steinbach 2005);

- einen Spektralapparat (1869), um Beugungs- und Spektralphänomene zu untersuchen;
- einen Beleuchtungsapparat (1869);
- ein Apertometer (1870), um Öffnungswinkel bzw. die numerische Apertur⁸ von Objektiven zu messen (Abbe 1904, GA, Bd. 1: S. 113–118).

Abbe stellte seine Apparate in der Jenaer Medicinisch-naturwissenschaftlichen Gesellschaft vor und publizierte ab 1870 in deren Organ⁹ darüber. Er nutzte auch die Versammlungen der Gesellschaft Deutscher Naturforscher und Ärzte, um die Apparate bekannt zu machen. Auf der 45. Jahresversammlung 1872 in Leipzig präsentierte er „Neue Apparate zur Bestimmung des Brechungs- und Zerstreuungsvermögens fester und flüssiger Körper“, was im *Tageblatt* dieser Versammlung (S. 53–54) kurz und in der *Jenaischen Zeitschrift für Naturwissenschaft* (8 (1874) S. 96–174) ausführlich

Bild 3: Contact-Mikrometer
(Abbe 1906, Bd. 2, S. 209).

Bild 4: Komparator
(Abbe 1906, Bd. 2, S. 210).

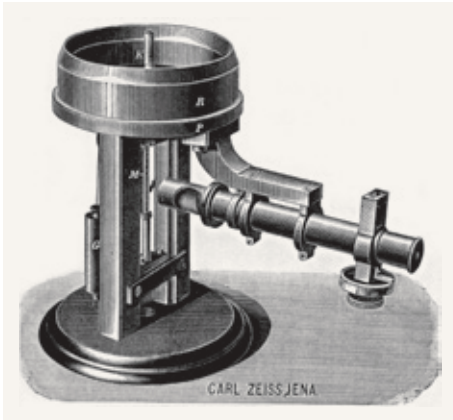


Bild 5: Sphärometer, im Wesentlichen wie Contactmikrometer (Abbe 1906, Bd. 2, S. 211).

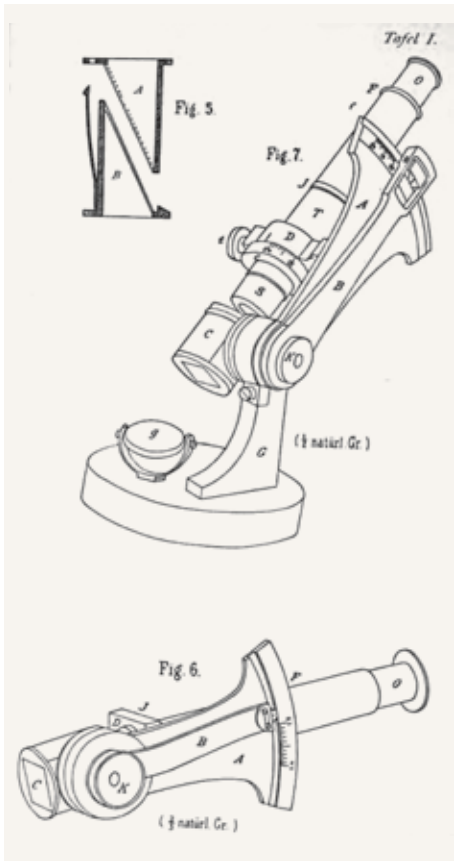


Bild 6: Refraktometer (Abbe 1906, Bd. 2, Tafel 1).

beschrieben wurde (Reprint in Abbe 1906, GA, Bd. 2: S. 82–164). Abbe reiste auch zu Weltausstellungen; so u. a. 1873 nach Wien. Hier erneuerte er den Kontakt zu seinem Studienfreund A. F. Weinhold, der sofort Abbes Erkenntnisse studierte und bereits 1873/74 in der Naturwissenschaftlichen Gesellschaft zu Chemnitz darüber vortrug. Weinhold baute das Thema in seinen herausragenden Laboratoriumsunterricht an der dortigen Gewerbeschule ein, wo Abbe später auch selbst experimentierte. Weinhold wurde für Abbe ein wichtiger Austauschpartner über viele mess- und fertigungstechnische, arbeitsorganisatorische, ökonomische und weitere Fragen (Heizungsanlage, Telefon, Schreibmaschine, Rechenmaschine, Blitzableiter, Personal u. a.) (Feige/Szöllösi 1990).

Die mit Abbes Prüf- und Mess-Apparaten verbundenen Erkenntnisse flossen z. T. bereits in ein neues „Präparir-Mikroskop“ (Bild 7) ein, das Carl Zeiß im *Archiv für mikroskopische Anatomie* (Zeiss 1870) vorstellte, was der Herausgeber dieser Zeitschrift, der Anatom Max Schultze (1825–1874), mit lobender Anmerkung aufgenommen hatte (S. 234).

Ausgehend von Mikroskopberechnungen seit April 1869 hatte Abbe seine Theorie der mikroskopischen Abbildung (Abbildung *nicht* selbstleuchtender Objekte) in Grundzügen ausgearbeitet. In der *Jenaischen Zeitschrift für Medizin und Naturwissenschaft* publizierte er bereits 1871 einen langen Artikel „Ueber die Bestimmung der Lichtstärke optischer Instrumente“, in dem er Theoreme zur Theorie optischer Instrumente darlegte und erstmals zur *Strahlenbegrenzung* ausführte (Abbe 1871, bes. S. 281–84); zwei Jahre später erschien sein Artikel „Beiträge zur Theorie des Mikroskops und der mikroskopischen Wahrnehmung“ im *Archiv für mikroskopische Anatomie* (Bd. 9 (1873) S. 413–468; Reprint Abbe 1904, GA, Bd.1: S. 45–100). Hier beschrieb er sein Ab-

bildungskriterium für eine aplanatische Abbildung (*Sinusbedingung*) sowie die *Grenze für das Auflösungsvermögen* in Worten. D.h., Abbe gab 1873 die Sinusbedingung für einen Spezialfall eines Linsensystems im Mikroskop an (Bild 9 links), sowie nach konstruktiver Überprüfung in einem Artikel von 1879 für den allgemeinen Fall: „[...] es müssen die *Sinus* der Neigungswinkel beiderseits entsprechender Strahlen gegen die Achse im ganzen Umfang beider Büschel ein constantes Verhältnis zeigen.“ (Abbe 1904 Bd. 1: S.215). Das Beachten dieser Bedingung bei der Konstruktion sicherte, dass ein ebenes Flächenelement auf ein ebensolches (fehlerfrei) abgebildet wird (eine notwendige, aber nicht hinreichende Bedingung). Die *Grenze für das Auflösungsvermögen* der mikroskopischen Abbildung ergab sich vor allem aus dem Wellencharakter des Licht (Bild 9 unten).

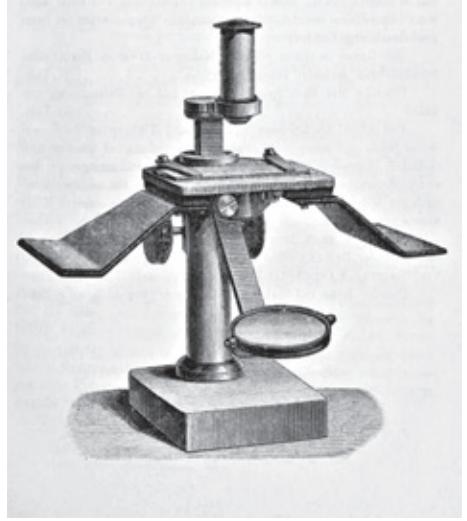


Bild 7: Carl Zeiss (1870): Ein neues Präparir-Mikroskop, (Zeiss 1870, S. 235).

Abbes theoretische „Beiträge“ wurden international schnell zur Kenntnis genommen, ins Englische¹⁰ übersetzt und in Moskau vorgetragen (Wittig 1989a: S.95–96). Hermann von Helmholtz (1821–1894), der unabhängig davon Ähnliches entwickelt hatte, anerkannte schon im Januar 1874, dass Abbes Ergebnisse seine eigenen überragten, da Abbe auch „das Sehen mit schiefer Beleuchtung und unvollständigem Lichtkegel“ erfasst hatte (vgl. Wittig 1989a: S.68). Vier Jahre später kam Helmholtz nach Jena, um Abbe für eine Spezialprofessur für Optik in Berlin zu gewinnen, was dieser „schweren Herzens“ ablehnte.

Direkt nach seinen „Beiträgen zur Theorie...“ war Abbes Artikel „Ueber einen neuen Beleuchtungsapparat am Mikroskop“ im *Archiv für mikroskopische Anatomie* abge-

| IV | Inhalt. | Seite |
|------|---|-------|
| | Beiträge zur Theorie des Mikroskops und der mikroskopischen Wahrnehmung. Von Dr. E. Abbe, ao. Professor in Jena. | |
| I. | Die Construction von Mikroskopen auf Grund der Theorie. | 413 |
| II. | Die dioptrischen Bedingungen der Leistung des Mikroskops. | 418 |
| III. | Die physikalischen Bedingungen für die Abbildung feiner Structuren | 440 |
| IV. | Das optische Vermögen des Mikroskops. | 456 |
| | Ueber einen neuen Beleuchtungsapparat am Mikroskop. Von Dr. E. Abbe, ao. Professor in Jena. Hierzu ein Holzschnitt. | 469 |

Bild 8: Erste Publikation von Abbes Grundzügen der Abbildungstheorie des Mikroskops. Rechts: Titel; Links: Inhaltsverzeichnis (Schultze 1873, S. I, S. IV).



Die Grundlage für die exacte Entwicklung der mannigfachen Folgerungen, zu denen die Betrachtung der erwähnten Oeffnungsbilder führt, bildet ein für die ganze Theorie des Mikroskops sehr fruchtbarer Satz, der sich allgemein erweisen lässt. Er lautet: Wenn ein optisches System für einen seiner Brennpunkte vollkommen aplanatisch ist, so trifft jeder von diesem Brennpunkte ausgehende Strahl eine durch den andern Brennpunkt gelegte Ebene in einem Abstände von der Axe, dessen lineare Grösse gleich ist dem Product aus der Aequivalentbrennweite des Systems mit dem Sinus des Winkels, welchen der betreffende Strahl mit der Axe bildet. — Da die genannte Bedingung bei einem correcten Mikroskop sowohl für das Objectiv allein wie auch für das Mikroskop im Ganzen erfüllt sein muss, so stellt dieses Theorem einen quantitativen Zusammenhang her zwischen dem Oeffnungswinkel des Mikroskops einerseits und den linearen Durchmessern der Oeffnungsbilder über dem Objectiv und über dem Ocular. Er macht es aber auch möglich, aus dem mikro-

vorausgesetzt. — Da nun auch beim Immersionssystem der Oeffnungswinkel durch kein Mittel erheblich über diejenige Grösse, die 180° in Luft entsprechen würde, hinausgeführt werden kann, so folgt, dass, wie auch das Mikroskop in Bezug auf die förderliche Vergrösserung noch weiter vervollkommenet werden möchte, die Unterscheidungsgrenze für centrale Beleuchtung doch niemals über den Betrag der ganzen, und für äusserste schiefe Beleuchtung niemals über den der halben Wellenlänge des blauen Lichts um ein Nennenswerthes hinausgehen wird.

Letztere Grenze ist — für das directe Sehen — bei den feinsten bekannten Diatomeenstreifungen und bei den letzten Liniengruppen der Nobert'schen Platte thatsächlich schon erreicht. Nur bei photographischer Aufnahme der mikroskopischen Bilder kann die Unterscheidung noch merklich weiter reichen. Denn wegen der bedeutend kürzeren Wellenlänge der chemisch wirksamen Strahlen werden bei jedem Objectiv die Bedingungen für die photographische Abbildung sehr viel günstiger; nämlich so, wie sie für das directe Sehen eine im Verhältniss von 3 : 2 gröbere Structur stellen würde¹⁾.

Bild 9: Links: Beschreibung der Sinusbedingung, Unten: der Grenze des Auflösungsvermögens für das Mikroskop (Abbe 1873a, S. 420 bzw. S. 456).

druckt (vgl. Bild 10), der noch vor seiner theoretischen Arbeit in Englisch erschien.¹¹ Dieser Beleuchtungsapparat war eng mit Abbes Untersuchungen zur mikroskopischen Abbildung verknüpft. Er bestand aus zwei nicht-achromatischen Linsen und besaß „die Form eines grossen Mikroskopobjectivs mit dicker, mehr als halbkugliger, planconvexer Frontlinse“ (ebd.: S. 474–475), womit sich der

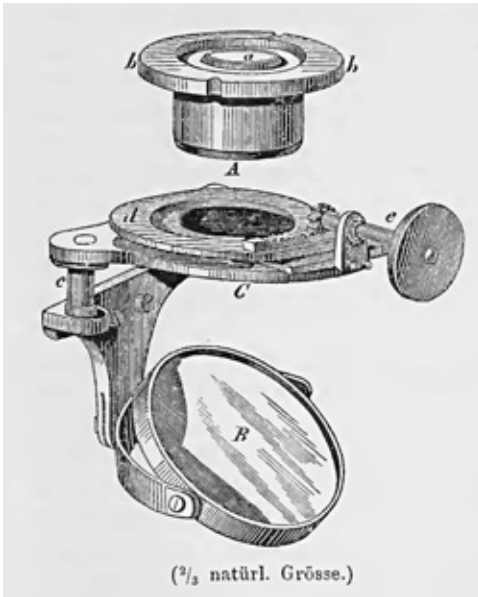


Bild 10: Abbes Beleuchtungsapparat (Abbe 1873b, S.475).

Öffnungswinkel regulieren ließ. Abbe hatte erst nach vielen Versuchen erkannt, dass es die Beugung des einfallenden Lichtbündels an den Objektelementen war, die einen größeren Öffnungswinkel des Objektivs erfordert.

Abbe vervollkommnete seine Theorie zur Bildentstehung im Mikroskop weiter und trug darüber in Vorlesungen vor. Das erste Lehrbuch dazu publizierte Siegfried Czapski (1861–1907), der 1883 bei Helmholtz promovierte und 1884 Abbes engster wissenschaftlicher Mitarbeiter wurde (Czapski 1893). Für eine zweite Auflage gewann Czapski weitere Zeiss-Mitarbeiter: Paul Culmann¹², A. König, Fritz Löwe (1874–1955), Moritz von Rohr (1868–1940), Henry Siedentopf (1872–1940) und Ernst Wandersleb (1879–1963). Dieses sog. „Siebenmännerbuch“ (v. Rohr 1904; Boegehold 1963) wurde Abbe gewidmet.¹³ Der Helmholtz-Schüler Otto Lummer (1860–1925) trug ebenfalls bei, Abbes Beugungstheorie (wozu auch die *Abbesche Invariante*¹⁴ gehörte) zu verbreiten. Lummer war 1886/87 nach Jena gesandt worden, um Abbes „Vorlesungen über theoretische Optik zu hören und die Rechenmethoden der praktischen Optik kennen zu lernen“; später zeigte er gemeinsam mit Fritz



Bild 11: Zeiss-Mikroskop 1879 (Quelle: Timo Mappes).

Reiche (1883–1969), dass Abbes Theorie der Bildentstehung im Mikroskop (aufgebaut auf dem Fresnel-Huygenschen Prinzip der Interferenz von Elementarwellen) auch nach den neueren Theorien von Kirchhoff und Maxwell gültig blieb – unter der Voraussetzung kleiner Konvergenzwinkel im Bildraum (Lummer/Reiche 1910). Ihr Buch enthält ebenfalls Abbes Formeln für die Sinusbedingung und für die Grenze des Auflösungsvermögens der mikroskopischen Abbildung. Letztere schmückt das Abbe-Denkmal am Fürstengraben in Jena und lautet:

$$d = \frac{\lambda}{2n \sin \alpha} .$$

Das gilt für schiefe Beleuchtung, mit d geometrischer Abstand des gerade noch erkennbaren Details eines Objekts, λ die Wellenlänge des Lichtes, n die Brechzahl des Mediums (Luft, Flüssigkeit) zwischen Objekt und Objektiv, α der halbe Öffnungswinkel und $n \sin \alpha$ die numerische Apertur des Objektivs.

Abbes Formel für die Auflösungsgrenze besaß lange Zeit Gültigkeit. Die durch Lichtwellenlänge und numerische Apertur bestimmte Grenze galt auch für die um 1930 einsetzende Elektronenmikroskopie.¹⁵ Diese Grenze wurde erst mit der supraauflösenden Fluoreszenzmikroskopie durch Änderung der Abbildungsrandbedingungen (spezielle Beleuchtung und Auswertung: Laser, Scanning, Fluoreszenzfarbstoffe) überschritten, wofür 2014 der Chemie-Nobelpreis erteilt wurde. (Vgl. hierzu auch Masters 2020: S. 173ff.).

Abbes Theorie war zunächst auf viel Skepsis gestoßen. Nach Besuch der Internationalen Ausstellung wissenschaftlicher Geräte in London 1876 lieferte Abbe einen langen, tiefgründigen Bericht über optische Instrumente für die Mikroskopie (für die preußischen Minister von Handel & Gewerbe sowie Kultus); er verglich die internationalen Entwicklungen und präsentierte auf mehr als der Hälfte der Seiten noch einmal seine Theorie, wies dezidiert Kritik daran zurück, formulierte praktische Schlussfolgerungen und Forschungsperspektiven (Abbe 1878a). Er zog das Fazit, dass noch bestehende Mängel in den Mikroskopobjektiven (chromatische und sphärische Abweichung) nur durch neue Glasarten zu beheben seien, „[...] bei welchen Dispersion und mittlerer Brechungsindex ein anderes Verhältnis zu einander“ zeigen (ebd.: S. 417). Abbe regte in diesem Bericht breite Forschungen dazu an, die mit öffentlichen Mitteln zu unterstützen seien (ebd.: S. 419).

Dass neue Glassorten erforderlich sind, hatte Abbe schon am 15.

Oktober 1873 dem Botaniker Leopold Dippel (1827–1914) – einem Schüler von Schleiden – mitgeteilt, der die international entwickelten Mikroskope analysierte und auch Abbes Kreationen prüfte. (Wittig 1989a: S.78–79; Dippel 1867/69) Abbe hatte zunächst mit den vorhandenen Glassorten durch *homogene Immersion* das Leistungsvermögen zu verbessern gesucht und ca. 200 chemische Verbindungen hinsichtlich ihrer optischen Konstanten analysieren lassen. Zugleich betrieb Abbe eine Art Vorlaufforschung mit hypothetischen Gläsern und gelangte zur Erkenntnis, dass deren dispersive Eigenschaften besser als bisher berücksichtigt werden müssen. Er formulierte eine dimensionslose Größe, die heute als *Abbe-Zahl* bezeichnet wird und angibt, wie sich der Brechungsindex von optischen Gläsern mit der Lichtwellenlänge ändert. Somit konnte er Otto Schotts (1851–1935) Arbeiten gut beurteilen. Dieser hatte zunächst 1875 in Jena mit der Dissertation „Beiträge zur Theorie und Praxis der Glasfabrikation“ den Dokortitel erworben. Anfang Juni 1879 sandte Schott erstmals die Probe eines Lithiumglases an Abbe zur optischen Beurteilung. Abbes wissenschaftliche Weitsicht und seine Empfehlung an Schott, im Labor weiterhin kleine Proben zu schmelzen, führten am 1. Januar 1884 zum Glastechnischen Laboratorium Schott & Genossen (unter „Genossen“ fungierten Abbe sowie Zeiß sen. und jun., d.h. Carl Zeiß und dessen Sohn Roderich). Vorausgegangen waren wichtige Initiativen von Abbe.

Abbe als Manager, Wissenschaftsorganisator und patentträchtiger Erfinder

Abbe hatte 1876 und 1879 seine Kontakte zu britischen Experten durch Reisen nach London vertieft, wo ihn die Royal Microscopical Society am 1. Mai 1878 zum Ehrenmitglied ernannte.¹⁶ Als er 1879 der Astronomischen Gesellschaft beitrug, fand er in Wilhelm Förster (1832–1921) einen gleichstrebenden Partner, der die Jenaer Pläne für ein „schmelzerologisches Laboratorium“ förderte, da er Untersuchungen zur „Präzisions-Glastechnik“ auch für astronomische u.a. Instrumente (Thermometer) wünschte. K.-H. Tiemann (in Stolz/Wittig: S. 269–87) analysierte, wie mit der Denkschrift von Abbe & Schott und Försters Engagement erreicht wurde, dass das preußische Abgeordnetenhaus Subventionen für das Jenaer Glaswerk zustimmte: 25.000 M am 11. Februar 1884 und 35.000 M am 3. März 1885.

Abbe und Förster gehörten zum Board der *Zeitschrift für Instrumentenkunde* (gegr. 1881) und zum Kuratorium der 1887 unter Helmholtz' Präsidentschaft gegründeten Physikalisch-Technischen Reichsanstalt (PTR) in Berlin. Die *zweite (technische) Abteilung* der PTR diente der *Entwicklung von Meßwerkzeugen und Meßmethoden* bis zur amtlichen Prüfung und Festlegung von Standards; diese Abteilung fungierte ab 1888 als Mitwirkende bei der Herausgabe der *Zeitschrift für Instrumentenkunde*, die eine Plattform für in Jena entwickelte Geräte wurde. Abbe engagierte Czapski, im Jahrgang 5 (1885) „Über einige neue optische Apparate von Prof. Abbe“ zu berichten: ein Instrument zum Aufsuchen von Schlieren (S. 117–21), ein Interferenzapparat zur Prüfung der Planparallelität von durchsichtigen (Glas-)Platten (S. 149–158) sowie Einrichtungen zur Fädenbeleuchtung bei astronomischen Instrumenten (S. 347–356). Czapski publizierte regelmäßig „Mittheilungen aus der Werkstatt von Zeiss“, auch in der *Zeitschrift für wissenschaftliche Mikroskopie und mikroskopische Technik*.

Die von Abbe und seinen Mitarbeitern entwickelten Apparate spiegeln die zunehmend breitere, nicht nur auf das Mikroskop setzende Orientierung. Nachdem Carl Zeiß am 3. Dezember 1888 verstorben und Roderich Zeiß (1850–1919) Ende 1889 aus dem Unternehmen ausgeschieden war, engagierte Abbe zunächst mit Max Fischer (1857–1930) einen erfahrenen Kaufmann, mit dem er sich selbst intensiv in das Verkaufsgeschäft einarbeitete (vgl. auch Heyne 2013, S. 44). Dies führte dazu, dass Entwicklung und Produktion optischer Präzisionsgeräte zu selbständigen Sparten ausgebaut wurden:

- seit 1890 wurde der Bau neuartiger photographischer Objektive (lichtstarke Anastigmaten) unter der Leitung von Paul Rudolph forciert, den Abbe 1886 als wissenschaftlichen Mitarbeiter gewonnen hatte;
- 1892 schuf Abbe die Abteilung für optische Messinstrumente, die er Carl Pulfrich (1858–1927) unterstellte, den er 1890, nach dessen Habilitation in Bonn zum Thema *Das Totalreflektometer und seine Verwendung in der Krystalloptik, nebst Anhang, betreffend das Refraktometer für Chemiker* (1889) zu Zeiss geholt und erprobt hatte.
- Ausgehend von Abbes (Nach)Erfindung des Prismenumkehrsatzes (ihm wurden 1894 dafür Patente erteilt),¹⁷ veranlasste Abbe die Produktion von Prismenfernrohren (umg. „Feldstecher“), woraus sich die Abteilung Erdfernrohre entwickelte, die sein Doktorstudent Albert König leitete;

- 1897 gelang es Abbe, Max Pauly (1849–1917) als Abteilungsleiter für astronomische Geräte zu engagieren (vgl. G. Wolfschmidt in Stolz/Wittig 1993, S. 334–62).
- Für Mikrophotographie, die Roderich Zeiss zunächst gefördert hatte (vgl. Hauser 1952, S. 6–13), holte Abbe 1897 den Mediziner Walther Gebhardt (1870–1918), der dazu Ergebnisse geleistet hatte, aber nur bis 1899 blieb. Zum 1. 10. 1900 übernahm August Köhler (1866–1948) die Sparte Mikrophotographie und Projektionsapparate (ebd.: S. 22). Für eine selbständige Abteilung Mikroskopie fand Abbe die erwähnte Lösung mit H. Ambronn.

Abbe konnte neue Ideen aufgrund eigener theoretischer Vorarbeiten gut beurteilen. Das betraf u.a. seine Arbeiten zur Stereoskopie (Abbe 1880). Als sich der US-amerikanische Zoologe Horatio Saltonstall Greenough (1845–1916) 1892 an ihn wandte, um sich u.a. ein Doppelmikroskop für seine embryologischen Arbeiten bauen zu lassen, führte Abbe bereits im Herbst 1892 eine optische Rechnung zu einem Greenough-Prototyp aus, der im März 1894 bei Zeiss vorlag.¹⁸

Obgleich Abbe noch 1887 alle Erfindungen frei zugänglich hatte halten wollen (Abbe GA, Bd. 5: S. 45), änderte er seine Ansicht im Firmeninteresse. So flossen seine zahlreichen kreativen Ideen von 1892 bis 1902 in zehn Patente (abgedruckt in Abbe 1906, GA, Bd. 2 S. 249–316); 1898 schuf er eine Patentabteilung (Wittig 1989a, S. 126), deren Leiter Emil Dönitz (1857–1912) wurde, der zuvor kurz der Tele-Abteilung vorstand (v. Rohr 1940, S. 217) und der das Markenzeichen der Zeiss-Werke kreierte. Abbe konnte sich auf Mitarbeiter stützen, die er zum Planen, Rechnen, Ausführen, Prüfen gewonnen hatte (vgl. Boegehold 1963, S. 59).

Die Veranstaltung des X. Deutschen Mechanikertages vom 21.–23. August 1899 in Jena demonstrierte, welchen Stellenwert die Firmen Carl Zeiss und Schott & Gen. inzwischen erreicht hatten. Abbe war Vorstandsmitglied des Mechanikertages seit 1889, als dieser erstmals in Heidelberg gemeinsam mit einer *Sektion Instrumentenkunde* auf der Jahresversammlung der Gesellschaft Deutscher Naturforscher und Ärzte stattfand.¹⁹

Abbe als Sozialreformer

Ernst Abbes liberalpolitische Haltung war bereits in seinem Elternhaus geprägt worden, wo er seinem Vater 1849 half, politische Flüchtlinge vor Repräsentanten der Konterrevolution zu verstecken

(Wittig 1989a, S. 8–10). Abbe blieb im Folgenden wach für alle Ereignisse, diskutierte politische Fragen mit dem Zoologen Anton Dohrn (1840–1909) und vor allem mit Karl Snell – der 1865 und 1866 Abgeordneter im Weimarer Landtag (des Großherzogtums Sachsen-Weimar-Eisenach) war. Als August Bebel (1840–1913) am 9. Juni 1869 eine Rede in Jena hielt, zeigte sich Abbe beeindruckt. Er unterstützte Snell, als dieser bei den ersten Reichstagswahlen (3.3.1871) für die Sozialdemokratie kandidierte (Wittig: 1989a: S. 84–87). Abbe engagierte sich seit 1884 im Freisinnigen Verein zu Jena und initiierte das am 15. April 1890 erstmals erscheinende liberale *Jenaer Volksblatt*; 1893 rief er dazu auf, sozialdemokratisch zu wählen (ebd.: S. 116–17), und hielt im März 1894 zwei sozialpolitische Reden. Darin betonte er, dass er seine Firma immer auch „mit den Augen des Arbeitersohnes, dem nicht unter der Hand Unternehmer- und Kapitalistenaugen wachsen wollten“, geleitet habe (Abbe 1906, GA, Bd. 3, S. 1–59; Zitat: 4; vgl. detailliert J. John in Stolz/Wittig 1993, S. 458–488; Demel, Steinbach 2014). Abbe strebte danach, die Arbeits- und Lebensbedingungen der Beschäftigten zu verbessern.

Als (stiller) Teilhaber der optischen Werkstätte Carl Zeiss hatte Abbe zu Beginn die Hälfte des Firmenvermögens (33.356,68 M) einzahlen und das Geld dafür zusammenborgen müssen (Wittig 1989a, S. 89–91; Hellmuth/Mühlfriedel 1993). Im Jahre 1887 konnte er bereits feststellen: „Die optische Werkstätte [...] ist schon seit Jahren nach dem Umfang ihres Geschäftsbetriebs und der Zahl der beschäftigten Personen das weitaus bedeutendste Geschäftsunternehmens auf diesem ganzen Industriegebiet nicht nur in Deutschland, sondern überhaupt.“ (Abbe GA, Bd. 5: S. 41). Im Einverständnis mit Carl Zeiß und Otto Schott legte Abbe 1887 einen Fonds an, der die künftige Basis für eine Alters- und Hinterbliebenenversorgung für alle Beschäftigten bildete (Abbe GA, Bd. 5: S. 55); am 3. Dezember 1888 wurde, im Gedenken an Carl Zeiß, das gemeinsame Pensionsstatut für die Firmen Zeiss und Schott erlassen (vgl. Wittig 1989a: S. 118).

Abbe befolgte seine Maxime, die Unternehmen zu erhalten, weiterzuentwickeln und dauernd zu sichern sowie „als eine Sache von öffentlichem Interesse“ zu leiten. Er fühlte sich „vor seinem Gewissen“ verpflichtet, „die Mittel, welche die Gunst der Umstände in meine Hand gelegt hat, bei meinen Lebzeiten zu gemeinnütziger Verwendung zu bringen und gleichzeitig Vorkehrungen zu treffen, daß auch nach meinem Tode Gleiches geschehe.“ (Abbe GA, Bd. 5: S. 39–40). Die Urkunde der erwähnten Carl Zeiss-Stiftung

von 1889 umfasste 17 Paragraphen mit allgemeinen Richtlinien, die im Jahre 1896 (26. Juli/16. August) durch ein umfassendes Statut mit 122 Paragraphen ersetzt wurde (Abbe 1906, GA, Bd. 3, S. 262–319).

Gemäß diesem Statut erhielten die Arbeiter und Angestellten (ohne Ansehen von Herkunft, Glaubensbekenntnis, Parteizugehörigkeit) einen jährlichen Erholungsurlaub (12 Tage, 6 davon bezahlt), eine Krankenversicherung, eine begrenzte Mitbestimmung durch einen Arbeiterausschuss, das Pensionsrecht und eine Entschädigung im Falle des Ausscheidens. Diese im Vergleich zu anderen Unternehmen günstigen Bedingungen erleichterten es, hochqualifizierte Fachkräfte zu gewinnen. Am 1. April 1900 ging das Zeiss-Werk von einem 9-stündigen zu einem 8-stündigen Arbeitstag über; Abbe erläuterte die verkürzte industrielle Arbeitszeit am britischen Beispiel;²⁰ dort nahm man dies als „a very great innovation in Germany“ zur Kenntnis (Baker 1901, S. 362). Seit 1893 existierte die erste Zeiss-Niederlassung (Vertriebsgesellschaft) in London.

Das Vermögen der Carl-Zeiss-Stiftung betrug zum 1. Oktober 1900 rund 5,4 Millionen Mark (vgl. Schlote/Schneider 2011, S. 146). Die Zahl der Beschäftigten war auf über tausend gestiegen. Als Abbe 1903 die Geschäftsleitung an Rudolf Straubel übergab, hinterließ er ein florierendes, einzigartiges Unternehmen.

Ausklang

Für 1904/05 wurde Ernst Abbe von zwei Physikern (Otto Wiener; A. Winkelmann) und fünf Medizinerinnen für den Nobelpreis vorgeschlagen.²¹ In seiner Gedächtnisrede auf Abbe betonte Winkelmann (1905, S. 16) noch einmal, „daß ohne die Vervollkommnung der Mikroskopie durch Abbe die moderne Entwicklung der Bakteriologie nicht möglich gewesen wäre, wie dies von berufenster Seite, von Robert Koch, bezeugt worden ist.“ Obgleich Abbe – der Raubbau an seiner Gesundheit getrieben hatte – eine evtl. mögliche Verleihung des Nobelpreises nicht erlebte, so bildete seine Theorie doch eine Basis für spätere Erfindungen, die zu Physik-Nobelpreisen führten. Dazu gehörte das vom Holländer Frits Zernike (1888–1966) 1932 entwickelte Phasenkontrastverfahren (Nobelpreis 1953) und das von Dennis Gábor (1900–1979) 1948 erfundene Bildspeicherverfahren (Holographie), Nobelpreis 1971.

Von den zahlreichen Ehrungen, die Abbe zu Lebzeiten und danach zuteil wurden, sei hier erwähnt, dass im Jahre 1970 ein Mondkrater (auf der Südhemisphäre der Mondrückseite) nach ihm benannt wurde. Außerdem erhielt ein am 21. Februar 1982 in Tautenburg entdeckter Hauptgürtelasteroid (5224) Abbes Namen, als die Astronomische Gesellschaft 1992 in Jena tagte.

Danksagung

Die Autorin dankt Peter Bussemer, Peter Hahmann und Berndt-Joachim Lau für wichtige Hinweise.

Literatur

[CZA] Carl-Zeiss-Archiv Jena.

[UA Jena] Universitätsarchiv Jena, digitale Quellenedition zu Abbes Habilitationsverfahren: https://archive.thulb.uni-jena.de/uaj/receive/uaj_file_00000488

ABBE, Ernst (1861): „Erfahrungsmässige Begründung des Satzes von der Aequivalenz zwischen Wärme und mechanischer Arbeit: Inaugural-dissertation zur Erlangung der Philosophischen Doctorwürde in Göttingen. Göttingen: Druck von Gebrüder Hofer, 1861. Print.

ABBE, Ernst (1861/62): „Collimator-Mire auf dem Paulsthorme“. In: *Jahres-Bericht des physikalischen Vereins zu Frankfurt am Main für das Rechnungsjahr 1861-1862*, S. 21–28; „Vorschlag zu einer veränderten Einrichtung der Meridian-Instrumente“. In: Ebd., 29–42. Reprint in Abbe Bd. 2, S. 33–40; S. 41–54.

ABBE, Ernst (1871): „Ueber die Bestimmung der Lichtstärke optischer Instrumente. Mit besonderer Berücksichtigung des Mikroskops und der Apparate zur Lichtconcentration“. *Jenaische Zeitschrift für Medizin und Naturwissenschaft* 6: S. 263–291. Reprint in Abbe 1904 Bd. 1: S. 14–44.

ABBE, Ernst (1873a): II. Die dioptrischen Bedingungen der Leistung des Mikroskops. In: Max Schultze, Hrsg. *Archiv für mikroskopische Anatomie*. Bonn: Verlag von Max Cohen & Sohn, S. 418–439.

ABBE, Ernst (1873b): Ueber einen neuen Beleuchtungsapparat am Mikroskop. In: Max Schultze, Hrsg. *Archiv für mikroskopische Anatomie*. Bonn: Verlag von Max Cohen & Sohn, S. 469–480.

ABBE, Ernst (1878a): „Die optischen Hilfsmittel der Mikroskopie“. In: W. v. Hofmann (Hg.), *Bericht über die wissenschaftlichen*

- Apparate auf der Londoner Internationalen Ausstellung im Jahre 1876*, den Herren Dr. Achenbach, Kgl. Minister des Handels und der Gewerbe, und Dr. Falk, Kgl. Minister der geistlichen, Unterrichts- und Medicinal-Angelegenheiten erstattet. Braunschweig: Vieweg, S. 383–420. (<https://digital.deutsches-museum.de/item/14-003455461/#0008>). Reprint in Abbe Bd. 1: S. 119–64.
- ABBE, Ernst (1878b): „Ueber Blutkörper-Zählung“. *Sitzungsberichte der Jenaischen Gesellschaft für Medizin und Naturwissenschaft* (29. 11. 1878): S. 98–105; Reprint in Abbe Bd. 1: S. 173–180.
- ABBE, Ernst (1880): „Beschreibung eines neuen stereoskopischen Oculars nebst allgemeinen Bemerkungen über die Bedingungen mikrostereoskopischer Beobachtung“. *Zeitschrift für Mikroskopie* 2: 207–34; auch in *Repertorium für Experimental-Physik, für physikalische Technik, mathematische und astronomische Instrumentenkunde* 17 (1881) 197–224; Reprint in GA, Bd. 1: 244–72.
- ABBE, Ernst (1890): „Ueber die Verwendung des Fluorits für optische Zwecke“. *Zeitschrift für Instrumentenkunde* 10 (1890), 1–6. Reprint in Abbe Bd. 1: S. 478–486.
- ABBE, Ernst (1895): „Berechnung des wahrscheinlichen Fehlers bei der Bestimmung von Mittelwerthen durch Abzählen“. In: V. Hensen, *Methodik der Untersuchungen bei der Plankton-Expedition*. Kiel/Leipzig, S. 166–169. Reprint in Bd. 2: S. 230–235.
- ABBE, Ernst (1904): *Gesammelte Abhandlungen*. Bd. 1: *Abhandlungen über die Theorie des Mikroskops*. Jena: G. Fischer. (Reprint der Bde. 1 bis 4: Hildesheim: Georg Olms Verlag, 1989).
- ABBE, Ernst (1906): *Gesammelte Abhandlungen*. Bd. 2: *Wissenschaftliche Abhandlungen aus verschiedenen Gebieten. Patentschriften. Gedächtnisreden*. Jena: G. Fischer. (Reprint der Bde. 1 bis 4: Hildesheim: Georg Olms Verlag, 1989).
- ABBE, Ernst (1906): *Gesammelte Abhandlungen*. Bd. 3: *Vorträge, Reden und Schriften sozialpolitischen und verwandten Inhalts*. Jena: G. Fischer. (Reprint der Bde. 1 bis 4: Hildesheim: Georg Olms Verlag, 1989).
- ABBE, Ernst, 1940. *Gesammelte Abhandlungen. 5, Werden und Wesen der Carl-Zeiss-Stiftung an der Hand von Briefen und Dokumenten aus der Gründungszeit (1886–1896) dargestellt von Friedrich Schomerus. Mit 9 Taf.* Jena: Fischer. *Gesammelte Abhandlungen/Ernst Abbe*.
- AUERBACH, Felix (1918): *Ernst Abbe. Sein Leben, sein Wirken, seine Persönlichkeit nach den Quellen und aus eigener Erfahrung geschildert*. Leipzig: Akademische Verlagsgesellschaft.

- BAKER, R. S. (1901): „The Carl Zeiss Works at Jena. II The Lens Manufactory“. *The British Journal of Photography* (June 7): S. 361–362. <https://archive.org/details/britishjournalof48unse/page/362/mode/1up>
- BOEGEHOLD, Hans (1963): „Ernst Abbe“. In: H. Freund/A. Berg (Hg.), *Geschichte der Mikroskopie. Leben und Werk großer Forscher*. Bd. I. Biologie, Frankfurt/M.: Umschau, S. 45–63.
- CANTOR, Moritz (1889): „Reiß, Michael“. In: *Allgemeine Deutsche Biographie* 28: S. 143–144.
- CZAPSKI, Siegfried (1893): *Grundzüge der Theorie der optischen Instrumente nach Abbe*. Breslau: Trewendt.
- CZAPSKI, Siegfried; Gebhardt, Walther (1897): „Das stereoskopische Mikroskop nach Greenough und seine Nebenapparate“. *Zeitschrift für wissenschaftliche Mikroskopie und mikroskopische Technik* 14: 289–312.
- DEMEL, Sebastian; Steinbach, Peter (2014): „Keine Wohltaten – besseres Recht‘. Ernst Abbe als Wissenschaftler, Unternehmer und Stifter“. *Jahrbuch zur Liberalismus-Forschung* 26: S. 271–194.
- DIPPEL, Leopold (1867/1869): *Das Mikroskop und seine Anwendung*. Braunschweig. Vieweg, Bd. 1, 1867 (²1882); Bd. 2 1869 (²1898).
- DÖRBAND, Bernd; Müller, Henriette (2005): *Ernst Abbe – das unbekannte Genie*. Göttingen und Frankfurt/Main: Dr. Bussert & Stadler.
- FEIGE, Reinhard; Szöllösi, Dagmar (1990): *Ernst Abbe, Briefwechsel mit Adolf Ferdinand Weinhold* (Ostwalds Klassiker, 276). Leipzig: Akademische Verlagsgesellschaft.
- GÄNSWEIN, Bernhard (2008): „Calciumfluorid als kristalliner Werkstoff für die Optik“. *Jenaer Jahrbuch zur Technik- und Industrie-geschichte (Jjb)* 11: S. 419–423.
- GERTH, Kerstin unter Mitwirkung von W. Wimmer (2005): *Ernst Abbe (1840–1905). Wissenschaftler, Unternehmer, Sozialreformer*. Jena: Bussert & Stadler.
- HAUSER, Friedrich (1952): „Die Entwicklung mikrographischer Apparate bei der Firma Zeiss in dem ersten Jahrhundert ihres Bestehens“. *Jenaer Jahrbuch. Wissenschaftliche Veröffentlichungen des Zeisswerkes*, S. 1–64.
- HELLMUTH, Edith; Mühlfriedel, Wolfgang (1993): „Ernst Abbes Auffassung vom Unternehmer“. In: Stolz/Wittig: S. 448–457.
- HEYNE, Klaus (2013): „Forschungs- und Entwicklungsplanung bei Carl Zeiss Jena 1846–1989“. *Jjb* 16, S. 41–135.
- KEELER, Paul (2018): Notes on the Poisson point process (March 20). <https://hpaulkeeler.com/wp-content/uploads/2018/08/Poisson-PointProcess.pdf>

- KÖTITZ, Günther (1999): „Ernst Abbe – Wegbereiter der Materialwissenschaften und Pionier des Einsatzes kristalliner Medien in der Optik“. *Jfb* 1: S. 9–34.
- LAU, Berndt-Joachim; Kreindler, R. Jordan (2018); *Who was Horatio Saltonstall Greenough?* Micscape Magazine. [Zugriff am: 28.09.2021] Verfügbar unter: www.microscopy-uk.org.uk/mag/artfeb18/rjk-bjl-HSG-11a.pdf
- LUMMER, Otto; Reiche, Fritz (1910): Die Lehre von der Bildentstehung im Mikroskop von Ernst Abbe. Braunschweig: Vieweg.
- MASTERS, Barry R. (2020): *Superresolution Optical Microscopy. The Quest for Enhanced Resolution and Contrast*. Cham: Springer.
- NAAS, Josef; Schmid, Hermann Ludwig (Hg.) (1961): *Mathematisches Wörterbuch. Mit Einbeziehung der Theoretischen Physik*. Bd. 1. Leipzig: B. G. Teubner.
- NEUENSCHWANDER, Erwin (Hg.) (1996): *Riemanns Einführung in die Funktionentheorie*. Eine quellenkritische Edition seiner Vorlesungen [mit einer Nachschrift E. Abbes] mit einer Bibliographie zur Wirkungsgeschichte der Riemannschen Funktionentheorie. Göttingen: Vandenhoeck & Ruprecht.
- PLUMPE, Werner (1997): „Menschenfreundlichkeit und Geschäftsinteresse. Die betriebliche Sozialpolitik Ernst Abbes im Lichte der modernen Theorie“. In: F. Markowski (Hg.), *Der letzte Schliff. 150 Jahre Arbeit und Alltag bei Carl Zeiss*. Berlin: Aufbau-Verlag, S. 10–33.
- PULFRICH, Carl (1899): „Über den von der Firma Carl Zeiss in Jena hergestellten stereoskopischen Entfernungsmesser“ (Vortrag auf der 71. Naturforscherversammlung in München mit Diskussion). *Physikalische Zeitschrift* 1, H. 9: S. 98–104.
- RIESENBERG, Horst (1999): „150 Jahre Mikroskopie von Zeiss“. *Jfb* 7: S. 61–73.
- ROHR, Moritz von (Hg.) (1904): *Die Theorie der optischen Instrumente. Bd. I. Die Bilderzeugung in optischen Instrumenten vom Standpunkte der geometrischen Optik*. Bearbeitet von den wissenschaftlichen Mitarbeitern an der optischen Werkstätte von Carl Zeiss: P. Culmann, S. Capski, A. König, F. Löwe, M. v. Rohr, H. Siedentopf, E. Wandersleb. Berlin: Julius Springer (609 S.) (Engl. Übers. 1920)
- ROHR, Moritz von; Fischer, Max (1936): *Zur Geschichte der Zeissischen Werkstätte bis zum Tode Ernst Abbes ... Mit Beiträgen von Max Fischer und August Köhle*. Jena, Selbstverlag
- ROHR, Moritz von (1940): *Ernst Abbe*. Jena: Gustav Fischer (234 S.; gewidmet Abbes Töchtern).

- SCHLOTE, Karl-Heinz; Schneider, Martina (2011): *Mathematische Naturphilosophie, Optik und Begriffsschrift. Zu den Wechselbeziehungen zwischen Mathematik und Physik an der Universität Jena in der Zeit von 1816 bis 1900*. Frankfurt a.M.: Harri Deutsch.
- SCHNEIDER, Ivo (Hg.) (1989): *Die Entwicklung der Wahrscheinlichkeitstheorie von den Anfängen bis 1933. Einführungen und Texte*. Berlin: Akademie-Verlag.
- SENETA, E. (1983): „Modern Probabilistic Concepts in the Work of E. Abbe and A. de Moivre“. *Math. Scientist* 8: 75–80. <https://www.maths.usyd.edu.au/u/eseneta/abbe.tms.pdf>, zuletzt aufgerufen am 27.8.2021
- SCHULTZE, Max, Hrsg., 1873. *Archiv für mikroskopische Anatomie*. Bonn: Verlag von Max Cohen & Sohn. 9.
- STEINBACH, Manfred (Hg.) (2005), *JJb 7 (Ernst-Abbe-Sonderband)* (247 S.) mit Beiträgen von M. Steinbach (Ernst Abbes Komperatorprinzip); L. Wenke/F. Zöllner (Filterexperimente zur Abbeschen Bildentstehungstheorie im Mikroskop); E. Werner (Episoden aus dem Leben Ernst Abbes); W. Nebe (Die Vorfahren und Nachkommen von Ernst Abbe; Ernst Abbes ethische und religiöse Überzeugungen); K. Marwinski (Ernst Abbe und die Bibliotheken in Jena); R. E. Schielicke (Ernst Abbe – Jenaer Hochschullehrer und Sternwartendirektor); H. Pröger (Reflexionen eines Naturwissenschaftlers zu Ernst Abbes sozialer und politischer Gedankenwelt); L. Kramer (Ernst Abbes Begründung der optischen Analysenmesstechnik – Ausgangspunkt einer langen Tradition im Jenaer feinmechanisch-optischen Gerätebau).
- STOLZ, Rüdiger; Wittig, Joachim (Hg.) (1993): *Carl Zeiss und Ernst Abbe. Leben, Wirken, Bedeutung*. Jena: Universitätsverlag (566 S.).
- TANDLER, Hans (2013): „Stereomikroskopie“. *JJb 16*: S. 255–268.
- TOBIES, Renate (1984): „Untersuchungen zur Rolle der Carl Zeiss-Stiftung für die Entwicklung der Mathematik an der Universität Jena“. In: *NTM-Schriftenreihe für Geschichte der Naturwissenschaften, Technik und Medizin*, 21 (1): S. 33–43.
- TOBIES, Renate (1993): „Ernst Abbes Einfluß auf die Universität Jena: Mathematik und Physik“. In: *Stolz/Wittig*, S. 305–315.
- TOBIES, Renate (2020): „Symbiose von Wissenschaft & Industrie. Der Ernst Abbe-Gedächtnispreis und der Einfluss des ersten Preisträgers auf Entwicklungen an der Universität Jena.“ *JJb 23*: S. 11–67.
- WAHL, Volker; Wittig, Joachim (Hg.) (1986), unter Mitwirkung von B. Schweidnitz und A. Vogt: *Ernst Abbe. Briefe an seine Jugend- und Studienfreunde Carl Martin und Harald Schütz, 1858–1865*. Berlin: Akademie-Verlag (350 S.).

- WINKELMANN, Adolph (1905): *Ernst Abbe. Rede bei der von der Universität Jena veranstalteten Gedächtnisfeier am 2. Mai 1905*. Jena: Gustav Fischer. http://www.historische-kommission-muenchen-editionen.de/reaktoratsreden/pdf/Jena_1905_Winkelmann_Ernst_Abbe.pdf
- WITTIG, Joachim (1989a): *Ernst Abbe* (Biographien hervorragender Naturwissenschaftler, Techniker und Mediziner, Bd. 94). Leipzig: B. G. Teubner (148 S.).
- WITTIG, Joachim (1989b): *Ernst Abbe. Sein Nachwirken an der Jenaer Universität* (Jenaer Reden und Schriften). Jena: Friedrich-Schiller-Universität.
- ZEISS, Carl (1870). Ein neues Präpariermikroskop. In: Max SCHULTZE, Hrsg. *Archiv für mikroskopische Anatomie*. Bonn: Velag von Max Cohn & Sohn, S. 234–236

Anmerkungen

- 1 Matthias J. Schleiden (1804–1881) entwickelte wichtige Ansätze zur Begründung der Zelltheorie, mit Hilfe des Mikroskops, wobei er mit Friedrich Körner (1778–1847) und ab 1847 mit Carl Zeiß kooperierte.
- 2 Eine Liste aller von Abbe in Jena und Göttingen belegten Lehrveranstaltungen, sowie auch derjenigen, die sein Studienfreund Harald Schütz in Göttingen und Berlin belegte (Abbe erhielt und studierte auch diese Vorlesungsmitschriften), ist enthalten in Wahl/Wittig 1986: S. 328–331.
- 3 Abbes handschriftliche Ausarbeitung (213 S.) von Riemanns Vorlesung „Theorie der Functionen complexer Variablen“ (SS 1861, WS 1861/62) ist online verfügbar: <http://resolver.sub.uni-goettingen.de/purl?DE-611-HS-3206751> – Die Edition von Neuschwander (1996) enthält einen Teil davon (vgl. dazu die inhaltsreiche Rezension von Reinhard Bölling, in *NTM*, N.S. vol. 6 (1998): S. 182–183).
- 4 Abbe präsentierte 45 Vorträge und Demonstrationen in der Medizinisch-naturwissenschaftlichen Gesellschaft von 1863 bis 1894, Titel und Daten abgedruckt bei Erika Krauß in Stolz/Wittig 1993: S. 300–301.
- 5 Riedel promovierte 1879 bei Abbe mit einer Dissertation zur Theorie der Beugungserscheinungen und wurde Abbes erster wissenschaftlicher Mitarbeiter (Wittig 1989a: S. 106).
- 6 Zu Straubels Anknüpfen an eine Idee von Abbe, vgl. Schielickes Straubel-Biographie.
- 7 Abbe (1890) erklärt die Rolle von Flußspat (Fluorit), insbesondere

- für die Herstellung von Apochromaten, Forschungen dazu, sein Sichern von Restbeständen des Minerals in der Schweiz sowie seinen Hinweis, weitere Vorkommen zu suchen. Vgl. auch Kötitz 1999; Gänswein 2008; H. Franke in Stolz/Wittig 1993: S. 316–322.
- 8 Die dimensionslose numerische Apertur A berechnet sich nach Abbe aus der Brechzahl n des verwendeten Mediums und dem halben Öffnungswinkel $\alpha/2$ im Objektraum eines optischen Systems:

$$A = n \sin(\alpha/2)$$
 - 9 *Jenaer Zeitschrift für Medicin und Naturwissenschaft* (ab 1874 neue Folge: *Jenaische Zeitschrift für Naturwissenschaft*).
 - 10 In Großbritannien erschien Abbes Arbeit, übersetzt von H. E. Fripp, zunächst in zwei Auszügen (extracts) in *The Montly Microscopical Society* (Transactions of the Royal Microscopical Society, London) 14 (1875): S. 191–201, S. 245–254 und ein Jahr später insgesamt in Lawson, Henry (ed.), “A Contribution to the Theory of the Microscope and the Nature of Microscopic Vision”. *Proceedings of the Bristol Naturalists’ Society*. London: Williams & Northgate, 1 (1876): S. 200–261.
 - 11 Abbe, E.: “A New Illuminating Apparatus for the Microscope”. *The Monthly Microscopical Journal*. London, 13 (1875) (2): S. 77–82. (Reprint in Deutsch in Abbe GA, Bd. 1: S. 110–112).
 - 12 Der aus Zürich stammende Paul Culmann promovierte 1884 an der Universität Berlin mit der Dissertation „Eine Methode zur experimentellen Bestimmung des Selbstpotentials einer Spirale“. Die bereits promovierten Helmholtz-Schüler Czapski und Lummer waren bei diesem Verfahren als „Opponenten“ beteiligt. Culmann war längere Zeit in Paris als Vertreter der Zeiss-Werkstätte („Maison Carl Zeiss“).
 - 13 Czapski verfasste 1904 das Vorwort und verwies auch auf die optischen Arbeiten des Mathematikers Felix Klein (1849–1925) und Hamiltons „charakteristische Funktion“, dies sei ergänzend zu Tobies (2020) erwähnt.
 - 14 Die *Abbesche Invariante* bezieht sich in der paraxialen Optik auf den Zusammenhang von objekt- und bildseitiger Schnittweite von Lichtstrahlen, die an einer Fläche gebrochen werden; d. h. die Beziehung zwischen Brechungsindex, Krümmungsradius und Schnittweite vor und nach der Brechung ist konstant.
 - 15 Zum Jenaer Anteil an den Grundlagen der Elektronenoptik, vgl. G. Scheler (2013): „Bestimmung der spezifischen Ladung des Elektrons nach Hans Busch“. *Jfb* 16: S. 293–310.
 - 16 Es gab jeweils nur insgesamt 65 Honory members, vgl. <https://www.rms.org.uk/membership/honorary-fellows/past-honorary-fellows>.

- html – Im *Journal of the Royal Microscopical Society* publizierte Abbe von 1878 bis 1889 neun Beiträge in Englisch, die in Band 1 seiner *Gesammelten Abhandlungen* Abbe, GA, Bd. 1 (1904) ins Deutsche übersetzt aufgenommen wurden; als Übersetzer fungierten H. Ambronn, S. Czapski, A. König und M. von Rohr.
- 17 Der italienische Ingenieur Ignazio Porro (1801–1875) hatte 1850 in Paris das erste Prismenfernrohr gebaut; aufgrund mangelnder Glasarten konnte es jedoch noch nicht regelmäßig hergestellt werden, vgl. M. v. Rohr: 1930: 78; zu Abbes Patent hierzu vgl. Abbe Bd. 2: S. 267–274.
 - 18 Daraufhin entstand hier das erste handliche und kommerzielle Stereomikroskop der Welt (Czapski/Gebhardt 1897), dessen Bauform noch heute den Namen von Greenough trägt. Berndt-Joachim Lau analysierte die Quellen detailliert, darunter die Korrespondenz von Greenough mit Czapski, Abbe u. a., Abbes einschlägige Arbeiten, das Fertigen des Prototyps, und verweist auch auf Konflikte zwischen den Idealen des Zoologen und dem professionellen Zeiss-Produkt (vgl. Lau/Kreindler 2018, 2019, 2020, 2021).
Abbe fand auch noch eine neue Rechenvorschrift, um die Bildfeldebnung an Mikroskopobjektiven zu verbessern; damit waren schließlich Köhler und v. Rohr bei schwachen Objektiven erfolgreich (v. Rohr *Erinnerungen*: 217, 223).
 - 19 Vgl. „X. Deutscher Mechanikertag in Jena“. *Deutsche Mechaniker-Zeitung: Vereinsblatt der Deutschen Gesellschaft für Mechanik und Optik* (Beilage zur *Zeitschrift Instrumentenkunde*) (1899): S. 231–242 (Abbe wurde 1899 weiterhin in den Vorstand und mit den meisten Stimmen auch in ein neues Schiedsgericht gewählt).
 - 20 Abbe, E.: „Die volkswirtschaftliche Bedeutung der Verkürzung des industriellen Arbeitstages“ (Zwei Vorträge in der Staatswissenschaftlichen Gesellschaft zu Jena, 5. 11. u. 6. 12. 1901), in Abbe Bd. 3: S. 303–345. Zu den politischen und sozialen Ansichten vgl. auch Wittig 1989b: 108–32; Nebe und Pröger in Steinbach (2005).
 - 21 Der Leipziger Physiker Otto Wiener (1862–1927) nominierte Abbe für den Physiknobelpreis für das Jahr 1904, der Jenaer Winkelmann für 1905. Fünf Jenaer Medizin-Professoren schlugen Abbe für 1905 für den *Nobelpreis für Physiologie/Medizin* vor, vgl. https://www.nobelprize.org/nomination/archive/show_people.php?id=276.

Renate Tobies



studierte Mathematik, Chemie, Physik, Pädagogik, Psychologie in Leipzig, ist für Geschichte der Mathematik und Naturwissenschaften habilitiert. Sie leitete 20 Jahre lang die *NTM-Zeitschrift für Geschichte und Ethik der Naturwissenschaften, Technik und Medizin* (*NTM-International Journal of History and Ethics of Natural Sciences, Technology, and Medicine*) (Birkhäuser, Basel) als Managing editor, publizierte mehr als 10 Bücher und Hunderte von Artikeln (darunter zu Zeiss-Forschern). Sie lehrte als Gastprofessorin in Braunschweig, Kaiserslautern, Saarbrücken, Stuttgart; Linz und Graz (Österreich), seit 2010 an der FSU Jena. Sie ist Ordentliches Mitglied der Académie Internationale d'Histoire des Sciences (Paris) und Auswärtiges Mitglied der Agder Academy of Sciences and Letters (Kristiansand, Norwegen).