

Joachim Wittig



Ernst Abbe

Biographien
hervorragender Naturwissenschaftler,
Techniker und Mediziner

Band 94

Wittig · Ernst Abbe



7 Ernst Abbe (23. 1. 1840–14. 1. 1905)

Biographien
hervorragender Naturwissenschaftler,
Techniker und Mediziner

Band 94

Ernst Abbe

Dr. Joachim Wittig, Jena

Mit 38 Abbildungen



BSB B. G. Teubner Verlagsgesellschaft · 1989

Herausgegeben von

D. Goetz (Potsdam), I. Jahn (Berlin), H. Remane (Halle),

E. Wächtler (Freiberg), H. Wußing (Leipzig)

Verantwortlicher Herausgeber: D. Goetz

Bildnachweis:

BACZ JENA: 1, 2, 5–9, 13–15, 27, 28, 30, 32–34, 36–38

Wittig, Joachim:

Ernst Abbe/Joachim Wittig. – 1. Aufl. –

Leipzig: BSB Teubner, 1989. – 148 S.: 38 Abb.

(Biographien hervorragender Naturwissenschaftler,

Techniker und Mediziner ; 94)

NE : GT

ISSN 0232-3516

© BSB B. G. Teubner Verlagsgesellschaft, Leipzig, 1989

VLN 294-375/85/89 · LSV 1108

Lektor: Hella Müller

Gesamtherstellung: Elbe-Druckerei Wittenberg IV-28-1-3232

Bestell-Nr. 666 519 8

00680

Vorwort

Zu einem Physiker in der Praxis gehören zweierlei: „Erstens, daß der Betreffende selbständig arbeiten, sich selbst Aufgaben stellen und die Hilfsmittel für ihre Bearbeitung sich selbst zurechtmachen könne. Mit überlieferten Regeln und Anweisungen ist nicht weit zu kommen, die Aufgaben sind zu mannigfaltig und werden fortwährend andere. Zweitens: eine lebendige Föhlung mit der Praxis, die natürlich nur in einer längeren Erfahrung erworben werden kann. Man muß wissen, welche Mittel die Technik zur Verfügung hat, um das zu erreichen, was die Theorie als möglich erweist; was man der Technik zutrauen kann und was nicht.“

Ernst Abbe, 1884 (nach [35, S. 265])

Die vorliegende Biographie wurde aus Anlaß der 150. Wiederkehr des Geburtstages von Ernst Abbe geschrieben. Über diesen bedeutenden Physiker und technischen Optiker, Hochschullehrer, Industriellen und Sozialreformer gibt es eine umfangreiche Literatur. Neben seinen wissenschaftlichen und sozialpolitischen Abhandlungen, gesammelt in fünf Bänden (1904/40), dem wissenschaftlichen Briefwechsel mit Otto Schott über das optische Glas (1946) und den neuerdings erschienenen Jugendbriefen an seine Studienfreunde Carl Martin und Harald Schütz (1986) liegen zahlreiche Biographien, Gedenkartikel und Abhandlungen über die Persönlichkeitsentwicklung und das Schaffen von Ernst Abbe vor. Zu nennen sind vor allem die beiden größeren, auf Quellenstudien beruhenden Biographien von Felix Auerbach (1918) und Moritz von Rohr (1940) und die Übersicht über Abbes akademische Tätigkeit an der Universität Jena von Friedrich Stier (1955). Kleinere Biographien, die sich mehr oder weniger auf die genannten stützen, stammen z. B. von Norbert Günther (1946), Paul Gerhard Esche (1963) und W. A. Gurikow (1985, Russisch).

Wenn hier der Versuch unternommen wird, das Leben und Wirken von Ernst Abbe erneut darzustellen, so wird das Ziel verfolgt, das bisherige Bild über ihn hinsichtlich seiner Persönlichkeitsentwicklung zum Physiker und technischen Optiker etwas zu erweitern und in verschiedenen Punkten zu präzisieren bzw. richtigzustellen. Neben der Berücksichtigung einiger seiner wissenschaftlichen Abhandlungen sowie der in den Biographien von Auerbach und v. Rohr enthaltenen Dokumente dient hierfür ein zum Teil bisher unveröffentlichtes bzw. wenig ausgewertetes Quellenmate-

rial. In erster Linie handelt es sich um ein Tagebuch Abbes von 1856/57, um die obengenannten Jugendbriefe, an deren Bearbeitung und Herausgabe der Verfasser mitgewirkt hat, um einige Protokollbände der Mathematischen Gesellschaft in Jena und um einige Briefe Abbes mit verschiedenen Adressaten. Dabei wird Abbe möglichst oft im Originaltext zitiert.

Dem Charakter der Biographienreihe Rechnung tragend, kann es sich bei der vorliegenden kleinen Biographie auch nur um eine Skizze handeln, bei der viele Zusammenhänge, Aspekte und Details unberücksichtigt bleiben mußten. Für eine eingehendere Beschäftigung mit dem Leben und Werk von Ernst Abbe wird der Leser auf die angegebene Literatur verwiesen, die auch nur eine Auswahl bieten kann.

Für die hilfsbereite und entgegenkommende Unterstützung bei der Bereitstellung von Quellenmaterial, Literatur und Fotovorlagen sowie ihrer Reproduktion bin ich vor allem der Leiterin des Betriebsarchivs des VEB Carl Zeiss JENA, Frau Dipl.-Ing. E. Hellmuth, dem Universitätsarchiv, der Universitätsbibliothek, der Film- und Bildstelle und dem Fotolabor der Sektion Physik, alle Friedrich-Schiller-Universität Jena, zu Dank verpflichtet. Aber auch die Archive an den Universitäten Halle und Dresden und in den Städten Jena und Apolda seien dankbar erwähnt. Weiterhin möchte ich Herrn Prof. Dr. sc. nat. R. Stolz, Direktor des Instituts für Geschichte der Medizin und der Naturwissenschaften – Ernst-Haeckel-Haus – der Friedrich-Schiller-Universität Jena, sowie den Mitarbeitern des Instituts für förderndes Interesse und für Unterstützung an dieser Biographie danken. Nicht zuletzt gebührt mein Dank Frau Prof. Dr. sc. nat. D. Goetz (Potsdam-Bornstedt) und Herrn Doz. Dr. sc. nat. W. Schreier (Leipzig) für wertvolle Hinweise bei der kritischen Durchsicht des Manuskriptes sowie der BSB B. G. Teubner Verlagsgesellschaft und ihrer Lektorin Frau H. Müller für die vertrauensvolle und wohlwollende Zusammenarbeit.

Jena, im Juli 1988

Joachim Wittig

Inhalt

Realschüler in Eisenach	8
Student in Jena	17
Student in Göttingen	24
Dozent in Frankfurt am Main	31
Hochschullehrer in Jena	36
Physiker und technischer Optiker bei Carl Zeiß	43
Exkurs: Carl Zeiß und der Mikroskopbau	44
Erste Ergebnisse Abbes	58
Abbesche Beugungstheorie	63
Begründung des wissenschaftlichen Mikroskopbaues	69
Probleme und Vorlaufforschung	76
Politisches und Familiäres	84
Teilhaber der Zeiss-Werkstätte	89
Gesellschaftsvertrag und Lehrtätigkeit	89
Anerkennung der Abbeschen Mikroskoptheorie	95
Homogene Immersion	100
Gemeinschaftsarbeit mit Otto Schott	102
Apochromate	107
Leiter des Zeiss-Werkes	114
Einige Bemerkungen zu politischen und sozialen Auffassungen	115
Gründung der Carl-Zeiss-Stiftung	118
Übergang zum allgemeinen wissenschaftlichen Gerätebau	122
Förderer der Jenaer Universität	127
Ausklang	131
Chronologie	137
Literatur (Auswahl)	139
Personenregister	145

Realschüler in Eisenach

„Ich habe kein Gymnasium besucht, sondern das Realgymnasium meiner Vaterstadt, und ich bin heute noch froh, daß mein Vater zu arm war, um daran denken zu können, mich studieren lassen zu wollen. Dadurch ist mir in meiner Jugend *die geistige Nahrung* dargeboten worden, die zweifellos *für mich* die nahrhafteste war. – Für Mathematiker, Naturwissenschaftler und Techniker, nicht minder aber auch für Mediziner und Juristen halte ich die Realbildung für die *im allgemeinen* weitaus zweckmäßigere.“

Ernst Abbe (Nach [35, S. 452])

Ernst Carl Abbe wurde am 23. Januar 1840 als erstes von zwei Kindern des Fabrikaufsehers Georg Adam Abbe und dessen Ehefrau Elisabeth Christina, geborene Barchfeld, in Eisenach geboren. Seine Vorfahren waren überwiegend in Handwerksberufen, Gewerbe und Landwirtschaft in der Eisenacher Gegend und in der Rhön tätig. Der Vater war bis zu seiner Verheiratung 1838 in der Buchdruckerei beschäftigt, ging dann als Arbeiter in die Kammgarnspinnerei von Eichel-Streiber, das damals größte industrielle Unternehmen in Eisenach. Die Familie Abbe zog bald in das Wohnhaus der von Eichel-Streiber erworbenen Burgmühle am Rand der Stadt ein, wo Ernst Abbe gemeinsam mit seiner um ein Jahr jüngeren Schwester Sophie unter dürftigen Verhältnissen aufwuchs.

Auch wenn der Vater durch seine Tüchtigkeit schon bald zum Spinnmeister bzw. Fabrikaufseher in der Bedeutung eines Vorarbeiters aufgerückt war, so hatte sich seine tatsächliche soziale Lage kaum geändert. Täglich hatte er je nach Geschäftsgang 14 bis 16 Stunden ohne Unterbrechung noch bis Anfang der 50er Jahre arbeiten müssen, ehe die Arbeitszeit etwas reduziert wurde. Sie betrug in den 60er Jahren noch immer 12 bzw. 11 Stunden. Ernst Abbe mußte es als Junge zwischen 5 und 9 Jahren ständig miterleben, wie sein Vater das Mittagessen, das er bei nicht allzu schlechtem Wetter im täglichen Wechsel mit seiner Schwester ihm brachte, „an eine Maschine gelehnt oder auf eine Kiste gekauert, aus dem Henkeltopf mit aller Hast verzehrte, um mir dann den Topf geleert zurückzugeben und sofort wieder an seine Arbeit zu gehen“. [3, S. 241] Die Folgen einer derartigen Ausbeutung der Arbeiter blieben dabei nicht aus. Wie Abbe weiter berichtete,



2 Adam Abbe,
Vater von Ernst Abbe

war sein Vater, obgleich ein Mann von Hühnengestalt – mit über 2 m Größe, wie Ernst nahezu auch werden sollte – und unerschöpferischer Robustheit, schon „mit 48 Jahren in Haltung und Aussehen ein Greis; seine weniger robusten Kollegen waren aber mit 38 Jahren Greise“. [3, S. 241]

Auch die politischen Ereignisse, mit denen Abbe als 9jähriger Junge unmittelbar konfrontiert wurde, hatten sich tief in sein Gedächtnis eingegraben. Es war die Zeit der bürgerlich-demokratischen Revolution in Europa 1848/49 zur ökonomischen und politischen Entmachtung des historisch überlebten Feudaladels und damit verbunden zur Beseitigung der feudalen Bindungen und Lasten sowie aller feudalbürokratischen Reglementierungen von Industrie, Gewerbe und Handel, um die kapitalistische Gesellschaftsordnung voll durchsetzen zu können. In Deutschland war diese Revolution noch mit der Zielstellung verknüpft, die kleinstaatliche Zersplitterung durch die Schaffung eines einheitlichen

bürgerlich-demokratischen Nationalstaates zu überwinden. Nach anfänglichen Erfolgen sah sich die liberale Bourgeoisie durch die revolutionäre Volksbewegung in ihrer sozialen Stellung bedroht; sie beging Verrat, indem sie mit dem Adel paktierte. Dadurch war die schon von Beginn an zersplitterte Volksbewegung zum Scheitern verurteilt. Die Konterrevolution unter Führung des preußischen Polizeistaates verfolgte in brutaler Weise die Revolutionäre, um den revolutionären Geist mit der Wurzel auszurotten. Vielen gelang die Flucht in andere deutsche Staaten, die sich zunächst noch liberal verhielten, und von da in das Ausland. Ein Teil von ihnen kam auch nach Thüringen und fand in verschiedenen Orten vorübergehend Aufnahme. Im Laufe der Zeit verschärften sich auch hier die Bedingungen, indem z. B. preußische Polizeibeamte auch in Thüringen nach ihnen fahndeten. Abbes Vater, ein Freidenker, aber kein Revolutionär, hatte ebenfalls politische Flüchtlinge, die öfters wechselten, bei sich aufgenommen. Er versteckte sie in einem langen, schmalen Raum innerhalb der Burgmühle, der nicht ohne weiteres auffindbar war und den er auch erst ein oder zwei Jahre zuvor entdeckt hatte. Bei den Kontrollen und wiederholten Hausdurchsuchungen hatte Ernst den Flüchtlingen entsprechende Zeichen zu geben gehabt, damit sie sich ruhig verhielten. Unter ihnen befand sich auch einmal ein führender Revolutionär, der längere Zeit bleiben mußte, da er verwundet war. Als der Tag der Abreise kam, mußte es Ernst übernehmen, ihn in der Nacht zu einer entlegenen Stelle zu bringen, wo ein Fuhrwerk zur Weiterreise wartete. Damit war man der Gefahr entgangen, daß Verdacht geschöpft werden könnte, wenn der Vater den Fremden geführt hätte und er dabei wegen seiner Übergröße erkannt worden wäre. (Vgl. [20].)

Derartige Erlebnisse der politischen Verfolgung von Kämpfern für demokratische Rechte und sozialen Fortschritt hauptsächlich durch den preußischen Polizeistaat mögen in Ernst Abbe den Keim gelegt haben zu seinen späteren liberal-demokratischen und humanistischen Anschauungen sowie zu seiner – wie Auerbach schon feststellt – „niemals recht überwundenen Abneigung gegen Preußen und seinen staatlichen Charakter, sowie im Gegensatz dazu ein erhöhter Lokalpatriotismus für die thüringischen Staaten im allgemeinen und Sachsen-Weimar im besondern“. [35, S. 26]

Vom siebenten Lebensjahr an besuchte Abbe die Volksschule in Eisenach, in der er sich bald durch großen Lerneifer und überdurchschnittliche Leistungen hervortat. Gegen Ende des 4. Schuljahres wurde er von seinen Lehrern für eine höhere Schulbildung an der 1843 gegründeten Realschule I. Ordnung empfohlen. An dieser Schule, 1850 zum Realgymnasium erhoben, wurden die mathematisch-naturwissenschaftlichen und neu sprachlichen Fächer verstärkt unterrichtet. Doch der Schulbesuch für Abbe war zunächst in Frage gestellt, da das Einkommen des Vaters dafür nicht ausreichte. Eine entsprechende finanzielle Unterstützung war erforderlich, die schließlich Eichel-Streiber gewährte, nachdem Adam Abbe die Versicherung abgegeben hatte, daß auch der Sohn nach Absolvierung des Realgymnasiums in dessen Fabrik eintreten werde. Diese Art der Unterstützung war für den Fabrikanten kein Einzelfall. Er war an befähigtem Nachwuchs seiner bewährten Arbeiter interessiert, die er vor allem für Aufgaben in der Verwaltung brauchte. Auf diese Weise sicherte er sich höher gebildete Arbeitskräfte, die ihm weniger Kosten verursachten, als wenn er sie sich von außerhalb hätte heranholen müssen. (Vgl. [35, S. 35].)

Eine weitere finanzielle Erleichterung trat für Adam Abbe ab Herbst 1854 ein, als der Sohn eine sogenannte landesherrliche Freistelle erhielt, die im Erlaß des Schulgeldes von jährlich 15 Reichstalern bestand. Man kann daher vermuten, daß bereits zu diesem Zeitpunkt Ernst Abbe sich zu einem leistungsstarken Schüler des Realgymnasiums entwickelt hatte, der nicht nur den Anforderungen der Schule vollauf genügte, sondern auch bald in einigen Fächern wesentlich darüber hinaus ging. Daher ist es auch nicht verwunderlich, wenn er das Realgymnasium vorzeitig schon nach 7 statt 8 Jahren absolvierte. Grundlage dafür waren zum einen seine außergewöhnliche Begabung besonders für Mathematik und Naturwissenschaften, gepaart mit eisernem Fleiß und unermüdlicher Strebsamkeit, und zum anderen hervorragende Lehrer am Realgymnasium, die talentierte Schüler förderten und sich in deren Interesse immer wieder bei der Weimarer Regierung um eine gleichberechtigte Stellung der Schule mit dem Gymnasium bemühten. Nicht zu verkennen ist der Anteil der außerschulischen Bildung zumindest im letzten Schuljahr, auf den wir gleich zurückkommen. Aber auch die Entlastung von häuslichen Verpflich-

tungen und das ungestörte Lernen und Studieren im Elternhaus trugen wesentlich zu seinen Leistungen bei. Das einzige, was ihn dabei hinderte, war das gelegentliche Auftreten von starken Kopfschmerzen und heftigen Krampfanfällen, an denen er seit dem 4. Lebensjahr litt. Mit 14 Jahren hatten sich wenigstens die Krämpfe gelegt, während er das andere Übel wohl zeit seines Lebens nie losgeworden ist.

Aus dem überlieferten Tagebuch von 1856/57 [16] geht hervor, daß Abbe sich aus verschiedenen Bibliotheken, von einigen Mitschülern und Lehrern, ja selbst vom Direktor des Realgymnasiums, Gustav Köpp, eine Vielzahl von vor allem naturwissenschaftlicher Literatur mit überwiegend populärwissenschaftlichem, in einigen Fällen auch mit Hochschulcharakter, auslieh (s. Bild 3), mit der er sich auch an Sonn- und Feiertagen sowie in Ferien beschäftigte.¹ Das läßt darauf schließen, daß das Selbststudium schon zu dieser Zeit ein wichtiger Bestandteil der Wissensaneignung für ihn darstellte, das er konsequent und hartnäckig tagtäglich betrieb. Darüber hinaus nahm Abbe ab April 1856 aktiv an den Versammlungen des Naturwissenschaftlichen Vereins teil.

Der Naturwissenschaftliche Verein, der hauptsächlich auf Anregung von Carl Martin – einem Gymnasiasten und späteren Freund Abbes – zwischen 1853 und 1855 gegründet wurde, vereinigte unter dem Protektorat von Prof. Ferdinand Senft, einem Lehrer für Naturwissenschaften am Realgymnasium, talentierte und wißbegierige Schüler der beiden Eisenacher Gymnasien, des humanistischen Carl-Friedrich-Gymnasiums und des Realgymnasiums. Er stellte eine nach selbst gewählten Prinzipien organisierte Schülergemeinschaft dar, die erst aller 14 Tage, ab August 1856 wöchentlich Versammlungen durchführte, in denen die Mitglieder sich gegenseitig Fragen vorlegten und Aufgaben stellten sowie Vorträge hielten. Abbe hatte Anfang Oktober 1856 „Ueber die Entsteh[ung] des Sonnensyst[ems]“ und 7 Wochen später vermutlich über das Thema „Licht u. Bewegung“ vorgetragen. Seit

¹ Eine Beschäftigung Abbes als Realschüler mit lateinisch abgefaßten Werken von Gauß, wie sie von Auerbach [35, S. 38] auf Berufung eines ehemaligen Mitschülers Abbes behauptet wird, konnte für den betrachteten Zeitabschnitt (1856/57) nicht nachgewiesen werden. Unter den 88 genannten Büchern im Tagebuch [16] befand sich kein einziges von Gauß; selbst sein Name ist darin nirgends zu finden.

1856.

Januar 1. Lecture: Drago, Unterhaltungen
 D.E.H. - Libron, Libronomie. (gel. am 2. Sonntag)
 2. L. Libron. - Ende des Jahres. K. B. Kunde. -
 3. L. Libron. Beobachtungen über den Geist. -
 4. L. D. J. J. K. B. Libron. -
 5. L. Libron. -
 6. L. Libron. -
 7. L. Libron. -
 8. L. Libron. -
 9. L. Libron. -
 10. L. Libron. -
 11. L. Libron. -
 12. L. Libron. -
 13. L. Libron. -
 14. L. Libron. -
 15. L. Libron. -
 16. L. Libron. -
 17. L. Libron. -
 18. L. Libron. -
 19. L. Libron. -
 20. L. Libron. -
 21. L. Libron. -
 22. L. Libron. -
 23. L. Libron. -
 24. L. Libron. -
 25. L. Libron. -
 26. L. Libron. -

3 Abbes Tagebucheintragen vom 1. bis 26. Januar 1856 mit der Eintragung seines Geburtstages am 23. [16]

August 1856 trafen sich die aktivsten Mitglieder des Vereins noch zusätzlich zu den wöchentlichen „astronomischen Vorträgen“, wobei zum Inhalt keine weiteren Angaben von Abbe vorliegen. Die Zahl der Mitglieder war nicht allzu groß, dennoch verfügte der Verein auch über einige Mittel, die durch einen Kassierer zu verwalten waren, über Sammlungsgegenstände und über eigene Bücher, die an die Mitglieder ausgeliehen wurden. Abbe hatte

vom August bis November 1856 das „Cassireramt“ inne und war ab Dezember 1856 als „Bibliothekar u. Archivar“ des Vereins tätig – eine Aufgabe, die ihm besonders zusagte und die er bis zu seinem Ausscheiden am 2. April 1857 gewissenhaft erledigte. Bemerkenswert ist, daß Martin und Abbe nach ihrem Austritt noch lange ihre fördernde Anteilnahme am Fortbestehen des Vereins bekundeten.

Einen nicht unwesentlichen Teil seiner Freizeit während des letzten Schuljahres opferte Abbe dem Erteilen von Nachhilfeunterricht in Englisch und Französisch an einzelne Mitschüler, wofür er ein kleines Entgelt erhielt. Im Mittel waren es etwa 4 Stunden pro Woche, für die er rund 10 Silbergroschen bekam. Dies war für Abbe zweifelsohne eine nützliche Beschäftigung, um sein eigenes Wissen in diesen Fächern zu festigen und seine Sprachfertigkeiten weiter auszubilden.

Aus den verschiedenen Angaben in seinem Tagebuch können wir schließen, daß Abbe gegen Ende der Sekunda oder mit Beginn der Prima durch seine Lehrer zielstrebig auf einen vorzeitigen Abschluß des Realgymnasiums vorbereitet wurde, indem er den Stoff der Unterprima von April bis Mitte September 1856 und den der Oberprima bis Februar 1857 bewältigte. Dafür sprechen erstens die zahlreichen Ausarbeitungen, Aufsätze und Vorträge in verschiedenen Unterrichtsfächern, mit denen Abbe sich auch neuen Unterrichtsstoff selbständig aneignete, zweitens die volle Nutzung der Sommerferien zur Beschäftigung mit zusätzlicher Literatur, zur Vorbereitung von Ausarbeitungen, zu Berechnungen und zur Durchführung von physikalischen Versuchen und drittens die schriftlichen „Examenarbeiten“ in Mathematik und Englisch am 15., in Französisch, Chemie und Physik am 16. sowie in Deutsch mit dem Aufsatz „Goethes Character und Erlebnisse in seinen Jugendarbeiten“ am 17. September 1856.

Aus den verschiedenen Themen, die Abbe bearbeitet hatte, geht hervor, daß mit dem Unterricht auch eine weltanschaulich-philosophische Bildung und Erziehung verbunden war. In „Vermischte Notizen. 1856“ seines Tagebuches ist eine Vielzahl von Zitaten aus der naturwissenschaftlichen Literatur vorhanden, die andeutungsweise erkennen läßt, an welchen philosophischen Gedanken und Problemen Abbe besonders interessiert war bzw. sich orientierte. In der Hauptsache waren es prinzipielle und methodolo-

gische Fragestellungen zur Naturerkenntnis. In den Zitaten wurden die Materialität der Welt, die gesetzmäßige Entwicklung der Natur, des Menschen und des Denkens, die Erkennbarkeit der Welt und der relative Charakter des Erkannten grundsätzlich bejaht. In der Methodologie ging es um die Bedeutung des Experimentes, der Mathematik und der Hypothese als Erkenntnismittel des Naturforschers sowie um die Abgrenzung der Naturforschung von Mystik und Glauben, aber auch von der klassischen deutschen Naturphilosophie.

Unverkennbar wurde Abbe vor allem durch Alexander von Humboldt und Bernhard von Cotta beeinflusst. Humboldt hatte um die Mitte des vergangenen Jahrhunderts den Versuch unternommen, mit seinem Werk „Kosmos“ [92] „unser Wissen von dem Einzelnen der Natur zu einem Ganzen zu vereinigen; die Naturwissenschaften zu einer Naturwissenschaft einzuschmelzen; die Einheit in der Vielheit zu zeigen ...“, wie Cotta hervorhob, der seinerseits mit den „Briefen“ [76] das Verständnis beim Leser des „Kosmos“ zu fördern suchte.

Im „Abiturexamen“, das sich vom 26. Februar bis zum 21. März 1857 erstreckte, erhielt Abbe in 7 Fächern das Prädikat „Recht gut“ („sehr gut“) und in nur 3 Fächern (Französisch, Zeichnen und Religion) ein „Gut“. Auch in der „Lateinischen Uebersetzung: Ovid, Metamorphoseon, VII, 404 ff“ erzielt er ein „Recht gut“, was jedoch in das Zeugnis nicht aufgenommen wurde, da der Lateinunterricht am Realgymnasium damals nur fakultativ war.

Interessant ist das methodische Vorgehen Abbes bei der Behandlung der Abiturthemen in Mathematik und Physik [25], die zum Gebiet der Kegelschnitte und ihrer Anwendung auf optische Abbildungen beim sphärischen Hohlspiegel gehören. Abbe blieb solange allgemein, wie es ging, ehe er die vorgegebenen Zahlenwerte berücksichtigte, mit denen er bereits früher hätte rechnen können. Seine Vorliebe für das Verallgemeinern, für das Theoretische ist hier bereits unverwechselbar.

Das oben schon erwähnte Bemühen des Lehrkörpers vom Realgymnasium um eine gleichberechtigte Anerkennung ihrer Schule mit dem Gymnasium als Vorbildungsanstalt für künftige Pädagogen hatte einen Teilerfolg erreicht. Am 17. Dezember 1856 wurde ihm von der Weimarer Regierung erlaubt, aus seiner „Prima solche Schüler mit dem Zeugnis der Maturität für die Universität zu

entlassen, welche sich dem Studium der Mathematik und Naturwissenschaften widmen wollen; und zwar wenn und solange die Überzeugung besteht, daß sie in der genannten Klasse die dazu genügende Vorbildung empfangen haben“. (Nach [35, S. 40].) Ohne Zweifel hatte der Lehrkörper hier an Ernst Abbe gedacht, der in der Tat auch der erste Nutznießer dieser neuen Regelung wurde. Sein Zeugnis trug die erweiterte Bezeichnung: „Zeugniß der Reife zum Abgang auf die Universität“, während es bis dahin und auch fernerhin in den meisten Fällen nur „Zeugniß der Reife“ hieß. [20]

Im Zusammenhang mit dem Abitur ist bemerkenswert, daß Abbe zur Thematik „Warum studirt man die Natur?“ eine „Examenrede“ verfaßte, die er am Tage der Zeugnisübergabe, am 3. April 1857, gehalten hat.² Sein schon länger gehegter Wunsch, ein Studium aufnehmen zu können und nicht in die Fabrik, wo sein Vater arbeitete, eintreten zu müssen, ging in Erfüllung, nachdem der Fabrikbesitzer nicht auf die Einlösung des vom Vater gegebenen Wortes beharrte. Vermutlich hatte man sich schon vor der Anmeldung Abbes zum Abiturexamen im Januar 1857 – vielleicht auch durch Fürsprache des Realgymnasiums – darüber geeinigt.³

² Es kann nicht gesagt werden, ob die Rede Bestandteil der Entlassungsfeierlichkeiten war oder nicht, da Abbe sie als „Schlußexamen“ bezeichnet und die „Entlassung“ unter den 4. April 1857 gesetzt hat.

³ Nach bestandnem Examen hatte Abbe verschiedene Besuche abgestattet und dabei auch Eichel-Streiber aufgesucht. Der Vermerk im Tagebuch [16] unter Sonntag, dem 5. April 1857, lautet: „Besuche bei Eichel.“ Es fehlt jeglicher Hinweis auf eine aufgeregte Unterredung von Vater und Sohn Abbe mit dem Fabrikbesitzer, wie sie von Auerbach [35, S. 35] geschildert worden ist.

Student in Jena

„Des neuen Lebens erster Tag bricht an!“

Ernst Abbe, April 1857 [16]

Am 21. April 1857 traf Abbe mit 18 Talern und 7 Silbergroschen in der Tasche in Jena ein, um an der Universität ein Studium der Mathematik und Physik aufzunehmen. Jena war zu dieser Zeit eine Kleinstadt mit rund 7 000 Einwohnern, die vorwiegend von den rund 470 Studenten, hauptsächlich von den etwa 120 wohlhabenden Studenten der Landwirtschaft lebte, wie es in der Schilderung eines Zeitgenossen um 1860 heißt. [85, Bd. 2, S. 558] Die Verhältnisse der Bürger waren im allgemeinen recht bescheiden. Das Gewerbe begann sich erst allmählich zu entfalten.

Für den 17jährigen Abbe bedeutete die Studienaufnahme einen Wendepunkt in seinem bisherigen Leben, wie er das mit dem obigen Zitat in seinem Tagebuch vom 20. April 1857 selbst zum Ausdruck brachte, als er sein Elternhaus in Eisenach verließ. Er war hinreichend motiviert, auch künftig sein Bestes zu geben, doch finanziell keinesfalls sicher, ob er das Studium wird durchhalten können. Für ihn bestand nur die Aussicht, äußerst sparsam zu leben, sich voll auf das Studium zu konzentrieren und einige im Rahmen des Studiums sich bietende Gelegenheiten wahrzunehmen, um für seinen Unterhalt mit beizutragen. Die Unterstützung durch das Elternhaus war bescheiden. Hin und wieder bekam er etwas Geld – im ganzen 30 Taler z. B. während des Sommersemesters 1857 – und einige Eßwaren zugeschiedt. Auf Grund seines „Armuthszeugnisses“ brauchte er keine Vorlesungshonorare zu bezahlen, die im ersten Semester allein 20 Taler ausmachten. Dennoch mußte er über 10 Taler an Immatrikulationskosten und Belegelder für Vorlesungen entrichten, um Student werden und Vorlesungen besuchen zu können. Für das Mittagessen hatte er einen „Freitisch“ erhalten, der ihn im Semester knapp 2 Taler kostete. Zuweilen soll er auf das Mittagessen verzichtet und dafür das Geld vom Wirt sich haben auszahlen lassen. Angesichts seiner geringen finanziellen Mittel überraschte es dann, daß er sich noch Fachbücher im Gesamtwert von 20 (!) Talern anschaffte, unter denen sich der „Kosmos“ (in bis dahin erschienenen 3 Bänden für 7 Taler) von Humboldt [92] befand.

<u>Buchhändlerrechnung.</u>		
Greuter Handb. des Trigonom.	2	4
Reithardt, Theorie der Wärme		12
Humboldt, Kosmos	7	10
Kunze, Leon.		10
Maclaur. Pop. Astron.		20
Schlömilch, Theorema		5
Stügers Beobacht.	1	5
Polygonum.		14
(Gahmst, Differentialr.	(2	20)
Gahmst, Mechanik	2	20
Wegner, Handb. der Geom.		15
Buff, Kopf, vom. Theor. d. Hypo. d. d.	4	15
Obers, Kommetenbeob.	—	12½
Porzion, traité de la	1	—
Rees, Nat. Optik	2	—
Laplace, Mémoire sur le p.		24
L. Brown, Wahrscheinlichkeit	2½	24

4 Abbes Tagebucheintragen über angeschaffte Bücher während des Sommersemesters 1857. Preisangaben in Taler und Silbergroschen (1 Taler gleich 30 Silbergroschen)

Mitten im ersten Semester erlitt Abbe den schmerzlichen Verlust seiner Mutter. Sie starb am 14. Juli 1857 an Tuberkulose. Erste Anzeichen dieser damals unheilbaren Krankheit, die zu Siechtum und frühem Tod führte, stellten sich bei ihr schon bald nach der Geburt der Kinder ein. Immerhin besaß sie als große stattliche Frau noch soviel Kräfte, „um ihren Kindern im eigentlichen

Kindesalter eine rechte und recht geliebte Mutter zu sein“ [35, S. 19]. Zu welch geringen Anschaffungen die Familie Abbe es trotz größter Sparsamkeit bis zu jenem Zeitpunkt gebracht hatte, zeigt der Erbteil, den Ernst Abbe am 11. April 1861 erhielt, als die darüber bestehende Vormundschaft durch das Stadtgericht Eisenach gelöscht und er für mündig erklärt wurde. Dieser Erbteil bestand „in etlichen alten Stühlen u. Tischen, Küchengeräte pp.. zusammen auf 76 $\frac{1}{2}$ r. [Taler] gewürdigt“. [9, S. 70]

Vom Studienbeginn an hatte Abbe einen recht guten Kontakt mit den beiden für Mathematik und Physik zuständigen Professoren Karl Snell und Hermann Schaeffer gehabt, der soweit ging, daß er von ihnen Bücher ausgeliehen bekam. Snell war der Lehrstuhlinhaber für beide Fächer seit 1844 und in dieser Eigenschaft auch Direktor des Physikalischen Kabinetts (ab 1850). Er hat mit seinen Vorlesungen am stärksten auf Abbe gewirkt. Schaeffer, seit 1850 Privatdozent und 1856 außerordentlicher Professor,



5 Karl Snell

widmete sich ganz der Lehre und erwarb sich hierbei große Verdienste. Er bestritt vornehmlich die einführenden mathematischen und physikalischen sowie technischen Vorlesungen und leitete die „Mathematische Gesellschaft“, die aus dem von ihm 1850 gegründeten „Mathematischen Kränzchen“ hervorging. Diese Gesellschaft war eine Interessengemeinschaft ohne jegliche Formen und Statuten, nur das Interesse an Mathematik und Naturwissenschaften sowie die Versammlungen im freundschaftlichen Kreis waren ihre Grundlage. (Vgl. [103].) Sie nahm in gewisser Weise die Stelle eines mathematisch-physikalischen Seminars ein, das in jener Zeit an den Universitäten allmählich Eingang fand. Bemerkenswert ist, daß die Mathematische Gesellschaft bis 1884 bestanden und es dabei auf über 800 Veranstaltungen gebracht hatte, ehe sie historisch überholt war.

Abbe studierte 4 Semester in Jena und hörte außer Mathematik und Physik auch Vorlesungen über Botanik, Kristallographie, Pädagogik, Psychologie, Philosophie und Neueste Geschichte. Wegen seiner ausgezeichneten Vorbildung konnte er auf die einführenden Vorlesungen in Mathematik und Physik von Schaeffer verzichten und stattdessen sich mit zusätzlichen Studien in Astronomie, Mathematik und Physik befassen. Die Beschäftigung mit der Astronomie mag wohl im Zusammenhang mit der Vereinstätigkeit gestanden haben. Ehemalige Mitglieder des Eisenacher Naturwissenschaftlichen Vereins hatten gleich mit Studienaufnahme einen entsprechenden Verein unter Leitung Carl Martins in Jena gegründet und mit dem Abhalten von Vorträgen sofort begonnen. Dieser Verein bestand nur bis zum Sommersemester 1858 und war an der Universität, wo es die Mathematische Gesellschaft gab, im Grunde überflüssig.

Von Anfang an beteiligte sich Abbe an der Vortragstätigkeit der Mathematischen Gesellschaft und hielt insgesamt 4 Vorträge, 2 über Kegelschnitte und 2 über Äquivalenz von Wärme und Arbeit bzw. über Wärmeerscheinungen bei den permanenten (idealen) Gasen. Die letzten beiden Vorträge waren im wesentlichen das Ergebnis einer physikalischen Preisaufgabe, die er zusätzlich zu seinen Studienverpflichtungen bearbeitet hatte.⁴ Dafür hatten sich

⁴ Einer der beiden Vorträge „Ueber die Wärmeerscheinungen bei den permanenten Gasen“ vom 2. Dezember 1858 ist in „Niederschriften von Vorträgen in der Mathematischen Gesellschaft zu Jena“ [34, Bd. 4, S. 1041 bis

ihm schon während des ersten Semesters günstige Umstände geboten. Zum einen hielt Snell erstmalig eine Vorlesung über „Mechanisches Wärmeäquivalent“, wobei er über den damaligen Stand des 1842/47 entdeckten Energieerhaltungssatzes vortrug, dessen allgemeine Anerkennung als grundlegendes Prinzip in jener Zeit sich durchsetzte. Zum anderen war nach etlichen Jahren wieder ein Physiker an der Reihe, der eine Preisaufgabe im Rahmen der Herzoglich Sachsen-Altenburgischen Josephinischen Stiftung über die Philosophische Fakultät stellen konnte. Die von Snell stammende Aufgabe lautete:

Es wird von der Philosophischen Fakultät gefordert, 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 oder experimental zu bestimmen gesucht haben. [27, Bl. 71]

Abbe bearbeitete sie während des ersten Studienjahres und reichte sie zu Beginn des 3. Semesters am 30. April 1858 ein. In der Preisverleihung am 19. Juni 1858 hieß es dann zur Preisaufgabe:

Hierzu war eine Bearbeitung eingegangen, deren Verfasser der Stud. ph. Ernst Abbe aus Eisenach, mit dem ersten Preise gekrönt wurde.⁵ [27, Bl. 104]

Der Preis bestand aus 40 Talern und einer silbernen Medaille. Die Mathematische Gesellschaft versäumte es nicht, diesen Fakt in ihren Erinnerungsblättern mit Freuden zu registrieren [103, S. 9], zumal Abbe das erste Mitglied war, dem eine solche Ehrung widerfuhr. Auch im Bericht des Kurators der Universität an die vier Erhalterstaaten – das waren das Großherzogtum Sachsen-Weimar-Eisenach und die Herzogtümer Sachsen-Altenburg, Sachsen-Coburg-Gotha und Sachsen-Meiningen – teilte die-

1066] überliefert. Die Universitätsbibliothek Jena erwarb im Sommer 1848 9 der insgesamt 19 Protokollbände der Mathematischen Gesellschaft, und zwar die Bände 1, 4, 6, 8, 11, 12, 13, 18 und 19, in denen insgesamt 13 Niederschriften bzw. Kurzfassungen der Vorträge von Ernst Abbe (bis zum Jahre 1876) enthalten sind.

⁵ Die von Auerbach geschilderte Episode um die Preisvergabe, die zeigen sollte, „wie unbekannt Abbe in der Studentenschaft, auch in den Kreisen der Mathematiker und Physiker war“ [35, S. 64], gehört in das Reich der Legenden.



6 Ernst Abbe im Kreise seiner Jenaer (?) Kommilitonen

ser die Versicherung seiner Lehrer mit, daß Abbe „mit dem unzweifelhaften Beruf für die Wissenschaft geboren sei“. (Nach [61, S. 9].) Damit ragte Abbe schon im 3. Semester deutlich aus dem Kreis der Studierenden heraus und hat sich für eine eventuell spätere Anstellung an der Jenaer Universität bestens empfohlen. Doch was für ihn wohl noch wichtiger werden sollte, war die Tatsache, daß er mit dieser preisgekrönten Schrift zugleich das Fundament für seine spätere Dissertation gelegt hatte, wie wir im nächsten Abschnitt noch sehen werden. In der nicht überlieferten Preisschrift war er, wie es aus dem Gutachten von Snell hervorgeht [31], von ausführlichen methodologischen Betrachtungen über Naturforschung, insbesondere über die physikalische Erkenntnis, ausgegangen, die offensichtlich eine Fortsetzung seiner am Realgymnasium begonnenen philosophischen Beschäftigungen bildeten. Dabei war er von der Leistungsfähigkeit der Mathematik zur Lösung auch solcher physikalischer Aufgaben wie das Auffinden eines Naturgesetzes auf induktivem Wege überzeugt. Der Einfluß von Francis Bacon, dem Verkünder der induktiven

Forschungsmethode zur Erneuerung der Wissenschaften, ist hierbei unverkennbar. In „Vermischte Notizen“ seines Tagebuches [16] ist auch ein entsprechendes Zitat aus „Novum Organon“ von 1620 enthalten, welches Bacons Auffassung vom induktiven Weg zur Erforschung und Entdeckung der Wahrheit als dem wahren Weg wiedergibt.

Man kann feststellen, daß die Jenaer Studienzeit Abbe hauptsächlich auf mathematischem, theoretisch-physikalischem und philosophischem Gebiet wesentlich geformt und ihm das Bewußtsein über das eigene, überdurchschnittliche Leistungsvermögen vor allem in Hinblick darauf gestärkt hat, daß er das Studium trotz seiner dürftigen finanziellen Lage wird erfolgreich zu Ende bringen.

Student in Göttingen

„Weber u. Lotze gefallen mir ganz besonders gut; die Physik vor Allem ist wirklich ganz unübertrefflich. Es ist in diesem Semester der 2te Theil an der Reihe, – die Lehre von Electricität, Magnetismus, etc. für welche Gebiete Weber bekanntlich gegenwärtig einer der bedeutendsten Bearbeiter ist; und man kann schon deßhalb etwas Ausgezeichnetes von ihm erwarten.“

Ernst Abbe, Dezember 1859 [9, S. 10]

Im Frühjahr 1859 nahm Abbe – einem allgemeinen Brauch folgend – einen Universitätswechsel vor. Er bezog die Georg-August-Universität zu Göttingen, wo er am 30. April 1859 als „stud. phil.“ immatrikuliert wurde. Für die Wahl Göttingens sprachen mehrere Gründe. Göttingen war wie Jena eine kleine Gelehrtenstadt, die zu Hannover und nicht zu Preußen, gegen das er aus politischen Gründen Abneigungen hegte, gehörte. Andererseits war Göttingen noch näher an seiner Vaterstadt gelegen als Jena. Doch der Hauptgrund mag wohl der gute Ruf der Göttinger Universität gewesen sein, den sie bald nach ihrer Gründung im Jahre 1734 in Deutschland und im Ausland, vor allem in England, erreicht hatte. Hier hatte Carl Friedrich Gauß, ein hervorragender Mathematiker, Astronom, Geodät und Physiker, von 1807 bis zu seinem Tode 1855 gewirkt und in den 30er Jahren auf dem Gebiet des Erdmagnetismus und der Elektrizität sehr erfolgreich mit dem Physiker Wilhelm Eduard Weber zusammen gearbeitet, wodurch Göttingen sich als ein Zentrum in der Physik herauszubilden begann. Diese Zusammenarbeit klang allerdings 1843 aus, als Weber an die Universität Leipzig ging, nachdem er und mit ihm sechs weitere Professoren – die „Göttinger Sieben“ – bereits 1837 ihres Lehramtes enthoben wurden, weil sie gegen die Abschaffung der 1833 eingeführten liberalen Verfassung durch den neuen König von Hannover protestiert hatten. Dieser wurde jedoch durch die bürgerlich-demokratische Revolution von 1848/49 veranlaßt, die abgesetzten Professoren, soweit sie wollten, wieder in ihr Amt einzusetzen, worauf Weber 1849 nach Göttingen zurückkehrte und dort bis an sein Lebensende blieb. Er setzte seine in Leipzig begonnenen Arbeiten über elektrodynamische Maßbestimmungen fort. Ihm ging es dabei vor allem um die Einführung von absoluten Einheiten zur Messung elektrischer Größen. Mit

seinen Arbeiten hat er die Entwicklung der Elektrizitätslehre beträchtlich gefördert. (Vgl. [112].)

Zur Studienzeit Abbes wirkten neben Weber der Physiker Johann Benedikt Listing, die Mathematiker Georg Karl Justus Ulrich, Moritz Abraham Stern, Bernhard Friedrich Riemann und Ernst Christian Julius Schering sowie der Astronom Ernst Friedrich Wilhelm Klinkerfues. Schon diese Aufzählung macht deutlich, daß in Göttingen mehr Mathematiker und Physiker lehrten als in Jena und, was wohl entscheidend ist, daß sie alle auf ihren Gebieten aktiv an der Forschung teilnahmen und dabei häufig führend waren. Dies wirkte sich äußerst stimulierend in der Lehre aus. Daher waren die Studienverhältnisse im Vergleich zu Jena von einem wesentlich reichhaltigeren Angebot an Lehrveranstaltungen und von einer noch höheren produktiv-schöpferischen Atmosphäre gekennzeichnet, die vor allem solche leistungswilligen Studierenden wie Abbe noch stärker forderten und förderten.

Neben Geschichte der Chemie und Psychologie hörte Abbe nur mathematische und physikalische Vorlesungen, einige davon sogar zweimal wie die Experimentalphysik von Weber, die Elliptischen Funktionen und die Potentialtheorie von Riemann. Hegte Abbe anfangs noch die Absicht, einen Wechsel an die Berliner Universität vorzunehmen, um in der Nähe seines Freundes Carl Martin zu sein, so war Göttingen bereits nach zwei Semestern für ihn so anziehend, daß er dort drei weitere Semester blieb.

Ein Grund dafür war, daß er im Sommer 1859 eine für das ganze Leben währende enge Freundschaft mit dem Mathematikstudenten Harald Schütz schloß, die hinsichtlich der Zuneigung bald die Höhe eines Liebesverhältnisses erreichte – wie die Anreden und Schlußteile der Briefe in [9] es belegen –, ohne hierbei im geringsten an eine verfängliche Deutung zu denken. Abbe identifizierte ihren Freundschaftsbund mit dem aus der griechischen Mythologie sprichwörtlich gewordenen Freundespaar Orest und Pylades, wobei er sich als Pylades – der treue Begleiter und Helfer von Orest – fühlte. Aber schon nach wenigen Jahren ging das jugendlich-überschwengliche Verhältnis in ein abgeklärtes hinüber. Als Ausdruck ihrer gemeinsamen Interessen und Bestrebungen, aber auch zur Finanzierung ihres Studiums u. a. begründeten sie eine „Firma“, die über die Studienzeit hinaus noch 1864 bestanden hat. Bis zum Universitätswechsel von Schütz nach Berlin

im Frühjahr 1861 besuchten beide einige Fachvorlesungen gemeinsam und beschäftigten sich mit gemeinschaftlichen Studien der Philosophie von Immanuel Kant und Arthur Schopenhauer. Beide verfolgten sehr aufmerksam und kritisch die politischen Tagesereignisse, besaßen gleiches Interesse z. B. an dem französischen Kaiser Napoleon III. und freuten sich u. a. über die Erfolge im Befreiungskampf Italiens unter Führung Giuseppe Garibaldis und über den positiven Wahlausgang für die oppositionellen liberalen Kräfte zum preußischen Abgeordnetenhaus. Abbes liberale und demokratische Haltung kommt auch darin zum Ausdruck, daß er dem 1859 geschaffenen Deutschen Nationalverein, der die Einigung und freiheitliche Entwicklung Deutschlands unter der Hegemonie Preußens anstrebte, als Mitglied angehörte und den kleinbürgerlichen Demokraten Franz Leo Benedikt Waldeck besonders verehrte, der einer der Führer der 1861 gegründeten Deutschen Fortschrittspartei wurde.

Ein anderer Grund für das Verbleiben in Göttingen war das von Weber 1850 mitbegründete Mathematisch-Physikalische Seminar, das von Abbe sehr geschätzt wurde. In ihm wurden zur Vertiefung des Lehrstoffes und zur Darstellung aktueller Forschungsergebnisse weitere Vorlesungen gehalten, mathematische und physikalische Aufgaben gestellt und physikalisch-praktische Übungen abgehalten. So z. B. hielt Weber im Wintersemester 1859/60 in diesem Seminar ausgezeichnete Vorlesungen über die Theorie der Meßinstrumente mit Demonstrationen. Dabei hat er

auch ein eigenthümlich (für die Zwecke der feinsten Messungen) construirtes Galvanometer (nach einem eigenthümlichen Principe der Astaticität) vorgelegt, welches er für Wheatstone in England hier anfertigen läßt, und welches diesem dienen soll, um die Ursachen der Störungen im atlantischen Kabel zu erforschen, mit deren Aufsuchung er beauftragt ist. [9, S. 13 f.]

Bemerkenswert ist, daß Abbe spätestens zu jener Zeit auch als Hilfsassistent in diesem Seminar tätig war, indem er neueingetretene Mitglieder einübte, wofür er ein Honorar von 20 Talern pro Semester erhielt, und daß er „einen Vortrag (über die Verwendung des Kraftbegriffes in der Mechanik u. Physik, speciell über das Problem der Zusammensetzung der Wirkungen) gehalten, dessen Ausarbeitung einige Arbeit gekostet hat“. [9, S. 13]

Also auch hier in Göttingen verlief Abbes Studium recht erfolgreich. Dem Verbindungsleben der Studenten stand er wie schon in



7 Ernst Abbe als Student
um 1860

Jena völlig fern und war ein abgesagter „Feind von gewissem Geselligkeitsschnickschnak in feinen Cirkeln u. dergl.“ [9, S. 51]. Er fühlte sich „sehr wohl in einem kleineren Kreise von Bekannten, wo man sich gemüthlich unterhält, und dabei ein paar Flaschen Bier trinkt“. [9, S. 12] Bis auf das starke (Pfeife-) Rauchen, das er sich in jungen Jahren angewöhnte und zeitlebens nicht mehr lassen konnte, war Abbe in seinen Ansprüchen jedoch sehr bescheiden und genügsam. Im Sommer 1860 sah er sich gezwungen, das Studium im kommenden Frühjahr zu beenden, um dem Vater nicht zur Last zu fallen. Bis dahin hatte er in den letzten beiden Jahren je 200 Taler von Eichel-Streiber als Unterstützung und 40 Taler als Honorar aus der Seminartätigkeit erhalten, womit er so ziemlich ausgekommen war. Seine Aussichten, nun eine passende Stelle zu finden, waren sehr gering.

Denn ich habe keine Hoffnung, wenn ich auch in Weimar das Staatsexamen mache, in der Kürze als Lehrer an einer der dortigen Schulen anzukommen,

da mehr Lehrer – auch grade in meinem Fache – vorhanden sind, als sie brauchen können. Die Aussicht, daß sich vielleicht Gelegenheit bietet, irgendwo als Assistent od. dergleichen ein Plätzchen zu finden, welches mir entschieden, auch unter den bescheidensten Verhältnissen, das Angenehmste wäre, da ich zur Schulmeisterei eigentlich verdammt wenig Lust habe und auch dazu passe wie der Bock zum Gärtner, ist ebenfalls eine sehr schlechte, und so wird mir denn nichts übrig bleiben, als irgendwo und irgendwie in einer Privatstellung (als Lehrer), vielleicht an einem Institute oder dergl. ein Unterkommen zu suchen, womit ich schon zufrieden sein will, wenn ich nur nicht ganz in der Schulmeisterei aufgehen muß, sondern hinreichende Muße behalte, um meine wissenschaftliche Thätigkeit fortzusetzen. Sonst würde ich mich freilich sehr unglücklich fühlen. [9, S. 32 f.]

Abbe hatte schon immer als letztes Ziel eine akademische Thätigkeit im Auge, wenn schon nicht auf direktem, so doch auf indirektem Wege er es als möglich zu erreichen anstrebte. Eine der Hoffnungen, durch Vermittlung der Jenaer Professoren Schaeffer und Snell vorübergehend als Lehrer an einer privaten Lehranstalt in Jena unterzukommen, um dann 1863 an der dortigen Universität gleichzeitig zu promovieren und sich zu habilitieren, sollte sich leider auch nicht erfüllen. Daher beschloß er, „in der Eile eine Dissertation auszuarbeiten, deren Thema sein wird: ‚Erfahrungsmäßige Begründung des Principis der Mechanischen Wärmetheorie pp‘“. [9, S. 63] Das ursprüngliche Thema, „eine Frage aus der Theorie der Functionen – rein mathemat. Natur“ [9, S. 49] hat er offensichtlich aus Zeitgründen wieder fallen lassen, denn bei dem ersten Thema konnte er auf wesentliche Ergebnisse seiner (unveröffentlichten) Preisschrift von 1858 zurückgreifen.

Für Abbe war der Satz der Äquivalenz von Wärme und mechanischer Arbeit nur aus wenigen Erscheinungen erschlossen worden, ohne daß ihm ein direkter Beweis zugrunde lag. Daher stellte er sich die Aufgabe, die Wärmeerscheinungen bei den permanenten Gasen, die durch Kompression oder Dilatation hervorgerufen werden, auf der Grundlage vorhandener experimenteller Untersuchungsergebnisse unabhängig von jeder theoretischen Voraussetzung nur nach erfahrungsmäßiger Methode „Schritt für Schritt bis zu ihrer allgemeinen und vollständigen Lösung zu verfolgen“, sie „auf ihre Gesetze zurückzuführen“. [2, S. 27] In diesen Gesetzen ist auch implizit das gesuchte Fundamentaltheorem der mechanischen Wärmetheorie enthalten, das dann durch eine mathematische Analyse gewonnen werden kann. Obgleich die mechanische Wärmetheorie zu ihrer völligen Bestätigung des induktiven

Verfahrens als Pendant zum deduktiven, wie Abbe selbst hervorhob, nicht bedurfte, ging es ihm um das

formale oder methodische Interesse, welches jede directe, progressive Begründung eines allgemeinen und weitgreifenden Naturgesetzes schon insofern haben möchte, als der Beispiele so sehr wenige sind, wo eine solche möglich gewesen und wirklich ausgeführt worden ist. [2, S. 4]

Nach erfolgter Promotion am 23. März 1861 bei Weber und Riemann verblieb Abbe noch das Sommersemester über als Student in Göttingen, da er durch Vermittlung von Stern Aussichten hatte, eine Anstellung ab Herbst am Physikalischen Verein in Frankfurt am Main zu bekommen. Er besuchte weitere Vorlesungen vor allem in Mathematik und arbeitete im Seminar und an der Sternwarte als Hilfsbeobachter bei Klinkerfues mit. Seinen Unterhalt während der Überbrückungszeit bestritt er aus Einnahmen, die er aus der Seminar- und Beobachtertätigkeit, dem Erteilen von Privatunterricht und der Ausarbeitung einer Nachschrift der Riemannschen Vorlesung über Elliptische Funktionen für den russischen Mathematiker Georg August Thieme erhielt. In diesem Zusammenhang ist noch zu erwähnen, daß die Vorlesungsnachschriften von Abbe gern von einigen Mitstudenten genutzt wurden. Selbst Riemann ließ sich eine Nachschrift von seiner im Sommersemester 1859 gehaltenen Vorlesung über Potentialtheorie aus, um sie „zur bequemerer Vorbereitung“ [9, S. 83] dieser Vorlesung im laufenden Semester zu verwenden.

An der Sternwarte erhielt Abbe eine erwünschte Gelegenheit, sein früheres astronomisches

Lieblingsstudium ... wieder aufzunehmen und practisch zu betreiben. Außer der Zeit, die ich dem Observator bei seinen Arbeiten helfen muß, beschäftigte ich mich eifrig mit den verschiedensten Instrumenten, die mir hier zu Gebote stehen, und übe mich auf die verschiedenen astronomischen Beobachtungen ein. [9, S. 76]

Hierbei kam er in nähere Beziehung mit dem Universitäts-Instrumenten- und Maschinen-Inspektor Moritz Meyerstein, als dieser einige Geräte der Sternwarte reparierte. Meyerstein, Inhaber einer Werkstätte für astronomische und physikalische Instrumente in Göttingen seit 1834, war ein sehr geschickter und tüchtiger Mechanikus. Sein Lieferangebot von 1860 [97] z. B. enthielt 227 verschiedene Instrumente im Gesamtwert von knapp 50 000 Talern, die er auf Bestellung der Kunden zu fertigen in der Lage war.

Darunter befand sich auch ein Spektrometer zur Brechzahlbestimmung fester und flüssiger Stoffe (von 1856), das er 1861 in verbesserter Form herausbrachte. Interessant dabei ist, daß er bei der Erprobung dieses Gerätes durch Abbe hinsichtlich der Meßmethode und der Abschätzung der Fehlergrenzen unterstützt wurde. Auch für die Beschreibung des Spektrometers hatte Abbe ihm mehrere Verbesserungsvorschläge unterbreitet.

Dieses Beispiel macht zweierlei deutlich. Erstens, daß die hohe Leistungsfähigkeit von Meyerstein sich vor allem darauf gründete, daß er einen sehr engen Kontakt mit Wissenschaftlern pflegte und sich um wissenschaftliche Fundierung seines Handwerkes bemühte. Als Anerkennung dafür wurde ihm von der Philosophischen Fakultät der Göttinger Universität 1863 der Ehrendoktor verliehen. Zweitens, daß Abbes Hilfeleistung für Meyerstein, einschließlich der Beschäftigung mit astronomischen Instrumenten an der Sternwarte, aber auch der absolvierten optischen Vorlesungen und Übungen im Seminar bei Listing, wichtige Voraussetzungen und Frühprägungen waren für die später so produktiv gewordene Partnerschaft mit Carl Zeiß in Jena auf dem Gebiet des Mikroskopbaues.

Zu seiner Bewerbung in Frankfurt am Main gehörte noch ein Probenvortrag, den Abbe Ende Mai 1861 unter gesundheitlich beeinträchtigten Bedingungen vor dem Physikalischen Verein hielt. Das Thema des Vortrages lautete: „Ueber die physikalischen Grundlagen der menschlichen Erkenntnisse“. Der Vorstand des Vereins unterbreitete dann nach einigen Wochen ein Angebot, auf das Abbe einging. Am 13. September 1861 verließ Abbe Göttingen, um die Ferien wie so oft in seinem Elternhaus in Eisenach zu verbringen. Diesmal erwartete er zu Hause den lieben Besuch seiner Schwester⁶, die er seit Jahresbeginn nicht mehr gesehen hatte, den seiner Tante und den seines Freundes Harald Schütz. Ihm verblieben knapp drei Wochen, um dann seine neue Tätigkeit in Frankfurt am Main aufzunehmen.

⁶ Über Abbes Schwester Sophie gibt es kaum Informationen. Nach Auerbach [35, S. 19] verbrachte sie ihr Leben an der Seite eines Handwerkers.

Dozent in Frankfurt am Main

„So habe ich denn Aussichtigen, zu denen ich mir nur Glück wünschen kann: eine sehr angenehme Thätigkeit, die, wenn ich mich erst etwas eingearbeitet habe, mir hinreichend Muse zu eigenen Arbeiten lassen wird – eine sorgen freie Stellung, indem man mir, hoffe ich, nicht unter 800 f. [Gulden]⁷ jährlich bieten wird, (wie ich für diesen Winter auch schon 400 f. bekomme) – außerdem wissenschaftliche Hilfsmittel, wie man sie sonst nur bei Universitäten findet.“

Ernst Abbe. Oktober 1861 [9, S. 135]

Diese Zeilen schrieb Abbe aus Frankfurt am Main an seinen Freund Carl Martin unmittelbar nach seinem ersten Auftreten als Vortragender am Physikalischen Verein, an dem er zunächst nur provisorisch für das Wintersemester 1861/62 mit einem Honorar von 400 Gulden angestellt war. Für den Vorstand des Vereins gab es keine Zweifel, daß im nächsten Frühjahr die Generalversammlung ihn in seiner Tätigkeit jeweils für ein Jahr bestätigen werde.

Der bereits 1824 gegründete Physikalische Verein hatte – wie wohl alle dieser Art, die auch in anderen Städten existierten – das Ziel, physikalische und chemische Kenntnisse und Forschungsmethoden einem breiten Hörerkreis aus dem Bürgertum nahezubringen. An seiner erfolgreichen Entwicklung hatte auch der seit 1835 als Dozent wirkende Chemiker Rudolf Boettger, der neben der Chemie auch die Physik bis 1860 mitvertrat, wesentlichen Anteil. Inzwischen war die Physik im Begriff, sich als Wissenschaftsgebiet zu etablieren. Nach der Entstehung der Newtonschen Mechanik am Ende des 17. Jahrhunderts und ihrem weiteren Ausbau vor allem in der analytischen Form während des 18. und zu Beginn des 19. Jahrhunderts bildeten sich die Disziplinen der Wellenoptik (etwa 1830), der Thermodynamik (1850/65) und der Faraday-Maxwellschen Elektrodynamik (1855/64) heraus, die alle durch den Energieerhaltungssatz miteinander verbunden sind und zum Bestand der klassischen Physik gehören. (Vgl. z. B. [105].) Um dieser Entwicklung auch in der Vereinstätigkeit gerecht zu werden, versuchte der Vorstand ab 1860 einen Physiker als zwei-

⁷ Die Umrechnung von Gulden in Taler und Mark erfolgt nach dem Kurs: 1 Gulden (Zeichen f.) = $\frac{1}{7}$ Taler = 1,7143 Mark.

ten Lehrer zu gewinnen. Nach Friedrich Eisenlohr aus Heidelberg, der wöchentlich einmal nach Frankfurt fuhr, war nun Abbe der nächste Kandidat, der die Stelle annahm. Ab Oktober 1861 hatte er wöchentlich eine einstündige Experimental-Vorlesung in Wärmelehre sowie 14tägliche Vorträge zu neueren Ergebnissen der Experimentalphysik für die Vereinsmitglieder, die eine unterschiedliche physikalische Bildung besaßen, zu halten. Dabei konnte er unmittelbar an seine Dissertation sowie an die in Göttingen vor allem bei Weber und Meyerstein erworbenen Kenntnisse und Erfahrungen anknüpfen, indem er z. B. einige von ihnen konstruierte Meßgeräte in den Vorträgen mit vorstellte.

Seine herzliche Aufnahme durch einige Vorstands- und physikinteressierte Vereinsmitglieder, der persönliche Verkehr mit ihnen, der bis hin zu freundschaftlichen Begegnungen führte, beflügelten Abbe in seinem neuen Wirkungskreis. Er war sehr zufrieden, wie es das obige Zitat zeigt. Mit dem Vereins-Vorsitzenden Johann Balthasar Lorey z. B., der ihn als Mediziner während der mehrmaligen Erkrankung an seinem alten Übel der Kopfschmerzen fürsorglich betreute und der gleichzeitig als Frankfurter „Stadt-astronom“ fortgesetzte astronomische Beobachtungen auf dem Paulsturm hauptsächlich zur Regulierung der Frankfurter Normaluhr anstellte, kam es zu einer engen und vertrauensvollen Zusammenarbeit. Auf Abbes früheren Erfahrungen während der Mitarbeit bei Klinkerfues in Göttingen entstand der Aufbau einer einfachen Kollimator-Mire [2, S. 33–40], womit das Universalinstrument auch bei nächtlichen Beobachtungen in seiner Einstellung gegen den Meridian überprüft werden konnte. Ein anderes Beispiel für ein kollegiales und herzliches Verhältnis war die Bekanntschaft Abbes mit dem Frankfurter Mediziner Alexander Crailsheim, von dessen Persönlichkeit und wissenschaftlichem Eifer er stark beeindruckt wurde. Crailsheim, der die neue Entwicklung der Physiologie fördern wollte, die alle Lebensvorgänge kausalanalytisch mit überwiegend experimentell-physikalischen und chemischen Arbeitsmethoden zu erforschen begann und die bisherige idealistische Lehre der „Lebenskraft“ verwarf, wurde auf das Studium der Mathematik geführt und hatte sich darin so vertieft, daß er dabei blieb und nicht mehr zur Physik, geschweige zur Physiologie gelangte. Abbe war von der mathematischen Denkungsart Crailsheims, die sich mit der seinigen völlig deckte, sehr verwundert.

Durch ihn wurde er auf die damals kaum beachtete „Ausdehnungslehre“ von Hermann Günther Graßmann aufmerksam gemacht, deren Bedeutung jener als einer der ersten erkannte. Auch in der Philosophie war Crailsheim beschlagen, der während seiner Berliner Studienzeit einige Vorlesungen bei Georg Wilhelm Friedrich Hegel besucht hatte. Neben Immanuel Kant und Arthur Schopenhauer würdigte er besonders – den damals in Naturwissenschaftlerkreisen wegen seiner unzureichenden Naturphilosophie oft negativ beurteilten – Hegel, wovon Abbe beeindruckt war.

Am Physikalischen Verein wurde Abbe auch als Gutachter und Berater zu technischen Fragen in Anspruch genommen. Als Kommissionsmitglied z. B. hatte er die Federführung zu einem Gutachten über ein „albernes Luftschiffahrtsprojekt“ eines Frankfurter Mechanikers [9, S. 148] inne, um das das Jüngere Bürgermeister-Amt der Freien Stadt Frankfurt gebeten hatte. Für den Leiter der preußischen Telegraphenlinie in Thüringen und Hessen mit Sitz Frankfurt gab er Aufschluß zu „Fragen über die Verhältnisse der Stromvertheilung in den Leitungssystemen der Telegraphen, in besondern dann, wenn unbeabsichtigte Nebenschließungen zwischen den Drähten eintreten“. [9, S. 146] Auch zur Prüfung einer „Gasmaschine“ in einer Frankfurter Fabrik wurde er herangezogen.

Dabei handelte es sich um ein Exemplar der von Jean Joseph Etienne Lenoir 1860 konstruierten und mit Leuchtgas und elektrischer Zündung betriebener Zweitakt-Verbrennungsmotor, dem Abbe „sehr geringe Arbeitskraft, große Unregelmäßigkeit und außer ordentlich kostspielig im Gasverbrauch“ [9, S. 224] bescheinigen mußte.

Neben den physikalischen und technischen Aufgaben in Frankfurt, zu denen noch vom November 1861 bis April 1862 wöchentlich eine Experimental-Vorlesung zur Elektrizitätslehre im 1859 gegründeten Verein für Naturkunde in Offenbach kam, setzte Abbe seine intensive Beschäftigung mit Mathematik fort. Vor allem studierte er – wie schon im Sommersemester 1861 – die ihm von seinem Freund Harald Schütz in bestimmten Abständen zugeschickten Nachschriften von Vorlesungen der Berliner Mathematiker Ernst Eduard Kummer, Leopold Kronecker und Karl Theodor Weierstraß, wobei er z. B. bei der sich herausbildenden Funktionentheorie durch Riemann in Göttingen und durch Weier-

straß in Berlin vergleichende Betrachtungen über die verschiedenen Zugänge ihres Aufbaus anstellte.

Die Hoffnungen Abbes, die auch von den meisten Vorstandsmitgliedern bestärkt wurden, seine provisorische Anstellung am Verein in eine bleibende umzuwandeln, wurden jedoch jäh zu nichte gemacht. Die Generalversammlung von März 1862 entschied sich mit 4 oder 3 Stimmen Mehrheit im wesentlichen aus zwei Gründen gegen ihn. Erstens wollte die Generalversammlung die Bestrebungen des Vorstandes, einen zweiten Lehrer fest zu engagieren, nicht billigen, was der Vorstand als eine Intrigue deutete, hinter der Boettger direkt oder indirekt stand. Zweitens hatte Abbe versucht, entsprechend den Wünschen des Vorstandes ein etwas höheres wissenschaftliches Niveau gegenüber Boettger in den Vorlesungen zu bieten. Dabei konnte es nicht ausbleiben, daß er nicht den Teil der Mitglieder erreichte, der kaum Verständnis für Physik besaß und „sich bloß ein wenig an hübschen Experimenten u. dergl. amüsieren“ wollte. [9, S. 197]

Abbe hatte jedoch die Genugtuung, alle urteilsfähigen Mitglieder auf seiner Seite gehabt zu haben, auf deren Wunsch hin er Vorlesungen während des Sommersemesters 1862 über die Wechselbeziehungen zwischen den Naturkräften und den Naturprozessen für 400 Gulden Honorar außerhalb des Vereins hielt. Die Hörer waren von ihnen so angetan, daß sie ihn aufforderten, sie in einer populären Darstellung drucken zu lassen. Daraufhin faßte er den Entschluß,

ein großes literarisches Opus abzufassen, nämlich eine Darstellung der theoretischen u. experimentellen Untersuchungen, die Bezug haben auf die sog. Lehre von der Erhaltung der Kraft od. von der Aequivalenz der Actionen – in Form einer Monographie . . . [9, S. 230]

Die erforderliche Literatur würde ihm die Bibliothek des Vereins bieten. Doch Abbe ließ dieses Projekt bald wieder fallen, das im wesentlichen eine Fortführung seines Dissertationsthemas bedeutet hätte. Es unterstreicht jedoch, welch großes Interesse dem Energieerhaltungssatz in jener Zeit entgegengebracht wurde, der vor allem durch die Arbeiten des Arztes Julius Robert Mayer, des englischen Liebhaber-Physikers James Prescott Joule, des dänischen Ingenieurs Ludwig August Colding und des Arztes und späteren Physikers Hermann Helmholtz allmählich zur allgemeinen Anerkennung gelangte. Bemerkenswert in diesem Zusammenhang ist,

daß kein geringerer als Max Planck es war, der jene Thematik Abbes 1884/86 im Rahmen einer Preisaufgabe der Göttinger Universität bearbeiten sollte. [100]

Bis zum Frühjahr 1863 blieb Abbe in Frankfurt, wo er mit Erteilen von Privatunterricht seinen Lebensunterhalt bestritt, den lange entbehrten persönlichen Kontakt mit seinem Freund Schütz seit September 1862 wieder pflegen konnte und Ausschau nach einer seinen Neigungen entsprechenden Stelle hielt. Darauf brauchte er nicht allzu lange warten. Eine Stiftung über 1 000 Gulden (vgl. [35, S. 107]), die er vom Vereinsmitglied Michael Reiß, einem reichen Privatgelehrten in Frankfurt, erhielt, ermöglichte es ihm, seinen alten Plan wieder aufzugreifen, eine Habilitationsschrift anzufertigen und in Jena die Hochschullehrer-Laufbahn einzuschlagen.

Hochschullehrer in Jena

„Endlich ist der Privatdocent fertig – Gott sei's getrommelt u. gepfiffen! Am Sonnabend habe ich disputirt und *so eben* die Probevorlesung absolvirt, – was ursprünglich auch Sonnabend noch geschehen sollte, vom Dekan aber auf heute verlegt worden ist, – und damit ist denn die verdammte Hundekomödie glücklich vorüber; . . .“

Ernst Abbe, 10. August 1863 [9, S. 252]

Ernst Abbe ließ sich am 18. April 1863 für immer in Jena nieder, wo er von Snell und Schaeffer überaus herzlich als „Colleague in spe“ aufgenommen wurde. (Vgl. [9, S. 235].) Die Universität brauchte ihn dringend. Schon 1860 hatte Snell ihn wissen lassen, daß „in Jena gar Niemand sei, der speciellere Theile der Mathematik vortrage, während doch das Bedürfniß dessen vorliege u. s. f.“. [9, S. 56] Vermutlich war dies mit ein Grund dafür, daß Abbe ein mathematisches Thema für die Habilitationsschrift wählte. Am 12. Mai 1863 hatte er sie vollendet und unter dem Titel „Ueber die Berücksichtigung der Fehlervertheilung bei Anwendung der Methode d. kleinst. Quadrate“ bei der Philosophischen Fakultät der Universität Jena eingereicht. Bald danach wurde ihr Titel geändert, der dann lautete: „Ueber die Gesetzmäßigkeit in der Vertheilung der Fehler bei Beobachtungsreihen“. [9, S. 321] Sie enthielt nach Abbes eigener Schilderung „ein paar neue Integrationsbeispiele mit Hülfe discontinuirlicher Factoren (verschieden von den Dirichlet'schen)“. [9, S. 238]

Bereits im Sommersemester 1861 in Göttingen hatte sich Abbe mit dieser Thematik beschäftigt, indem er eine Vorlesung über die Methode der kleinsten Quadrate, d. h. über die von Gauß entwickelte Lehre zur Ausgleichung der Beobachtungsfehler, die unabhängig von ihm auch vom französischen Mathematiker Adrien Marie Legendre geschaffen wurde, besuchte. Bis 1855 hatte Gauß sie selbst mehrfach gehalten, nun setzte sein Schüler und Nachlaßverwalter Schering diese Tradition fort. Als er sie aber aus Mangel an Hörern bald wieder aufkündigen mußte, bot er Abbe seine Unterstützung beim Selbststudium der entsprechenden überlieferten Gaußschen Abhandlungen an. (Vgl. [9, S. 81 f.].)

Die Anwendung der Methode der kleinsten Quadrate auf eine Meßreihe von n gleich genauen Beobachtungen setzt voraus, daß

es sich bei den Meßfehlern nur um zufällige handelt. Schon damals hatten es Physiker und Astronomen bei bedeutsamen Messungen unternommen, ihre Berechtigung durch nachträgliche Diskussionen der n Meßfehler $x_1; x_2, \dots, x_n$ wenigstens überschlagsmäßig zu überprüfen. Für eine genauere Diskussion allerdings fehlten noch die Regeln zur Entscheidung, ob nicht noch systematische Fehler dabei im Spiele sind. Mit seiner Arbeit hatte sich Abbe das Ziel gesetzt, derartige Regeln aufzufinden. Zunächst berechnete er die Wahrscheinlichkeitsfunktion $\varphi(\Delta)$ eines Fehlersystems von nur zufälligen Fehlern unter der Annahme, daß das Gaußsche Fehlergesetz für die relative Häufigkeit eines Beobachtungsfehlers zutreffend und die Summe der Fehlerquadrate

$$\Delta = x_1^2 + x_2^2 + \dots + x_n^2$$

zwischen den Grenzen 0 und Δ enthalten ist. Der Kombinatorik zufolge führt dies bei n Fehlern auf ein n faches Integral, dessen Lösung schon auf verschiedene Weise erhalten wurde. Abbe, ein ausgezeichneter Kenner der Funktionentheorie, berechnete es erneut, indem er die Integration mittels der Dirichletschen Methode des diskontinuierlichen Faktors in die komplexe Ebene verlagerte. Ohne allzu großen Aufwand erhielt er das bekannte Gaußsche Fehlerintegral. Damit hatte er die Nützlichkeit dieser Methode gezeigt, die er in den folgenden Fällen immer wieder anwandte.

Als nächstes berechnete Abbe die Wahrscheinlichkeitsfunktion $\varphi(\theta)$ eines Fehlersystems von nur systematischen Fehlern, bei welchem die Summe aller Differenzquadrate benachbarter Fehler

$$\theta = (x_1 - x_2)^2 + (x_2 - x_3)^2 + \dots + (x_{n-1} - x_n)^2 + (x_n - x_1)^2$$

zwischen den Grenzen 0 und θ enthalten ist. Dabei war eine geeignete Variablentransformation des mehrfachen Integrals zur Entkopplung der Variablen durchzuführen und umfangreiche Umwandlungen der Integranden vorzunehmen, ehe er schließlich die Formeln für ungerades sowie für gerades n erhielt. Dann ermittelte Abbe die Wahrscheinlichkeitsfunktion $X(\mu)$ eines Fehlersystems, das vom Verhältnis beider Fehlerarten $\mu = \frac{\theta}{\Delta}$ abhängt.

Der Lösungsweg gestaltete sich ähnlich schwierig wie im vorhergehenden Fall. Aus der erhaltenen Formel ergab sich durch Differentiation nach μ die relative Häufigkeit eines Fehlersystems

als Funktion von $\frac{\theta}{\Delta}$. Ihre Diskussion führte Abbe zu einer wichtigen Erkenntnis:

Bei Fehlern zufälligen Ursprungs treten diejenigen Systeme relativ am häufigsten auf, für welche das Verhältniß der Summe der Differenzenquadrate zur Summe der Fehlerquadrate $= 2$, und relativ sehr *selten* solche, bei denen jenes Verhältniß erheblich von 2 verschieden ist und den Grenzen 0 und 4 nahe kömmt . . . [2, S. 80]

Weicht also μ bei großem n merklich von 2 ab, so muß

mit um so höherer Wahrscheinlichkeit auf die Mitwirkung gesetzmäßig mitwirkender Fehlerquellen bei der Beobachtung oder auf eine thatsächliche Abweichung der angenommenen theoretischen Formel geschlossen werden.⁸ [2, S. 81]

Bemerkenswert ist, daß die angegebene Gesetzmäßigkeit als Abbesches Kriterium in die Literatur eingegangen ist. (Vgl. z. B. [96].)

Am 8. und 10. August 1863 war Abbe am Ziel seiner Wünsche, als er sich in den Lehrgebieten Mathematik und Physik habilitieren konnte und damit Privatdozent an der Großherzoglich- und Herzoglich-Sächsischen Gesamtuniversität Jena wurde. Den neuen Aufgaben widmete er sich mit viel Hingabe und eisernem Fleiß, wobei er bestrebt war, das theoretische wie das experimentelle Niveau der Ausbildung, wie er es von Göttingen her kannte, in Jena anzuheben. Bereits zwei Monate vor der erfolgten Habilitation begann er im Auditorium von Snell über Potentialtheorie und Bestimmte Integrale unentgeltlich zu lesen und hielt im Rahmen der Mathematischen Gesellschaft im Juni 1863 gleich zwei

⁸ Nach Meinung von Auerbach bricht leider „die Arbeit, vermutlich zur Ersparung von Druckkosten, da ab, wo die Anwendung auf naturwissenschaftliche Beispiele gegeben werden sollte; und in den Papieren hat sich nichts darüber gefunden“. [35, S. 109] Dabei hatte er, obgleich ihm die Briefe Abbes an Schütz [9] bekannt waren, den eigentlichen Grund übersehen, worüber Abbe selbst schrieb: „... es hat mir nicht gelingen wollen, die Sache zu dem Abschluß zu bringen, der mir als Ziel vor Augen stand; und die Resultate lohnen nicht die Mühe und Zeit, die ich darauf verwandt habe. Doch kömmt glücklicher Weise Nichts drauf an, und deßhalb habe ich sie, so gut es eben gehen wollte, fertig gemacht, da ich keine Lust habe, noch länger dran zu arbeiten und dadurch den Abschluß meiner Angelegenheiten noch weiter hinauszuschieben.“ [9, S. 238]



8 Ernst Abbe
als Privatdozent
um 1863

Vorträge „Ueber die neuesten Arbeiten zur Bestimmung der Fortpflanzungsgeschwindigkeit des Lichtes“. [34, Bd. 8, S. 2870–2874] In wissenschaftlicher und geselliger Hinsicht hatte Abbe gegenüber seinen Kollegen auch eine Reihe von Verpflichtungen wahrzunehmen, die sich nicht umgehen ließen. So schrieb er im Dezember 1863:

Am Donnerstag ist mathematische Gesellschaft, am Mittwoch Sitzung des medicin.-naturwissenschaftl. Verein's, dessen Mitglied ich bin. Beiden kann ich mich nicht entziehen; ... Ein anderer Abend in jeder Woche geht meistens verloren (im eigentlichen Sinne) durch die obligaten Einladungen, die ich beim besten Willen nicht alle abweisen kann, so gern ich's möchte; und endlich kann ich nicht umhin, wenigstens an einem Abend – Sonnabends – mit meinen Collegen zu kneipen, da mir sonst gar zu sehr ein absichtliches Zurückziehen von deren Gesellschaft vorgeworfen wird, – was so schon geschieht. [9, S. 270 f.]

In diesem Brief wird nun nicht mehr erwähnt, daß er an den Übungen eines Turnvereins (2- bis 3mal in der Woche jeweils

eine Stunde) teilnimmt, worüber er ein halbes Jahr zuvor berichtet hatte. [9, S. 246]

Im Wintersemester 1863/64 assistierte Abbe in Snells Vorlesung über Experimentalphysik und hielt selbst zwei Vorlesungen. Die eine hatte die Theorie der wichtigsten physikalischen Meßinstrumente zum Gegenstand. Da er bald merkte, daß sie ohne praktische Demonstrationen wenig Beifall hervorrief und das Physikalische Cabinet nicht über geeignete Instrumente verfügte, ließ er bei einem Mechaniker, der nur Carl Zeiß sein konnte, einen universell einsetzbaren Apparat zur Messung kleiner elektrischer Ströme und des Magnetismus nach den Methoden von Gauß und Weber herstellen. Die andere Vorlesung betraf die Mechanik als Lehre von der Bewegung fester Körper, die eine Fortsetzung der von Snell im Sommersemester gehaltenen Vorlesung war. Ihr widmete er sich besonders und erzielte dabei auch ein greifbares Ergebnis,

eine Vervollständigung und Verallgemeinerung der von Poinsoth begründeten Betrachtungsweisen für die Bewegung fester Körper, und damit zugleich die Durchführung des Unternehmens, welches Snell nur zum Theil vollendet hat: den consequenten Aufbau der ganzen Mechanik als rein mathematische Disciplin, d. h. nach Ausscheidung aller physikal. Principien. [9, S. 281]

Bei einer beabsichtigten Veröffentlichung darüber war er jedoch nicht über den Anfang hinaus gekommen, da er sich von früheren Gedanken und Ideen wieder beherrschen ließ. Diese waren

von etwas weitschichtiger Natur, – gerichtet auf die Erweiterung der Fundamente für die Functionentheorie, d. h. derer, die jetzt durch die Grundbegriffe der Differential- u. Integralrechnung gegeben sind. [9, S. 281]

Auch hiervon war keine Veröffentlichung hervorgegangen. Es deutete sich damit etwas an, was noch häufiger vorkommen sollte und von seinem späteren Vertrauten Siegfried Czapski 1903 in der Weise zum Ausdruck gebracht wurde, daß bei Abbe „allzuoft der Drang, etwas zu *schaffen*“, über der Publikationspflicht stand. [1, S. IV]

Im Frühjahr 1864 richtete Abbe ein physikalisches Praktikum ein, das es damals als Ergänzung zur Experimentalphysik-Vorlesung nur an wenigen Universitäten gab. Bei den Jenaer Studenten fand diese Neuerung einen unerwartet großen Anklang. Um alle Interessenten zu berücksichtigen, mußte Abbe das Praktikum im Som-

mersemester 1864 an zwei Nachmittagen in der Woche durchführen. Seinem Freund Schütz schrieb er darüber:

Du wirst nun kurz sagen: warum bist Du der Narr, Dir so viel Arbeit zu machen, die Du nicht zu übernehmen brauchst, und die Dir nicht einmal einen Thaler einbringt? So kann ich nun leider nicht denken; sondern ich war sogar froh, daß sich so viele meldeten, und ich sah, daß mein Versuch einem gegründeten Bedürfniß entgegen kommt. Denn erstens hoffe ich, wenn die Sache in Gang kommt, darin eine willkommene Einnahmequelle in den nächsten Semestern zu finden; zweitens aber hoffe ich durch die Bemühungen in diesem Semester für mich selbst die Hilfsmittel zu ordentlichen physikalischen Arbeiten zu erlangen ... Außerdem interessiren mich die Arbeiten zum Theil wenigstens, schon jetzt. Denn mit einem Theile der Laboranten habe ich schon jetzt kleinere Untersuchungen von wissenschaftlichem Interesse in Angriff genommen: eine Arbeit über die Ausdehnungsverhältnisse des Wassers, nach einer neuen Methode – über die Formveränderung elastischer Platten, die auf beiden Seiten ungleichem Luftdrucke unterworfen sind ... und einige weitere Arbeiten, u. A. eine Bestimmung der magnetischen Constanten (wozu jetzt ein Erdinductor in Arbeit ist) sollen nächstens in Angriff genommen werden. [9, S. 296]

Die Tätigkeit eines Privatdozenten wurde nur gering vergütet. Beispielsweise erhielt Abbe sein erstes Honorar für die oben erwähnte Mechanikvorlesung im Wintersemester 1863/64, das 20 Taler betrug. Davon konnte man nicht leben, man war auf andere Geldeinnahmen angewiesen. Daher wurde schon bei Beantragung des Habilitationsverfahrens vom Kandidaten eine Zusage von dessen Vater verlangt, in der dieser zu erklären hatte, daß er für den Unterhalt des Sohnes aufkomme. Im Fall Abbes war diese Erklärung nur pro forma. Als nämlich Anfang 1865 Ernst Abbe in arge Geldnöte geriet, konnte ihn sein Vater nicht unterstützen. Daher sah er den Ausweg nur darin, die Privatdozentur wieder aufzugeben, das Oberlehrerexamen abzulegen und in die ihm nicht zusagende, aber finanziell gesicherte „Schulmeisterei“ irgendwo einzusteigen. Doch die Universität und ihr Kurator Moritz Seebeck, die die aufopferungsvolle und erfolgreiche Tätigkeit Abbes sehr schätzten, setzten sich dafür ein, daß er einen staatlichen Zuschuß von jährlich 200, später 300 Talern und ab 1875 von 1 500 Mark bekam. Damit war seine weitere akademische Laufbahn finanziell endgültig gesichert. Am 5. Mai 1870 wurde er zum außerordentlichen Professor und am 25. Juli 1878 zum ordentlichen Honorarprofessor ernannt. Alle diese Umstände mögen wohl mit dazu beigetragen haben, daß

Abbe der Jenaer Universität nicht nur die Treue bis an sein Lebensende hielt, sondern sie finanziell bedeutend unterstützte, sobald er seinerseits dazu in der Lage war. In den Abschnitten „Gründung der Carl-Zeiss-Stiftung“ und „Förderer der Jenaer Universität“ werden wir gesondert darauf eingehen.

Physiker und technischer Optiker bei Carl Zeiß

Gemeinsames Ziel von Carl Zeiß und Ernst Abbe im Mikroskopbau ab 1866 war das neugeordnete „Zusammenwirken von Wissenschaft und technischer Kunst“. „Der arbeitenden Hand dürfe dabei keine andere Funktion mehr verbleiben, als die genaue Verwirklichung der durch Rechnung bestimmten Formen und Abmessungen aller Konstruktionselemente und der praktischen Erfahrung keine andere Aufgabe, als die Beherrschung der Methoden und Hilfsmittel, die für letzteres, die körperliche Verwirklichung, geeignet sind.“

Ernst Abbe, Dezember 1896 [3, S. 65]

In der Forschung hatte Abbe anfangs noch gleichermaßen an Grundlagenproblemen der Mathematik und Physik gearbeitet, wie das aus den angeführten Zitaten im vorhergehenden Abschnitt ersichtlich ist. Das sollte sich ab 3. Juli 1866 ändern, als er zusätzlich zu seinen Lehraufgaben an der Universität als wissenschaftlicher Mitarbeiter – in Form einer lockeren Verbindung – in die feinmechanische Werkstätte von Carl Zeiß eintrat, um gemeinsam mit ihm das Arbeitsfeld „Mikroskopbau“ wissenschaftlich zu kultivieren. Hierbei waren vor allem seine physikalischen und technischen Ambitionen und Erfahrungen gefragt, die Zeiß durch die Arbeitskontakte mit ihm inzwischen schätzen gelernt hat, als er seit 1863 nach dessen Konstruktionsvorschlägen einige Apparate für die Vorlesung über Meßinstrumente und für das physikalische Praktikum herstellte.⁹ Zeiß ging damit erneut eine

⁹ Von Auerbach wurde behauptet, daß Abbe schon als Studiosus mit Zeiß bekannt war und zuweilen in dessen Werkstätte ging, „um sich auch in der Praxis umzusehen und, wenn möglich, selbst zu betätigen. So berichtet der Medizinalrat Pfeiffer, daß er damals, 1859, als Jenaer Student, von der Trichinose befallen wurde, die überhaupt gerade in dieser Zeit ziemlich stark grassierte, und daß Abbe (bei Zeiß?) ein kleines Taschen-Trichinenmikroskop konstruiert habe. Näheres darüber ist nicht mehr bekannt...“ [35, S. 65] Diese Vermutung von Auerbach konnte Moritz von Rohr [61, S. 10] anhand der Preislisten von Zeiß nicht stützen. Überhaupt scheint es recht unwahrscheinlich zu sein, daß Abbe schon während seiner Jenaer Studienzeit derartige Kontakte mit Zeiß pflegte. Würde er sonst den Jenaer Mechaniker im Brief vom 12. Dezember 1863 an seinen Freund Schütz ungenannt lassen, wo doch beide z. B. ein gutes Verhältnis mit dem Göttinger Universitätsmechaniker Moritz Meyerstein besaßen und Parallelen sich hätten leicht ziehen lassen? (Fortsetzung des Zitates S. 44)

Zusammenarbeit zugunsten seines Unternehmens mit einem Wissenschaftler ein, nachdem er schon einmal eine solche mit Friedrich Wilhelm Barfuß bis zu dessen Tod 1854 gepflegt hatte, ohne daß in bezug auf das – aus Objektiv und Okular – zusammengesetzte Mikroskop für ihn verwertbare Ergebnisse herausgekommen wären. Bevor wir nun die Zusammenarbeit und ihre Ergebnisse im Zusammenhang mit Abbes Wirken weiter verfolgen, wollen wir in einem Exkurs die Persönlichkeitsentwicklung von Zeiß sowie den damaligen Stand des handwerklichen Mikroskopbaues und der technischen Optik betrachten.

Exkurs: Carl Zeiß und der Mikroskopbau

Carl Zeiß wurde am 11. September 1816 in Weimar als Sohn eines Hofdrechslermeisters geboren. Nach dem Besuch des Gymnasiums in seiner Vaterstadt kam er 1834 nach Jena, um sich vom Hofmechanikus und Privatdozenten Dr. Friedrich Körner in einer 4jährigen Lehre als Mechaniker ausbilden zu lassen. Körner, der ebenfalls aus Weimar stammte, besaß einen guten Ruf. Mit ihm begann in Jena im 2. Jahrzehnt des 19. Jahrhunderts die so segensreich gewordene Tradition der Verbindung von Wissenschaft und handwerklicher Produktion. Im Zusammenwirken mit den verschiedensten Professoren fertigte er eine Vielzahl von wissenschaftlichen Geräten und stellte z. T. erfolgreiche Glas-Schmelzversuche an, um brauchbares optisches Glas zu erhalten, das damals so schwer beschaffbar war. Er war ein vielseitiger und geschickter Mechaniker, der sein Handwerk nach wissenschaftlichen Grundsätzen ausübte. (Vgl. [115].) Seine reichen Erfahrungen und Kenntnisse darüber vermittelte er in Vorlesungen und in einigen Büchern. Durch ihn empfing Zeiß eine gediegene Ausbildung, die er noch durch den Besuch von Vorlesungen an der

Auch die zeitliche Zuordnung Pfeiffer – Abbe ist unrichtig. Pfeiffer, der 2 Jahre jünger war als Abbe, nahm das Studium in Jena im Sommersemester 1859 auf, als Abbe bereits nach Göttingen gegangen war. In diesem Zusammenhang ist eine weitere Aussage von Auerbach [35, S. 62], die von Rohr übernommen wurde, nicht zutreffend, wonach Abbe mit Pfeiffer „in seinen beiden Jenaer Schlußsemestern auch die Wohnung geteilt“ [61, S. 8] habe.

Universität z. B. in Mathematik, Experimentalphysik und Optik ergänzte. Während seiner Lehrzeit konnte er auch die Zusammenarbeit zwischen Körner und Barfuß teilweise miterleben. Letzterer hatte in Jena zwischen 1829 und 1834 (mit Unterbrechung) Mathematik und Physik studiert und mit einer optischen Arbeit „Ueber die Hervorbringung eines sehr reinen Bildes durch einen besondern Glasspiegel, mit Vermeidung der Störungen, welche die Reflexion an den Glasflächen auf das deutliche Sehen äußert“ [30] 1838 promoviert. Schon während der Studienzeit hatte er dioptrische Rechnungen für Körner und nach dessen Ableben dann – wie bereits angedeutet – auch für Zeiß durchgeführt.

Nach der Lehre begab sich Zeiß zur weiteren Ausbildung auf eine 7 Jahre währende Wanderschaft, die ihn in die „renommirtesten, physikalischen, optischen, mathematischen und Maschinen-Werkstätten Stuttgarts, Darmstadts, Wiens und Berlins“ führte, wobei er nicht versäumte, wie er selbst berichtete, alle sich anbietende Gelegenheiten zu seiner „weiteren Vervollkommnung in den dem Mechaniker nützlichen und nöthigen Hilfswissenschaften, resp. Künsten zu benutzen“. (Nach [81, S. 15].) Für den Wandergesellen waren die damals erzielten technischen Fortschritte, die ständigen Erfindungen und Neuerungen in den Fabriken und Werkstätten sehr beeindruckend. Es war die Zeit der Industriellen Revolution, die zwar in England, wo sie um 1760 ihren Anfang nahm, schon um 1830 beendet war, als sie in Deutschland sich zu diesem Zeitpunkt erst so richtig zu entfalten begann. Sie mußte einen jungen Menschen wie Zeiß, der so nach umfassender praktischer und theoretischer Bildung und Ausprägung seiner Fertigkeiten strebte, geradezu in seinem künftigen Schaffen beflügeln.

1845 kehrte Zeiß von seiner Wanderschaft wieder nach Jena zurück, wo er zunächst noch ein Jahr Studien in Chemie und Mathematik betrieb und im „Laboratorium für physikalische und und chemisch-physiologische Zwecke“ [26] arbeitete, das vom Botaniker Matthias Jacob Schleiden und Naturforscher Ernst Erhard Schmid 1843 gegründet wurde. Es war ein physiologisches Praktikum zumeist für Studierende der Biologie, Landwirtschaft, Medizin und Pharmazie, deren Bedürfnisse und Anforderungen an Instrumenten Zeiß am unmittelbarsten kennenlernte. Hier mögen wohl auch zahlreiche sog. einfache Mikroskope benutzt worden



9 Carl Zeiß
um 1850/51

sein, die sein ehemaliger Lehrmeister Körner seit Anfang der 40er Jahre auf Anregung von Schleiden in der Art des Wiener Optikers G. Simon Plössl fertigte. Dabei handelte es sich im Prinzip um Lupen mit derart starken Vergrößerungen, daß sie an Stativen befestigt werden mußten. Sie bestanden aus 2 oder 3 zumeist plankonvexen Linsen mit geringen Zwischenabständen, den sog. Doublets bzw. Triplets. Körners Mikroskope waren mit vier Doublets ausgestattet, die eine Vergrößerung von 15-, 30-, 60- und 120fach besaßen. Bemerkenswert ist, daß Schleiden sie nicht nur als bequeme Präpariermikroskope empfahl, sondern jedes einzelne von ihnen prüfte, ehe sie verkauft wurden. (Vgl. [104, 2. Aufl., S. 97 f.])

Mit Unterstützung von Schleiden, Schmid und einem weiteren Hochschullehrer konnte sich Zeiß in Jena niederlassen, wo er am 17. (offiziell am 19.) November 1846 ein „mechanisches Atelier“

und ein „commercielles Geschäft“ eröffnete. Er war noch nicht fertig eingerichtet, als am 2. Februar 1847 Körner verstarb und er – ebenfalls auf Veranlassung von Schleiden – die Herstellung von Mikroskopen übernahm.¹⁰ Im Frühjahr 1847 stellte er einen Gehilfen und im August 1847 den Lehrling August Löber ein, dem als späterer Gehilfe und erster Werkmeister wegen seiner hervorragenden Fertigkeiten ein bedeutender Anteil am Aufstieg der Zeiss-Werkstätte zukommt. Im Verlauf des ersten Jahrzehntes seines selbständigen Schaffens fertigte Zeiß nur einfache Mikroskope, insgesamt 365 Exemplare, die er zunächst mit 3, später mit 4 Doublets und zwei weiteren Triplets (mit 200- und 300-facher Vergrößerung) versah. Die Herstellung der Triplets erfolgte nach einer Berechnung, wie Zeiß 1868 schrieb, die „von meinem verstorbenen Freund Dr. Barfuß nach Wollaston gemacht“ wurde. [22] Im Gegensatz zum Mikroskop von Körner ließ er den Objektstisch fest und gestaltete dafür die Linsenhalterung beweglich. Unterhalb des Tisches brachte er eine Beleuchtungseinrichtung an, die aus einem drehbaren Planspiegel und einer Sammellinse bestand. Letztere konnte aus dem Strahlengang herausgeschwenkt werden (S. Abb. 10).

Die Mikroskope von Zeiß erfreuten sich bald eines guten Rufes und wurden vor allem für Präparierzwecke sehr gern genutzt. Für bedeutende neuere Untersuchungen bevorzugte man jedoch die leistungsstärkeren zusammengesetzten Mikroskope, mit denen einer Einschätzung Schleidens zufolge seit dem 2. Viertel des 19. Jahrhunderts alle die wissenschaftsfördernden Beobachtungen gemacht worden sind. Hierbei sind vor allem die bedeutsamen Beiträge zur Zellenlehre (1838/39) von ihm selbst und von Theodor Schwann hervorzuheben, die einen allgemeinen Aufschwung der mikroskopischen Forschung biologischer Objekte und Vorgänge und damit verbunden des Mikroskopbaues bewirkten. In Europa gab es etliche Werkstätten, die das zusammengesetzte Mikroskop schon länger in relativ großen Stückzahlen fertigten. Beispielsweise verkaufte Georg Oberhäuser, ein führender Mikroskophersteller

¹⁰ Allerdings führte auch der Sohn von Körner, Bernhard Körner, die Mikroskopherstellung seines Vaters weiter, wie dies Hermann Schacht, der mehrere Jahre Assistent bei Schleiden in Jena war, in seinem Buch 1851 und 1855 [102] mitteilte. Näheres über Bernhard Körner ist bisher nicht bekannt geworden.

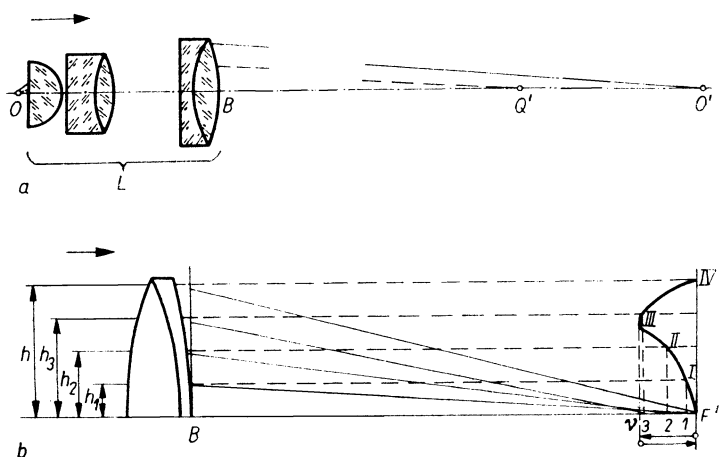


10 Einfaches Mikroskop von Carl Zeiß aus dem Jahre 1848 (Standort: Optisches Museum der Carl-Zeiss-Stiftung Jena), (nach [114, S. 11])

in Paris, innerhalb von 16 Monaten (zwischen Ende 1848 und Anfang 1850) 236 Mikroskope.

Es waren mehrere technisch-optische Verbesserungen, die die zunehmende Überlegenheit des zusammengesetzten Mikroskops gegenüber dem einfachen, das noch im ersten Viertel des 19. Jahrhunderts dominierend war, begründeten. Nachdem man sich in der 2. Hälfte des 17. und noch zu Beginn des 18. Jahrhunderts vergeblich bemühte, die Leistungsfähigkeit des zusammengesetzten Mikroskops durch Verbesserungen des Okulars zu steigern, erkannte man schließlich, daß es das Objektiv ist, welches das „Herzstück“ eines jeden Mikroskopes darstellt. Von seinen Eigenschaften wird die Güte der Abbildung bestimmt. Jeder Abbildungsfehler des Objektivs – in erster Linie die chromatische Aberration (damals auch Farbenzerstreuung genannt) und die sphärische Aberration (Öffnungsfehler) –, der sich im reellen Zwischenbild bemerkbar macht, wird nur durch das Okular ver-

größert. Daher richteten sich die Bemühungen fortan auf die Verbesserung der optischen Eigenschaften des Objektivs, insbesondere auf die Hebung der chromatischen Aberration, die bei einer Einzellinse als Objektiv, wie sie bis dahin ausschließlich verwendet wurde, sehr störend wirkt. Es gab mehrere Versuche, eine achromatische Doppellinse, auch Achromat genannt, wie sie 1757 von John Dollond in London für Fernrohrobjektive erfunden wurde, auch beim Mikroskopobjektiv mit den relativ sehr kleinen Abmessungen einzuführen. Es war dann Herman van Deyl in Amsterdam, dem dies 1807 – genau ein halbes Jahrhundert nach Dollond – als erstem gelang. Seine achromatische Doppellinse bestand aus einer bikonvexen Kronglaslinse und einer (angegenäherten) plankonkaven Flintglaslinse. Derartige Doppellinsen wurden so gefertigt, daß die Schnittweiten (Brennpunkte) für zwei verschiedene Farben, im allgemeinen für rotes und blaues Licht, zusammenfallen, während geringfügige Abweichungen der Schnittweiten für andere Farben des Lichtes, die man als sekundäres Spektrum bezeichnet, noch auftreten. Gegenüber einer ein-



11 a Typischer Aufbau eines Mikroskopobjektivs, bestehend aus zwei Achromaten und einer halbkugeligen Frontlinse. Vom Objektpunkt O ausgehende (achsennahe und Rand-) Strahlen schneiden sich im Punkt O' bzw. (benachbarte und mittlere Strahlen) zwischen den Punkten O' und Q'
 b Darstellung der sphärischen Aberration (des Öffnungsfehlers) bei einer Aufnahme linse. Schnittweite (Abszisse) in Abhängigkeit von der Einfallshöhe h (Ordinate) eines Parallelbündels (nach [56, S. 6])

zelen Linse wurden nun Bilder erhalten, die (allerdings bei nicht allzu hohen Vergrößerungen) scharfe und nahezu farbfreie Konturen (mit Ausnahme der Bildränder) zeigten, da hierbei chromatische und sphärische Abweichungen geringer sind.

Eine weitere Steigerung der Leistungsfähigkeit des Mikroskops wurde erreicht, als 1824 Vincent und Charles Chevalier in Paris auf Anregung von Selligie mehrere derartige Achromate zu einem Objektivsystem vereinigten und 1827 Giovanni Battista Amici, ein italienischer Optiker, Astronom und Botaniker, eine halbkugelige Frontlinse einführte. Damit war nun einerseits die Vergrößerung wesentlich gesteigert und andererseits neben der chromatischen auch die sphärische Aberration der Objektive in Verbindung mit verbesserten Okularen weiter verringert worden. Solche Mikroskope wurden als aplanatische bezeichnet, die für die wissenschaftlichen Untersuchungen nun unentbehrlich wurden. In der Folgezeit strebten die Optiker nach immer höheren Vergrößerungen, ohne das Auflösungsvermögen der Mikroskope steigern zu können. Dieses besaß, wie die späteren Untersuchungen von Abbe ergaben, eine physikalische Grenze, die nicht überschritten werden kann. Daher führten ihre Bemühungen zu Scheinvergrößerungen, die für die Mikroskopiker bei ihren Beobachtungen nicht förderlich waren. In diesem Zusammenhang sind die Erfahrungen von Schleiden recht interessant, die er in seinem Werk von 1845 mitteilte, in dem es u. a. heißt:

Die stärksten Vergrößerungen, die bis jetzt von den ausgezeichnetsten Optikern, von Amici, Chevalier, Pistor, Schiek und Plössl, erlangt sind, übersteigen nicht eine 2 400–3 000malige lineare Vergrößerung. Aber nur bis zum Drittheil, etwa bis 1 000–1 200mal sind die Vergrößerungen wissenschaftlich brauchbar. Wenn Einer behauptet, er habe etwas bei einer 3 000maligen Vergrößerung gesehen, was bei geringerer Vergrößerung zu sehen unmöglich sey, so darf man das dreist für eine reine Phantasie erklären. [104, 2. Aufl., S. 95 f.]

In einer 4 Jahre späteren (3.) Auflage des Werkes sind noch kleinere Zahlen, „Fünftheil“ statt „Drittheil“ und 500mal statt 1000–bis 1200mal, als förderliche Vergrößerungen angegeben. Den Grund für derartige Vergrößerungen sah Schleiden in der begrenzten Leistungsfähigkeit der Objektive, die, wenn sie auch noch so gut gefertigt sind, durch die vorhandenen Reste von chromatischer und sphärischer Aberration bedingt wird.

Dennoch ließ sich das Auflösungsvermögen der Objektive mit der

Erfindung der Wasserimmersion 1847 durch Amici noch etwas steigern. Das höhere Leistungsvermögen wird gegenüber den bisherigen leistungstarken Objektiven, die im Unterschied zu den neuen Systemen als Trockensysteme bezeichnet werden, dadurch bewirkt, daß zwischen Deckgläschen des Präparates und der Frontlinse des Objektivs eine Wasserschicht (-tropfen) gebracht wird. Auf diese Weise gelangt gegenüber der Luft ein größerer Winkelbereich von Strahlen, die vom Präparat kommen, in das Objektiv und trägt zur mikroskopischen Abbildung bei. Damit wurde deutlich, daß es die Größe des Öffnungswinkels ist, die die Leistungsfähigkeit des Objektivs und damit des Mikroskops bestimmt.

Alle diese Fortschritte und Entwicklungen, die hier nur angedeutet sind, konnte Zeiß nicht unbeachtet lassen. Auch er mußte eines Tages, wollte er sich ebenbürtig unter die anderen Mikroskophersteller einreihen, zum Bau zusammengesetzter Mikroskope übergehen. Bemerkenswert in diesem Zusammenhang ist, was er seinem russischen Freund K. O. Beck in Moskau 1855 schrieb:

Gleichwohl wirst Du Dich wundern wenn ich Dir sage, daß ich bis heute noch nicht eine Flintglaslinse zu einem zusammengesetzten Mikroskop habe schleifen lassen. Ich kann nicht sagen, daß ich nicht bemüht wäre, weiter zu streben, habe auch viel in anderen Gattungen von Mikroskopen experimentiert, glaube aber, daß im gewöhnlichen Compositum es nicht viel weiter gebracht werden kann, und habe etwas Abscheu vor dem ewigen bei uns Optikern gebräuchlichen Probieren; denn diese Leute wie Oberhäuser probieren aus Hunderten von Linsen ein gutes Objektiv zusammen. Dennoch aber beabsichtige ich mit einer billigen Sorte zusammengesetzter Mikroskope mit nicht zu scharfen Objektiven nächstens einen Anfang zu machen. (Nach [120, S. 59].)

Über das Probierv erfahren, das sog. „Pröbeln“, konstatierte seinerzeit Pieter Harting, ein niederländischer Naturforscher in Utrecht und exzellenter Kenner der damaligen Mikroskope, daß in ein und derselben Werkstatt zwar die äußere Form und die mechanische Einrichtung von Mikroskopen kopiert werden könne, nicht jedoch die achromatischen Doppellinsen und ihre Vereinigung zu Objektiven. Bei ihnen müsse man immer wieder von vorn mit dem Probieren anfangen, bis die erlangte Verbesserung im Verhältnis zum Preis für die aufgewandte Mühe und Geduld ausreichend sei. Denn es ließe sich nur eine angenäherte und keine vollkommene Beseitigung der chromatischen und sphärischen Aber-

ration erreichen. In diesem Zusammenhang verwies er auf ein früheres Gespräch mit Oberhäuser, in welchem dieser ihm mittheilte,

das er Ein Linsensystem besässe, das er schon vor vielen Jahren angefangen und aus seinem stets zunehmenden Linsenvorrathe fortwährend zu verbessern sich habe angelegen sein lassen, und woran er noch immer verbessere. Er nannte dieses System damals mit Recht ein unbezahlbares. [87, Bd. 1, S. 149]

Der Grund für das Probieren waren die mehr oder weniger starken Schwankungen der verfügbaren Kron- und Flintglasarten hinsichtlich der Brechzahlen und ihrer Wellenlängenabhängigkeit (Dispersion), die i. a. nicht genügend oder nicht genau genug erfaßt bzw. überhaupt nicht berücksichtigt wurden und die zu veränderten Maßen bei den einzelnen Linsengläsern und -systemen führten. Besonders das Messen und Kontrollieren der zu verwendenden Glasarten wurde später für Abbe eine ständige und unerläßliche Aufgabe (s. S. 73).

Die Entscheidung von Zeiß, sich demnächst dem zusammengesetzten Mikroskop zu widmen, ist ihm gewiß nicht leicht gefallen, da er nicht an traditionelle Erfahrungen anknüpfen konnte, sondern sie erst durch den Arbeitsprozeß allmählich erwerben mußte. Die Herstellungsmethoden und Erfahrungsregeln wurden von den einzelnen Werkstätten geheim gehalten. Auch Zeiß sollte sich später nicht anders verhalten, wie die bekanntgewordene gerichtliche Vereidigung eines Facharbeiters 1866 belegt. Der Betreffende mußte u. a. unter Eid schwören, daß er die ihm beim Fertigen von Linsensystemen zur

Kenntniß gekommenen Zahlengrößen, Maasse und speziell diesem Geschäfte eigenen Methoden der Linsenverbindungen jetzt und alle Zeit treulich bewahren und dieselben niemals Behufs etwaigen aus dem Geschäfte Mitnehmens . . . notiren, noch jemals sie zu anderen Zwecken als für den Nutzen des Zeisschen Geschäfts verwenden [werde.] [15]

Günstig für das Vorhaben von Zeiß war, daß er einen bedeutenden Mikroskopiker in der Person von Schleiden als wichtigen Ratgeber zur Seite hatte, der oft stundenlang mit wärmstem Interesse die Arbeit in seiner Werkstatt verfolgte und ihr immer wieder neue Anregungen gab. (Vgl. [3, S. 74].) 1857 waren dann die ersten zusammengesetzten Mikroskope von Zeiß hergestellt, die von Schleiden in einem Empfehlungsschreiben vor allem hinsicht-



12 Zusammengesetztes Mikroskop
Nr. 9 von Carl Zeiß
aus dem Jahre 1858
(Standort: Optisches
Museum der Carl-
Zeiss-Stiftung Jena),
(nach [114, S. 16 f.])

lich des optischen Leistungsvermögens recht günstig beurteilt wurden. Nach weiteren 4 Jahren war Zeiß so weit, daß er sie offiziell gleich als ein Sortiment anbot, das aus 6 verschiedenen Stativen, 6 Objektiven und 4 Okularen bestand, aus dem sich der Käufer die jeweils für ihn günstigste Variante auswählen konnte. Wie schon früher die einfachen Mikroskope von Zeiß wurden nun auch die zusammengesetzten von den Fachleuten und Benutzern mit viel Beifall aufgenommen. Anzumerken bleibt noch, daß während des 2. Jahrzehntes aus der Zeiss-Werkstätte¹¹ 414 zusammengesetzte und weitere 247 einfache Mikroskope und damit seit ihres Bestehens insgesamt etwas mehr als 1 000 Mikroskope hervorgegangen sind. [94] Die Werkstätte war inzwischen auf rund 20 Mitarbeiter (1866) angestiegen. Ihr Sitz wurde bereits

¹¹ In der Schreibweise des Namen von Zeiß verwenden wir den Buchstaben „ß“, wenn es sich um die Person Carl Zeiß handelt, dagegen die Buchstaben „ss“ in Verbindung mit Substantiven und zur Firmenbezeichnung.



13 Im 2. Gebäude (links im Bild, am Johannisplatz) war die dritte Zeiss-Werkstätte von 1858 bis 1881 untergebracht. Hier wurde der Weltruhm der Zeiss-Mikroskope durch den Übergang vom handwerklichen zum wissenschaftlichen Mikroskopbau und dessen erfolgreiche Weiterentwicklung bis hin zur Einführung der homogenen Immersionssysteme begründet (Der Zeitpunkt der historischen Aufnahme ist unbekannt, vermutlich liegt er noch vor der Jahrhundertwende.)

zweimal verlegt, und zwar von der Neugasse in die Wagnergasse (1847) und von da an den Johannisplatz (1858). Zur Erfolgsbilanz von Zeiß gehören auch die verschiedenen Ehrungen, die ihm zuteil wurden. Wir erwähnen hier nur seine Ernennung 1860 zum Universitätsmechanikus, womit er gleichzeitig als „academischer Lehrer“ an der Universität angestellt wurde, und 1862 zum Hofmechanikus.

Mit dem Erreichten hätte Zeiß zufrieden sein können, wenn der Konkurrenzkampf ihn nicht gezwungen hätte, weiter zu streben. Immerhin gab es um 1860 etwa 35 Werkstätten in Europa und 4 in den USA, die zusammen nach einer vorsichtigen Schätzung von Harting [87, Bd. 3, S. 263] jährlich mindestens 2 000 aplanatische Mikroskope fertigten. Unter ihnen war Edmund Hartnack in Paris, Nachfolger von Oberhäuser, der einen gewissen Vorsprung gegenüber den anderen hatte. Ihm gelang die Herstellung

des Immersionssystems in größeren Stückzahlen. Beispielsweise verkaufte er während der Jahre 1860 und 1865 über 400 solcher Objektive. Trotz größter Anstrengungen war es Zeiß mit seinen Mitarbeitern nicht möglich, ein derartiges Objektiv zu schaffen. Er mußte deshalb befürchten, bald von der Konkurrenz überrundet zu werden, wenn es ihm nicht gelingt, einen neuen Anlauf zur Überwindung der unbefriedigenden Probiermethode zu unternehmen. Entgegen der allgemein verbreiteten Ansicht, daß die optischen Systeme des Mikroskopes sich nicht nach theoretischen Vorschriften fertigen lassen, da die Linsenabmessungen zu klein seien, um sie mit der erforderlichen Genauigkeit realisieren zu können, besaß Zeiß von jeher die Überzeugung, daß dies möglich sei. Der bisherige Entwicklungsstand der technischen Optik bestärkte ihn darin.

Die technische Optik – heute eine anerkannte technikwissenschaftliche Disziplin, damals der geometrischen, der angewandten oder der praktischen Optik eingeordnet – ist eine Konstruktionswissenschaft, die sich mit der Analyse und Synthese optischer Systeme und Instrumente befaßt. Sie begann sich zunächst auf der Grundlage der geometrischen Optik nahezu gleichzeitig und im wesentlichen unabhängig zur Wellenoptik im ersten Viertel des 19. Jahrhunderts herauszubilden. Das Entscheidende hierfür war die Verschmelzung von Theorie und Praxis, von Wissenschaft und Produktion, die erstmalig durch Joseph Fraunhofer in jener Zeit auf dem Gebiet des Fernrohrbaues in München herbeigeführt wurde. (Vgl. [116], [118], [119].)

Fraunhofer, der sich vom gelernten Spiegelschleifer autodidaktisch zum technischen Optiker und Physiker weiter entwickelte, gründete die Konstruktion der Achromatobjektive seiner Fernrohre auf eine detaillierte Vorausberechnung aller ihrer Wirkungen. Dazu benutzte er Formeln von Leonhard Euler und Georg Simon Klügel, die er später durch eigene ersetzte. Um den theoretischen Genauigkeitsansprüchen zu genügen, mußte er sowohl den Ferti-gungsprozeß und die Meßtechnik wie auch die Qualität des optischen Glases auf ein höheres Niveau heben. Dies gelang ihm dadurch, daß er u. a. neue Maschinen und Werkzeuge zum Schleifen und Polieren der Linsengläser erfand bzw. jene vervollkommnete, ein Spektrometer zur Bestimmung der Brechzahlen für verschiedene Wellenlängen der zu verwendenden optischen Gläser auf 5,



14 Joseph Fraunhofer

später auf 6 Dezimalen entwickelte, zur Prüfung der polierten Flächen die Farben dünner Blättchen („Newtonsche Interferenzringe“) anwandte und mit Pierre Louis Guinand, später allein, ausgiebige Glasschmelzversuche zur weiteren Verringerung der kaum sichtbaren kleinen Bläschen und Schlieren anstellte. (Vgl. z. B. [88], [101].) Fraunhofer wurde für Abbe das große Vorbild, dessen Werk er auf dem Gebiet des Mikroskopbaues vollendete.

Die theoretischen Grundlagen der technischen Optik wurden in jener Zeit durch die dioptrischen Untersuchungen von Gauß 1840 und von Ludwig Philipp Seidel 1855 weiter ausgebaut. Gauß schuf auf der Grundlage sehr wenig gegen die optische Achse geneigter Strahlen durch eine Linse oder Linsenfolge unter Berücksichtigung ihrer Dicken die paraxiale Optik. [84] Dabei handelt es sich um eine idealisierte Abbildung im achsennahen Gebiet mit achsennahen Strahlen, mit der sich die Abbildungsverhältnisse

eines optischen Systems leichter überschauen lassen. Für die in der Praxis allgemein vorkommenden Strahlenverläufe, die über das paraxiale Gebiet hinaus gehen und die Ursache für das Auftreten der monochromatischen Abbildungsfehler sind, entwickelte Seidel eine Fehlertheorie dritter Ordnung. [106] Als Ergebnis erhielt er 5 Summenausdrücke, die jeweils einen Abbildungsfehler beschreiben. Außer der sphärischen Aberration treten die Koma (Asymmetriefehler), der Astigmatismus schiefer Bündel (Zweischalenfehler), die Bildfeldwölbung und die Verzeichnung in gegenseitiger Überlagerung auf. Aus ihnen ergeben sich wichtige Hinweise für die Optimierung der zu beseitigenden Abbildungsfehler bei der Konstruktion optischer Systeme.

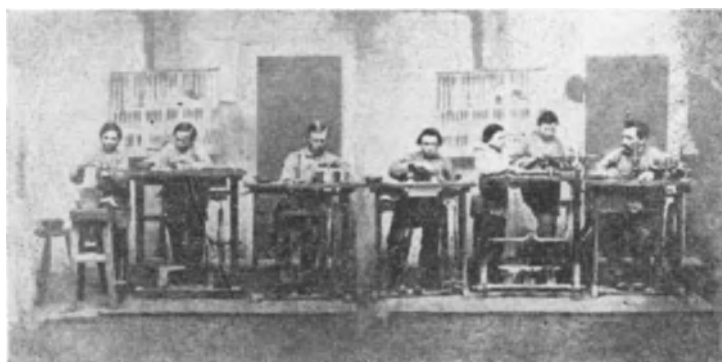
Als 1839 die Erfindung der Fotografie bekannt wurde, konstruierte ein Jahr später der Mathematiker Joseph Petzval in Wien auf der Grundlage rein theoretischer Betrachtungen und Rechnungen einen Objektivsatz für Landschafts- und Porträtaufnahmen, der vom Wiener Optiker Peter Wilhelm Friedrich Voigtländer wenige Monate später gefertigt wurde. Vor allem das Porträtobjektiv erwies sich als äußerst günstig und war für lange Zeit überall sehr begehrt. Da die anfängliche Zusammenarbeit zwischen beiden 1843 wegen Verstimmung nicht mehr fortgeführt wurde, mußten reichlich zwei Jahrzehnte vergehen, ehe eine Herstellung und Weiterentwicklung von Fotoobjektiven auf wissenschaftlicher Grundlage erfolgte. Dies geschah in der optisch-astronomischen Werkstätte Carl August Steinheil in Schwabing/München, vor allem durch seinen Sohn Hugo Adolph Steinheil, 1865 zunächst mit dem Periskop und 1866 mit dem Aplanaten. Letzteres stellte ein Universalobjektiv dar, das nur berechnet werden konnte, nachdem Seidel auf Anregung von Steinheil 1865 entsprechende Formeln [107] abgeleitet hatte.

Wie man aus diesen Andeutungen entnehmen kann, war 1866, als Zeiß Abbe zur Mitarbeit in seiner Werkstätte gewann, der wissenschaftliche Fernrohrbau bereits 4 bis 5 Jahrzehnte zuvor durch Fraunhofer und der wissenschaftliche Foto-Objektivbau im Ansatz 1840 durch Petzval/Voigtländer, aber in umfassender Weise erst 1865/66 durch Seidel/Steinheil begründet worden. Für Zeiß war es daher nur eine Frage der Zeit, wann auch der Mikroskopbau wissenschaftlich fundiert sein würde. Deshalb entschloß er sich für eine Zusammenarbeit mit Abbe.

Erste Ergebnisse Abbes

Über die Mitarbeit Abbes in der Optischen Werkstätte Carl Zeiss in der Anfangszeit ist nur Weniges überliefert. Einige Rückschlüsse auf diese Zeit lassen sich jedoch aus wesentlich später erschienenen Publikationen ziehen, die z. B. gerätetechnische Entwicklungen betreffen.

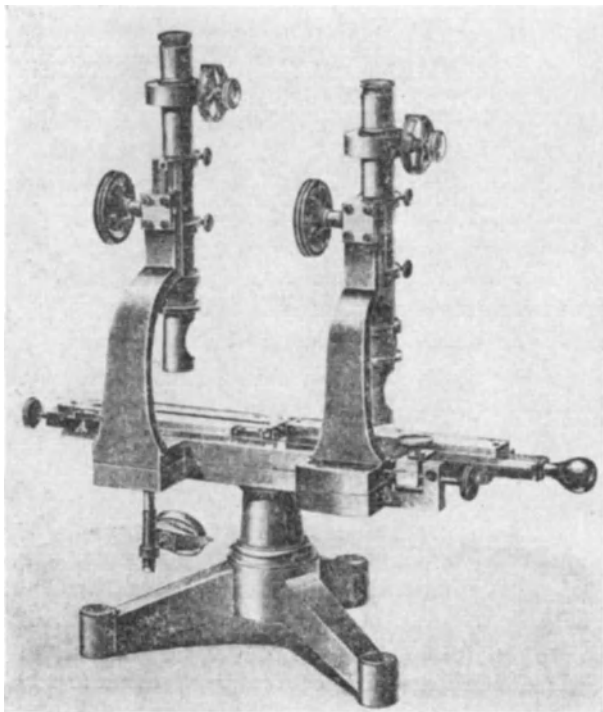
Abbe hatte zunächst zwei sich gegenseitig bedingende Aufgabenkomplexe in Angriff zu nehmen, die Reform der Technik und die Erarbeitung wissenschaftlicher Grundlagen für die Fertigung optischer Systeme. Im Rahmen des ersten Komplexes beschäftigte er sich eingehend mit dem handwerklichen Mikroskopbau, der noch in traditioneller Weise organisiert war. Jeweils zwei, höchstens drei Facharbeiter stellten zusammen ein Mikroskop „aus den rohen Metall- und Glasstücken heraus bis zur letzten Vollendung“ [3, S. 30] her, was recht mühevoll war. Eine wesentliche Steigerung der Produktivität versprach sich Abbe durch eine Teilarbeit bei der Fertigung der optischen Systeme und der Stative, die auf seine Anregung hin mit Unterstützung des Werkmeisters August Löber auch schrittweise eingeführt wurde. An der Herstellung eines Mikroskopes waren dann 10 oder mehr Arbeiter beteiligt. Die aufgeteilten Arbeitsgänge ermöglichten und erforderten zugleich eine gesteigerte Präzisionsarbeit, die sowohl eine weitere Spezialisierung der Arbeiter als auch eine weitere Vervollkomm-



15 August Löber (rechts im Bild) mit einigen Lehrlingen und Gehilfen (?) um 1864

nung der Arbeitsverfahren in Verbindung mit strengen Prüf- und Kontrollmethoden verlangte. Von Abbe selbst wurden verschiedene Meß- und Prüfgeräte entwickelt, die in der Regel auch mit seinem Namen verknüpft sind. Er erfüllte damit schon bald in hervorragender Weise jene Forderungen an einen Physiker in der Praxis, wie sie von ihm gegenüber seinem zukünftigen wissenschaftlichen Mitarbeiter Siegfried Czapski 1884 formuliert wurden und im Einleitungszitat des Vorwortes wiedergegeben sind. Bei den Geräten handelte es sich u. a. um:

- ein Fokometer (1867) (Mikroskopstativ mit verschiebbarem Tischschlitten und 2 Glasskalen) zur Bestimmung der Brennweiten von Linsen und -systemen [2, S. 215–218],
- ein Sphärometer zur Ermittlung der Radien von Kugelflächen, einen Dickenmesser (Kontaktmikrometer) zur Messung bis

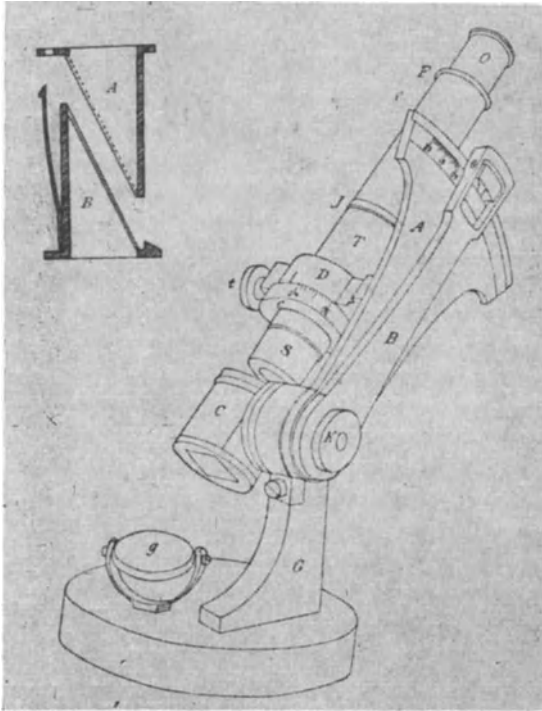


16 Abbescher Komparator [2, S. 210]

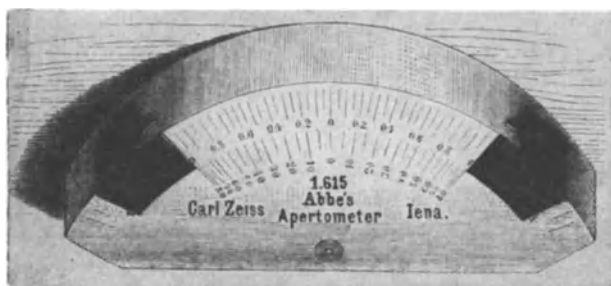
50 mm und einen kleinen Komparator zur Messung bis 100 mm, vor allem zum Ausmessen von Gittern, Skalen und anderen Objekten [2, S. 206–211],

- ein verbessertes Spektrometer und ein Refraktometer (1869) zur Bestimmung der Brechzahlen (und Teildispersionen) von Glasproben (in Form von Prismen) bzw. von Flüssigkeiten (mittels der Totalreflexion) [2, S. 82–164] und
- ein Apertometer (1870) zunächst in rechteckiger, später in Halbkreisform zur Messung des Öffnungswinkels bzw. der numerischen Apertur von Objektiven [1, S. 113–118].

Durch die rationellere Gestaltung der Arbeitsprozesse war Zeiß 1869 in der Lage, seine optischen Systeme und Stative, wie ein Vergleich der entsprechenden Preisverzeichnisse zeigte, billiger anzubieten, hob jedoch in den nachfolgenden Jahren, da offen-



17 Abbe-Refraktometer mit Doppelprisma [2, Tafel I]



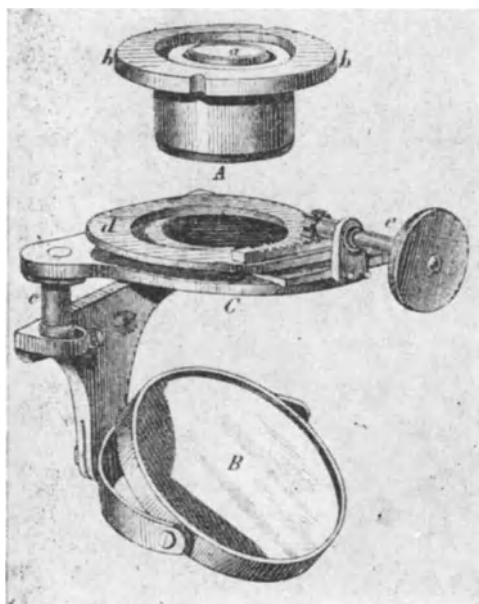
18 Abbe's Apertometer [21, Nr. 28, 1889, S. 19]

sichtlich das Geschäft recht gut florierte, die Preise wieder an, die teilweise an die früheren herankamen und z. B. bei den optischen Systemen E und F diese sogar etwas übertrafen. (Vgl. [21].)

Anzumerken bleibt noch, daß die in erster Linie für den eigenen Gebrauch entwickelten Geräte, wobei Abbe zum Teil an frühere Erfahrungen wie beim Spektrometer anknüpfen konnte (s. S. 30 f.), eine der Grundlagen für den Übergang vom Mikroskopbau zum allgemeinen wissenschaftlichen Gerätebau im letzten Jahrzehnt des 19. Jahrhunderts mit bildeten.

Gegen 1869 sind noch zwei Einrichtungen für das Mikroskop von Abbe geschaffen worden, ein Spektralapparat zur Untersuchung von Beugungs- und Spektralphänomenen, der noch 1869 in einem gesonderten Prospekt angeboten wurde, und ein Beleuchtungsapparat, der erst drei Jahre später in der Angebotsliste Aufnahme fand. Über den Spektralapparat schrieb Abbe noch Ende 1869 einen wissenschaftlichen Artikel, der schon wenige Monate später erschien. Es war seine erste Publikation, seit er als Hochschullehrer in Jena tätig wurde. Aber noch zur selben Zeit verfaßte er ein umfangreiches Manuskript „Ueber die Grundsätze zur Beurtheilung der Lichtstärke optischer Instrumente, mit besonderer Berücksichtigung des Mikroskops und der Apparate zur Lichtconcentration“ [11, Hefte 11 215 f.], in welchem er die bisherige Theorie der optischen Instrumente durch theoretische Grundsätze der Photometrie ergänzte und einige Regeln für die praktische Anwendung auf die einzelnen Instrumente wie Lupe, Fernrohr und Mikroskop ableitete. Dieses Manuskript hatte Karl Snell eingesehen und es recht wohlwollend im April 1870 gegenüber dem Kurator Moritz Seebeck besprochen (vgl. [59, S. 266 f.]), so daß

es neben seinen Verdiensten in der Lehre eine gute Basis für die Berufung Abbes zum außerordentlichen Professor am 5. Mai 1870 bildete. In der Folgezeit hatte Abbe es noch einmal umgearbeitet, so daß es erst 1871 veröffentlicht wurde. [1, S. 14–44] Dabei kam jedoch der vorgesehene Schlußteil u. a. mit dem neuen Beleuchtungsapparat nicht zum Abdruck. Dieser von Abbe erfundene Apparat – wie auch einige der oben angeführten Meßgeräte – stand im engen Zusammenhang mit dem zweiten Aufgabenkomplex, dem Abbe sich nahezu parallel zum ersten widmete. Dabei ging es hauptsächlich um experimentelle und theoretische Untersuchungen der mikroskopischen Abbildung, vor allem der Abbildungsfehler der Objektive. Um eindeutige und reproduzierbare Verhältnisse in der Beleuchtung der zu untersuchenden Objekte realisieren zu können, was mit damaligen Kondensoren oder mit dem Hohlspiegel nicht möglich war, konstruierte Abbe jenen Apparat. Er bestand aus zwei nicht-achromatischen Linsen und hatte „die Form eines grossen Mikroskopobjectivs mit dicker, mehr als halbkugeltiger, planconvexer Frontlinse“ [1, S. 106], womit ein großer Öffnungswinkel erreicht wurde. Mit einem sog.



19 Abbescher
Beleuchtungsapparat
[1, S. 107]

„Blendungsapparat“ ließ sich der Öffnungswinkel in definierter Weise regulieren, um beispielsweise auch die Objektive hinsichtlich ihrer Abbildungsqualitäten – durch Beobachtung der einzelnen Zonen der Objektivöffnung bzw. deren Zusammenwirken in der Mitte und am Rand des Sehfeldes – überprüfen zu können. Über die Anerkennung durch z. B. Leopold Dippel, Botanikprofessor in Darmstadt, war Abbe sehr erfreut. Ihm gegenüber teilte Abbe die Hoffnung mit,

dass das kleine Instrumentchen auch dem praktischen Beobachter Nutzen bringen und nicht, wie die meisten Apparate dieser Art, für diesen eine unfruchtbare Spielerei bleiben werde. [18, Brief 23. 10. 73]

In der Tat wurde der Kondensor bald als eine willkommene Einrichtung von den Mikroskopikern genutzt.

Abbesche Beugungstheorie

Neben der Geräteentwicklung hatte sich Abbe in die geometrische und technische Optik, wie bereits seine Abhandlung über die Lichtstärke optischer Instrumente zeigte, eingearbeitet und mit der Berechnung der ersten Mikroskopobjektive ab Februar 1869 begonnen. Entgegen der allgemeinen Erfahrung der Mikroskopiker, wonach das Auflösungsvermögen eines Objektivs um so höher, je größer der Öffnungswinkel ist, legte Abbe zunächst einen relativ kleinen Öffnungswinkel zugrunde. Er erreichte dadurch eine wesentlich bessere Strahlenvereinigung und damit verbunden eine noch vollkommenere Behebung der Abbildungsfehler gegenüber den bisherigen erprobten Objektiven mit größerem Öffnungswinkel. Doch die mit ihnen erhaltenen Bilder von mikroskopischen Objekten erwiesen sich – ganz wie es die Erfahrung lehrte – als viel weniger aufgelöst, mit denen daher nichts anzufangen war. Auch die weiteren, nach seinen Berechnungen gefertigten Objektive erbrachten kein besseres Ergebnis. Abbe selbst bezeichnete jene Arbeiten später einmal als „jahrelange Misserfolge“, die damals für Carl Zeiß „schwere Opfer bedeuteten“, die dieser jedoch unentmutig hinnahm. [2, S. 341] Für Abbe war es merkwürdig, daß ein einfallender Strahlenkegel, der im allgemeinen nur eine geringe Öffnung ausfüllt, noch einen gewissen ungenutzten (dunklen) Raum des Objektivs braucht, um scharfe

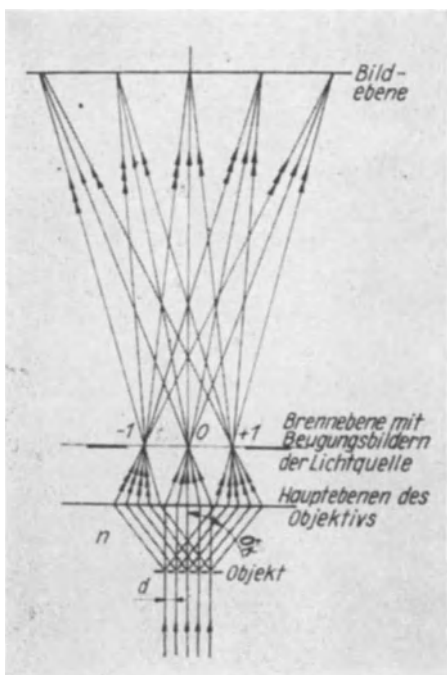
Abbildungen zu liefern. Um das Rätsel zu lösen, ging er zunächst der Frage nach, ob es die Brechung des Lichtes an den Objektelementen ist, die einen solch großen Öffnungswinkel erfordert. Dazu führte er zahlreiche Versuche zuerst mit kugelförmigen, dann mit zylindrischen Objektelementen in Form feiner Glasfäden in Oel-Mischungen von genau bestimmter Brechzahl und schließlich mit regelmäßigen prismatischen Gebilden durch. Letztere gewann er, indem er mit großer Mühe und Geduld dachförmige Furchen auf ebenen Glasflächen mittelst eines Diamanten herstellte. Doch alle diese Versuche bewiesen ihm, daß „die Ablenkung der Lichtstrahlen durch Brechung weder ein allgemein giltiges noch irgendwo ein wesentliches Moment in der Function des Oeffnungswinkels sein“ kann. [1, S. 279] Sie führten ihn aber zu folgender Erkenntnis:

Wenn man ein kleines, nur annähernd regelmässig geordnetes Bündel jener in Flüssigkeit liegenden Glasfäden mitten in das Schfeld bringt, durch eine etwas entfernt stehende offene Lichtflamme beleuchtet und nun, das Ocular entfernend, mit freiem Auge auf das Objectiv herabsieht, so erblickt man – wofern die wirksame Differenz der Brechungsexponenten nicht allzu gering ist – das nur wenig verzerrte Bild der Flamme innerhalb einer Reihe ziemlich lichtstarker Beugungsspectra, *welche sich weit in den dunkeln Raum des Objectivs hinein erstrecken*. [1, S. 279]

Es ist also die Beugung des einfallenden Lichtbündels an den Objektelementen, die einen größeren Öffnungswinkel des Objectivs erfordert. Die verschiedenen Beugungsmaxima des Objectes – im Bild 20 sind nur die Beugungsbilder 0. und 1. Ordnung gezeichnet – treten in das Objectiv ein und erzeugen in seiner hinteren Brennebene Beugungsbilder der Lichtquelle, das sog. primäre Zwischenbild. Durch Interferenz der von den Beugungsmaxima ausgehenden Lichtwellen entsteht in der Bildebene das reelle, sog. sekundäre Zwischenbild, das mit dem Okular betrachtet wird. Interessant ist nun, daß die Beschaffenheit des mikroskopischen Bildes von der Zahl und Anordnung der in das Mikroskop eintretenden Beugungsbündel abhängt:

Gleiche Anordnung der Beugungsbündel liefert gleiche Bilder, auch von verschiedenen Structuren, ungleiche Anordnung liefert verschiedene Bilder, auch von derselben Structur. [18, Brief 21. 1. 79]

Davon hatte sich Abbe in vielen Experimenten mit den verschiedenartigsten Probeobjekten wie



20 Zur Abbesschen
Theorie des Mikro-
skops (nach [99])

allerlei Schmetterlingsschuppen und Diatomeenschalen, gestreifte Muskelfasern, Diamantheilungen auf Glas, Liniensysteme in verschwindend dünnen Silberschichten auf Glas, feinere und gröbere Pulver u. A., daneben aber auch die kleinen optischen Bildchen makroskopischer Objecte (Stabgitter, Drahtgeflecht) . . . [1, S. 72 f.]

überzeugt. Als günstige Demonstrationsobjekte, die auch heute noch gern in den physikalischen Praktika genutzt werden, erwiesen sich ihm u. a. ein (doppeltes) Strichgitter mit abwechselnd langen und kurzen Linien – später als Abbesche Diffraktionsplatte bezeichnet –, ein 60°- und ein 90°-Kreuzgitter, auf die jeweils scharf eingestellt wurde. Danach entfernte er das Okular, brachte das Auge über den offenen Tubus und blickte auf das Objektiv herab. Die Lichtquelle, eine Petroleumlampe mit Flachbrenner, stellte er in eine solche Entfernung vom Mikroskop, daß über den Hohl- bzw. Planspiegel der Öffnungswinkel des einfallenden Strahlenbündels auf das Objektiv nur so groß war, daß in der

Brennebene des Objektivs die vom Objekt gebeugten Strahlen getrennt verliefen und ihre Spektren deutlich erkennbar waren. Dabei befand sich das direkte Lichtbündel (Maximum 0. Ordnung) in der Mitte der Öffnung. Anschließend brachte er in die hintere Brennebene des Objektivs nacheinander verschiedene Spalt- und Lochblenden ein. Erstere ließen sich in der Ebene senkrecht zur Blickrichtung drehen, ohne die Scharfeinstellung des Mikroskops zu verändern. Mit dem Okular wurden dann die einzelnen Bilder betrachtet.

Recht eindrucksvoll für ihn waren

die Versuche mit den Kreuzgittern, wenn man dabei einen einfachen Spalt oder eine der kreisförmigen Öffnungen benutzt. Der einfache Spalt, stetig gedreht, entwickelt die verschiedenen neuen Streifensysteme, z. B. diagonale Streifen auf den 90°-Gittern. Die kreisförmigen Öffnungen geben diejenigen Formen der hellen Felder, welche die Zeichnungen auf *Pl[eurosigma] angulatum*¹² und *balticum quadratum* nachahmen. [18, Brief 21. 1. 79]

Ähnliche instruktive Versuche lassen sich mit der Abbeschen Diffraktionsplatte durchführen, die aus zwei Strichgittern besteht. In der einen Hälfte ist die Gitterkonstante mit den langen Linien (Gitter *a*) doppelt so groß wie in der anderen Hälfte mit den kurzen Linien (Gitter *b*), da in dieser Hälfte die langen Linien wie die kurzen das Gitter bilden. Daher sind auch die Abstände der einzelnen Beugungsmaxima in der hinteren Brennebene des Objektivs vom Gitter *a* um die Hälfte kleiner als die der Beugungsmaxima vom Gitter *b*, so daß die Beugungsmaxima 0., 2., 4., ... Ordnung des Gitters *a* mit denen 0., 1., 2., ... Ordnung des Gitters *b* zusammenfallen. Bringt man nun eine enge Spaltblende in die hintere Brennebene des Objektivs ein, die parallel zu beiden Gittern verläuft und alle Beugungsmaxima bis auf das Maximum 0. Ordnung abblendet, dann entsteht kein Bild, sondern nur eine gleichmäßig leuchtende Fläche. Wird die Spaltblende durch eine etwas breitere ersetzt, die vom Gitter *a* noch die Beugungsmaxima 1. Ordnung, vom Gitter *b* aber nur das 0. Maximum hindurchläßt, dann erhält man in der einen Hälfte ein Bild vom Gitter *a*, während die andere Hälfte – wie im vorigen Fall – nur

¹² *Pleurosigma angulatum*, *Pleurosigma balticum* u. a. Diatomeen (Kieselalgen) waren wegen ihrer außerordentlichen feinen Längs-, Quer- und schiefen Streifen beliebte Testobjekte für die Leistung (das Auflösungsvermögen) eines Mikroskopobjektivs.

gleichmäßig hell leuchtet. Ein Bild vom Gitter b bekommt man erst dann, wenn die Spaltblende so breit ist, daß die Beugungsmaxima 1. Ordnung vom Gitter b nicht mehr abgeblendet werden und daher zur Bildentstehung beitragen können.

Ein verblüffendes Ergebnis bekommt man, wenn man eine 3fach-Spaltblende benutzt, deren Abstände so gewählt sind, daß nur die Beugungsmaxima 0. und 2. Ordnung vom Gitter a und die Beugungsmaxima 0. und 1. Ordnung vom Gitter b hindurchgelangen, also die Beugungsmaxima 1. Ordnung vom Gitter a abgeblendet sind. Das erhaltene Bild ist dann das vom Gitter b , auch in der Bildhälfte, wo als Objekt das Gitter a abgebildet wird. Durch den Eingriff in sein primäres Zwischenbild, indem die Anordnung der Beugungsbündel der des Gitters b gleich gemacht wurde, entstand deshalb das gleiche Bild.

Nach diesen Versuchen ist ersichtlich, daß ein Objekt gerade noch aufgelöst wird, wenn zur Abbildung mindestens die Beugungsmaxima 0. und 1. Ordnung beitragen, woraus sich die Beziehung

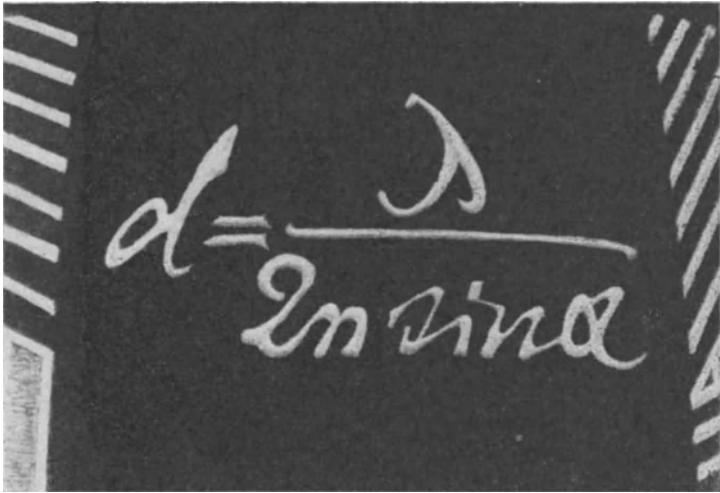
$$d = \frac{\lambda}{n \sin \alpha} \quad \text{für gerade Beleuchtung und}$$

$$d = \frac{\lambda}{2 n \sin \alpha} \quad \text{für schiefe Beleuchtung}$$

ergibt. Hier bedeutet d der geometrische Abstand der gerade noch erkennbaren Details eines Objekts, λ die Lichtwellenlänge, n die Brechzahl des Mediums (Luft, Flüssigkeit) zwischen Objekt und Objektiv, α der halbe Öffnungswinkel und $n \sin \alpha$ die numerische Apertur des Objektivs. Danach ist das Auflösungsvermögen eines Mikroskops um so größer, je größer die numerische Apertur und je kleiner die Lichtwellenlänge ist. Die Beziehung umfaßt damit die Trocken- und die Immersionssysteme.

Die durchgeführten Versuche zeigten aber auch, daß ein mikroskopisches Bild um so objektgetreuer ist, je mehr Beugungsbündel vom Objektiv erfaßt werden.

Anzumerken ist noch, daß die Abbesche Theorie des Mikroskops für nichtselbstleuchtende Objekte zwar mit periodischer Struktur, den verschiedenen Gitterpräparaten, gewonnen wurde, sie aber nicht auf diese beschränkt ist. Sie gilt ebenso für nichtperiodische Strukturen, nur ist ihre experimentelle Beobachtung und theore-



21 Abbes fundamentale Formel für die Auflösungsgrenze (mit angedeuteter Gitterstruktur), wie sie auf dem 1977 in Jena (Goetheallee) geschaffenen Ernst-Abbe-Denkmal viermal – jeweils um 90° versetzt mit dazwischen befindlichen Linienstrukturen zur Veranschaulichung mikroskopischer Objekte – getreu der Handschrift von Abbe wiedergegeben ist (nach [54, S. 146])

tische Beschreibung weit verwickelter und schwieriger, da kompliziertere Beugungsbilder durch die Überlagerung der Beugungsspektren im primären Zwischenbild entstehen. Eine Theorie des Mikroskops für selbstleuchtende Objekte, bei der die Beugung an der Objektöffnung wesentlich ist, spielt eine untergeordnete Rolle, da selbstleuchtende Objekte kaum vorhanden sind. Sie wurde ohne Kenntnis der Abbeschen Theorie von Hermann Helmholtz just in dem Jahre ausgearbeitet, als die von Abbe erschien. Nachdem sie Helmholtz bekannt wurde, schrieb er am 21. Januar 1874 an Abbe, daß er in seiner demnächst erscheinenden Arbeit noch ein P. S. angefügt habe,

in welcher ich erwähne, daß Sie alle meine Sätze auch schon gefunden haben. Ich habe nur das Sehen mit vollem Lichtkegel behandelt: so weit dieses reicht, sind unsere Resultate in allen wesentlichen Punkten die gleichen. Ihre Untersuchungen gehen weiter, da sie auch das Sehen mit schiefer Beleuchtung und unvollständigem Lichtkegel betreffen, wobei die Interferenzen am Objekt eintreten. (Nach [35, S. 314].)

Begründung des wissenschaftlichen Mikroskopbaues

Mit den im vorigen Abschnitt dargestellten experimentellen und theoretischen Untersuchungen verfolgte Abbe das praktische Ziel, wie er es in seiner grundlegenden Arbeit „Beiträge zur Theorie des Mikroskops und der mikroskopischen Wahrnehmung“ von 1873 zum Ausdruck brachte,

einen sicheren Leitfaden für die richtige Formulierung der Ansprüche bei der Berechnung von Linsensystemen zu gewinnen; sie haben sich aber von selbst zu einer vollständigen Theorie des Mikroskops abgerundet, welche so ziemlich in alle Capitel der mikrographischen Doctrin eingreift und dieser ausserdem einige neue Capitel hinzufügt. [1, S. 49 f.]

Nachdem Abbe den physikalischen Grund aufgefunden hatte, warum die Leistungsfähigkeit des Mikroskops durch die Grösse des Öffnungswinkels bestimmt wird, begann er, die dioptrischen Bedingungen der Leistungen des Mikroskops unter Beachtung der enormen Grösse des Öffnungswinkels, wie sie bei keinem weiteren optischen Instrument auftritt, aufzusuchen, um hieraus die praktischen Maximen für die Mikroskopherstellung abzuleiten. Als erstes fand er ein wichtiges Abbildungskriterium, das neben der Behebung der sphärischen Aberration bei einem Objektiv erfüllt sein muß, damit nicht bloß ein Objektpunkt auf der optischen Achse, sondern ein kleines Flächenelement um ihn herum durch alle Objektivzonen scharf abgebildet wird. Dieses Kriterium, das in die Literatur als Abbesche Sinusbedingung eingegangen ist, lautet mit seinen Worten:

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 Äquivalentbrennweite des Systems mit dem Sinus des Winkels, welchen der betreffende Strahl mit der Axe bildet. [1, S. 52]

Hierbei handelt es sich, wenn man die Strahlrichtung umgekehrt betrachtet, um den Spezialfall einer Abbildung aus dem Unendlichen, bei der also

$$b = f' \sin \delta' = \text{const.}$$

gilt, wenn f' die Äquivalentbrennweite, δ' der Winkel zwischen Strahl und optischer Achse und b die Einfallshöhe ist. Für den (allgemeinen) Fall einer endlichen Abbildung gab Abbe die Sinus-

bedingung erst 1879 in seiner Arbeit „Ueber die Bedingungen des Aplanatismus der Linsensysteme“ [1, S. 215] bekannt. Sie fordert Bilder von gleicher Linearvergrößerung, d. h. die Konstanz des Abbildungsmaßstabes für alle Öffnungsstrahlen.

Im weiteren untersuchte Abbe die optische Funktion von Objektiv und Okular, um die Abbildungsfehler genauer analysieren zu können. Sie besteht beim Objektiv in einer Flächenausbreitung des Bildes und beim Okular in einer Fokalwirkung, d. h. Divergenzänderung der einzelnen Lichtbündel. Ihm reichte aber die übliche Betrachtungsweise der Abbildung eines zusammengesetzten Mikroskops nicht aus, wonach das Objektiv vom Objekt ein umgekehrtes reelles Zwischenbild erzeugt, das vom Okular vergrößert wird. Er nahm eine andere Zerlegung der Abbildung vor, die ein Ineinandergreifen von Objektiv- und Okularfunktion bedeutete. Im ersten Schritt der Abbildung entsteht ein unendlich entferntes virtuelles Bild des Objektes durch das Objektiv (Lupenwirkung), das im zweiten Schritt durch ein Fernrohr (Tubuslinse plus Okular) weiter abgebildet (betrachtet) wird (Fernrohrwirkung).¹³ Diese Art der Zerlegung der Mikroskopwirkung in Lupenwirkung plus Fernrohrwirkung stellte für ihn eine allgemeingültige Charakteristik dar, mit der er in der Lage war, die verschiedenen Fragen für eine rationelle Konstruktion der Objekte und Okulare zu klären. Hierbei spielte die Untersuchung der Abbildungsfehler eine wichtige Rolle, bei der er folgendes Ergebnis erhielt:

Erstens. Die chromatische Aberration, wie sie bei grossem Oeffnungswinkel zur Geltung kommt, beruht nicht allein in denjenigen Focusdifferenzen, welche – der Farbenabweichung selbst und ihrem ungleichförmigen Gang in Crown- und Flintglas entsprechend – die abbildenden Strahlenkegel im Ganzen treffen, sondern ebenso sehr in einer unvermeidlichen Ungleichheit der Farbenvereinigung für verschieden geneigte Strahlenbüschel innerhalb des Oeffnungswinkels, die sich darin äussert, dass ein für gerade Beleuchtung vollkommen achromatisches Objectiv für schief einfallendes Licht mehr oder minder *über*corrigirt sein muss. Während die ersterwähnten gewöhn-

¹³ Eine Zerlegung des Mikroskops in Lupe und Fernrohr läßt sich in folgenderweise (vgl. [75, S. 552 f.] vornehmen. Man bringt in die hintere Brennebene des Objectivs eine planparallele Glasplatte, die keinen Einfluß auf den Strahlengang besitzt. Denkt man sich diese Platte zusammengesetzt aus einer Zerstreulinse und einer Sammellinse von gleicher Brennweite und entgegengesetzten Vorzeichen, dann bilden das Objectiv und die Zerstreulinse eine Lupe, die Sammellinse (Tubuslinse) und das Okular ein Fernrohr.

lichen (primären und secundären) Farbenabweichungen bei correcter Construction sich entweder ganz heben oder doch wenigstens fast unmerklich machen lassen, ist diese zweite Fehlerquelle mit den heute der Technik zu Gebote stehenden Materialien durch keine Kunst zu beseitigen. Ihr Einfluss aber ist gross genug, um wenigstens bei den mittleren und mässig starken Objectiven der erreichbaren Vollkommenheit schon da eine Schranke zu setzen, wo die andern unvermeidlichen Fehlerquellen solches noch nicht thun. Nach meinen Erfahrungen bleibt die thatsächliche Leistungsfähigkeit der Objective von 6–3 mm Brennweite allein in Folge *dieses* Umstandes merklich hinter derjenigen Höhe zurück, welche die mögliche Vollkommenheit im Punkte der sphärischen Aberration und die mögliche Vollendung in der technischen Ausführung andernfalls zulassen würden.

Zweitens. Die sphärische Aberration zerfällt bei einer strengeren Untersuchung ihrer Bedingungen in eine Reihe von selbständigen Gliedern, die in ihrem Anwachsen mit der zunehmenden Neigung der Strahlen gegen die Axe einen sehr ungleichen Gang befolgen. Eine wirkliche Aufhebung ist nur für die beiden ersten Glieder theoretisch möglich. Sobald der Oeffnungswinkel über einen ganz geringen Betrag hinausgeht, kann die Ausgleichung der sphärischen Aberration nicht anders erfolgen als dadurch, dass die nicht aufhebbaren höheren Glieder durch absichtlich herbeigeführte Reste der niedern compensirt werden. Das Anwachsen des unvermeidlichen Deficits, das diese Compensation wegen des ungleichen Ganges der einzelnen Theile nothwendig übrig lässt, bestimmt die Grenze, welche dem Oeffnungswinkel gesetzt werden muss, wenn jenes Deficit im mikroskopischen Bilde ohne schädliche Wirkung bleiben soll. [1, S. 56 f.]

Nach den Erfahrungen Abbes ist der Oeffnungswinkel bei den stärksten Trockensystemen auf 105 bis 110° begrenzt, dagegen vertragen die Immersionssysteme Oeffnungswinkel über 180°.

Den Abschluß der Abbeschen Untersuchungen bildete der Einfluß, der vom Objectiv und Okular auf die Gesamtqualität der mikroskopischen Abbildung ausgeht. Mit seiner – oben angegebenen – schematischen Zerlegung des Mikroskops kam er zum Ergebnis, daß es das Objectiv ist, das in seiner Lupenwirkung die Leistungsfähigkeit des Mikroskops bestimmt, während das Okular, auch wenn es noch so vollkommen ist, darauf keinen Einfluß hat. Die Reste von Abbildungsfehlern und die Mängel der technischen Ausführung des Objectivs bewirken, daß im Lupenbild anstelle scharfer Punkte kleine Zerstreungskreise entstehen, so daß, wenn sie sich gegenseitig berühren oder gar teilweise überlagern, eine Erkennung von Details nicht mehr möglich ist. Das ist dann der Fall, wenn die Durchmesser der Zerstreungskreise größer als die linearen Abmessungen der Objektelemente sind. Die Fernrohrwirkung von Tubuslinse und Okular beschränkt sich darauf, alle

abbildbaren Details des Lupenbildes dem (normalen) Auge unter einem gerade ausreichenden Schwinkel, der förderlichen Winkelvergrößerung darzubieten, ohne dabei am Inhalt des Lupenbildes etwas zu ändern. Als förderliche Winkelvergrößerung betrachtete Abbe, von einigen Ausnahmen abgesehen, höchstens eine 8fache bei den schwachen und mittleren und eine 5fache bei den starken Objektiven, um die Leistung des Objektivs voll auszuschöpfen.

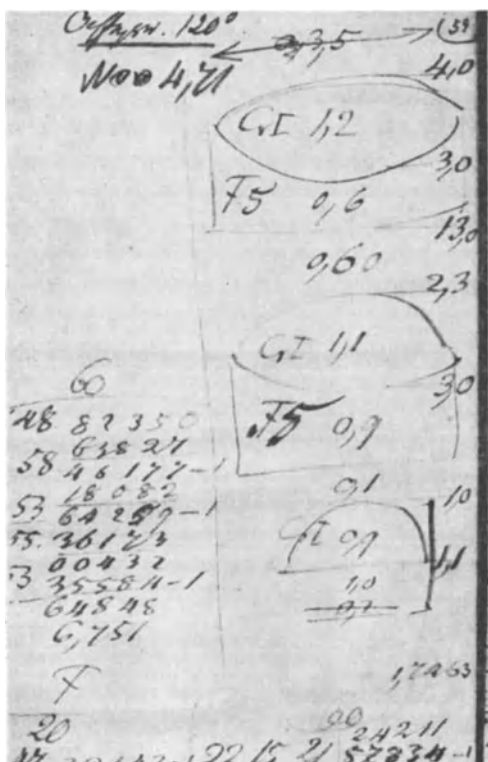
Die Leistungsfähigkeit eines Objektivs ist, wie man sieht, von zwei Faktoren abhängig. Neben der im vorigen Abschnitt behandelten physikalischen Bedingung für die Wiedergabe bzw. Auflösung der Objektdetails, die durch den Öffnungswinkel bzw. die numerische Apertur des Objektivs charakterisiert wird (siehe S. 67), ist noch die dioptrische Unterscheidungsgrenze als Bedingung zu beachten. Sie findet ihren Ausdruck in der förderlichen Vergrößerung des Objektivs, die dem Kehrwert seiner Brennweite proportional ist. Für eine rationelle Konstruktion der Objektive ergab sich für Abbe die Forderung, beide Bedingungen so zu berücksichtigen, daß ihre Grenzen nahezu zusammenfallen, indem also der Öffnungswinkel und die Brennweite aufeinander abgestimmt werden. Unter den damaligen Fertigungsverhältnissen setzte Abbe die förderliche Vergrößerung des Mikroskops bei den Trockensystemen auf 400–500 und bei den Immersionssystemen auf 700–800. Auch wenn zuweilen höhere Vergrößerungen benutzt werden, um die mikroskopischen Beobachtungen dadurch leichter und sicherer zu machen, so werden dadurch keine neuen Informationen gewonnen. Daher sah Abbe die Bestrebungen der Optiker, namentlich der englischen, die Vergrößerung der Objektive immer weiter zu steigern, als recht problematisch an, wenn dabei eine Brennweite bei den Trockensystemen erheblich unter 2 mm und bei den Immersionssystemen unter 1 mm gewählt wurde.

Ohne die Untersuchungen Abbes, insbesondere seine Prüfungsmethoden zur Feststellung des Korrektionszustandes eines Mikroskopobjektivs, hier weiter betrachten zu können, wollen wir abschließend nur noch folgendes anmerken. Im Mikroskopbau vor der Zeit Abbes wurden von den Optikern – mit teilweiser Unterstützung der beobachtenden Mikroskopiker – etwa seit dem 2. Viertel des 19. Jahrhunderts, wie wir gesehen haben, zahlreiche Erfahrungen gesammelt und Erfindungen gemacht, die einen be-

deutenden Fortschritt in der Mikroskopentwicklung bewirkten. Dieser Fortschritt wurde hauptsächlich auf empirischem Weg erzielt. Eine Theorie des Mikroskops wurde nur in Ansätzen entwickelt, die daher in wesentlichen Stücken sehr unvollständig war. Es ist das Verdienst Ernst Abbes, der durch tiefgründige und umfassende theoretische und experimentelle Untersuchungen eine wissenschaftliche Grundlage schuf, auf der nicht nur die bisherigen Erfahrungen und Erkenntnisse verständlich wurden, sondern wichtige Konsequenzen für eine rationelle Konstruktion von Mikroskopen ableitete. Das war ihm nur möglich, weil er nicht nur als Physiker wirkte, sondern sich dabei zum technischen Optiker weiter entwickelte. Durch seine Leistungen kam damit gleichzeitig der Herausbildungsprozeß der technischen Optik als technikwissenschaftliche Disziplin zum Abschluß. Der gesamte Objektbereich dieser Disziplin wurde von nun ab wissenschaftlich beherrscht. (Vgl. [116].)

Etwa Mitte des Jahres 1870 war Abbe soweit gerüstet, daß er die Mikroskopobjektive erfolgreich berechnen konnte. Das geht auch aus einem Schreiben 1873 an Leopold Dippel hervor, in dem er mitteilte, daß die Systeme DD, E und F schon in derselben Art seit dem Jahre 1870 hergestellt wurden, aber erst im Herbst 1871 die Bezeichnung für das System DD eingeführt wurde. [18, Brief 30. 10. 73] Am 11. September 1871 (vgl. [61, S. 34]) brachte er die Berechnungen der Objektive zu einem relativen Abschluß. Seit 1870/71 also wurden alle Objektive nach seinen Vorschriften und Maßangaben in der Optischen Werkstätte in Jena gefertigt, wie das auch Carl Zeiß in seinem Preisverzeichnis Nr. 19 vom August 1872 erstmalig zum Ausdruck brachte. In seiner bedeutenden Arbeit über die Mikroskoptheorie von 1873 schrieb Abbe dazu:

Die betreffenden Constructionen sind dabei, auf Grund genauer Untersuchung der zu verwendenden Materialien, bis in die letzten Einzelheiten -- jede Krümmung, jede Dicke, jede Linsenöffnung -- durch Rechnung festgestellt, so dass alles Tatonnement [im dunkeln tappen -- J. W.] ausgeschlossen bleibt. Von jedem zu verarbeitenden Glasstück werden zuvor die optischen Constanten an einem Probeprisma mittelst des Spectrometers gemessen, um Abweichungen des Materials durch geeignete Veränderung der Construction unschädlich zu machen. Die einzelnen Bestandtheile werden möglichst genau nach den vorgeschriebenen Maassen ausgeführt und zusammengesetzt, und nur bei den stärkeren Objektiven wird ein Element der Construction (eine



22 Konstruktions-
skizze für das
stärkste Trocken-
system F vom
4. November 1871.
Sammellinsen jeweils
aus Kron- (Cr I).
Zerstreuungslinsen
jeweils aus Flintglas
(F 5). Zahlenangaben
in Millimetern (!).
Sie beziehen sich in
der Mitte auf
Dicken und Ab-
ständen der Linsen
und am Rand auf
Krümmungsradien
[11, Heft 11 232.
S. 59]

Linsendistanz) bis zuletzt variabel gelassen, um mittelst desselben die unvermeidlichen kleinen Abweichungen der Arbeit wieder ausgleichen zu können. – Es zeigt sich dabei, dass eine hinreichend gründliche Theorie in Verbindung mit einer rationellen Technik, die alle Hilfsmittel benutzt, welche die Physik der praktischen Optik bietet, auch bei der Construction der Mikroskope die empirischen Verfahrungsweisen mit Erfolg ersetzen kann. [1, S. 47]

Damit hatten Abbe und Zeiß ihr gemeinschaftlich angestrebtes Ziel, das unbefriedigende Probiervverfahren zu überwinden, in umfassender Weise 1871/72 erreicht. Im Angebot befanden sich 15 (bzw. 17) verschiedene Objektive, darunter auch 3 Immersions-systeme mit unterschiedlicher Brennweite, deren Herstellung nach der alten Methode nicht gelingen wollte. Dies wurde schließlich zum auslösenden Moment für die wissenschaftliche Fundierung

Nr. 21.

1874.

Mikroskope

von

CARL ZEISS in Jena.

Objectiv-Systeme und Oculare.

No.	System	Öffnungswinkel	Äquivalent-Brennweite	Vergrößerung bei 150 Nn. Tubenlänge, für 250 Nn. Sehweite mit Ocular:					Mark.	
				1	2	3	4	5		
1	a		30, 45, 90 ^{mm}	5 bis 20					a	12
2	aa	20°	30 ^{mm}	18	25	40	50	70	aa	27
3	A	20°	10 ^{mm}						A	24
4	AA	20°	($\frac{1}{2}$ engl.)	35	60	80	110	150	AA	30
5	B	40°	10 ^{mm}						B	30
6	BB	40°	($\frac{1}{2}$ engl.)	70	95	125	160	220	BB	42
7	C	45°	6,4 ^{mm}						C	36
8	CC	45°	($\frac{1}{4}$ engl.)	110	160	200	260	350	CC	48
9	D	72°	4,2 ^{mm}						D	42
10	DD	100°	($\frac{1}{4}$ engl.)	180	230	300	400	500	DD	54
11	E	100°	2,8 ^{mm} ($\frac{1}{4}$ engl.)	240	330	450	600	840	E	66
12	F	105°	1,8 ^{mm} ($\frac{1}{4}$ engl.)	380	500	720	960	1400	F	84
13	Immersion-Systeme	No. 1 $\frac{1}{4}$ 180°	3,6 ^{mm} ($\frac{1}{4}$ engl.)	220	300	420	560	780	No. 1	90
14		No. 2 $\frac{1}{2}$ 180°	3,7 ^{mm} ($\frac{1}{4}$ engl.)	400	550	760	1020	1500	No. 2	144
15		No. 3 $\frac{3}{4}$ 180°	1,0 ^{mm} ($\frac{1}{4}$ engl.)	680	900	1200	1700	2300	No. 3	270
	Oculare			1	2	3	4	5		
	Äquivalent-Brennweite			50 ^{mm}	45 ^{mm}	35 ^{mm}	25 ^{mm}	18 ^{mm}		

Bemerkungen. Die hier aufgeführten Objective werden sämtlich nach den Rechnungen des Herrn Professor Abbe in Jena und unter dessen beständiger Mitwirkung construiert. Die Gränzstrahlen, welche dabei zur Richtschnur dienen, hat derselbe in H. Schaller's Archiv f. mikrosk. Anatomie Bd. IX (Heft 1) zur Theorie des Mikroskops etc.) dargestellt.

Die schwächeren und mittleren Objective, bis zu ca. 4 Mm. Brennweite, werden, um des verhältnißmäßig flachen Bau wegen, so in zwei Formen ausgeführt. Diejenigen mit kleinerem Öffnungswinkel — durch einfache Buchstaben bis D bezeichnet — sind vermöge ihres größeren Objectabstandes und ihrer geringeren Empfindlichkeit gegen die Dicke der Präparate und der Deckgläser zu Arbeiten

23 Erste Seite des Zeiss-Katalogs Nr. 21 von 1874 mit Angaben der Äquivalentbrennweite in (englischen) Zoll und in Millimetern, Preise in Mark für Trocken- und Immersionssysteme sowie für Okulare [21]

des Mikroskopbaues. Aber damit hatte man gleichzeitig gegenüber der Konkurrenz einen gewaltigen Vorsprung erzielt, der zu einem kometenartigen Aufstieg der Zeiss-Werkstätte in der Folgezeit führen sollte.

Im Bild 22 ist eine Konstruktionsskizze des Trockensystems 1^r für einen Öffnungswinkel 120° vom 4. November 1871 wiedergegeben. Die Maßzahlen für die Dicken und Abstände der Linsen

in der Mitte und für die Krümmungsradien an der rechten Seite der Skizze beziehen sich auf Millimeter (!). Angesichts dieser relativ sehr kleinen Abmessungen kann man erahnen, welche hochpräzisen Arbeits- und Prüfmethoden sowie technischen Fertigkeiten erforderlich sind, um z. B. die Krümmungsradien auf wenige Mikrometer und die Einhaltung der Kugelform für die Linsenflächen auf Bruchteile der Wellenlänge mittelst der Newtonschen Ringe – eine Methode, die von Joseph Fraunhofer erfunden und von August Löber in der Zeiss-Werkstätte unabhängig aufgefunden wurde – genau zu verwirklichen oder die Abweichungen bei der Zentrierung und Fassung der einzelnen Linsen zu einem System äußerst gering zu halten. (Vgl. [1, S. 157].) Es hatte schon seine Berechtigung, wenn man die Optiker/Feinmechaniker damals als „Kunsthandwerker“ oder „Künstler“ bezeichnete.

Probleme und Vorlauftforschung

Nachdem der wissenschaftliche Mikroskopbau 1871/72 begründet und die ihm zugrunde liegende Mikroskoptheorie in Grundzügen [1, S. 45–100] dargestellt worden war, gab es bei den Optikern und beobachtenden Mikroskopikern zunächst eher eine gewisse Zurückhaltung und Skepsis als Zustimmung und Anerkennung. Die Optiker bezweifelten, daß die Mikroskopoptik von Zeiß wirklich nach theoretisch entwickelten Berechnungsvorschriften konstruiert und gefertigt werde. So schrieb z. B. noch 1886 (!) der Anatom und Zoologe, Direktor des Züricher Mikroskopisch-Anatomischen Instituts, Heinrich Frey, in der 8. Auflage seines Buches nach einem Lob auf die vorzüglichen Leistungen der Zeiss-Objektive: „Dass sie wirklich nur nach rein optischen Prinzipien hergestellt sind, bezweifle ich mit vielen Optikern sehr.“ [83, S. 56] Bis etwa zu jenem Zeitpunkt bekräftigten auch die Optiker ihren Anspruch auf eine höhere Wertschätzung mit der Erklärung, daß ihre optischen Systeme solide Handarbeit darstellen und nicht wie in Jena gefertigt werden. (Vgl. [3, S. 67].)

Die zum Teil überlieferte Korrespondenz zwischen Abbe und Leopold Dippel [17], [18], auf die wir uns schon bezogen haben, zeigt als Beispiel, wie die Abbesche Theorie des Mikroskops da-

mals aufgenommen wurde. Abbe hatte Dippel gegenüber zahlreiche Fragen zu beantworten gehabt, die hauptsächlich die scheinbaren Widersprüche von untersuchten Mikroskopobjektiven der verschiedensten Optiker zu seiner theoretisch festgestellten Auflösungsgrenze sowie die Prüfungsmethoden von Objektiven in Verbindung mit verschiedenartiger Beleuchtung der Objekte betrafen. So hatte Dippel z. B. von einem Optiker ein Trockensystem erhalten, das wesentlich leistungstärker und damit vollkommener als das Objektiv F von Zeiß zu sein schien. Die Antworten Abbes dazu vermitteln in Ergänzung zu seiner Abhandlung [1, S. 45 bis 100] einen guten Einblick in die damals lösbaren und nicht lösbaren Probleme der Objektivkonstruktion und -fertigung. Zunächst stellte es sich nachträglich heraus, daß von den 7 Systemen F, die Zeiß an Dippel zur Begutachtung geschickt hatte, nur ein einziges davon genau den Öffnungswinkel von 105° besaß, während die anderen etwas kleinere Winkel bis herab zu 96° hatten. Nach Abbe sind Abweichungen von 1 bis 2° zwar unvermeidlich,

die grossen Differenzen aber, die bei den 7 Exemplaren F vorgekommen sind, beruhen auf einer Unachtsamkeit der Arbeiter^F (F eigentlich mehr darauf, daß d. gn. Werkführer die Arbeiter nicht streng genug dahin angewiesen hatte. Z[eiß]); und Ihre Notiz wird Anlass sein, dass von jetzt an dieses Element sehr viel strenger kontrollirt werden wird. [18, Brief 9. 10. 73]

Jahre später teilte er dazu mit, daß die Angaben im Katalog bezüglich der Brennweite und des Öffnungswinkels bzw. der Apertur die Objektive nur annähernd beschreiben, da „bei den häufigen Veränderungen in den Constructionen“ es sehr beschwerlich sein würde, „immer genau dieselben Constanten herstellen zu sollen“. [18, Brief 21. 1. 79]

Das erwähnte Objektiv von Dippel hatte tatsächlich einen wesentlich größeren Öffnungswinkel als das beste System F von Zeiß. Einige Jahre vorher hatte man in Jena, als Abbe noch mehr als jetzt den Maßstab der Vollkommenheit eines Objektivs in der Höhe des Auflösungsvermögens sah und Zeiß daher allein Wert darauf legte, daß seine Trockensysteme bei 1,5–2,5 mm Brennweite einen Öffnungswinkel von 120 – 130° besitzen sollten, die Versuche in dieser Richtung wieder eingestellt. [18, Brief 23. 10. 73] Mit derartigen Systemen, bei denen die Abbildungsfehler, insbesondere die sphärische Aberration bei Öffnungswin-

keln oberhalb 110° , sehr stark in Erscheinung treten, ist entweder „überhaupt keine scharfe Contour (mit schmalen aber reinen Farbensäumen)“, sondern nur ein breiter „Aberrationssaum“ bei schiefer Beleuchtung oder eine scharfe Begrenzung nur bei einer wesentlich anderen Einstellung als bei zentraler Beleuchtung erreichbar. [18, Brief 9. 10. 73]

Beide Erscheinungen mußte Dippel an seinem Objektiv feststellen, das damit – wie es nicht anders sein konnte nach Abbes Erfahrung – wesentlich schlechter korrigiert war als das System F von Zeiß. (Vgl. [17, Brief 14. 10. 73].) In diesem Zusammenhang ist zu erwähnen, daß schon bei allen damaligen stärkeren Objektiven bis zu 110° Öffnungswinkel – neben dem sekundären Spektrum (bedingt durch den Farbenlängsfehler) – noch weitere chromatische Abbildungsfehler vorhanden waren, die mit den zur Verfügung stehenden beiden optischen Glasarten Flint und Kron nicht behebbar waren. Auf den einen Fehler, den Farbunterschied des Öffnungsfehlers, auch Gauß-Fehler genannt, hatte Abbe schon hingewiesen (s. S. 70 f.). Er äußert sich in einer Differenz der Farbkorrektion zwischen optischer Achse und Randzone. Daher war Abbe „zu einem sehr unerquicklichen Balancierungsverfahren bei der Construction der Objective“ [18, Brief 15. 10. 73] gezwungen. Um ein Optimum in der Korrektion zu erreichen, nahm er den genauen Farbausgleich von roten und blauen bzw. violetten Strahlen nicht für die Mitte, sondern für eine mittlere Zone zwischen Achse und Rand vor, so daß daher bei mäßig schief einfallendem Lichtkegel alle Systeme von Zeiß notwendigerweise „secundäre Färbungen in der Mitte des Schfeldes“ hervorriefen. [18, Briefe 15. und 23. 10. 73]

Der andere Abbildungsfehler, der bei schiefem Lichteinfall starke Farbensäume nach dem Rand des Schfeldes hin hervorruft, wobei die Mitte fast farblos bleibt, ist die chromatische Differenz der Vergrößerung, auch als Farbenvergrößerungsfehler oder chromatische Aberration der Brennweiten bezeichnet. Abbe charakterisiert ihn folgendermaßen:

... der Brennpunkt des Objectivs ist für beide Farben gleich, die Brennweite dagegen verschieden. Diese Differenz ist bei allen Objectiven von grossem Oeffnungswinkel auch für centrale Strahlen schon vorhanden, jedoch meist sehr gering; sie wird aber sehr beträchtlich für die peripherischen Strahlen ... Auch diese Classe von Farbenfehlern lässt sich zur Zeit auf

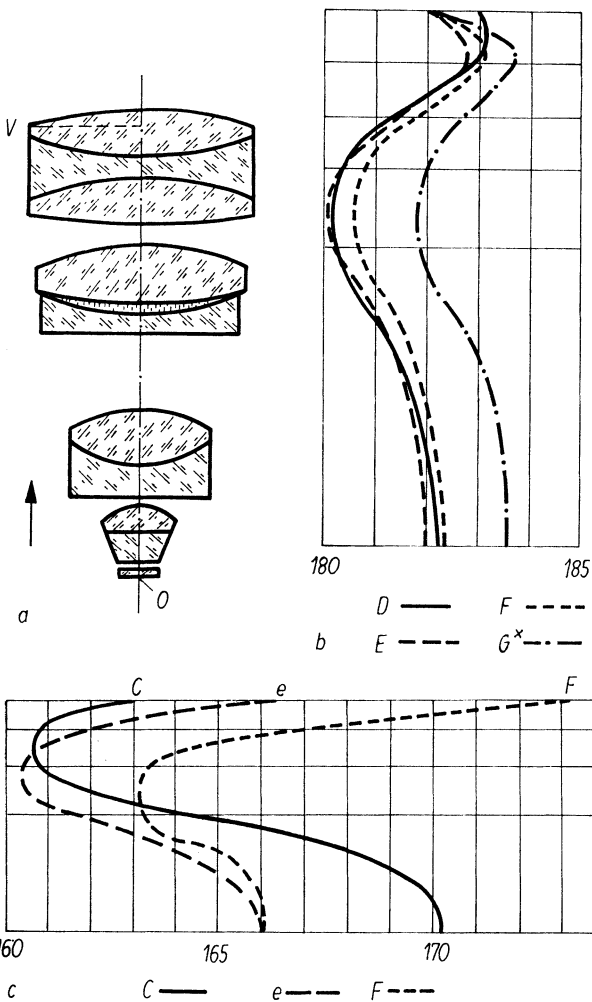
keine Weise beseitigen, weil sie – wie die chromat. Focusdifferenz zwischen Axe und Rand – in den Eigenschaften der Glassorten wurzelt. Auch sind die Unterschiede, welche die Constructionen aus verschiedenen Werkstätten zeigen, ziemlich unbedeutend. – Die Vervollkommnung des Mikroskops nach dieser Seite hin ist durchaus auf den Fortschritt der Glasschmelzekunst gestellt. [18. Brief 15. 10. 73]

Es würden mindestens zwei neue Glasarten nötig sein, die gegenüber den bisherigen ein anderes Verhalten in Brechzahl und Dispersion¹⁴ zeigen. Denn Flint- und Kronglas unterscheiden sich zwar stark in ihren Werten hinsichtlich der optischen Eigenschaften, doch gehört bei ihnen zu einer höheren Brechzahl immer eine höhere Dispersion und umgekehrt. Dagegen müßten die neuen Glasarten entweder bei einer höheren Brechzahl eine niedrigere Dispersion oder bei einer niedrigeren Brechzahl eine höhere Dispersion besitzen. Um in Ermangelung solcher Glasarten dennoch einen „Ausblick auf das Mikroskop der Zukunft zu gewinnen“, wurden von Carl Zeiß in den Jahren 1873 und 1876 zwei mühevollen und kostspieligen Mikroskopobjektive als Versuchsmuster nach Berechnungen von Abbe aufgebaut, in denen Flüssigkeitslinsen mit niedriger Brechzahl und sehr hoher Dispersion mit verwendet wurden. Abbe bezeichnete sie als „Polyopobjektive“. Im ersten Fall handelte es sich um ein Trockensystem mit 6,0 mm Brennweite und 0,83 Apertur, bei dem sich im zweitobersten Glied zwischen Kron- und Flintlinse (s. Bild 24 a) ein konvexer Flüssigkeitsmeniskus mit sammelnder Wirkung befand, der eine Mischung von Kassia- und Anisöl enthielt, und im zweiten Fall um ein Immersionssystem mit 3,0 mm Brennweite und 1,15 Apertur, bei dem reines Zimtaldehyd in den zwei obersten Gliedern benutzt wurde.

¹⁴ Die Brechzahl eines optischen Mediums ändert sich i. allg. mit der Farbe (Wellenlänge) des Lichtes. Für die Charakterisierung der Dispersion hat man verschiedene Maße. Abbe beispielsweise benutzte als „mittlere Dispersion“ die Differenz der Brechzahlen von blauem (*F*) und rotem (*C*) Licht, also $n_F - n_C$, und führte mit der Brechzahl bei gelbem Licht (*D*) – die Indizes *C*, *D*, *F* stellen Fraunhofersche Linien mit genau bezeichneten Wellenlängen

dar – eine Kennzahl $\theta = \frac{n_D - 1}{n_F - n_C}$ ein, die für die Konstruktion optischer

Systeme besonders gut angepaßt und als Abbesche Zahl in die Literatur eingegangen ist. Eine kleine Abbesche Zahl bedeutet große Dispersion und umgekehrt.



24 a Polyobjektiv von 1873 [37, S. 9]

b Gauß-Fehler – Schnittweite (Abszisse) in Abhängigkeit von der Höhe (Ordinate) (wie in Bild 11 b) an der letzten Fläche des Objektivs für verschiedene Farben: D–gelb, E–grün, F–blau und G^x–violett, von Boeghold neu berechnet für das Polyobjektiv von 1873 [37, S. 14]

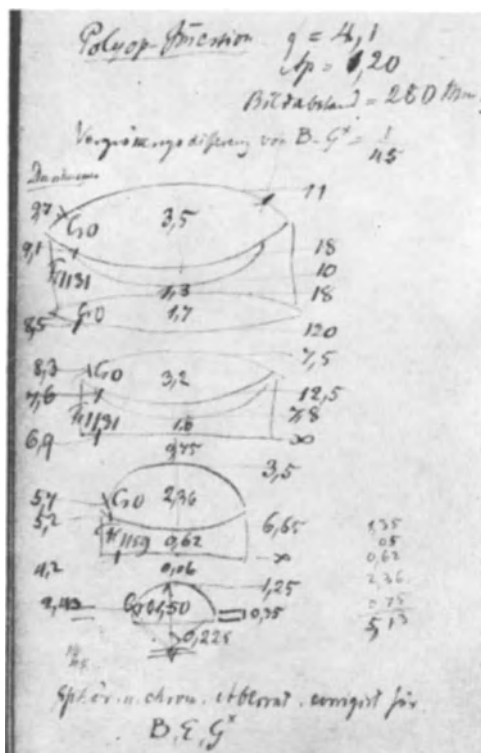
c Gauß-Fehler vom Achromaten D für die Farben: C–rot, e–grün, F–blau [37, S. 13]

Mit beiden Objektiven gelang es, die chromatische Aberration für die roten, grünen und violetten Strahlen in der Achse (und damit das sekundäre Spektrum) sowie die sphärische Aberration für die gelben und blauen Strahlen (Gauß-Fehler) zu beseitigen. Damit war gegenüber den bisherigen Achromaten jeweils eine Farbe mehr korrigiert worden. Über die ausgezeichnete Wirkung der Polyopobjektive schrieb Abbe in seiner Abhandlung „Über neue Methoden zur Verbesserung der sphärischen Korrektur, angewandt auf die Konstruktion von Objektiven grosser Apertur“ von 1879:

Sie geben fast völlig farbenfreie Bilder von den verschiedenartigsten Präparaten und mit verschiedenartigster Beleuchtung bei sehr überlegener Schärfe – sie beweisen so den großen Fortschritt in dioptrischer Wirkung, der durch eine wirklich vollendete Aufhebung der sphärischen und chromatischen Aberration erreichbar ist. [1, S. 203]

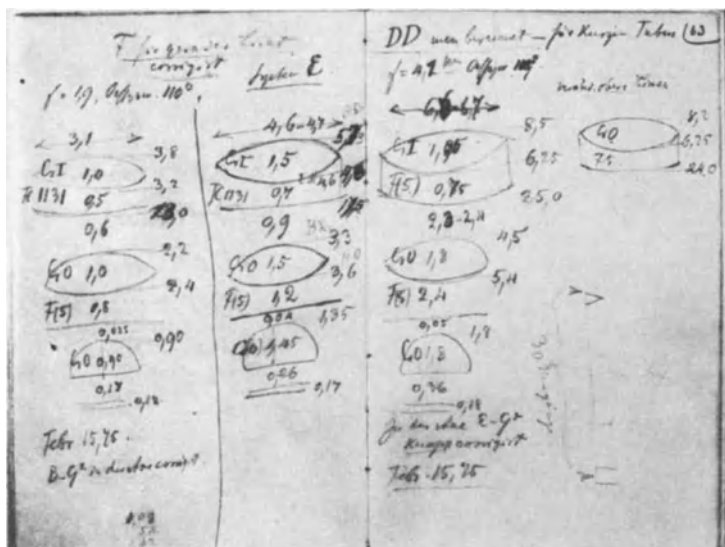
Einen genauen Einblick über die erzielte Leistung gewährt eine Ende der 30er Jahre erneut vorgenommene Durchrechnung des ersten Polyopobjektivs von Hans Boegehold, einem Mathematiker und technischen Optiker im Zeiss-Werk Jena, der u. a. ab 1935 die planachromatische und planapochromatische Mikroskopoptik schuf. Dabei stützte er sich auf Skizzen, auf Brechzahlen und Dispersionen von benutzten Gläsern und Flüssigkeiten sowie auf die Anlage der Rechnungen aus einigen der etwa 40 überlieferten Rechenhefte von Abbe. [11], [12], [14] Im Bild 24 a und b sind der Aufbau des Trockensystems und das Ergebnis der Durchrechnung für den Verlauf des Öffnungsfehlers in Abhängigkeit von der Höhe (wie im Bild 11 b) für verschiedene Farben (also der Gauß-Fehler) und im Bild 24 c der Verlauf des Gauß-Fehlers vom Achromaten D dargestellt. (Nach [37, S. 9 u. 13 f.], s. a. [61, S. 62–65].) Ein grober Vergleich der Bilder 24 b und 24 c zeigt schon, daß beim Polyopobjektiv der Bereich der Schnittweite (Abszisse) in Abhängigkeit von der Höhe (Ordinate) für die einzelnen Farben beträchtlich kleiner ist und die einzelnen Kurvenverläufe – ausgenommen die violette G^s-Linie – sich recht eng aneinander schmiegen.

Im Bild 25 geben wir eine Konstruktionsskizze eines Polyop-Immersionssystems mit 4,1 mm Brennweite, 1,20 Apertur und 280 mm Bildabstand wieder, die sich im Tagebuch von Abbe [13, S. 68] befindet, das eine Zusammenstellung von Konstruktionsskizzen und -daten sowie der zugehörigen Schleif- bzw. Polier-



25 Konstruktions-
 skizze für ein
 Polyop-Immersion-
 system um 1875
 [13, S. 68]

schalen aller in der Zeiss-Werkstätte gefertigten Objektive enthält und dessen Eintragungen sich auf Oktober 1873 bis Januar 1879 beziehen. Aus verständlichen Gründen war es für ihn so wertvoll, daß er neben seinen Namen „Dr. Ernst Abbe, Professor in Jena“ noch dazu setzte: „Der Finder erhält drei Thaler.“ Berücksichtigt man noch die Mitteilung von Boegehold, daß Abbe das neue Leichtkron aus Paris 1874 sofort in seine Rechnung einbezogen habe [37, S. 8], so kann man schließen, daß das Polyopobjektiv frühestens um diese Zeit berechnet wurde, da es in allen Gliedern das Leichtkron (Cr O) enthält. Ob das Objektiv jemals zur Ausführung gelangte oder nur als Vorversuch für das spätere Immersionssystem von 1876 diente, wissen wir nicht, da Abbe darüber nichts berichtet hat.



26 Neu berechnete Trockensysteme F, E und DD vom 15. Februar 1875 [13, S. 62 f.]

Zusammengefaßt handelt es sich bei den Polyopobjektiven um eine Vorlaufforschung, die Abbe als „Phantasie-Optik“ bezeichnete, weil Konstruktionen mit hypothetischen Gläsern diskutiert wurden, die noch gar nicht existierten. Doch einige Jahre später sollte sich diese Vorlaufforschung als äußerst nützlich erweisen. Bis dahin aber war es noch ein langer Weg. Es charakterisierte Abbe in besonderer Weise, daß er unterdessen stets bemüht war, mit den damaligen Mitteln die Objektive weiter zu vervollkommen, auch wenn der Erfolg dabei noch so bescheiden war. Dafür steht das schon erwähnte Beispiel mit der Einbeziehung des Pariser Leichtkron in seine Berechnungen. Als Beleg geben wir in Bild 26 die Konstruktionsskizzen vom 15. Februar 1875 [13, S. 62 f.] wieder, in denen die leistungsstärksten Trockensysteme DD, E und F mit CrO neu berechnet wurden. Ein anderes Beispiel stellt die homogene Immersion dar, auf die wir in einem gesonderten Abschnitt eingehen.

Politisches und Familiäres

Trotz seiner umfangreichen Lehr- und Forschungstätigkeit hatte Abbe die politischen Ereignisse mit großer Aufmerksamkeit verfolgt. Es war ja jene Zeit, in der Preußen seine Vormachtstellung in Deutschland durch „Eisen und Blut“ über den Deutsch-Dänischen Krieg (1864), den Preußisch-Österreichischen Krieg (1866) und die unter seiner Führung vorgenommene Gründung des Norddeutschen Bundes (1867), dem nördlich vom Main 22 Staaten und Freie Städte angehörten, weiter ausbaute und festigte. Schließlich wurde der deutsche Nationalstaat im Ergebnis des Deutsch-Französischen Krieges (1870/71), dem Frankreich unterlag, geschaffen. Der preußische König Wilhelm I. ließ sich am 18. Januar 1871 in Versailles zum deutschen Kaiser proklamieren. Gelegenheiten zu Diskussionen boten sich Abbe nahezu täglich durch den persönlichen Verkehr mit Karl Snell, der z. B. in den Jahren 1865 und 1866 Abgeordneter im Weimarer Landtag (des Großherzogtums Sachsen-Weimar-Eisenach) war. Auf einer außerordentlichen Landtagssitzung 1866, als es um die Verträge zur Gründung des Norddeutschen Bundes ging, hielt Snell eine Rede, die erfüllt gewesen sein soll „von glühendem Preußenhass, von Widerstreben gegen das zu gründende Bündniß und von dunklen Ahnungen von der Größe des Unheils, dem Deutschland in Folge der 66er Ereignisse entgegen gehen müsse“. [113] Und hierin fand er bei Abbe gewiß Zustimmung. Aber auch mit anderen Kollegen, mit denen sich Abbe mehr oder weniger anfreundete, tauschte er Meinungen aus. Einer von ihnen war der gleichaltrige Privatdozent für Zoologie Anton Dohrn, der später (1870/73) in Neapel eine meereszoologische Station errichtete. Beide verband bald eine enge und tiefe Freundschaft auf Lebenszeit, die sich u. a. auf gemeinsame Weltanschauung und Begeisterung für die Wissenschaft sowie ihre Pläne im Dienste für die Allgemeinheit gründete und im Vergleich zu der mit Harald Schütz ohne Sentimentalität und Überschwenglichkeit war. Bemerkenswert ist, daß Dohrn, der im Gegensatz zu Abbe aus gesicherten finanziellen Verhältnissen kam und, wie er selbst einmal schrieb, „eigentlich nur im Genuß der ästhetischen, literarisch-musikalischen, philosophisch-wissenschaftlichen Welt gelebt hatte“ (nach [35, S. 137]), sich in jener Zeit intensiv auch mit philosophischen und sozial-ökono-

mischen Schriften sowie sozialistischer Literatur beschäftigte. Zu erwähnen sind vor allem die „Geschichte des Materialismus und Kritik seiner Bedeutung in der Gegenwart“ (1866) von Friedrich Lange, einem Neukantianer und liberalen Demokraten, und „Das Kapital. Kritik der politischen Ökonomie“ (Bd. 1, 1867) von Karl Marx. Namentlich das letzte Werk, in welchem das Wesen und die Gesetzmäßigkeiten des Kapitalismus herausgearbeitet sind, sowie weitere von Dohrn nach und nach angeschaffter Schriften hatte Abbe sich von ihm ausgeliehen.

Einen nicht geringen Einfluß auf Abbe übte einer „der bedeutendsten und hochachtbarsten Führer der deutschen Sozialdemokratie“, der gleichaltige „Drechslergeselle August Bebel“ durch den gelegentlichen persönlichen Verkehr mit ihm aus. Es war vor allem eine Rede von Bebel in einer Versammlung am 9. Juni 1869 in Jena, die er in Vorbereitung auf den zwei Monate später stattfindenden Allgemeinen Sozialdemokratischen Arbeiterkongreß in Eisenach hielt, die zwar Abbes Widerspruch in den meisten Punkten hervorrief, ihm aber einen nachhaltigen Impuls gab, alle wirtschaftlichen und sozialen Vorgänge in seinem Umkreis, insbesondere an denen er selbst beteiligt war, mit dem „Bewußtsein strenger Verantwortung zu betrachten“. [3, S. 5]

Einen mehr indirekten Einblick in Abbes politische Haltung zu jener Zeit gewinnt man im Zusammenhang mit dem Wahlgeschehen zum ersten deutschen Reichstag am 3. März 1871. Karl Snell, der seitens der Sozialdemokratischen Partei als Kandidat vorgesehen war, stellte sich am 20. Februar 1871 auf einer Wahlversammlung in Apolda vor, auf der neben einigen Sozialdemokraten auch einige Sympathisanten und Freunde Snells aus Jena und Weimar teilnahmen, so auch Ernst Abbe und sein Freund Anton Dohrn. Über diese Versammlung, an der 400 bis 500 Einwohner von Apolda sich beteiligten, informierte danach ein „Wahlaufruf“, mit dem sich „das demokratische Wahlcomité“ von Apolda und Weimar am 28. Februar 1871 an die Wähler wandte. (Vgl. [73].) Erfreulicherweise konnte kürzlich bei der Durchsicht der Rechenhefte Abbes [11] ein Bericht in Form eines handschriftlichen Manuskriptes über diese Versammlung aufgefunden werden, den Abbe für die Apoldaer Einwohner geschrieben hatte. Er war jedoch weder im „Apoldaer Tageblatt“ noch in den „Blättern von der Saale“ und auch nicht in der „Weimarischen Zeitung“, wie die

unternommenen Recherchen ergaben, erschienen. Seine Überlieferung ist Abbes Eigenart zu verdanken, alle möglichen leeren Seiten von Briefen, Rechnungen, Einladungen u. dgl. – wie eben auch diesen Bericht – zu Ableitungen von Formeln und zu eigenen Berechnungen zu verwenden. Aus diesem Bericht Abbes erfährt man, daß die Versammlung unter Vorsitz von Dr. Sy durchgeführt wurde. (Dr. Hermann Antoine Sy, ein Naturforscher und Privatgelehrter in Jena, der sich vermutlich schon um diese Zeit der Sozialdemokratischen Partei angeschlossen hatte, kandidierte selbst als Abgeordneter in einem anderen Wahlbezirk.) Nach einer kurzen Ansprache von ihm hielt dann Snell eine Rede, in der er seinen politischen Standpunkt und sein Programm für eine etwaige Tätigkeit im Parlament darlegte. Als Richtschnur diente ihm vor allem das Programm der Königsberger Demokratischen Partei, das er näher erläuterte.

Es fordert von den Reichstagsabgeordneten namentlich, einzutreten für Verminderung der Militärlast, Einführung einjähr[iger] Dienstzeit und jährliche Feststellung des Militärbudgets durch die Reichsvertreter –; ferner für Einführung eines verbindlichen Ministeriums und Mitentscheidung der Volksvertretung über Krieg und Frieden, für Diätenzustellung an die Abgeordneten; – endlich für Verbesserung der Lage der arbeitenden Classe durch Einführung unentgeltlichen Unterrichts, durch gesetzliche Feststellung eines Normalarbeitstages, Verbot der Kinderarbeit in den Fabriken u. A. – [11, Heft 11 241]

Über die Erfolgsaussichten bei der Verwirklichung eines derartigen Programmes war sich Snell völlig im klaren und gab sich keinen Illusionen hin.

Er wisse vielmehr, dass er sich mit Annahme jenes Progr[ammes] einer kleinen, vielfach verketzerten und selbst verachteten Minderheit anschliesse, die im Reichstage einer übermüthigen Majorität gegenüber sei. Gewöhnt indess seit lange[m], sich mit herrschenden Ansichten in Widerspruch zu wissen, sei er für seine Person hinreichend abgehärtet gegen die Consequenzen eines solchen Verhältnisses, um sich durch Nichts an dem Eintreten für seine Ueberzeugung irre machen zu lassen. [11, Heft 11 241]

Nach einer langen und lebhaften Debatte, in der zum einen Snell die Fragen der Mitglieder der Sozialdemokratischen Partei hinsichtlich seiner „Stellung zu den Forderungen der Arbeiterpartei“ zu ihrer Zufriedenheit beantwortete und zum anderen, das „Für und Wider über den Candidaten der nationalliberalen Partei, Rechtsanwalt Fries in Weimar“ gestritten wurde, erklärten sich

die Anwesenden mit überwältigender Mehrheit (mit Ausnahme von nur 6 oder 8) für die Nominierung von Snell als Kandidaten. Soweit der Bericht Abbes.

Die Wahl selbst am 3. März 1871 ging allerdings für Snell negativ aus, der sie mit 2812 Stimmen verlor, während sein Gegenkandidat Fries 3 924 Stimmen erhielt. (Vgl. [110].)

Zusammenfassend läßt sich sagen, daß Abbe in jener Zeit von seinem liberalen und demokratischen Standpunkt aus die damaligen Forderungen und Ziele der Sozialdemokratie für den ersten deutschen Reichstag, wie sie auch von Snell vertreten wurden, voll akzeptieren konnte, ohne im entferntesten daran zu denken, selbst Sozialdemokrat zu werden. Durch seine Mitwirkung in der Optischen Werkstätte Carl Zeiss wurde er mit sozialen Problemen konfrontiert, die er in seinem sozialpolitischen Denken und Handeln immer mehr beachtete und später in der von ihm gegründeten Carl-Zeiss-Stiftung mit abzubauen trachtete.

Die freundschaftlichen und engen persönlichen Beziehungen, die sich zwischen Abbe und Snell schon lange herausgebildet hatten, sollten sich noch nach einer anderen Richtung hin entwickeln. Durch den ständigen Verkehr Abbes im Hause von Snell entstand im Laufe der Zeit zwischen ihm und dessen dritten und jüngsten Tochter Elise eine innige Zuneigung. Elise Snell, knapp 5 Jahre jünger als Ernst Abbe, war während ihrer Jugendzeit in England in Stellung gewesen und hatte sich dort viel an Welt- und Menschenkenntnissen erworben. Nachdem der Vater Mitte der 60er Jahre die zweite Ehefrau – es war die Schwester ihrer Mutter – ebenfalls durch den Tod verlor, stand sie dem Haushalt vor. Sie hatte schon lange Ernst Abbe in ihr Herz geschlossen. Von ihr gingen auch die Ermutigungen zum Bewußtwerden ihrer gegenseitigen Liebe aus. Am 28. Juni 1870 verlobten sie sich und setzten die Hochzeit für den Spätsommer 1871 fest. Als Freidenker lehnte Abbe jedoch eine kirchliche Trauung ab, während sie für den Schwiegervater Snell unumstößlich war. Ein ernster Konflikt schien sich anzubahnen, der aber mit Würde und in schriftlicher Form (von Auerbach [35, S. 153–160] wiedergegeben) ausgetragen wurde. Am 24. September 1871 – knapp zwei Wochen nach dem relativen Abschluß der Berechnungen der Mikroskopobjektive – fand die Eheschließung ohne kirchliche Trauung auf dem Kreisgericht in Jena statt. Gefeierte wurde im engsten Kreise.



27 Jugendbild von
Elise Snell, der
späteren Frau von
Ernst Abbe

Die Hochzeitsreise führte zunächst nach Eisenach und von da aus über Frankfurt a. M., Nürnberg, München nach Traunstein in Oberbayern zu seinem Freund und einstigen alten ego Harald Schütz, den er in den letzten 6 Jahren vernachlässigt hatte.

Das junge Paar lebte dann gemeinsam mit Snell in dessen Haus recht glücklich und in harmonischer Eintracht mit ihm. Noch größer wurde das Glück, als am 18. November 1872 Abbes erste Tochter Margarete und am 30. April 1874 die zweite Tochter Paula geboren wurden. Aber schon zu Beginn des folgenden Jahres brach das Unglück über die Familie Abbes herein. Die beiden Kinder, darauf die Frau und schließlich er selbst erkrankten am schwersten Typhus, was alle glücklicherweise überstanden hatten. Durch den Ausfall von etwa einem Vierteljahr kam Abbe in finanzielle Schwierigkeiten, die aber durch den jährlichen Zuschuß der Universität (s. S. 41), wie sein Dankschreiben an den Kurator Seebeck zeigt (vgl. [35, S. 164 f.]), wieder behoben wurden.

Teilhhaber der Zeiss-Werkstätte

Die Umstände haben es mit sich gebracht – was ich als Student mir nicht hätte träumen lassen – daß ich selbst ‚Unternehmer‘ geworden bin, nämlich einer, der die gewerbliche Tätigkeit von vielen andern Personen, zuerst von 20, dann von 100 und zuletzt von 500, in den Formen gemeinsamer fabrikatorischer Arbeit mit zu organisieren und zu leiten hatte . . .“

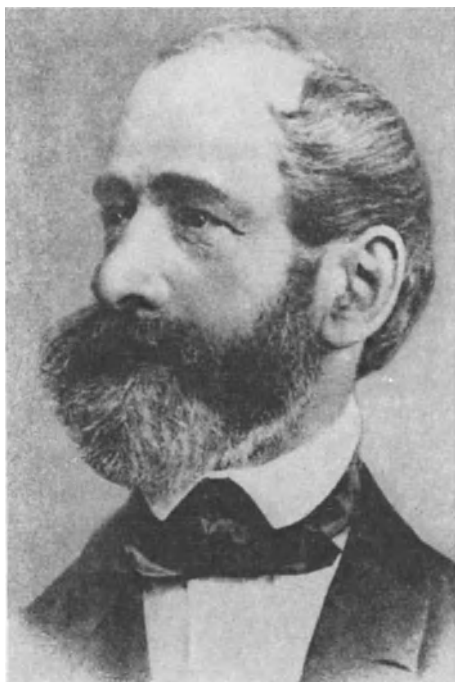
Ernst Abbe. März 1894 [3. S. 4]

Gesellschaftsvertrag und Lehrtätigkeit

Für Abbe war es eine freudige Überraschung, als ihm Carl Zeiß 1872 eröffnete, daß mit seinen neu berechneten Objektiven ein großer Erfolg erreicht worden sei und sein Anteil an den verkauften Mikroskopen im Vorjahr entsprechend den getroffenen Vereinbarungen 800 Taler betrage, der im nächsten Jahr noch höher ausfallen würde. Darüber sagte Abbe später einmal:

Ich habe damals geglaubt, es hätte „ein Affe mich geleck“ – so verwundert war ich über den unerwarteten Erfolg meiner langen mühsamen Tätigkeit, von der ich mir niemals einen hohen wirtschaftlichen Gewinn versprochen hatte. [3. S. 138]

Im Frühjahr 1875 wandte sich Abbe, als er infolge der schon im vorigen Abschnitt erwähnten Krankheit seiner Familie in finanzielle Schwierigkeiten geraten war, an Carl Zeiß mit dem Vorschlag, einen Teil seines Honorars schon im laufenden und nicht erst nach Ende des Geschäftsjahres zu erhalten. Als Honorar wünschte er wie bisher ca. $\frac{1}{3}$ vom Reingewinn der Werkstätte. Zeiß seinerseits hielt die Zeit für gekommen, das Verhältnis beider neu zu regeln. Galt es doch, Abbes Tätigkeit, die sich so außerordentlich fruchtbar und erfolgreich in der Werkstätte ausgewirkt hat, auch weiterhin zu sichern. Daher ging er über den Vorschlag Abbes hinaus und bot ihm am 19. Mai 1875 an, stiller Teilhaber bei $\frac{1}{3}$ Reingewinn des ganzen Geschäftes, das neben der optischen Werkstätte noch das Handelsgeschäft umfaßte, zu werden. Abbe nahm das Angebot an. Die Verhandlungen über die einzelnen Modalitäten zogen sich allerdings in die Länge, so daß der Vertrag erst am 22. Juli 1876 abgeschlossen werden konnte. Die Gültigkeit des Vertrages wurde auf den 15. Mai 1875 zurückdatiert und war bis 1890 vorgesehen. Sie sollte aber unbe-



28 Carl Zeiß
um 1875

grenzt fort dauern, wenn er nicht zwei Jahre zuvor gekündigt werden würde. Der Wert des gesamten Geschäftes am 15. Mai 1875 betrug 66 713,36 M. Abbe hatte davon die Hälfte als Vermögenseinlage einzuzahlen, und zwar 11 TM sofort – die er sich erst bei Verwandten und einer Bekannten zusammenborgen mußte –, den Rest bis 1885. Am Reingewinn wurde er bis 1885 mit 40 % beteiligt. Bei dieser Regelung, die auch ein Ausdruck des freundschaftlichen Verhältnisses zwischen beiden war, konnte Abbe jederzeit seine stille Teilhaberschaft – durch eine Eintragung im Handelsregister – in eine offene umwandeln, wovon er keinen Gebrauch machte.

Beide Partner verpflichteten sich, im gleichen Umfang und mit gleicher Intensität wie bislang sich dem Unternehmen zu widmen. Für Abbe bedeutete dies u. a., daß er seine Lehrtätigkeit über den bisherigen Umfang nicht auszudehnen und auch keinen Ruf als ordentlicher Professor anzunehmen hatte, der ja i. allg. mit einer

Mehrbelastung nicht nur in der Lehre und im Prüfungswesen, sondern auch in der Erledigung von Amtsgeschäften innerhalb der Philosophischen Fakultät verbunden war. Alle seine Arbeitsergebnisse in Form von Berechnungen, Konstruktionen, Erfindungen, Methoden u. dgl. galten als Eigentum und als Geschäftsgeheimnis der Gesellschaft und wurden nicht extra vergütet. Ihre Verwertung hatte zum ausschließlichen Nutzen der Gesellschaft zu erfolgen. Die theoretischen Untersuchungen Abbes waren allerdings von dieser Regelung ausgenommen. Über sie konnte er wie bisher nach Belieben veröffentlichen. (Vgl. Vertragseinzelheiten in [35, S. 218 ff.].)

Durch die Partnerschaft mit Zeiß erhielt Abbe die Möglichkeit, noch stärker als bisher Einfluß auf die Entwicklung der Zeiss-Werkstätte nach seinen Vorstellungen zu nehmen. Daran änderte sich auch nichts, als der Sohn von Carl Zeiß, Dr. med. Roderich Zeiß, im Herbst 1876 als Mitarbeiter und am 11. Oktober 1879 als offener Gesellschafter hinzukam, um die kaufmännische Geschäftsführung auf eine solide Basis zu stellen. Die dazu erforderlichen Grundlagen hatte er während seines Aufenthaltes 1875/76 bei der befreundeten Firma Emil Busch in Rathenow erworben. Doch andererseits mußte Abbe dafür auf eine weitere Karriere als Hochschullehrer verzichten. Es gab nur eine Situation, in der ihm dieser Verzicht nicht leicht fiel, nämlich als Hermann Helmholtz im Mai 1878 nach Jena gekommen war, um ihn für eine Spezialprofessur für Optik und als Abteilungsvorsteher im gerade gegründeten Physikalischen Institut der Berliner Universität zu gewinnen. Das Angebot war verlockend und ihm geradezu auf den Leib geschnitten. Doch er mußte es „mit schwerem Herzen“ ablehnen. Um so leichter sei es ihm dann gefallen, wie er an seinem Freund Anton Dohrn schrieb, den Antrag der Jenaer Universität als Ordinarius abzulehnen. Und so habe man ihn „denn definitiv und in aller Form als Honorarprofessor in das eiserne Inventar der Universität eingereiht“. (Nach [35, S. 210].)

Die Lehrtätigkeit Abbes umfaßte – abgesehen von einer Vorlesung 1897/98 über „Diffraktion des Lichts“ einen Zeitraum von rund 30 Jahren (1863–1892), in welchem er insgesamt knapp 120 Lehrveranstaltungen durchführte, was im Mittel zwei Lehrveranstaltungen pro Semester bedeutet. Sie betrafen, wie schon während seiner Anfangszeit als Hochschullehrer, die Gebiete der

experimentellen und theoretischen Physik sowie der reinen Mathematik. Ab 1875 zog sich Abbe von den mathematischen Vorlesungen gänzlich zurück. Sie wurden von seinem 8 Jahre jüngeren Kollegen Gottlob Frege übernommen, der gleich ihm in Jena und Göttingen studiert und promoviert (1873) hatte und 1874 Privatdozent an der Universität Jena geworden war. Dafür hielt er ab 1874 eine neue Vorlesung, die seine Forschungsergebnisse in technischer und physikalischer Optik berücksichtigte. Es handelt sich um die Vorlesung „Dioptrik und Theorie der optischen Instrumente“, die er bis 1891 insgesamt 10mal durchführte. Aus ihr ging 1893 das von seinem wissenschaftlichen Mitarbeiter Siegfried Czapski erarbeitete umfassende Buch der technischen Optik [6] hervor. Noch ein weiteres Lehrgebiet sollte Abbe bald übernehmen, die Astronomie. Mit ihr hatte er sich ja als Schüler in Eisenach und dann nach dem Studium in Göttingen recht intensiv sowie etwas am Rande in Frankfurt am Main beschäftigt.

Auf Veranlassung des Kurators der Universität übernahm er 1877 das verwaiste Direktorat der Sternwarte. Im Zusammenhang damit bezog er 1878 die dortige Wohnung für die nächsten 8 Jahre. führte astronomische Vorlesungen u. a. „Über Zeit- und geographische Ortsbestimmung“ durch und gab „Anleitungen zu astronomischen Beobachtungen“. (Vgl. [64, S. 56 f.]) Von den drei kleineren astronomischen Abhandlungen, die er 1879, 1891 und 1894 veröffentlichte, scheint die erste „Über die Bestimmung von Zeit und Polhöhe aus Beobachtungen in Höhenparallelen“ [2. S. 180–189] aus diesen Vorlesungen hervorgegangen zu sein.

Die zusätzlichen Belastungen durch die Astronomie waren vermutlich auch der Grund dafür, daß Abbe in jener Zeit sich nicht mehr aktiv in der Mathematischen Gesellschaft beteiligte, in der er seit seiner Studienzeit bis 1877 insgesamt 30 Vorträge (vgl. [48]) hielt. Themen der letzten Vorträge (1876/77) betrafen die

- Bedingungen der Achromasie optischer Instrumente, wobei vor allem der „Unterschied zwischen Achromasie in der Lage des Bildes und Achromasie in der Vergrößerung der Bilder“ erläutert und letztere anhand der Huygensschen und Ramsdenschen Okulare diskutiert wurde [34, Bd. 18, S. 5953];
- Neubegründung des metrischen Maßsystems durch die Arbeiten der „internationalen Meter-Commission“ in den Jahren 1870/75 [34, Bd. 18, S. 5997];

- Interferenzen des gebeugten Lichtes, die bei optischen Instrumenten, vor allem beim Mikroskop, eine wichtige Rolle spielen [34, Bd. 18, S. 6084 f.], und schließlich
- „Gedächtnisrede auf C. F. Gauss zur Feier von dessen 100jährigen Geburtstag“ [34, Bd. 18, S. 6159] am 28. April 1877, auf einer Versammlung, die für die Mathematische Gesellschaft zugleich die 700. war. Unter den 135 Festteilnehmern befanden sich auch Karl Snell, Abbes Freund Ludwig Pfeiffer aus Weimar, Carl und Sohn Roderich Zeiß sowie der Optiker August Löber. (Vgl. [34, Bd. 18, S. 6151 ff.] .)

Als 1878 Karl Snell für längere Zeit durch Krankheit ausfiel, mußte Abbe die Fakultätsgeschäfte vertretungsweise übernehmen. Allein zwischen Juli 1878 und August 1879 wirkte er bei 25 Promotionsverfahren als Gutachter und/oder Prüfer mit, was knapp die Hälfte aller Verfahren bedeutete, an denen er überhaupt beteiligt war. Unter den 25 Promovenden befanden sich drei Hörer von ihm, die optische Themen bearbeitet hatten, und zwar zwei von ihnen zur Beugung des Lichtes und einer zur Achromasie von Linsensystemen.

In jene Zeit fällt die Berufung von Gottlob Frege als außerordentlicher Professor an die Universität Jena, für die Abbe das Gutachten verfaßte. Dabei ging er auch auf die von Frege kurz vorher erschienene „Begriffsschrift, eine der arithmetischen nachgebildete Formelsprache des reinen Denkens“ ein. Er hielt sie nicht gerade für ein glückliches wissenschaftliches Debüt seines Kollegen, weil ihr eigenartiger Ideenkreis vermutlich nur von wenigen verstanden und gewürdigt werden würde. Auch er selbst konnte kein Urteil über Bedeutung und Tragweite der Schrift abgeben. Aber unabhängig davon hob er die Art hervor, wie die abstraktesten logischen und mathematischen Probleme gefaßt und diskutiert wurden, die „durchweg das Gepräge originaler Forschung trägt und eine nicht gewöhnliche geistige Kraft verrät“. (Nach [64, S. 27].) Für Abbe ist kennzeichnend, daß er auch später die Arbeiten Freges förderte. Insbesondere erwirkte er 1896 dessen Berufung zum ordentlichen Honorarprofessor, wobei er die dafür nötigen Mittel über die Carl-Zeiss-Stiftung zur Verfügung stellte. Anzumerken bleibt noch, daß die „Begriffsschrift“, mit der die Entwicklung der klassischen zweiwertigen Logik eingeleitet wurde, ihre volle wissenschaftliche Anerkennung erst

lange nach dem Tode Freges erfahren hat und für die heutige Automatentheorie von großer Bedeutung ist. (Vgl. z. B. [98].)

Im Rahmen der Fakultätsgeschäfte mußte sich Abbe mit einer weiteren Problematik beschäftigen, mit der Trennung der beiden Lehrgebiete Mathematik und Physik. Beide Gebiete waren Anfang des 19. Jahrhunderts zu einem Ordinariat vereinigt worden, was man schon damals als abnorm empfand. Verschiedene Bemühungen, diese Zusammenlegung wieder rückgängig zu machen, blieben erfolglos. Nun war die Zeit gekommen, das Problem erneut auf die Tagesordnung zu setzen. Der Ordinarius Karl Snell, inzwischen schon 73jährig, sah sich nach Genesung von seiner Krankheit nicht mehr in der Lage, beide Fachgebiete bei einer stetig zunehmenden Zahl von Studierenden zu betreuen. Zunächst wurde eine Teillösung herbeigeführt, indem man noch 1879 ein eigenständiges Ordinariat für Mathematik errichtete und es mit dem Mathematiker Johannes Thomae besetzte. Dieser gründete sofort ein mathematisches Seminar, das er gemeinsam mit Frege leitete.

Als nächstes galt es, die Nachfolge von Snell zu lösen. Dafür kamen weder Abbe, aus den oben schon genannten Gründen, noch Hermann Schaeffer, der sich nur der Lehre verschrieben hatte, in Frage. Andererseits war es recht schwierig, einen geeigneten Physiker von außerhalb zu gewinnen, ohne ihm ein Institut zur Verfügung oder wenigstens in naher Zukunft in Aussicht zu stellen. Es war die Gründerzeit der physikalischen Institute, die die bisherigen physikalischen Kabinette, die im wesentlichen nur Sammlungsräume von Apparaten und Instrumenten darstellten, ablösten. Sie waren den gestiegenen Anforderungen in Lehre und Forschung nicht mehr gewachsen. Die Natur- und Technikwissenschaften, die in ihrer stürmischen Entwicklung bereits zu einem selbständigen Faktor des kapitalistischen Produktionsprozesses geworden waren, drängten zu einer qualitativ höheren Stufe ihrer Institutionalisierung. Das wurde auch von der Weimarer Regierung erkannt, die spätestens 1880 Abbe beauftragte, die Grundgedanken für ein derartiges Institut zu entwerfen und einen Kostenanschlag für die innere Ausstattung auszuarbeiten. Trotz sparsamster Planung der Mittel waren 70 TM für den Bau und 20 TM für die innere Einrichtung notwendig. Dabei verzichtete Abbe u. a. bewußt auf eine Ausstattung mit elektrischem Licht, die für Laboratoriumsarbeiten und Demonstrationen so wichtig gewe-

sen wäre, die aber weitere 4 TM gekostet hätte. In den folgenden Jahren wurde das Physikalische Institut erbaut und am 3. Mai 1884 eingeweiht. Der Direktor des Instituts, Leonhard Sohncke, hatte bereits ein Jahr zuvor das Ordinariat für Physik übernommen. Vermutlich im Zusammenhang mit der Einweihungsfeier steht die Auszeichnung Abbes mit dem „Ritterkreuz erster Abtheilung Höchst ihres Hausordens“ (der Wachsamkeit oder vom weißen Falken), die er laut Tagespresse [93], [111] erhalten hatte.

Anerkennung der Abbeschen Mikroskoptheorie

Die Abbesche Theorie des Mikroskops und der mikroskopischen Wahrnehmung lag 1873 nur in einer gedrängten Übersicht der Untersuchungsergebnisse vor. Eine detaillierte Mitteilung darüber wollte Abbe in einem ausführlichen Aufsatz bald folgen lassen, was jedoch nicht geschah. Sein Ziel dabei war, diese Theorie zu vervollständigen und abzurunden, sie vor allem aus optischen Prinzipien und Gesetzen herzuleiten. Offensichtlich waren die theoretischen Schwierigkeiten viel größer, als daß er sie bei den umfangreichen und stetig wachsenden Aufgaben in der Werkstätte so hätte nebenbei überwinden können. Auch auf spätere Ankündigungen hin, daß seine Theorie demnächst in vollständiger Begründung gedruckt vorliegen werde, wartete die Fachwelt vergebens. Der ursprüngliche Wirkungs- und Verantwortungsbereich war ja durch die Teilhaberschaft an der optischen Werkstätte inzwischen bedeutend erweitert worden.

Die Verdienste Abbes um die Mikroskopie wurden erstmalig 1873 von außerhalb gewürdigt, als man ihn am 1. Dezember zum Mitglied der Kaiserlichen Leopoldinisch-Carolinischen Deutschen Akademie der Naturforscher berief, die damals ihren Sitz noch in Dresden hatte, bis sie 1878 nach Halle übersiedelte. Näheres über seine Mitwirkung in der „Leopoldina“ ist allerdings nicht bekannt. (Vgl. [43, S. 20 f.], [109].)

Mit der Zeit akzeptierten die Fachleute mehr und mehr seine Leistungen. Es mag Abbe besonders gefreut haben, als seine Abhandlung über die Theorie des Mikroskopes [1, S. 45–100] 1875 in englischer und 1877 in französischer Sprache erschien. 1874/75 kam der russische Histologe und Physiologe Alexander Babuchin,

Begründer der Moskauer Schule für Histologen und Bakteriologen, nach Jena, um Abbes Theorie und Experimente näher kennenzulernen. Er hatte sie dann in Moskau unter besonderer Berücksichtigung des Baues der Muskelfaser in sieben Vorlesungen im jeweils überfüllten Auditorium vor Studenten, Ärzten und einigen Professoren demonstriert. (Vgl. [19, Brief 8. 7. 75].)

Eine mehr indirekte Anerkennung erhielt Abbe 1876, als ihn das preußische Kultusministerium beauftragte – zusammen mit 10 weiteren Experten –, von Mitte August bis Anfang Oktober desselben Jahres die internationale Ausstellung in London zu besuchen, um über die wissenschaftlichen Apparate im South-Kensington Museum zu berichten. (Vgl. [61, S. 89].) Dort konnte er die zahlreich ausgestellten Mikroskope und deren Hilfsapparate aus England und Deutschland, einige wenige aus Frankreich und den USA vergleichen und insbesondere die beigegebenen Objektive gründlich überprüfen. Dabei wurde er in seiner Erkenntnis bestärkt, daß die Entwicklung der Mikroskopobjektive seit den letzten zwei Jahrzehnten einen Stand erreicht hatte, von dem aus zwar kleinere, aber keine prinzipiell bedeutsamen neuen Fortschritte möglich sind. Das zeigt sich auch bei den stärksten Objektiven, namentlich bei der Wasser-Immersion, der verschiedensten Werkstätten in den verschiedensten Ländern, die kaum nennenswerte Unterschiede aufwiesen. Abbes fundamentale Formel der Auflösung eines mikroskopischen Objektes (s. S. 67) gibt ja eine natürliche, unüberwindliche Schranke an. Im Zusammenhang mit der Diskussion über die durch die Lichtwellenlänge und numerische Apertur bestimmte Schranke gelangte Abbe zu einer bedeutenden, weit in die Zukunft weisenden Prognose:

Es bleibt natürlich der Trost, dass zwischen Himmel und Erde noch so Manches ist, von dem sich unser Unverstand nichts träumen lässt. Vielleicht, dass es in der Zukunft dem menschlichen Geist gelingt, sich noch Prozesse und Kräfte dienstbar zu machen, welche auf ganz anderen Wegen die Schranken überschreiten lassen, welche uns jetzt als unübersteiglich erscheinen müssen. Das ist auch mein Gedanke. Nur glaube ich, dass diejenigen Werkzeuge, welche dereinst vielleicht unsere Sinne in der Erforschung der letzten Elemente der Körperwelt wirksamer, als die heutigen Mikroskope unterstützen, mit diesen kaum etwas Anderes als den Namen gemeinsam haben werden. [1, S. 152]

Anzumerken ist, daß die von Abbe für das Lichtmikroskop abgeleitete Formel für alle Arten von Mikroskopen, also auch für

die um 1930 beginnende Entwicklung des Elektronenmikroskops, gültig ist. Darüber hinaus schließt sie von der Struktur her auch die Braggsche Gleichung der Beugung von Röntgenstrahlen mit ein und gestattet damit, in atomare Bereiche vorzudringen. Ja, sie bestimmt sogar die Möglichkeiten und Grenzen der Leistungsfähigkeit von Teilchen-Beschleunigern und damit „die Grenze der Erkennbarkeit geometrischer Strukturen, d. h. der Struktur von Elementarteilchen . . ., die durch das technologische Können und das ökonomische Potential gegeben ist“. [65, S. 170]

Während seines Londoner Aufenthaltes lernte Abbe einige bedeutende englische Mikroskopiker und Mikroskop-Liebhaber kennen, die zumeist Mitglieder der Gelehrtenengesellschaft „Royal Microscopical Society“ waren. Diese Gesellschaft, die zur Förderung der Mikroskopie und Biologie bereits 1839 gegründet wurde, wählte Abbe am 1. Mai 1878 zu ihrem Ehrenmitglied, zum „Honorary Fellow of Royal Microscopical Society“. Für ihre Sitzungen verfaßte er zwischen 1877 und 1889 insgesamt 9 Beiträge, die in ihrem Journal erschienen und in der Rückübersetzung ins Deutsche in [1] wiedergegeben sind. Darunter befindet sich auch der Beitrag „Über neue Methoden zur Verbesserung der sphärischen Korrektur, angewandt auf die Konstruktion von Objektiven grosser Apertur“ [1, S. 196–212], den er während seines zweiten Aufenthaltes in London am 11. Juni 1879 selbst verlas. (Vgl. [61, S. 46], [43, S. 24].) In ihm wurden u. a. die schon (auf S. 79 f.) erwähnten Polyobjektiven und die Systeme homogener Immersion, worauf im nächsten Abschnitt näher eingegangen wird, vorgestellt. Hier in England fand Abbe (neben Jena) das eigentliche Publikum, das an seinen Forschungsergebnissen regen Anteil nahm und von dem er, wie im Fall der homogenen Immersion, wertvolle Impulse erhielt.

In Ergänzung zu seiner Theorie ließ Abbe eine Preisaufgabe von zwei seiner früheren Hörer bearbeiten. Einer von ihnen erhielt 1878 für die Lösung nicht nur den Preis, sondern auch die Doktorwürde. In der Preisschrift [80] wurden für Strich- und Kreuzgitter von 90° und 60° , die als Objekte dienten, die mikroskopischen Bilder berechnet, die sich „bei gewisser Art der Begrenzung ihres Beugungsspektrums in der Oeffnung des abbildenden Systems“ [10] ergeben müssen. Der Vergleich zwischen den berechneten und den wirklich beobachteten Bildern ergab eine

genaue Übereinstimmung. Für Abbe war dies eine „gencrelle Bestätigung“ seiner Mikroskoptheorie. Daher muß es ihn sehr hart getroffen haben, als sie 1880 von R. Altmann, Assistent an der Anatomischen Anstalt in Leipzig, heftig attackiert wurde. Altmann lehnte u. a. die Beugungs- und Interferenzwirkung des Lichtes für die mikroskopische Abbildung als sonderbar und als nicht notwendig ab. Für ihn war die Brechung des Lichtes an den Objektelementen maßgeblich. Zwar konnte er nicht umhin, eine beschränkte Gültigkeit der Abbeschen Lehre bei den Gitterpräparaten einzuräumen, wandte sich aber entschieden gegen eine Übertragung der Gittererscheinung auf das Bild der mikroskopischen Objekte. [72] Nachdem Abbe diese Angriffe bekannt wurden, nahm er in einer Sitzung der Jenaer Medizinisch-Naturwissenschaftlichen Gesellschaft am 23. Juli 1880 in scharfer Form sofort dazu Stellung. Er widerlegte nicht nur die Behauptung Altmanns, sondern gab noch einen Überblick zur theoretischen Begründung der Mikroskoptheorie. Zum Abdruck war dann später nur der polemische Teil – „Ueber die Grenzen der geometrischen Optik. Mit Vorbemerkungen über die Abhandlung ‚Zur Thorie der Bilderzeugung‘ von Dr. R. Altmann“ [1, S. 273–312] –, nicht aber der Überblick, abgesehen von einem kurzen Resümee, gekommen, der als selbständige Schrift erscheinen sollte. Tatsächlich wurden auch einige Bogen dieser Schrift gedruckt und an Freunde verschickt, sie wurde jedoch nicht vollendet. (Vgl. [69].)

Zum Zeitpunkt der Polemik Altmanns hielt sich gerade Babuchin in Leipzig auf, der Anfang 1881 Abbe bat, den im vergangenen Sommer angefangenen Artikel doch bald zu Ende zu bringen.

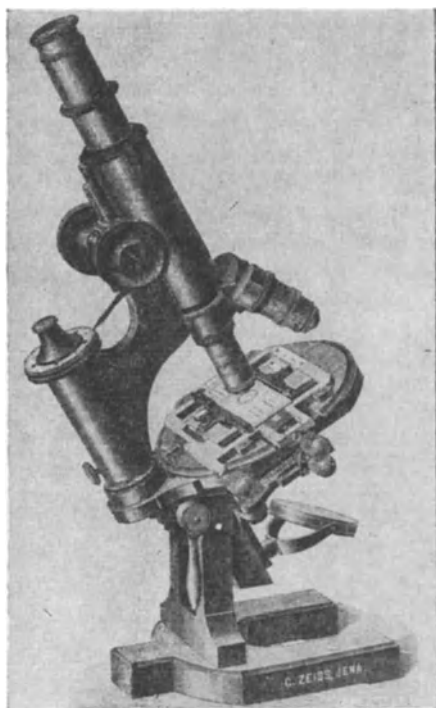
Denn von einer Seite erwartet das Publicum schon lange, daß Sie Ihre Anschauungen in größerem Zusammenhang publicieren. Von anderer Seite drückte sich Altmann so aus, daß Sie Ihr[en] Artikel nie fortsetzen werden, denn Sie hätten nichts weiter zu veröffentlichen . . . Es wäre sehr unangenehm, wenn Sie mit Ihrer Verzögerung der Prophezeiung Altmanns zu Hilfe kommen. Ich wollte Ihnen Nichts darüber sagen, aber mein Gefühl der Gerechtigkeit sammt unseren freundschaftlichen Verhältnissen haben mich dazu gezwungen. [19. Brief 30. 1. 81]

Neben den schon genannten vielen Aufgaben, zu denen noch eine intensive Gemeinschaftsarbeit mit Otto Schott (s. gesonderten Abschnitt) hinzukam, fand Abbe offensichtlich nicht die notwendige Muße, die Mikroskoptheorie vollständig darzustellen. Seit

Anfang 1879 pflegte er mit Leopold Dippel eine rege Korrespondenz, um ihn über seine Ergebnisse ausführlich zu unterrichten. Dippel, der damals die 2. Auflage seines 1872 erschienenen Werkes vorbereitete, war bestrebt,

Abbe's bahnbrechende Theorie des Mikroskopes und der mikroskopischen Bilderzeugung, sowie dessen umfassende neue Methoden zur Ermittlung und Prüfung der Hauptfactoren des optischen Vermögens . . . der Systeme, sowohl dem Mikroskopiker von Beruf, als den weiteren Kreisen der Freunde des Mikroskops und der Mikroskopie zugänglich zu machen. [79, S. V]

Hierbei war er auf die Unterstützung Abbes angewiesen, die dieser ihm auch rückhaltlos gewährte. Dippel trug damals mit seinem Werk wesentlich zur Popularisierung der Abbeschen Mikroskoptheorie bei. Seit ihrer ersten Veröffentlichung waren inzwischen knapp 10 Jahre vergangen, bis sie allseits anerkannt wurde. Daher mag es für Abbe eine unerwartete Freude und große Genugtuung



29 Großes Hufeisenstativ Iª mit beweglichem Objektisch [21, Nr. 28, 1889, S. 31]

gewesen sein, als er anlässlich der Feierlichkeiten zum 400. Geburtstag von Martin Luther von der Medizinischen Fakultät der Vereinigten Friedrichs-Universität Halle-Wittenberg am 10. November 1883 „wegen seiner hervorragenden Verdienste um die Theorie und Anwendbarkeit des Mikroskops zum Ehren-Doctor der Medicin“ ernannt wurde. [23], [24], [68]

In diesem Zusammenhang kann man Moritz von Rohr nicht zustimmen, wenn er behauptet, daß derartige Ehrungen „Abben offensichtlich kalt gelassen“ haben. [59, S. 257] Das Dankschreiben Abbes vom 15. November 1883 an den Dekan der Medizinischen Fakultät in Halle spricht deutlich eine andere Sprache, indem es u. a. heißt:

... ich freue mich über diese Anerkennung um so mehr, als ja die Hingabe an jene Bestrebungen, welche ich seit lange[m] als meine Lebensaufgabe betrachte, naturgemäss verbunden ist mit der Verzichtleistung auf andere wissenschaftliche Pläne und auf manche Ehren, welche dem Gelehrten sonst offen stehen. [24, Bl. 41]

Homogene Immersion

Das bisher erreichte Leistungsvermögen der stärksten Mikroskopobjektive, der Wasser-Immersion, konnte auf der Grundlage der beiden vorhandenen Glasarten Flint und Kron mit der Einführung der homogenen Immersion in Jena 1878 weiter gesteigert werden. Anstelle des Wassers wird eine stärker brechende Flüssigkeit (Öl) zwischen jeweils aus Kronglas bestehenden Deckgläschen und Frontlinse des Objektivs gebracht, die nahezu die gleiche Brechzahl und Dispersion wie das Kronglas besitzt. Damit wird eine optisch-homogene Verbindung zwischen Präparat und Objektiv hergestellt, von der sich die Bezeichnung „homogene Immersion“ ableitet.

Die Anwendung einer entsprechenden Immersionsflüssigkeit hatte bereits der Erfinder der Wasser-Immersion, Giovanni Battista Amici, versucht, indem er z. B. Anisöl benutzte. Andere verwendeten in späteren Versuchen Glyzerin, wobei es dem amerikanischen Optiker Spencer gelang, Objektive mit ausgezeichneter Qualität herzustellen. Für Pieter Harting war es noch ein großes Wagnis, wenn kostspielige Linsensysteme mit öligen Flüssigkeiten

in Berührung gebracht würden, die letztlich nur durch Alkohole und Äther beseitigt werden könnten. Eine Gefahr sah er für die achromatischen Doppellinsen, die ja mit Canadabalsam verkittet sind. Aber auch für den üblichen Fall, daß die Frontlinse nur aus einer einfachen Kronglaslinse besteht und ihr Eintauchen in Öl weniger gefahrbringend sei, bezweifelte er, „dass Oelimmersions-systeme jemals in allgemeineren Gebrauch kommen dürften“. [87, Bd. 1., S. 161] Zu einer ähnlichen Schlußfolgerung kam später Abbe, weil er zunächst glaubte, daß die Anwendung der homogenen Immersion auf ein allzu kleines Gebiet beschränkt sei. Es war dann der englische Mikroskop-Liebhaber John Ware Stephenson aus London, der den Vorteil der homogenen Immersion vor allem im Wegfall einer Deckglas-Korrektion und in der möglichen Vergrößerung des Öffnungswinkels und damit verbundenen in der Steigerung des Auflösungsvermögens sah. Hierdurch wurde Abbe angeregt, wie er im Vortrag am 10. Januar 1879 in Jena „Ueber Stephenson's System der homogenen Immersion bei Mikroskop-Objektiven“ [1, S. 181–195] hervorhob, entsprechende Systeme zu berechnen und in der Zeiss-Werkstätte fertigen zu lassen.

In einem der Rechenhefte Abbes [11, Heft 11 237, S. 159] befindet sich die Konstruktionsskizze für eine Öl-Immersion mit der Brennweite 2,5 mm und der numerischen Apertur 1,25 vom 24. November 1877, die für den englischen Tubus berechnet wurde. Das Objektiv bestand aus 4 Gliedern, den zwei achromatischen Doppellinsen und der untersten Frontlinse mit einer dicht darüber befindlichen zweiten einfachen Kronglaslinse. Dieser Konstruktionstypus lag auch bei den anderen Objektiven mit kürzerer Brennweite zugrunde, die für den kontinentalen Tubus nachfolgend entwickelt wurden. Im Sommer 1878 wurde das 1,8 mm- und Ende 1878 das 1,2 mm-Objektiv fertig.

Um geeignete Immersionsflüssigkeiten aufzufinden, hatte Abbe gleich zu Anfang

über hundert Flüssigkeiten der verschiedensten Art, ätherische und fette Öle und künstliche chemische Präparate, mit Hilfe des Refraktometers auf Brechungsindex und Dispersion untersucht oder untersuchen lassen ... [1, S. 186]

Unter seiner Anleitung wurden rund 200 chemische Verbindungen hinsichtlich ihrer optischen Konstanten untersucht. Nur wenige

Substanzen wurden gefunden, die den Anforderungen genügten. Dabei erwies sich das ätherische Zedernholz-Oel am günstigsten, für das die Berechnungen der Objektive durchgeführt wurden.

Zur Erprobung wurden Exemplare der beiden zuerst entwickelten homogenen Immersionssysteme an verschiedene Mikroskopiker in Europa und in den USA verschickt, die ihre lobenden Anerkennungen noch 1878 zum Ausdruck brachten. Unter ihnen befand sich auch der Arzt und Bakteriologe Robert Koch, dessen erfolgreiche Beobachtungen bei den Bakterien-Studien Abbe als ein „besonders gewichtiges Zeugnis“ für die Leistungsfähigkeit der homogenen Immersion ansah.

Neben den erwähnten beiden Vorteilen der homogenen Immersion sind noch die höhere Lichtstärke durch Fortfall von Reflexionsverlusten an Deckgläschen und Frontlinse sowie die noch bessere Hebung der sphärischen Aberration zu nennen. Allerdings erforderte die Herstellung der homogenen Immersionssysteme gegenüber den bisherigen Objektiven einen erheblich größeren Aufwand und noch mehr Geschick des ausführenden Optikers, um z. B. Frontlinsen mit Radien von 0,9 mm oder 0,6 mm (!) zu fertigen. Dazu schrieb Abbe an Leopold Dippel:

Es sind bei diesen Oel-Objectiven sowohl in Bezug auf das Schleifen wie in Bezug auf das Fassen der Linsen Kunststücke zu leisten, die ausser etwa Powell & Lealand und Tolles (vielleicht auch Spencer) schwerlich noch ein anderer Optiker fertig bringen wird. [18, Brief 21. 1. 79]

Die großartigen Leistungen der homogenen Immersion, mit der die Zeiss-Werkstätte erneut einen wichtigen Beitrag zur Weiterentwicklung der Mikroskopie leistete, mag wohl auch die Jenaer Universität dazu bestimmt haben, die hohen Verdienste ihres Universitätsmechanikus um die Vervollkommnung des Mikroskops auf ihre Art zu würdigen. Sie promovierte am 28. April 1880 Carl Zeiß zum Ehrendoktor der Philosophischen Fakultät.

Gemeinschaftsarbeit mit Otto Schott

Schon während der Begründung des wissenschaftlichen Mikroskopbaues 1871/72 gelangte Abbe zu der Erkenntnis, daß eine Vervollkommnung des Mikroskops in erster Linie von den „Fortschritten der Glasschmelzkunst“ abhängt. Gemeinsam mit Carl Zeiß

führte er ja 1873 und 1876 Experimente mit Polyopobjektiven – wie wir bereits sahen – durch, die ihn in dieser Ansicht bestärkten. Die „Hülfsindustrie der praktischen Optik, die Glasschmelzkunst“ [1, S. 163] rief er auf, sie solle vor allem solche optische Gläser zur Verfügung stellen, „bei welchen der mittlere Brechungsindex und die Dispersion *andere Verhältnisse* haben als bei den gangbaren Arten von Crown und Flint“. [2, S. 84] Allerdings mußte sie zur Herstellung der Glasflüsse außer den üblichen Ausgangsmaterialien wie Kieselsäure, Alkali, Kalkerde, Blei und z. T. Tonerde und Thallium noch weitere einbeziehen. Mit Sicherheit würde man dann „auf eine größere Mannigfaltigkeit der Erzeugnisse rechnen können“, wenn sie sich „von einem methodischen Studium der optischen Merkmale vieler chemischer Elemente in ihren Verbindungen“ leiten ließe. [1, S. 160] Doch damit erhob Abbe eine Forderung, die die Glasfabrikanten nur auf Grundlage von Privatinitiativen wohl kaum zu erfüllen gewillt waren. Darüber war er sich völlig im klaren. In den letzten Jahrzehnten hatten einige von ihnen zwar gewisse Bemühungen unternommen, um zum einen die beiden Glasarten in Richtung leichtes Kron und schweres Flint etwas zu erweitern und zum anderen die Qualität hinsichtlich der Reinheit, Homogenität, Farblosigkeit weiter zu steigern, doch zu mehr waren sie nicht bereit.

In dieser Situation war es für Abbe besonders bedeutungsvoll, als er von Otto Schott einige Probestücke seines in kleinen Tiegeln erschmolzenen neuen Lithiumglases Ende Mai und Anfang Juni 1879 zur Prüfung der optischen Eigenschaften zugeschickt bekam. Schott hoffte, daß sein Lithiumkronglas eine niedrige Brechzahl und eine hohe Dispersion besitzt. Die Prüfung durch Abbe ergab, daß sich dieses Glas mit einer niedrigen Brechzahl ($n_D = 1,518$) und Teildispersion in die anderen Krongläser einreichte. Das Verhältnis der Teildispersionen war jedoch niedriger als das bei den anderen. Damit besaß es zum Erwünschten genau die entgegengesetzte Eigenschaft. Trotz des negativen Resultats lobte Abbe die Probeschmelzungen des 28jährigen Schott. Ihm war es ja gelungen, mit relativ sehr kleinen Schmelzsätzen (rund 111 g Masse) Proben von solcher Qualität herzustellen, daß von ihnen Prismen zur optischen Messung mit dem Spektrometer gefertigt werden konnten. Gerade derartige kleine Mengen würden beim methodischen Experimentieren von großem Vorteil sein. Schott erbot

sich daraufhin, für die praktische Optik neuartige, brauchbare Gläser probeweise zu erschmelzen. (Vgl. [8, S. 7 ff.].) Dafür besaß er genügend praktische Erfahrungen und wissenschaftliche Erkenntnisse der Glasfabrikation und Glaschemie.

Otto Schott kam aus einer Glasmacherfamilie, die in dieser Tätigkeit eine mehr als hundertjährige Tradition besaß. Er wurde am 17. Dezember 1851 zu Witten in Westfalen als 6. und vorletztes Kind eines Glasmachermeisters geboren. Dieser gründete 1853 in Witten gemeinsam mit seinem Schwager und 3 Kaufleuten eine Glashütte zur Herstellung von Tafelglas, so daß Otto Schott seit seiner frühesten Kindheit mit Glas in Berührung kam. Nach Besuch der Elementar- und Realschule (1867) ging er noch 2 Jahre auf die Gewerbeschule in Hagen. Anschließend führte er eine halbjährige Studienreise durch Frankreich durch und arbeitete ein weiteres halbes Jahr als Volontär in einer chemischen Fabrik in Haspe. Nach einer solchen Vorbereitung nahm er an der gerade erst gegründeten Technischen Hochschule zu Aachen 1870 das Chemiestudium auf und setzte es nach Ableistung der Militärdienstzeit (1872/73) jeweils ein Semester an den Universitäten in Würzburg und in Leipzig fort. Mit der Dissertation „Beiträge zur Theorie und Praxis der Glasfabrikation“ promovierte er nicht an der Leipziger, sondern an der Jenaer Universität am 6. Februar 1875 [32], da der damalige Ordinarius für Chemie in Leipzig die Studenten des anderen Chemieprofessors i. allg. wenig freundlich behandelte.

Nach dem Studium kehrte Schott nach Witten zurück und beschäftigte sich in den nachfolgenden Jahren weiter mit Fragen des Glases. Aus den Privatstudien war 1881 sein Buch „Beiträge zur Kenntnis der unorganischen Schmelzverbindungen. Eine Reihe chemisch-kristallographischer Untersuchungen“ hervorgegangen. Zwischendurch hatte er mehrmals seine Studien unterbrochen, als er 1875/76 als Chemiker in Haspe arbeitete, 1876/77 in Oviedo (Spanien) eine chemische Fabrik für die Salpeter- und Jodherstellung und 1880 in Reinosa (Spanien) eine Streckofenanlage für die Fensterglas-Fabrikation einrichtete. (Vgl. [95].) Sein großer Wunsch seit Herbst 1878 war es, eine passende Anstellung in der Wissenschaft oder Technik zu finden. Beispielsweise bewarb er sich im Sommer 1881 mit Unterstützung Abbes als Nachfolger für den verstorbenen Chemiker Rudolf Christian Boettger am



30 Otto Schott
um 1890

Physikalischen Verein zu Frankfurt am Main als Dozent für Chemie. Im Zusammenhang damit hielt er am 3. September in Frankfurt einen Probenvortrag über „unorganische Schmelzverbindungen“. Seine Bewerbung hatte jedoch keinen Erfolg; es gab für die eine Stelle zu viele Anwärter.

Aus dem Angebot Schotts gegenüber Abbe von Mitte 1879, probeweise neuartige optische Gläser zu schmelzen, ging erst $1\frac{1}{2}$ Jahr später eine Zusammenarbeit hervor. Ausgangspunkt dafür war der Ende 1880 von Schott gefaßte Gedanke, zur Förderung der praktischen Optik ein Unternehmen zur Herstellung optischen Glases zu gründen, zu dem er Abbe um seine Meinung bat. Dieser sprach u. a. die Überzeugung aus, daß der Weg zur Bereicherung der Optik nicht in die Glashütte führt,

sondern *zuerst* in das chemische Laboratorium. Denn es wird sich darum handeln, in kleinem Maßstabe die optischen Eigenschaften methodisch zu

studieren, die durch verschiedene Basen und Säuren in verglasbaren Verbindungen erlangt werden; wobei es dann freilich darauf ankäme, eine Methode ausfindig zu machen, um solche kleine Probeschmelzungen wenigstens so weit homogen zu machen, daß ein untersuchungsfähiges Prisma erhalten werden könnte. [8, S. 14]

Schott befolgte Abbes Ratschlag. Zwischen beiden kam es zu einer (zunächst nur vorübergehend geplanten) Gemeinschaftsarbeit ab 1881. Nach einem vereinbarten Plan führte Schott in Witten systematische Glasschmelzversuche (mit Schmelzsätzen von 20 bis 60 g Masse) durch und schickte jeweils die Schmelzproben nach Jena. Von Mitarbeitern der Zeiss-Werkstätte wurden sie zu Prismen verarbeitet und von Abbe, zum größeren Teil jedoch von seinem Assistenten Paul Riedel, der bei ihm 1879 mit einer Dissertation über die Theorie der Beugungserscheinungen promoviert hatte, spektrometrisch vermessen. Die Zusammenarbeit wurde intensiviert, als Schott am 17. Januar 1882 nach Jena übersiedelte, um die Schmelzversuche im größeren Maßstab (bis zu 10 kg Masse) im Privatlaboratorium Abbes [4, S. 67] zur Herstellung praktisch verwendbarer Glasflüsse mit neuen Eigenschaften fortzusetzen. Am 1. Januar 1884 erfolgte mit staatlicher Unterstützung (von insgesamt 60 TM)¹⁵ die Gründung der „Glastechnischen Versuchsanstalt“, die im September 1884 in Betrieb genommen wurde und im Sommer 1885 die gerichtlich eingetragene Firmenbezeichnung „Glastechnisches Laboratorium Schott & Gen.“ erhielt. (Vgl. [8, S. XIII].) Damit hatte Otto Schott seinen Plan von Ende 1880 mit Unterstützung der drei Teilhaber des Zeiss-Werkes, Abbe, Carl und Roderich Zeiß, die hinter der Firmenbezeichnung „Genossen“ standen, verwirklicht und zugleich seine Lebensaufgabe, die er bisher so erfolgreich meisterte, gefunden.

Das „Glastechnische Laboratorium“ trat im Juli 1886 mit dem ersten Produktionsverzeichnis von 44 optischen Gläsern [2, S. 194–205], von denen 19 neue Glasflüsse darstellten [4, S. 60 f.],

¹⁵ Die staatliche Unterstützung wurde durch Gutachten, Berichte und teilnehmende Äußerungen von verschiedenen Wissenschaftlern, optischen Werkstätten und Glashütten gefördert, z. B. vom Optiker Carl Bamberg in Berlin, vom Geschäftsfreund Emil Busch in Rathenow, vom Berliner Astronomen Wilhelm Foerster, vom Physiker Hermann Helmholtz und Pathologen Rudolph Virchow. [4], [8]

bei denen zur bisher allein benutzten Kieselsäure vor allem Phosphor- und Borsäure als Grundbestandteile zur Anwendung gelangten, an die Öffentlichkeit. Schon kurze Zeit später war es in der Lage, nahezu den gesamten Bedarf an optischen Gläsern in Deutschland zu decken.

Apochromate

Nahezu zeitgleich mit dem Produktionsverzeichnis von Ernst Abbe und Otto Schott über die neuen optischen Gläser [2, S. 194–205] erschien im August 1886 ein Katalog der Zeiss-Werkstätte über „Neue Mikroskop-Objective und Oculare aus Special-Gläsern des Glastechnischen Laboratoriums (Schott & Gen.)“ [21], [56], über die Abbe in der Sitzung der Medizinisch-Naturwissenschaftlichen Gesellschaft zu Jena am 9. Juli 1886 vorgetragen hatte. [1, S. 450–472] Dabei ließ er unerwähnt, daß bei diesen Objektiven neben den neuen optischen Gläsern auch Flußspat zur Anwendung gelangte. Schon 1881 hatte er in Vorversuchen herausgefunden, daß Flußspat wegen seiner extrem niedrigen Brechzahl ($n_D = 1,4338$) und Dispersion sowie seines günstigen Verhältnisses der Teildispersionen sich besonders gut für die Korrektur der sphärischen Aberration bei großen Aperturen und für die Aufhebung des sekundären Spektrums eignet. Erst 1890 berichtete er „Ueber die Verwendung des Fluorits für optische Zwecke“. [1, S. 478–486] In der Zwischenzeit ließ er Ausschau nach möglichen Flußspat-Vorkommen in der Schweiz halten und beteiligte sich selbst mehrmals an der Suche nach einer ehemaligen Fundstelle von 1832 oberhalb der Oltscheren Alp. Auf diese Weise sicherte er sich einen, wenn auch nur geringen Vorrat an reinen, hellklaren Flußspat-Kristallen und -Spaltstücken, noch ehe die Konkurrenz, die schon 1887 dahinter gestiegen war, sich verstärkt um den Erwerb von Flußspat bemühte.

Bereits 1883 begann Abbe, die ersten neueren Mikroskopobjektive zu berechnen und anfertigen zu lassen. Dabei hatte ihm

die Einführung des Flußspats zu theilweisem Ersatz des Kronglases in der That eine sehr wesentliche Erleichterung geboten. Ohne dieses Auskunfts-mittel würden bei gleichen Anforderungen an die Verfeinerung der Konstruktion jene Linsensysteme noch komplizirter in der Zusammensetzung und

schwieriger in der Ausführung haben werden müssen, als sie ohnehin schon sind. [1, S. 483 f.]

Es handelte sich zunächst um 2 Versuchsobjektive [4, S. 45], wie sie auch in einem überlieferten Brief Abbes an Leopold Dippel von 1884 näher beschrieben wurden. Das eine Objektiv war für den englischen Tubus (250 mm Länge) mit 25 mm Brennweite und 0,30 numerischer Apertur und das andere für den kontinentalen Tubus (155 mm Länge) mit 4 mm Brennweite und 0,85 numerischer Apertur berechnet. Bei beiden Objektiven, bei denen zusammen sieben verschiedene neue Glasarten zum Einsatz kamen, war der Gauß-Fehler vollständig behoben, das sekundäre Spektrum beim ersten ganz und beim zweiten etwa zur Hälfte beseitigt. Mit weiteren neuen Glasarten hoffte Abbe, hierbei noch besser werden zu können. Erneut wurde er in seiner früheren Ansicht bestärkt, „dass beim *Mikroskop* die Beseitigung der chromatischen Differenz [der sphärischen Aberration] *wichtiger* sei als die völlige Beseitigung der secundären Farben“. [18, Brief 5. 9. 84]

Bemerkenswert ist, daß Abbe die beiden Objektive an Dippel unmittelbar zuzuschicken versprach. Für die Wintermonate kündigte er an, ihm eine homogene Immersion (1/8 Zoll) vorzulegen, an der er bereits zu rechnen angefangen habe, „bei welchem auch die secundären Farben *fast* ganz gehoben sein werden“. [18, Brief 5. 9. 84] Hieraus ist ersichtlich, daß Abbe die neuen Objektivkonstruktionen nach eigener eingehender Prüfung auch von einem kompetenten Mikroskopiker testen ließ – wie schon bei der homogenen Immersion –, um damit sicherzustellen, daß sie sich in der Praxis gut bewähren.

Obgleich Abbe an seine Vorarbeiten bei den Polyopobjektiven von 1873 und 1876 anknüpfen konnte, war dennoch ein erheblicher Rechenaufwand notwendig, um eine komplette Serie von Objektiven und Okularen zu schaffen. Dabei nahm er keine Rücksicht auf seine angeschlagene Gesundheit, die auch bald, im Winter 1885/86, zu einem körperlichen Zusammenbruch führte. (Vgl. [61, S. 123].) Seit Anfang 1886 hatte er in Paul Rudolph, der nach Siegfried Czapski als weiterer wissenschaftlicher Mitarbeiter eingestellt wurde, eine tüchtige Stütze bei der Vollendung der Rechenarbeiten.

Die Serie der Apochromate bestand 1886 aus 6 Trockensystemen, davon 3 für den englischen Tubus, einer Wasser-Immersion und

Verzeichniss der Apochromat-Objective.

	Numerische Apertur	Äquivalent-Brennweite mm.	Eigenvergrößerung	Preis Mark
Trocken-System	0.30	16.0	15.5	100 —
	0.65	8.0	31	130.
	0.95	4.9	63	160 — mit Corr.-Ring
Wasser-Immersion	1.25	2.5	100	300.— mit Corr.-Ring
Homogene Immersion	1.30	5.0	83	400.
		2.0	125	400.
	1.40	3.0	83	500.
		2.0	125	500. —

Zum Gebrauch mit dem 10xölligen Tubus der englischen Mikroskope werden ausser den oben verzeichneten Apochromaten noch angefertigt:

solche von 24.0 mm 0.30 num. Apertur

12.0 „ 0.65 „ „

6.0 „ 0.95 „ „

betreffs welcher wir auf die englische Ausgabe dieses Kataloges verweisen.

Verzeichniss der Compensations-Oculare.

Ocular No.:	Sucher-Oculare		Arbeits-Oculare				
	1	2	4	6	8	12	18
Äquivalent-Brennweite in mm.	180	180	45	30	22.5	15	10
Preis Mark	20	20	20	20	30	30	25

Betreffs der entsprechenden Oculare für den englischen Tubus wird auf die englische Ausgabe dieses Kataloges verwiesen.

Tabelle der Vergrößerungen
der Apochromat-Objective mit den Compensations-Ocularen
für 100 mm Tubuslänge und 250 mm Bildweite.

Brennweite des Objectivs	Sucher-Oculare		Arbeits-Oculare				
	1	2	4	6	8	12	18
16.0	15.5	31	62	94	125	187	281
8.0	31	62	125	187	250	375	562
4.9	62	125	250	372	500	750	1125
3.0	83	167	333	498	667	1000	1500
2.5	100	200	400	600	800	1200	1800
2.0	125	250	500	750	1000	1500	2250

31 Verzeichnis der Apochromat-Objective und der Compensations-Oculare [21, Nr. 28, 1889, S. 10 und 13]

4 homogenen Immersionen sowie aus 7 (bzw. 6 für den englischen Tubus) Kompensationsokularen (Angaben im Bild 31 stammen aus dem Jahre 1889). Wie schon bei den Polyopobjektiven wurde bei ihnen das sekundäre Spektrum für 3 verschiedene Farben (bis auf einen kaum merkbaren Rest tertiären Charakters) und der Gauß-Fehler für zwei verschiedene Farben (und damit praktisch so gut wie für alle Farben) behoben, wodurch eine Achromasie höherer Ordnung verwirklicht wurde, die ihre Charakterisierung in der Bezeichnung „Apochromate“ findet.

Durch die vollkommeneren Strahlenvereinigung besitzen sie gegenüber den Achromaten mehrere praktische Vorteile, wie sie von Abbe selbst hervorgehoben wurden. Erstens ist bei vorgegebener Apertur ihr Leistungsvermögen höher, da es näher an die theoretische Auflösungsgrenze herankommt, so daß z. B. ein starkes Trockensystem mit der bisherigen Wasser-Immersion und die Wasser-Immersion mit der bisherigen homogenen Immersion vergleichbar ist. Zweitens lassen sich wesentlich höhere Okularvergrößerungen verwenden, so daß für eine vorgegebene Vergrößerung die Objektiv-Vergrößerung verringert und damit ihre Brennweite verlängert werden kann. Daher sind Objektive mit Brennweiten unterhalb 2 mm kaum notwendig, was günstig ist für die Herstellung. Drittens sind für die Mikrofotografie die sphärische Überkorrektur für ultraviolette Strahlen sowie die störende Fokusdifferenz zwischen diesen und den sichtbaren Strahlen beseitigt, so daß eine höhere Auflösung, wie sie mit dem Übergang zu einer kürzeren Wellenlänge entsprechend der Abbeschen Formel zu erwarten ist, erst jetzt erreicht wird. In diesem Zusammenhang wurden für Projektionszwecke, namentlich für die Mikrofotografie, 2 Projektions-Okulare mit 2- und 4facher Vergrößerung nach dem Prinzip der Kompensations-Okulare speziell für die Apochromate entwickelt. In der Tat erlebte in der Folgezeit die Mikrofotografie durch die Apochromate einen bedeutenden Aufschwung, (Vgl. [78, S. 153].)

Bei den Apochromaten mit beträchtlicher Apertur läßt sich der schon (auf S. 78) erwähnte Farbenvergrößerungsfehler oder die chromatische Aberration der Brennweiten

nicht beseitigen, ausser durch ganz unvorteilhafte Constructionen; während er aber bei den gewöhnlichen achromatischen Objectiven noch der weiteren Complication unterliegt, dass der Grad jener farbigen Vergrößerungsdif-

ferenz sehr ungleich wird für die centralen und die peripherischen Teile der *Objectiv-Oeffnung*, behält er bei den apochromatischen annähernd gleiche Grösse für alle Theile der Oeffnung und gestattet in Folge dessen nunmehr eine *Correction durch die Oculare*.

Es ist zu dem Zwecke nur nöthig, die Oculare so einzurichten, dass sie selbst mit einer entsprechend grossen aber entgegengesetzten Differenz der Vergrösserung (oder der Brennweite) für verschiedene Farben behaftet sind, also Oculare in Anwendung zu bringen, die in bestimmtem Grade *anachromatisch* sind. [1. S. 459]

Um verschiedene Objective mit solchen Okularen benutzer zu können, mußte Abbe in den anderen Objectiven mit kleinerer Apertur, bei denen ein solcher Fehler kaum vorhanden ist, absichtlich eine entsprechende umgekehrte Differenz der Vergrößerung einführen. Damit erreichte er bei allen möglichen Combinationen von Objectiven und Okularen sehr farbenreine Bilder im gesamten Sehfeld.

Mit den Apochromaten wurde die Tragfähigkeit eines wissenschaftlichen Mikroskopbaues erneut bewiesen. Die Optiker, die einen solchen bisher noch bezweifelten, wurden eines Besseren belehrt. Von nun ab versicherten sie, daß ihre Mikroskope wie in Jena gefertigt werden. (Vgl. [3, S. 67].) Mit den Apochromaten erfüllte sich aber auch für Carl Zeiß – wenige Wochen vor seinem 70. Geburtstag am 11. September 1886 und vor der Fertigstellung des 10 000. Mikroskops in seiner Werkstätte während seines 40jährigen Wirkens auf dem Gebiete des Mikroskopbaues – zugleich seine Lebensaufgabe. Zwei Jahrzehnte waren gerade vergangen, als er gemeinsam mit Ernst Abbe daranging, den Mikroskopbau wissenschaftlich zu fundieren, um auf dieser Grundlage jene großartigen Erfolge zu erzielen. Eine schöne Würdigung seines Lebenswerkes konnte er noch 1887 erleben, als ihn der Kongreß russischer Ärzte zum Ehrenmitglied ernannte. Sie erreichte ihn in einer Zeit, in der er durch mehrere Schlaganfälle gegen Ende des Jahres 1886 gezeichnet war und sich vom Geschäft zurückziehen mußte.

Die Apochromate fanden bei den Mikroskopikern großen Beifall. Auf ihren Wunsch hin wurde die Serie 1891 noch etwas ergänzt, u. a. durch ein Trockensystem von 3 mm Brennweite und 0,95 numerischer Apertur, eine homogene Immersion von 1,5 mm Brennweite und 1,30 numerischer Apertur und eine Monobromnaphthalin-Immersion mit 2,5 mm Brennweite und 1,60 numeri-

scher Apertur. [21, Nr. 29, 1891, S. 11] Das letzte Objektiv stellte überhaupt das leistungsstärkste dar, das von Abbe 1888/89 geschaffen wurde. Als Immersionsflüssigkeit diente Monobromnaphthalin ($n = 1,66$) und als Deckgläschen und Frontlinse ein eigens von Otto Schott dazu erschmolzenes Flintglas ($n = 1,72$). Das Objektiv war ähnlich wie die anderen Apochromate von großer Apertur aufgebaut. Einer überhalbkugeligen Frontlinse und einer achromatischen Doppellinse als Unterteil folgte eine einzelne Kronglaslinse, danach eine achromatische Doppellinse und eine achromatische Dreifachlinse als Oberteil. Die technische Realisierung einer noch größeren numerischen Apertur als 1,60 scheiterte damals am Mangel einer geeigneten hochbrechenden Immersionsflüssigkeit, nicht an hochbrechenden Flintgläsern. [77]

Das Jahr 1886 war für Abbe und seine Familie noch in anderer Hinsicht von Bedeutung. Ein eigenes Haus in unmittelbarer Nähe zum Zeiss-Werk (s. Bild 36, S. 125) – ein gerade fertig gebautes Wohnhaus – konnte erworben und bezogen werden. Es bot wesentlich mehr Platz als die bisherige Dienstwohnung der Sternwarte. Finanzielle Sorgen hatte Abbe schon seit Jahren nicht mehr; im Gegenteil, durch die steigenden Einnahmen war sein Vermögen inzwischen beträchtlich angewachsen. Das ermöglichte ihm, wie im vorhergehenden Abschnitt angedeutet wurde, ein Privatlaboratorium einzurichten und zu unterhalten, in welchem Otto Schott Glas-Schmelzversuche durchführte. Die von Abbe getragenen Gesamtkosten vom Frühjahr 1881 bis zum Jahresende 1883 beliefen sich auf beachtliche 34,5 TM. [4, S. 77] Auch in den nachfolgenden Jahren verwandte Abbe einen Teil seines Vermögens zu gemeinnützigen Zwecken, wie wir im nächsten Kapitel noch sehen werden. Was nun seine Lebensführung betrifft, so war sie im Grunde genommen einfach und behaglich geblieben. Man aß gut und reichlich, auch ein guter Wein (zumeist ein und dieselbe Marke eines österreichischen Rotweins aus Wien) gehörte zum täglichen Tisch. Einen gewissen Luxus leistete man sich, indem man zur Erholung jährlich einmal, später zweimal ins Ausland fuhr, vor allem in die Schweiz. Dabei wurde mit dem Geld nicht geizt. Man reiste gewöhnlich in der ersten Klasse, genoß gern die Schweizer Gasthaus-Mahlzeiten von vielen Gängen und bestellte bestimmte Hotelzimmer, an die sich Abbe mit der Zeit gewöhnt hatte, lange im voraus.

Abbes Familienleben war harmonisch. In seiner Frau Elise hatte er eine liebevolle und treue Lebensgefährtin, die mit viel Verständnis sein Schaffen, vor allem im sozialpolitischen Bereich, begleitete und förderte. Ein beredtes Beispiel dafür ist, daß sie im Mai 1889 die Stiftungsurkunde für die Carl-Zeiss-Stiftung – auf letztere gehen wir in einem gesonderten Abschnitt im nächsten Kapitel näher ein – wie auch den Erbeinsetzungsvertrag mit einer Erklärung ihrer vollen Zustimmung zum Inhalt ebenfalls unterzeichnete. [5, S. 93 f.] Nur einmal war die Harmonie der Eheleute getrübt worden, als es um 1888 um die kirchliche Bindung der beiden Töchter ging. Bisher waren sie nach dem Willen Abbes ungetauft geblieben. Die Ehefrau, die sich stets als Christin fühlte, wollte nun, daß auch ihre Töchter – entsprechend den damaligen gesellschaftlichen Normen – konfirmiert werden und mit der Konfirmation die Taufe nachgeholt wird. Damit wollte sie im Hinblick auf das künftige Eheglück ihrer Kinder von dieser Seite her erst gar keine Hindernisse aufkommen lassen. Doch darüber war Abbe außer sich. Es gab heftige Auseinandersetzungen, in der sich schließlich die Ehefrau behauptete. Sie hielt ihm vor, daß er die Toleranz, die er immer predige, auch anderen gegenüber gewähren müsse. Er gab daraufhin zwar nach, wollte aber mit der ganzen Sache nichts zu tun haben. Er ging ihr dadurch aus dem Weg, indem er in die Schweiz reiste, um sich dort zu beruhigen und von allem schnell Abstand zu gewinnen, zumal es ihm gesundheitlich nicht besonders gut ging. [35]

Leiter des Zeiss-Werkes

„Ich glaube sagen zu dürfen (und werde in dieser Meinung bestärkt durch die Auffassung unparteiischer Beurteiler), daß in den letzten 40 Jahren – in der letzten Hälfte dieses Zeitraums unter wesentlicher Mitwirkung meinerseits – in Jena etwa geschaffen worden ist, dessen Erhaltung, Fortbildung und dauernde Sicherung als eine *Sache von öffentlichem Interesse* erscheint, und zwar sowohl wegen seiner – allerdings nur lokalen – wirtschaftlichen Bedeutung wie auch namentlich wegen des spezifischen Wertes, der den hiesigen Einrichtungen im Hinblick auf gewisse wissenschaftliche und technische Angelegenheiten beizulegen sein wird.

Die beiden Institute, um die es sich hier handelt, die optische Werkstätte und die Glasschmelzerei, haben Jena zu einem der Hauptsitze der sogenannten ‚wissenschaftlichen‘, d. h. für die Bedürfnisse der Wissenschaften arbeitenden Industrie gemacht. Die optische Werkstätte im besonderen ist schon seit Jahren nach dem Umfang ihres Geschäftsbetriebs und der Zahl der beschäftigten Personen das weit-aus bedeutendste Geschäftsunternehmen auf diesem ganzen Industriegebiet nicht nur in Deutschland, sondern überhaupt.“

Ernst Abbe, 1887, [5, S. 41]

Die erfolgreiche Entwicklung des wissenschaftlichen Mikroskopbaues in Jena seit 1871/72 ließ aus dem damaligen Handwerksbetrieb mit etwa 20 Beschäftigten ein Großunternehmen hervorgehen, das beispielsweise 1886 ca. 250 und 1900 schon über 1 000 Arbeiter und Angestellte zählte. 1881 hatte man ein Fabrikgebäude errichtet, das in folgenden Jahren und Jahrzehnten ständig ausgebaut werden mußte (s. Bild 36). Im Rahmen des Gesellschaftsvertrages vom 21. Juli 1883 waren auch die Vermögensverhältnisse der drei Teilhaber neu geregelt worden. Unter anderem waren die Geschäftsanteile mit 5 % jährlich fest verzinst und die Anteile am jährlichen Reingewinn so aufgeteilt worden, daß auf Abbe 45 % und auf Carl und Roderich Zeiß zusammen 55 % entfielen. Nach dem Ausscheiden von Carl Zeiß aus dem Werk sollte Abbe dann 50 % erhalten. Weiterhin war im Vertrag festgehalten worden, daß im Todesfall von Carl Zeiß sein ältester Sohn Roderich seitens der Familie Zeiß als alleiniger Vertreter zur Weiterführung des Unternehmens gilt.

Gegen Ende 1886 hatte sich der Gesundheitszustand von Carl Zeiß durch Schlaganfälle derart verschlechtert, daß er sich davon

nicht mehr erholte und am 3. Dezember 1888 verstarb. Abbe mußte sich verstärkt der Klärung der Geschäftsverhältnisse und der Leitung des Zeiss-Werkes zuwenden.

Einige Bemerkungen zu politischen und sozialen Auffassungen

Auf dem Höhepunkt seiner wissenschaftlichen und technischen Leistungen im Mikroskopbau angelangt, ließ Abbe sich im weiteren nicht vordergründig von der Haupttriebkraft der Produktion im Kapitalismus, vom Streben nach höchstmöglichem Profit, sondern von der im Zitat genannten Maxime „Erhaltung, Fortbildung und dauernde Sicherung“ des bisher Erreichten „als eine Sache von öffentlichem Interesse“ leiten. Sie führte ihn in der 2. Hälfte der Übergangsperiode des Kapitalismus der freien Konkurrenz zum Monopolkapitalismus (1885/1900) einerseits zur Gründung und zum Ausbau der Carl-Zeiss-Stiftung Jena und andererseits zur Erweiterung des bisherigen Mikroskopbaues zum allgemeinen wissenschaftlichen Gerätebau, worauf wir in den nachfolgenden Abschnitten gesondert eingehen.

Abbe verfolgte stets sehr aufmerksam die gesellschaftlichen Prozesse und Entwicklungen seiner Zeit, die er „einerseits unter dem Gesichtswinkel des Unternehmer- und Kapitalisteninteresses, andererseits aber auch vom Standpunkt des Interesses der Arbeiter“ – er hatte niemals die eigene schwere Kindheit und Jugend vergessen – betrachtete, um „aus beiden ein Fazit . . . unter dem Gesichtspunkt des öffentlichen Interesses und des Gemeinwohls“ zu ziehen. [3, S. 4 f.] Dabei hielt er am Wesen des Kapitalismus fest und lehnte den Klassenkampf in den Betrieben wie überhaupt den Sozialismus ab. Er ließ nur „ein Zusammenarbeiten auf dem Boden der friedlichen Interessenausgleichung“ gelten und wollte die Parole „Arbeiter gegen Unternehmer“ ersetzt wissen durch die Parole „fortgeschrittene Arbeiter und fortgeschrittene Unternehmer gegen rückständige Arbeiter und rückständige Unternehmer“. [3, S. 261] Dennoch war er als Industrieller kein politischer Repräsentant der bürgerlichen Klasse. Er blieb seinen früheren bürgerlich-demokratischen Anschauungen treu und lehnte die anti-nationale und volksfeindliche Interessenpolitik der feudal-junker-

lichen Reaktion und des preußisch-deutschen Militarismus ab. In dieser Hinsicht gab es, wie früher auch schon (s. S. 87), mit der Sozialdemokratie nicht nur Berührungspunkte, sondern echte Elemente einer Bündnispolitik. [41] Konkreter Ausdruck dafür waren z. B. die Reichstagswahlen von 1893, als Abbe die Wähler aufrief, sozialdemokratisch zu wählen. [40]

Abbe besaß einen stark ausgeprägten Gerechtigkeitssinn, der wesentlich sein politisches und soziales Denken und Handeln mit bestimmte. Von seinem Ausgangspunkt her, die sozialen Übel des Kapitalismus mit sozialreformerischen Maßnahmen zu begegnen, ist er mit den Sozialutopisten des 19. Jahrhunderts [82] in gewisser Weise vergleichbar, beispielsweise mit dem Franzosen Claude Henri Comte de Saint-Simon oder dem Engländer Robert Owen. Einige von ihnen geäußerten Gedanken oder durchgeführten Maßnahmen lassen sich bei Abbe in abgewandelter Form wiederfinden. So wollte z. B. Saint-Simon für die Entwicklung der Industrie, die er als Grundlage der gesellschaftlichen Entwicklung ansah, auch die schöpferischen Kräfte in der Arbeiterklasse durch entsprechende Förderung nutzbar machen. Bei Abbe war es, wie Siegfried Czapski im Vorwort [3, S. VII] schrieb, ein Lieblingsgedanke,

der ihm aber schließlich von anderen ausgedrückt wurde, nämlich eine Stiftung ins Leben zu rufen für Söhne der handarbeitenden Klasse, um denselben die Möglichkeit zu geben, in höhere Stellungen im Staate aufzusteigen. Damit wollte er aber, wie er ausdrücklich bemerkte, nicht etwa das Glück des einzelnen erhöhen . . . Abbe meinte, das Aufsteigen in höhere Schichten sei im allgemeinen Interesse notwendig, und so liege hier für den einzelnen ein Stück der allgemeinen Dienstpflicht vor, die wir alle der Gesellschaft schuldig sind.

Ein anderes Beispiel stellt Robert Owen dar, der als Direktor in verschiedenen Fabriken tätig war und dann ab 1800 die Geschäftsführung der Baumwollspinnerei in der Siedlung New Lanark (Schottland) übernahm. Die vorgefundenen Verhältnisse in der Fabrik und in der Siedlung waren katastrophal. Im Verlauf von 12 Jahren gelang es Owen, durch ständige Verbesserungen der Arbeits- und Lebensbedingungen der Arbeiter aus dieser Siedlung eine Musterkolonie zu entwickeln. (Vgl. z. B. [82, S. 106 ff.].) Auch bei Abbe standen die Verbesserungen der Arbeits- und Lebensbedingungen im Mittelpunkt seiner sozialreformerischen

Maßnahmen, wie wir noch sehen werden. Ein Forum für seine politischen und sozialen Auffassungen war der Freisinnige Verein zu Jena, dem überwiegend demokratische Kreise des Kleinbürgertums angehörten. Hier wirkte er seit etwa 1884 aktiv mit und sollte bald dessen bedeutendster Vertreter werden.

Abbe wußte genau, wie er zu seinem beträchtlichen Vermögen gelangt ist, nämlich dadurch,

daß es mir und meinen Genossen möglich war, die Tätigkeit vieler anderer Personen dauernd in unsern Dienst zu stellen und den Ertrag ihrer Arbeit uneingeschränkt uns zu Nutze zu machen.

Die gegenwärtige Rechtsordnung erklärt auch solchen Besitz bedingungslos für freies Privateigentum des erfolgreichen Unternehmers. Nach meiner persönlichen Überzeugung aber will ein Erwerb dieses Ursprungs vor einem strengeren Sittlichkeitsideen genügenden Eigentumsbegriff als „öffentliches Gut“ betrachtet und behandelt sein, soweit es hinausgeht über das Maß eines angemessenen Lohnes für die persönliche Tätigkeit.

Diese Überzeugung, in welcher ich durch die eigene Lebenserfahrung als Unternehmer mehr und mehr bestärkt worden bin, verpflichtet mich *vor meinem Gewissen*, 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. [5, S. 39 f.]

Das ist wahrhaftig eine hochherzige sozialpolitische Einstellung die unter Industriellen ihresgleichen sucht. Seine ethische und humanistische Gesinnung, seine Gerechtigkeitsauffassung verboten es ihm, den erzielten Profit, der „über das Maß eines angemessenen Lohnes für die persönliche Tätigkeit“ hinausgeht, sich anzueignen, sondern diesen als „öffentliches Gut“ zu betrachten und zu behandeln, ihn zu „gemeinnütziger Verwendung“ für diejenigen zu bringen, die an seiner Erzielung beteiligt sind. Das bedeutete für ihn:

ausgiebige Fürsorge für das Wohl aller derer, welche zur Gewinnung jener Mittel bisher mitgewirkt haben oder in Zukunft mitwirken werden – und Förderung der *Wissenschaften*, auf deren Boden die betreffenden Unternehmungen erwachsen sind und denen ich zugleich mein eigenes Emporkommen zu verdanken habe.

... Eine natürliche Anwartschaft auf den Ertrag aus jenen Unternehmungen im Sinne des obigen Gedankenganges hat allein die Universität Jena. Sie ist die eigentliche Nährmutter derselben; wenn die Universität nicht wäre, bestünde auch nichts von diesen Unternehmungen. [5, S. 40]

Gründung der Carl-Zeiss-Stiftung

Zur Umsetzung der sozialreformerischen Vorstellungen Abbes war ein längerer Klärungsprozeß zur Lösung juristischer und sozialpolitischer Probleme notwendig, ehe die Stiftungsidee geboren werden und Gestalt annehmen konnte. Unabhängig davon begann er schon 1885 mit einigen Maßnahmen zu Gunsten der Jenaer Universität. Im Zusammenhang mit der offenen Teilhaberschaft am „Glastechnischen Laboratorium Schott & Gen.“ verzichtete Abbe ab April 1885 auf seine weiteren jährlichen Gehaltsbezüge als Professor (1 500 Mark) und als Direktor der Sternwarte (900 Mark). Im August 1886 beschloß er, anstelle der alten Sternwarte eine neue auf eigene Kosten zu errichten und diese mit dem nötigen Instrumentarium auszurüsten, was in den Jahren 1888/89 geschah. Bereits Monate vorher, am 13. Mai 1886, stiftete er den (streng geheimzuhaltenden) „Ministerialfonds für wissenschaftliche Zwecke“, um Lehre und Forschung auf mathematisch-naturwissenschaftlichem Gebiet durch jährliche Zuwendungen an die Universität wirkungsvoll zu unterstützen. Zunächst waren 6 000 Mark jährlich vorgesehen. Dieser Betrag wurde ab 1888 auf 20 TM erhöht. 1889 ging der Ministerialfonds in der Carl-Zeiss-Stiftung auf.

Weiterhin legte Abbe 1887 im Einverständnis mit seinen Genossen einen Fonds an, der einst die Grundlage zur Einrichtung einer großzügigen Alters- und Hinterbliebenenversorgung für alle Beschäftigten bilden sollte. [5, S. 55] Doch schon ein Jahr später, am 3. Dezember 1888, wurde zum würdigen Gedenken an Carl Zeiß das gemeinsame Pensionsstatut des Zeiss- und Schott-Werkes erlassen. [3, S. 87 u. 293]

Nachdem die ursprüngliche Absicht von Abbe, die Universität Jena oder in ihrem Interesse den Weimarer Staat als Universalerben seines Eigentums einzusetzen, sich als undurchführbar erwies, gründete er am 19. Mai 1889, auf den Tag genau, als ihm vor 14 Jahren Carl Zeiß die Teilhaberschaft angeboten hatte, die Carl-Zeiss-Stiftung. Sie wurde durch das Weimarer Staatsministerium „bestätigt und mit den Rechten der juristischen Persönlichkeit ausgestattet“. [5, S. 94] Mit ihr schloß er unmittelbar danach einen Erbinsetzungsvertrag ab, in der die Carl-Zeiss-Stiftung als alleinige Erbin von Abbe u. a. verpflichtet wurde, an seine



32 Ernst Abbe
im Jahre 1888

Frau und seinen beiden Töchtern jeweils 100 TM zu bezahlen. Auch seinen Freund Harald Schütz hatte Abbe mit einer lebenslänglichen Rente bedacht. Kaum hatte Abbe die Stiftung geschaffen, faßte er den Entschluß, sein Eigentum an Produktionsmitteln – die Hälfte am Zeiss- und ein Drittel am Schott-Werk – schon zu Lebzeiten an die Stiftung gegen eine entsprechende Entschädigungssumme abzutreten. Als er Roderich Zeiß ebenfalls zum Ausscheiden aus beiden Unternehmungen bewegen konnte, indem er ihm eine großzügige Abfindungssumme gewährte, gingen am 30. Juni 1891 das Zeiss-Werk vollständig und das Schott-Werk zur Hälfte in Stiftungsbetriebe über. Gleichzeitig wurde der Erbsatzungsvertrag durch einen Vertrag unter Lebenden ersetzt. Abbe nahm die Stelle eines Bevollmächtigten und eines der drei Geschäftsführers (gemeinsam mit Siegfried Czapski und Otto Schott) ein, die er bis zum 1. April 1903 bekleidete. Der sozialökonomische Charakter der Stiftungsbetriebe hat sich dabei in



33 Wissenschaftliche Mitarbeiter (vorn sitzend von links nach rechts:) Paul Riedel, Siegfried Czapski, Otto Schott, Paul Rudolph, Carl Pulfrich und (hinten rechts stehend) R. Schüttauf und drei Rechner (hinten stehend von links nach rechts:) A. Lautsch, A. Hartmann und E. Witte. Das Gruppenbild entstand anlässlich der 25jährigen Zugehörigkeit Ernst Abbes zum Zeiss-Werk am 3. Juli 1891

keiner Weise geändert, sie blieben kapitalistisch. Anstelle des Unternehmers trat das entpersonifizierte Stiftungskapital mit eigener Verwaltung.

Die Stiftungsurkunde von 1889 besaß in ihren 17 Paragraphen [5, S. 95–110] hauptsächlich nur allgemeine Richtlinien, die Abbe am 26. Juli/16. August 1896 durch ein umfassendes Statut mit 122 Paragraphen ersetzte. [3, S. 262–319] Der Stiftungszweck gemäß Paragraph 1 war wesentlich erweitert worden. Dieser lautete:

A. im Rahmen der Stiftungsbetriebe

1. Pflege der Zweige feintechnischer Industrie, welche durch die Optische Werkstätte und das Glaswerk unter Mitwirkung des Stifters in Jena eingebürgert worden sind, durch Fortführung dieser Gewerbsanstalten unter unpersönlichem Besitztitel; im besonderen:
2. Dauernde Fürsorge für die wirtschaftliche Sicherung der genannten Unternehmungen sowie für Erhaltung und Weiterbildung der in ihnen gewonnenen industriellen Arbeitsorganisation – als der Nahrungsquelle eines zahl-

reichen Personenkreises und als eines nützlichen Gliedes im Dienst wissenschaftlicher und praktischer Interessen;

3. Erfüllung größerer sozialer Pflichten, als persönliche Inhaber dauernd gewährleisten würden, gegenüber der Gesamtheit der in ihnen tätigen Mitarbeiter, behufs Verbesserung ihrer persönlichen und wirtschaftlichen Rechtslage.

B. außerhalb der Stiftungsbetriebe

1. Förderung allgemeiner Interessen der obengenannten Zweige feintechnischer Industrie im eigenen Wirkungskreis der Stiftungsbetriebe wie außerhalb derselben;

2. Betätigung in gemeinnützigen Einrichtungen und Maßnahmen zugunsten der arbeitenden Bevölkerung Jenas und seiner nächsten Umgebung.

3. Förderung naturwissenschaftlicher und mathematischer Studien in Forschung und Lehre.

Die unter A bezeichneten Zwecke sind durch die Stiftung ausschließlich vermöge statutengemäßer Verwaltung ihrer Gewerbsinstitute und innerhalb dieser zu erfüllen.

Die unter B benannten Aufgaben sollen der Stiftung obliegen als dem Nutznießer der Erträge, welche ihre Unternehmungen übrig lassen mögen, nachdem den erstgenannten Aufgaben in ihnen genügt ist. [3, S. 264 f.] bzw. [5, S. 96 f.]

Die Leistungen Abbés, die mit der Gründung und dem Ausbau der Carl-Zeiss-Stiftung verbunden waren, wurden von der Juristischen Fakultät der Jenaer Universität anlässlich des 50jährigen Bestehens des Zeiss-Werkes mit dem Ehrendoktor der Rechte am 12. Dezember 1896 gewürdigt.

Die verschiedensten Maßnahmen im Statut wie z. B. das Neutralitätsprinzip bei der Anstellung und Beförderung der Angestellten und Arbeiter (ohne Ansehen der Herkunft, der Glaubensbekenntnisse und der Parteizugehörigkeit), die Zubilligung eines jährlichen Erholungsurlaubes von 12 Arbeitstagen (von denen 6 bezahlt wurden), die Krankenversicherung, die begrenzte Mitbestimmung (nicht Mitverantwortung) durch einen Arbeiterausschuß, das Pensionsrecht und die Abgangsentschädigung gewährten den Zeiss-Angehörigen objektiv mehr soziale Sicherheit und Vergünstigungen als in anderen kapitalistischen Betrieben. Das förderte die Gewinnung hochqualifizierter Fachkräfte und ihre dauerhafte Bindung an den Betrieb, ihre Identifikation mit den Aufgaben, Problemen und Leistungen „ihres“ Betriebes. Es förderte bei ihnen aber auch teilweise die Tendenz einer Arbeiteraristokratie und nährte in der Arbeiterbewegung oft reformistische Illusionen, obgleich der „Zeissianer“ ebenfalls der kapitalistischen Ausbeutung unterlag. Am

29. März 1900 wurde im Zeiss-Werk von der 9stündigen zur 8stündigen Arbeitszeit unter der Voraussetzung übergegangen, daß die gleiche Tagesleistung wie bisher zu erbringen war, was tatsächlich auch geschah.

Mit der Gründung der Carl-Zeiss-Stiftung und ihrem Ausbau hatte Abbe ein Werk geschaffen, das unter kapitalistischen Bedingungen die Grenzen der „Machbarkeit“ erreichte. Das von ihm im Statut verankerte humanistische Gedankengut ließ sich in der Folgezeit nicht voll verwirklichen. Erst unter sozialistischen Bedingungen wurde dies möglich. Im Juni 1948 beschloß die damalige Deutsche Wirtschaftskommission die Fortführung der Carl-Zeiss-Stiftung in ihrem alten Umfang, ausgenommen die in Volkseigentum überführten Werke Zeiss und Schott. Beide Werke erhielten ihr gegenüber bestimmte Rechte und Pflichten.

Die Carl-Zeiss-Stiftung blieb bestehen, weil sich infolge der tiefgehenden gesellschaftlichen Veränderungen die Voraussetzungen ergaben, den ihr bis dahin eigenen Widerspruch zwischen der proklamierten sozialen Aufgabenstellung und ihrer tatsächlichen Funktion im Interesse der Arbeiter, Angestellten und Intelligenz zu überwinden. Dazu hatte die Verstaatlichung der beiden Betriebe Zeiss und Schott, die gleichzeitig in ein neues Verhältnis zur Stiftung traten, ein festes Fundament gelegt. [71, S. 30]

Übergang zum allgemeinen wissenschaftlichen Gerätebau

Unter wissenschaftlichem Gerätebau wollen wir [119] die Entwicklung einer Vielzahl neuartiger optischer Geräte und Instrumente und ihre Herstellung in relativ großen Stückzahlen innerhalb einer optischen Werkstätte verstehen. Dabei stützen sich Entwicklung und Herstellung auf wissenschaftlich begründete Vorschriften der technischen Optik.

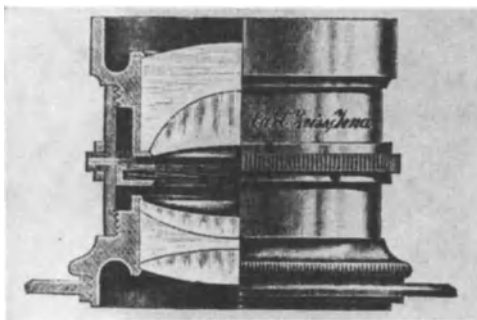
Mit der Entwicklung der Apochromate 1886 war im Mikroskopbau ein relativer Abschluß gegeben. Der erreichte Stand erlaubte aus wirtschaftlichem Interesse es nicht mehr, daß man sich wie bisher auf das eine Arbeitsfeld beschränkte, es stellte „eine viel zu schmale Basis für die Stabilität des Unternehmens“ [3, S. 83] und damit für seine Sicherung und Fortentwicklung dar. Darüber hinaus birge nach Abbe die enge Begrenzung eines Arbeitsfeldes die Gefahr in sich, daß einmal eine Periode eintritt, in der die

bisher treibenden Gedanken sich ausgelebt haben und erschöpft sind. Nur wenn man mehrere Aufgabenbereiche hat, die in verschiedenen Interessen wurzeln, lassen sich eher neue Anregungen und Antriebe schöpfen.

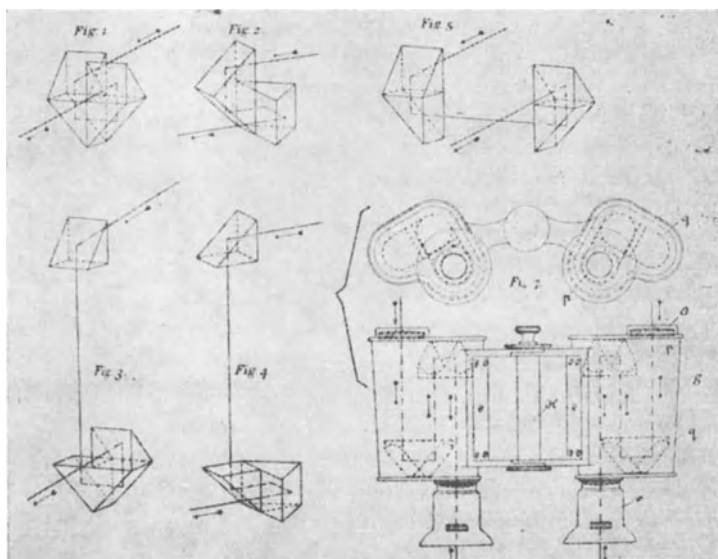
Schritt für Schritt wurde der wissenschaftliche Mikroskopbau, der neben der Bereitstellung neuer optischer Spezialgläser ab 1886 das Fundament bildete, erweitert

mit der doppelten Absicht: die Pflege der naturwissenschaftlichen Studien auf den betreffenden Gebieten zu fördern und um die Zukunft der Firma *Carl Zeiss* nicht auf eine Karte zu stellen, sondern sie unabhängig zu machen von den Zeitverhältnissen und wirtschaftlichen Konjunkturen. [57, S. 91]

Zunächst wurden noch neue Geräte für die Mikrofotografie und -projektion entwickelt, die man ab Frühjahr 1888 anbot. Hierbei erwarb sich Roderich Zeiß besondere Verdienste, der sich als ausgezeichnete Mikrofotograf erwies. Im Zusammenhang mit den genannten Vorzügen der Apochromate wurde schon von Abbe auf ihre Nützlichkeit für die Mikrofotografie (s. S. 110) hingewiesen. Hinsichtlich des weiteren Ausbaues des Zeiss-Werkes entstanden zwischen Abbe und Roderich Zeiß, den beiden Teilhabern, ernste Meinungsverschiedenheiten, da sich Zeiß mit dem erreichten Stand im wesentlichen zufrieden gab und nicht für eine Ausdehnung war. Die weitere Zusammenarbeit zwischen ihnen wurde noch dadurch unmöglich gemacht, daß Zeiß oft gemeinsam beschlossene Maßnahmen ohne sachliche Gründe eigenmächtig wieder aufhob. Abbe überließ Zeiß die Art und Weise der herbeizuführenden Auflösung der Partnerschaft. Da sich Zeiß Ende 1889 für ein Ausscheiden aus der Leitung und für das weitere Verbleiben als offener Gesell-



34 Anastigmat – ein lichtstarkes Doppelobjektiv aus dem Jahre 1891, bestehend aus 5 Linsen. Öffnungsverhältnis 1:4,5, Brennweite 150 mm



35 Fig. 7: Feldstecher – ein Doppelfernrohr mit vergrößertem Objektiv-
abstand in Grund- und Draufsicht.

Zwischen Objektiv und Okular eines astronomischen Fernrohres befindet sich zur Bildumkehr eine Prismenkombination (Fig. 5), wie sie 1853 und 1856 vom italienischen Ingenieur Ignaz Peter Paul Porro für einfache Fernrohre benutzt wurde (Fig. 1 und 2). Die Bildumkehr wird durch eine 4-fache Totalreflexion bewirkt. Gleichzeitig entsteht je nach Größe der Seitenlänge der Kathetenfläche der Prismen eine entsprechende seitliche Versetzung zwischen ein- und austretendem Strahl. Diese Versetzung kann jedoch ohne Erweiterung der Prismenfläche beliebig vergrößert werden, wenn Prismenelemente entsprechend auseinander gezogen werden (Fig. 3 und 4), woran Porro selbst nicht gedacht hatte [2, S. 267–274, Tafel IV]

schafter entschied, war Abbe alleiniger Leiter des Zeiss-Werkes. (Vgl. [5, S. 118 ff.].) Er konnte nun planmäßig seine Vorhaben verwirklichen. Diese betrafen, ohne hierauf näher eingehen zu können (man vgl. z. B. [74, S. 58–121], die Entwicklung und Herstellung ab

- 1890 von neuartigen fotografischen Objektiven – lichtstarke Anastigmaten – von Paul Rudolph [90],
- 1892/93 von optischen Meßinstrumenten, die man schon länger

- für eigene Zwecke hergestellt hatte, unter Leitung von Carl Pulfrich (und der späteren Mitwirkung von Fritz Löwe),
- 1893/94 des von Abbe erfundenen Prismenfeldstechers,
 - 1897 von astronomischen Geräten,
 - 1901 von Bildmeßgeräten,
 - 1908 von geodätischen Geräten und
 - 1912 von neuartigen Brillengläsern und medizinisch-optischen Instrumenten.

Durch den Übergang vom Mikroskopbau zum allgemeinen wissenschaftlichen Gerätebau entwickelte sich das Zeiss-Werk zu einem bedeutenden Konzern, der seine führende Rolle in der feinmechanisch-optischen Industrie behaupten konnte.

Anzumerken ist noch die Auffassung Abbes zum Patentwesen. In seiner Denkschrift vom 4. Dezember 1887 schrieb er hierzu:

Die Betriebseinrichtungen und die Arbeitsmethoden sind jedem, auch den Konkurrenten, zugänglich; es wird in diesem Punkte keinerlei Geschäftsgeheimnis beobachtet; die leitenden Gedanken für alle konstruktiven Ausführungen, die Mittel, welche dazu dienen, und die Bedingungen ihres Erfolgs, werden stets veröffentlicht, sobald die Angelegenheit hier zum Abschluß gebracht ist; endlich wird jede Neuerung, auch wenn ihre Durchführung noch



36 Zeiss-Werk um 1906 und Abbes Wohnhaus (rechts unten). Das Verwaltungsgebäude (Bildmitte) wurde 1934/36 durch ein Hochhaus ersetzt. Abbes Wohnhaus wurde infolge der Erweiterung des Zeiss-Werkes 1912 abgetragen und in Jena-Lichtenhain originalgetreu wieder aufgebaut

so großen Aufwand an Arbeit und Geld gekostet hat und ihre Monopolisierung durch Patente noch so leicht zu erreichen wäre, *ausnahmslos* in den freien Wettbewerb gestellt, so daß jeder, der will und kann, an den hier erreichten Fortschritten ohne weiteres teilnehmen darf. [5, S. 45]

Durch den zunehmenden Konkurrenzkampf sollte Abbe schon wenige Jahre später seine Meinung ändern. Er reichte von 1892 bis 1902 [2] allein 10 Patente ein, unter denen sich z. B. der Feldstecher (Bild 35) befand und gegen dessen Nachbau, trotz Patentes, durch eine Berliner Firma er sich hart auseinandersetzen mußte.

1898 entstand die Patentabteilung, in der man versuchte, eine möglichst lückenlose Bibliothek über Optik und optische Geräte aufzubauen.

Förderer der Jenaer Universität

„Eine neue Blütezeit brach für Jenas Hochschule an, die jetzt Schritt zu halten vermochte mit ihren reicheren Schwestern.“

Eduard Rosenthal, 1910 [62, S. 32]

Der gewaltige Aufschwung von Natur- und technischen Wissenschaften in der 2. Hälfte des 19. Jahrhunderts, ihre Verwandlung zu einem selbständigen Faktor des kapitalistischen Produktionsprozesses, wodurch neue Industrien, wie z. B. die elektrotechnische, chemische und feinmechanisch-optische Industrie – letztere wesentlich durch Abbe selbst mitgestaltet – entstanden, erforderte eine qualitativ höhere Stufe der Institutionalisierung dieser Wissenschaften. Der Staat wurde im Interesse der Wirtschaft veranlaßt, entsprechende Ausbildungs- und Forschungsinstitute ins Leben zu rufen und zu finanzieren. In dieser Gründerzeit der Institute konnten die 4 Erhalterstaaten der Universität Jena nur am Anfang mithalten, als sie 1881/84 zwei Institute, das Physikalische und das Zoologische Institut, errichten ließen. Doch der weiteren Ausgestaltung dieses Prozesses waren sie finanziell nicht gewachsen. Und hier setzte die unmittelbare Unterstützung Abbes mit dem schon erwähnten Neubau der Sternwarte und dem „Ministerialfonds für wissenschaftliche Zwecke“ bzw. der „Carl-Zeiss-Stiftung“ ein. Jährlich wurden der Universität bis 1890 20 000 Mark – 1890 gar 70 TM – dann bis 1895/96 durchschnittlich 42,5 TM zugeführt. Danach flossen die Mittel noch reichlicher. [85, Bd. 1, S. 502] Am 24. Februar 1900 vollendete Abbe sein Stiftungswerk mit dem „Ergänzungsstatut zum Statut der Carl-Zeiss-Stiftung“ für den Universitätsfonds der Carl-Zeiss-Stiftung [3, S. 320–328], in welchem über die Aufgaben von B 3. hinaus (s. S. 121) die allgemeinen Belange der Jenaer Universität berücksichtigt wurden. So konnten nach 1900 die Professorengehälter aufgebessert werden, und ein dringend erwünschter Neubau eines Universitätshauptgebäudes wurde 1905/08 möglich, an dem sich die Carl-Zeiss-Stiftung mit etwa der Hälfte der Kosten beteiligte. Zahlreiche neue Institute auf den verschiedensten Gebieten wurden mit Mitteln der Carl-Zeiss-Stiftung errichtet.

Am Beispiel der Physik wollen wir den Institutionalisierungsprozeß in Jena, der in erster Linie durch Abbe bewirkt wurde, kurz

skizzieren. [117] Dieser wurde, wie schon auf S. 94 f. angedeutet, mit der Gründung des Physikalischen Instituts 1883/84 eingeleitet, mit der zunächst die Experimentalphysik ihre Heimstatt fand.

Die vermehrten Belastungen, die Abbe im Zusammenhang mit der Leitung des Zeiss-Werkes und der Gründung der Geschäftsverhältnisse nach dem Tode von Carl Zeiß Ende 1888 und der Gründung der Carl-Zeiss-Stiftung im Mai 1889 hatte, zwangen ihn, sich von den regelmäßigen Lehraufgaben an der Universität entbinden zu lassen. Gleichzeitig regte er die Errichtung einer Nebenprofessur für theoretische Physik an. Angesichts der wachsenden Ausdehnung des Wissenschaftsgebietes Physik sei es jetzt ein dringendes Bedürfnis in Jena, wie er im Juni 1889 in seinem Antrag formulierte,

dass neben der Haupt-Professur für Physik – welche durch die grundlegenden Vorlesungen und die praktischen Uebungen im Laboratorium genügend belastet ist – noch besondere Vorsorge getroffen sei für *regelmässige* Vorlesungen wenigstens über die wichtigeren Abschnitte der Physik in eingehender, vorwiegend mathematischer Behandlung. Ohne dieses würde nicht einmal den Candidaten des Lehramts Gelegenheit geboten sein zur Erwerbung derjenigen Kenntnisse, welche die staatliche Examenordnung von ihnen verlangt. [28]

Im weiteren wies Abbe darauf hin, daß schon alle übrigen Universitäten in Deutschland sich in dieser Hinsicht vervollständigt hätten.

Abbes Antrag wurde entsprochen. Schon im September 1889 wurde das Extraordinariat für theoretische Physik geschaffen und mit Felix Auerbach, einem ehemaligen Schüler von Hermann Helmholtz, besetzt.

Um die Jahrhundertwende entstand für das Physikalische Institut im Zusammenhang mit dem geplanten Bau der Jenaer Straßenbahn mit Oberleitung ein ernsthaftes Problem. Eine Straßenbahnlinie sollte in unmittelbarer Nähe am Institut vorbeiführen. Die von der Straßenbahn ausgehenden Störungen würden aber die Durchführung elektrischer Messungen im Institut unmöglich machen. Es war Abbe, der das Problem in folgender Weise löste: Das bisherige Physikalische Institut werde durch die geplanten Institute für Technische Chemie und für Pharmazie und Nahrungsmittelchemie genutzt. Ein vorgesehener Bau des Instituts für Technische Physik werde einstweilen zurückgestellt, um die da-

für schon teilweise vorhandenen Mittel der Carl-Zeiss-Stiftung für einen Neubau des Physikalischen Institutes mit zu verwenden. Im Oktober 1902 wurde das neue Physikalische Institut eröffnet.

Ein weiteres, kleines Institut, das Institut für Mikroskopie, wurde 1902 aus Mitteln der Carl-Zeiss-Stiftung gegründet. Als Direktor gewann Abbe Hermann Ambronn, außerordentlicher Professor für Botanik an der Universität Leipzig seit 1889, der von 1899 bis 1907 gleichzeitig die wissenschaftliche Leitung der Abteilung Mikroskopie im Zeiss-Werk innehatte. Es war Abbes Wunsch, daß Ambronn die in Leipzig „abgehaltenen Vorlesungen über Theorie des Mikroskops und über Untersuchung der Pflanzen- und Thiergewebe im polarisirten Lichte hier ebenfalls vortrage“. [33] In den letzten Jahrzehnten hatten sich ja die Methoden der mikroskopischen Forschung wesentlich weiterentwickelt. Es war nicht nur ein dringendes Bedürfnis innerhalb der Biologie und Medizin, sondern auch in der allgemeinen Physik und Chemie sowie in der Großindustrie vorhanden, in die Theorie und richtige Handhabung des Mikroskopes eingeführt zu werden.

Im Jahre 1902/03 wurde das Institut für Technische Physik in Verbindung mit der Errichtung einer außerordentlichen Professur für angewandte Mathematik 1902 gegründet. Berufen wurde der Ingenieur Rudolf Rau, der Maschinenbau und Elektrotechnik studiert hatte und durch seine Tätigkeit als Ingenieur in verschiedenen Betrieben praktische Erfahrungen besaß. Bereits 1902 begann Rau mit seiner Lehrtätigkeit zunächst mit Vorlesungen zur darstellenden Geometrie, die er später u. a. mit Vorlesungen zur technischen Mechanik, zur Wechselstromtechnik und zur technischen Thermodynamik fortsetzte.

Trotz der großzügigen Unterstützung durch die Carl-Zeiss-Stiftung und die Geldstiftung von Otto Schott waren die Startbedingungen des Instituts, das in Deutschland das erste dieser Art war, keine leichten. Man war z. B. bei der Einrichtung des Instituts auch auf Sachgeschenke von zahlreichen Industriellen und Privatpersonen, die man angesprochen hatte, angewiesen. Auch mußte Rau, der als Mitarbeiter nur einen technisch geschulten Diener hatte, das Institut im wesentlichen allein einrichten und die Vorlesungen und Praktika selbst durchführen. Im März 1904 beantragte er eine Assistentenstelle, indem er darauf aufmerksam

machte, daß ihm „die Abhaltung von Übungen sowie die Einführung der angewandten Mathematik und technischen Physik in einer der Universität Jena würdigen Weise ohne einen Assistenten unmöglich ist“. [29] Daher sei er auch nicht in der Lage, den Beschluß des Senats zu verwirklichen, wonach die angewandte Mathematik und die technische Physik im Dokorexamen als Haupt- und Nebenfach zugelassen wurden. Erst diese Begründung überzeugte Abbe, der Bewilligung einer Assistentenstelle nunmehr zuzustimmen.

Angesichts dieser hier nur angedeuteten Schwierigkeiten der Institutsdirektoren ist es unverständlich, wenn behauptet wird, daß mit den damaligen Zuschüssen der Carl-Zeiss-Stiftung an die Universität es ihr „letzten Endes um die Unterstützung und Förderung der kapitalistischen Ausbeuterinteressen des eigenen Betriebes“ ginge. [85, Bd. 1, S. 502] Eine derartige Aussage, die sich darauf stützt, daß die Carl-Zeiss-Stiftung zuerst Mathematik und Naturwissenschaften förderte, ehe sie ab 1900 auch die allgemeinen Belange der Universität berücksichtigte, trifft keineswegs die Intentionen Abbes.

Wie man sieht, war der Institutionalisierungsprozeß der Physik in Jena wesentlich durch Abbe geprägt und durch Bereitstellung entsprechender finanzieller Mittel über die Carl-Zeiss-Stiftung überhaupt erst ermöglicht worden. Anfang des 20. Jahrhunderts kam dieser Prozeß zu einem relativen Abschluß. Die geschaffene Institutsstruktur für Lehre und Forschung, die in folgenden Jahren und Jahrzehnten weiter ausgebaut wurde, hat sich bis zur Gründung der Sektion Physik am 19. März 1968 voll bewährt. Die Institute wurden durch die Sektion in gleicher Weise dialektisch aufgehoben wie 1883/84 das Physikalische Kabinett durch das Physikalische Institut.

Ausklang

„Durch die seltene Vereinigung der Eigenschaften des strengen Gelehrten mit dem Blick und dem Interesse des Praktikers erinnert Abbe an Fraunhofer's Persönlichkeit. Auch durch die Bedeutung ihrer Arbeiten werden die beiden einander nahe stehen und daß Professor Abbe der Akademie anzugehören vollauf verdient, kann keinem Zweifel unterliegen.“

Kohlrausch, Planck u. a., 1896 (nach [43, S. 33])

Abbes großartigen Leistungen wurden um die Jahrhundertwende von den verschiedensten Akademien der Wissenschaften mit der Aufnahme als korrespondierendes Mitglied wie in Berlin (1896) und Wien (1900) oder als Ehrenmitglied wie in Leipzig und Göttingen (1901) gewürdigt. Dabei fühlte er sich gar nicht wohl, weil er wegen seiner beruflichen Verpflichtungen zu wenig Zeit für eine akademische Tätigkeit fand, um mit dem Maßstab eines Akademikers gemessen zu werden. Dennoch nahm er alle Gelegenheiten wahr, um wissenschaftliche Kontakte zu pflegen. Allein 45 Vorträge hat er in den Sitzungen der Jenaer Medizinisch-Naturwissenschaftlichen Gesellschaft in den Jahren von 1863 bis 1894 gehalten. (Vgl. [61, S. 18].) Auch war er ein aktives Mitglied über Jahre hinweg bei den von Ernst Haeckel für Mediziner und Naturwissenschaftler ins Leben gerufenen Referierabenden, die allmonatlich abwechselnd bei den einzelnen Mitgliedern stattfanden.

Bemerkenswert ist der Vergleich Abbe mit Fraunhofer, wie er im obigen Zitat zum Ausdruck kommt. Abbe selbst zog wenige Monate später in seiner „Gedächtnisrede zur Feier des 50jährigen Bestehens der Optischen Werkstätte“ [3, S. 60] am 11. Dezember 1896 den Vergleich zu Fraunhofer hinsichtlich der einzelnen Schritte bei der Verwissenschaftlichung der Produktion. Es waren drei charakteristische Etappen dazu notwendig, nämlich die Vervollkommnung der Methoden der technischen Arbeit, die Ausbildung der theoretischen Grundlagen und die Herstellung verbesserter optischer Gläser. Sie wurden in München wie in Jena in der gleichen Reihenfolge durchlaufen. Dennoch handelte es sich in Jena nicht um Nachahmungen, sondern um selbständige Entwicklungen, um einen Parallelismus „desselben Entwicklungsganges von einem ganz anderen Ausgangspunkt aus – nämlich



37 Ernst Abbe und
Frau Elise während
einer Mittelmeerreise
1903

vom Mikroskop-Problem –“, der „in allen wesentlichen Punkten zu wichtigen und unentbehrlichen Ergänzungen der Fraunhofer-schen Arbeit“ führte. [3, S. 69] Man kann hinzufügen, daß Abbe das von Fraunhofer begonnene Werk vollendete. Allerdings blieb ein Problem für ihn seit 3 Jahrzehnten unerledigt, nämlich die Mikroskoptheorie in mathematisch beweiskräftige Form zu bringen. Seine engsten Mitarbeiter hatten gehofft, daß nach seinem Ausscheiden aus der Geschäftsleitung 1903 er die nötige Muße dazu finden würde.

Doch es war eine schwache Hoffnung. Abbes Gesundheit war schon seit Jahren angegriffen und hatte sich inzwischen weiter verschlechtert. Seine Kräfte waren Ende März 1903 so erschöpft, daß er seine Funktion als Geschäftsführer niederlegen mußte. Für Ersatz hatte er langfristig vorgesorgt. Als sein Nachfolger kam der Physiker Rudolf Straubel, der in seiner Dissertation und Habilitationsschrift sich mit Fragen der Lichtbeugung beschäftigt hatte, in die Geschäftsleitung.

Abbes Krankheitszustand wurde durch übertriebenen Tabak-genuß, durch vieles Nacharbeiten, wobei er allmählich die Fähig-

keit verlor, nachts schlafen zu können, und durch Einnahme von Schlafmitteln, deren Dosen er nach und nach steigerte, verursacht. Die gut gemeinten Ratschläge von Freunden und Ärzten schlug er fast alle aus und ließ sich kaum behandeln. Nur zu zwei Seereisen 1901 und 1903 ließ er sich bewegen. Nach einer kurzen Besserung im Jahr 1903 nahmen ab Frühjahr 1904 die körperlichen und geistigen Kräfte unaufhaltsam ab, so daß man seit Oktober auf das Ende von Abbe gefaßt war. Erst am 14. Januar 1905, 9 Tage vor Vollendung seines 65. Lebensjahres, wurde er von seinem Leiden erlöst. Die Trauerfeier fand am 17. Januar 1905



38 Grabstätte Abbes auf dem Nordfriedhof in Jena. Die Reliefplatte schuf der Bildhauer Adolf von Hildebrand

im Volkshaus statt, das im Nov. 1903 eingeweiht wurde. Viele Jenaer und auswärtige Abgesandte nahmen an dieser Feier teil.

Im Hinblick auf die Mikroskoptheorie war es dann Otto Lummer, der nach Vorlesungsnotizen vom Wintersemester 1886/87 versuchte, die von Abbe selbst gegebene Herleitung seiner Theorie, die für immer begraben zu sein schien, der Fachwelt zu erhalten. Er überarbeitete und vervollständigte sie mit Fritz Reiche, um schließlich die Frage klären zu können: „Ist die auf dem Fresnel-Huygensschen Prinzip der Interferenz von Elementarwellen aufgebaute Theorie Abbes auch nach dem heutigen Standpunkt des Kirchhoffschen Prinzips und der Maxwellschen Theorie noch modern?“ [7, S. VIII] Unter der Voraussetzung kleiner Konvergenzwinkel im Bildraum ließ sich diese Frage bejahen, so daß die Abbesche Theorie der Bildentstehung im Mikroskop auch der strengeren Herleitung genügt. [69]

Bemerkenswert ist, daß 1932 der niederländische Physiker Frits Zernike auf der Grundlage der Abbeschen Theorie eine neue mikroskopische Beobachtungsmethode, das Phasenkontrastverfahren, entwickeln konnte. Mit ihr lassen sich nichtabsorbierende Objekte – sog. Phasenobjekte, wie z. B. farblose lebende mikroskopische Objekte, deren Brechzahl sich gegenüber der des umgebenden Mittels kaum unterscheidet – ohne Anfärben mit Färbemitteln im Mikroskop sichtbar machen. Dazu wird in der hinteren Brennebene des Objektivs die Phase des Maximums 0. Ordnung um 90° gedreht. Das geschieht mit einer speziellen Phasenkontrasteinrichtung, die 1941 im Zeiss-Werk zur technischen Perfektion gebracht wurde und aus Phasenkondensor und mehreren Sonderobjektiven sowie Zubehör besteht. Für dieses bedeutende Verfahren erhielt Zernike 1953 den Nobelpreis für Physik. Auch die von Dennis Gabor, einem britischen Elektroingenieur und Physiker ungarischer Herkunft, im Zusammenhang mit der Verbesserung der elektronenoptischen Abbildung 1948 erfundene Holografie – ein fotografisches Bildspeicherverfahren – baut letztlich auf der Abbeschen Theorie (vgl. [52]) auf. Gabor erhielt für sein Verfahren, das erst mit der Lasererfindung an Bedeutung gewann, 1971 den Nobelpreis für Physik.

Überblickt man Abbes Leben und Schaffen, so läßt sich sagen, daß er sich stets mit voller Hingabe und unter Einsatz all seiner Kräfte den jeweiligen Aufgaben gewidmet hat, ganz gleich, ob er

Schüler, Student, junger Wissenschaftler, Hochschullehrer, „Industrie“-Physiker oder Industrieller war. In seinem unbändigen Streben fand er überall hilfsbereite Unterstützung und Förderung. Mit vielen Gelehrten seiner Zeit pflegte er rege Kontakte, aus denen nicht selten freundschaftliche Beziehungen hervorgingen. Die umfangreiche Korrespondenz mit ihnen, aber auch die ungezählten Anfragen von Liebhaber-Optikern erledigte bzw. beantwortete Abbe mit erstaunenswerter Geduld. [43] Von Abbes engeren Freunden konnten nur wenige vorgestellt werden. Hinzuzurechnen sind vor allem noch Carl Zeiß, Otto Schott, Siegfried Czapski, Rudolf Straubel, der Zoologe Nikolaus Kleinenberg sowie die Studienfreunde Heinrich Eggeling und Adolf Weinhold. Eggeling, der ab 1884 Kurator der Jenaer Universität war, stand Abbe beratend zur Seite, als dieser sein Stiftungswerk schuf. Zwischen Abbe und Weinhold, einem bedeutenden Lehrer an der Höheren Gewerbeschule zu Chemnitz (dem heutigen Karl-Marx-Stadt), gibt es einen überlieferten Schriftverkehr.¹⁶

Ernst Abbe hat in Jena, wie wir sahen, gemeinsam mit Carl Zeiß und später mit Otto Schott die Wechselbeziehungen von Wissenschaft, Technik und Produktion in zwei Bereichen kultiviert. Dadurch konnte er Großes sowohl in Physik und technischer Optik wie auch im Mikroskopbau und im allgemeinen wissenschaftlichen Gerätebau, aber noch Größeres auf dem Gebiet der Sozialpolitik erreichen. Er hat damit Maßstäbe gesetzt, denen seine Schüler und deren Nachfolger mit ihren laufenden Neu- und Weiterentwicklungen von Zeiss-Erzeugnissen in hochpräziser Ausführung durch die Arbeiter, Konstrukteure und Techniker gerecht wurden und werden. (Vgl. [74].) Man braucht nur an solche Beispiele zu denken wie

- an den 1902 von Paul Rudolph erfundenen neuen Fotoobjektivtyp Tessar mit der Lichtstärke 1:6,3 und der 1904 erfolgten Erhöhung der Lichtstärke auf 1:4,5 durch Ernst Wandersleb, dessen Tessar bald als „Adlerauge der Kamera“ bekannt wurde;
- an die ab 1935 von Hans Boegehold geschaffene planachromatische und planapochromatische Mikroskopoptik, mit der eine

¹⁶ Abbe, Ernst: Briefwechsel mit Adolf Ferdinand Weinhold. Eingel. u. mit Anm. vers. von Reinhard Feige u. Dagmar Szöllösi. Leipzig 1990. (Ostwalds Klassiker der exakten Wissenschaften, Bd. 276.)

Bildfeldebnung gelang, die vor allem für die Mikrofotografie von Bedeutung ist;

- an die Erfindung des Projektionsplanetariums 1918/23 durch Walter Bauersfeld, eines „Wunderwerkes der Technik“, dessen Nachfolgeentwicklungen zum Kleinplanetarium (vor 1945) mit dem Nachfolgetyp „ZKP 2 Skymaster“ (1976), zum Raumflugplanetarium „Spacemaster“ (1967) und zum Großplanetarium „Cosmorama“ (1984) führten;
- an den 1960 erfolgten Bau eines der größten und leistungsfähigsten Spiegelteleskope der Welt, des 2-m-Universalspiegelteleskops, für das Karl-Schwarzschild-Observatorium der Deutschen Akademie der Wissenschaften zu Berlin (der heutigen AdW der DDR) in Tautenburg oder
- an die mit sowjetischen Spezialisten 1976 gemeinsam entwickelte Multispektralkamera MKF 6 einschließlich des Multispektralprojektors MSP 4 als neue Möglichkeit für die Fernerkundung der Erde. [71]

Durch die wissenschaftlich-technische Revolution seit der Mitte des 20. Jahrhunderts, vor allem durch die fördernden Auswirkungen der EDV- und Laserentwicklung, sowie durch die Anforderungen der Photogrammetrie, der Medizintechnik und der Mikroelektronik auf bzw. an den optischen Präzisionsgeräteeinbau hat sich die technische Optik völlig gewandelt. Sie ist inzwischen in ihre moderne Periode eingetreten. [116] Das zeigt sich u. a. an der Entwicklung, Konstruktion und Fertigung von Hochleistungsobjektiven mit im allgemeinen beträchtlicher Erweiterung des Feldes (Großfeldobjektive) meist in Verbindung mit einer weiteren Verbesserung des Kontrastes, der Verzeichnungsarmut, der chromatischen Korrektur und/oder der Lichtstärke. Die Restaberrationen und die technologisch bedingten Störeinflüsse konnten weiter minimiert werden. Sie liegen z. B. bei den quasi beugungsbegrenzten Objektiven für die Mikroskopie und Fotolithografie in der Größenordnung der (durch die Beugung an der Öffnungsblende bedingten) Beugungsunschärfe und haben damit nahezu die natürliche Grenze erreicht. Dies war mit einem Übergang von der geometrisch-optischen zur durchgängigen wellenoptischen Behandlung verbunden, wobei die Kriterien für die Strahlenaberration durch solche der Bildgüte, unter Beachtung des Informationsübertragungsaspektes, ersetzt wurden.

Wenn es heute u. a. darum geht, die Wissenschaft mit der Produktion und die Produktion mit der Wissenschaft noch enger zu verbinden und speziell das Kombinat VEB Carl Zeiss JENA als Zentrum der Hochtechnologie zu profilieren, so sind damit Aufgaben in unvergleichbar höheren Dimensionen und von komplexerer Natur zu lösen, als sie zur Zeit Abbes auf der Tagesordnung standen. Sie sind nicht nur für das Kombinat, sondern auch für die mit ihm traditionell verbundene Universität und die anderen Kooperationspartner eine große Herausforderung. Für alle Beteiligten muß es eine Verpflichtung sein, das wissenschaftliche Erbe Abbes hierbei schöpferisch weiterzuentwickeln.

Chronologie

- 1840 23. Januar: Ernst Abbe in Eisenach geboren.
- 1846 bis
- 1850 Besuch der Volksschule, danach
- 1850 bis
- 1857 Besuch der Realschule in Eisenach.
- 1857 April: Beginn des Studiums der Mathematik und Physik in Jena.
 14. Juli: Tod der Mutter Elisabeth Christina Abbe (geb. Barchfeld).
- 1857 bis
- 1858 Bearbeitet eine physikalische Preisaufgabe.
- 1858 19. Juni: Erhält hierfür den 1. Preis.
- 1859 22. Juli: Freundschaftsbund mit Harald Schütz geschlossen.
 11. November: Zweite Eheschließung des Vaters Georg Adam Abbe mit der Witwe Eva Margarethe Liebetrau (geb. Lindemann).
- 1859 bis
- 1861 Fortsetzung des Studiums in Göttingen.
- 1861 23. März: Promotion in Göttingen zum Dr. phil.
- 1861 bis
- 1862 Dozent am Physikalischen Verein in Frankfurt am Main.
- 1863 18. April: Übersiedlung nach Jena.
 8. und 10. August: Habilitation und Privatdozent für Mathematik und Physik.
- 1864 Errichtung eines physikalischen Praktikums.
- 1866 3. Juli: Zusätzliche Mitarbeit bei Carl Zeiß.
- 1870 5. Mai: Ernennung zum außerordentlichen Professor.
- 1871 24. September: Eheschließung mit Elise Snell.
- 1871 bis
- 1872 Begründet in Gemeinschaft mit Carl Zeiß den wissenschaftlichen Mikroskopbau.

- 1872 18. November: Geburt der Tochter Margarete.
- 1873 1. Dezember: Mitglied der Kaiserlichen Leopoldinisch-Carolinischen Deutschen Akademie der Naturforscher.
- 1874 30. April: Geburt der Tochter Paula.
18. August: Tod des Vaters Georg Adam Abbe.
- 1876 22. Juli: Vertragsabschluß über stille Teilhaberschaft an der Zeiss-Werkstätte, rückwirkend ab 15. Mai 1875.
Besuch der internationalen Ausstellung wissenschaftlicher Geräte in London im Auftrag des preußischen Kultusministeriums.
- 1877 Übernimmt Direktorat der Sternwarte (bis 1900).
- 1878 Einführung der homogenen Immersion.
1. Mai: Ehrenmitglied der Royal Microscopical Society London.
25. Juli: Berufung zum ordentlichen Honorarprofessor.
- 1879 Erster Kontakt mit Otto Schott.
- 1880 bis Erarbeitung der Grundgedanken und eines Kostenanschlages für den Bau des Physikalischen Instituts der Universität Jena.
- 1881 Januar: Beginn der Zusammenarbeit mit Otto Schott.
- 1882 Januar: Errichtung eines privaten glastechnischen Laboratoriums für Schott in Jena.
- 1883 10. November: Ehrendoktor der Medizinischen Fakultät der Universität Halle-Wittenberg.
- 1884 Mitbegründung der Glastechnischen Versuchsanstalt Schott & Gen. (Abbe, Carl und dessen Sohn Roderich Zeiß).
Mitglied des neu gegründeten Freisinnigen Vereins zu Jena.
- 1886 August: Neue Mikroskop-Objektive und -Okulare aus Spezialgläsern des Glastechnischen Laboratoriums (Schott & Gen.)
– Apochromate mit Kompensationsokularen.
Gründung des Ministerialfonds für wissenschaftliche Zwecke.
Tod des Schwiegervaters Karl Snell.
- 1888/89 Neubau der Sternwarte (auf eigene Kosten).
- 1888 3. Dezember: Carl Zeiß stirbt in Jena.
- 1889 19. Mai: Gründung der Carl-Zeiss-Stiftung Jena.
Entbindung von regelmäßigen Lehrverpflichtungen und Vorschlag zur Errichtung einer Nebenprofessur für theoretische Physik.
Alleiniger Leiter des Zeiss-Werkes.
- 1888/90 Übergang zum allgemeinen wissenschaftlichen Gerätebau.
- 1891 30. Juni: Übergang des Zeiss-Werkes und der Hälfte des Schott-Werkes in Stiftungsbetriebe.
Bevollmächtigter und einer der 3 Geschäftsführer der Carl-Zeiss-Stiftung (bis 1903).
- 1894 15. März: Eheschließung der Tochter Margarete mit dem Gymnasiallehrer Dr. phil. Otto Unrein, dem späteren Professor und Direktor des Jenaer Lyzeums (der heutigen Grete-Unrein-Schule).
- 1895 15. Juni: Eheschließung der Tochter Paula mit dem Arzt Dr. med. Theodor Wette in Weimar.
- 1896 23. Juli: Korrespondierendes Mitglied der Königlichen Akademie zu Berlin.

26. Juli/16. August: Ersetzung der Stiftungsurkunde durch ein Statut.
12. Dezember: Ehrendoktor der Juristischen Fakultät der Universität Jena.
- 1899 bis 1903 Unterstützung beim Ausbau der Physikausbildung durch Errichtung von Nebenprofessuren und Institute (für Mikroskopie 1899 bzw. 1902/03; für angewandte Mathematik 1902 bzw. technische Physik 1902/03; Neubau des Physikalischen Institutes 1901/02).
- 1900 Ergänzungsstatut (für den Jenaer Universitätsfonds). Korrespondierendes Mitglied der Kaiserlich-Österreichischen Akademie der Wissenschaften in Wien.
- 1901 Ehrenmitglied der Sächsischen Akademie der Wissenschaften in Leipzig und der Königlichen Gesellschaft der Wissenschaften in Göttingen.
- 1905 14. Januar: Ernst Abbe stirbt nach längerer schwerer Krankheit in Jena.

Literatur (Auswahl)

A. Abhandlungen, Theorien, Briefeditionen Ernst Abbes

- [1] Gesammelte Abhandlungen von Ernst Abbe. Erster Band: Abhandlungen über die Theorie des Mikroskops. Hrsg.: H. Ambronn. Jena 1904.
- [2] Dass.: Zweiter Band: Wissenschaftliche Abhandlungen aus verschiedenen Gebieten. Patentschriften. Gedächtnisreden. Hrsg.: E. Wandersleb. Jena 1906.
- [3] Dass.: Dritter Band: Vorträge, Reden und Schriften sozialpolitischen und verwandten Inhalts. Hrsg.: S. Czapski. 2. Aufl. Jena 1921.
- [4] Dass.: Vierter Band: Unveröffentlichte Schriften wissenschaftlich-technischen Inhalts. Erste Hälfte: Arbeiten zum Glaswerk zwischen 1882 und 1885. Hrsg.: M. v. Rohr. Jena 1928.
- [5] Dass.: Fünfter Band: Werden und Wesen der Carl Zeiss-Stiftung an der Hand von Briefen und Dokumenten aus der Gründungszeit (1886 bis 1896). Dargestellt: F. Schomerus. Jena 1940.
- [6] Czapski, S.: Theorie der optischen Instrumente nach Abbe. Breslau 1893. (Enthalten auch in Winkelmans Handbuch der Physik. 2. Bd. Breslau 1894.)
- [7] Abbe, E.: Die Lehre von der Bildentstehung im Mikroskop. Bearb. u. hrsg.: O. Lummer; F. Reiche. Braunschweig 1910.
- [8] Der Briefwechsel zwischen Otto Schott und Ernst Abbe über das optische Glas 1879–1881. Bearb.: H. Kühnert. Jena 1946.
- [9] Ernst Abbe – Briefe an seine Jugend- und Studienfreunde Carl Martin und Harald Schütz 1858–1865. Hrsg. u. bearb.: V. Wahl; J. Wittig; u. Mitw. B. Schwcinitz; A. Vogt. Berlin 1986.

B. Archivalien

- [10] Betriebsarchiv VEB Carl Zeiss JENA (BACZ) 10 155: E. Abbe: Ueber die Grenzen der geometrischen Optik. II. Theil, Bruchstück eines handschriftl. Manuskriptes. S. 72 a.
- [11] BACZ 11 203–11 242: Rechenhefte Abbes.
- [12] BACZ 12 442 (nachträgl. geändert auf 12 457): Notizbuch zur Dioptrik von Abbe (ohne Jahr, etwa Ende der 60er Jahre bis 1873).
- [13] BACZ 12 443: Notizbuch von Ernst Abbe. Notizen zwischen 1873 und 1879. Zusammenstellung von Konstruktionsskizzen aller damals in der Zeiss-Werkstätte gefertigten Objektive.
- [14] BACZ 12 444: Inhaltsangaben von Hans Boegehold zu [11]–[13].
- [15] BACZ 12 260: Gerichtliche Abschrift eines Protokolls über Abgabe der Eidesnotul des Mechanikergehilfen Fritz Müller vor Carl Zeiss vom 6. 10. 1866.
- [16] BACZ 20 319: Tage- und Notizbuch von Ernst Abbe aus den Jahren 1856/57.
- [17] BACZ 20 381 und 20 382: Briefe von L. Dippel an Abbe zwischen 1873 und 1884.
- [18] BACZ 20 386: 10 Briefe und 2 Postkarten Abbes an Dippel.
- [19] BACZ 20 605: 4 Briefe von A. Babuchin an Abbe von 1875–1881.
- [20] BACZ 20 613: Notizbuch. Handschriftliche Aufzeichnungen über Ernst Abbe (ohne Namen u. Jahr, vermutlich von Grete Unrein, geb. Abbe, um die Jahrhundertwende).
- [21] BACZ 30 532: Zeiss-Kataloge 1849–1896.
- [22] Archiv der Technischen Universität Dresden: Brief von C. Zeiß an Toepler vom 6. 4. 1868. Nachlaß von Prof. Dr. August Toepler.
- [23] Universitätsarchiv Halle (UAH): Rep. 4 Nr. 2079: Zur Ehrenpromotion Abbes, dto.
- [24] UAH: Rep. 29, Nr. 196, Bl. 28 f. u. 41.
- [25] Universitätsarchiv Jena (UAJ): E. Abbe: Physikalische und mathematische Abiturarbeiten. Eisenach 1857 (Fotokopien).
- [26] UAJ: Bestand B. A. 1333, Bl. 2: Ankündigung des physiologischen Praktikums vom April 1843.
- [27] UAJ: Bestand B. A. 1361: Preisaufgaben und Gutachten.
- [28] UAJ: Bestand C, Nr. 445, Bl. 1 f.: Antrag von E. Abbe 1889 auf Entbindung von Lehraufgaben.
- [29] UAJ: Bestand C, Nr. 721, Bl. 49: Antrag von R. Rau 1904 auf Gewährung einer Assistentenstelle.
- [30] UAJ: Bestand M, Nr. 286: Dissertation von F. W. Barfuß.
- [31] UAJ: Bestand M, Nr. 358, Bl. 170–174: Gutachten von K. Snell.
- [32] UAJ: Bestand M, Nr. 441, Reg. 102: Dissertation von O. Schott.
- [33] UAJ: Bestand M, Nr. 623, Bl. 93 f.: Antrag von H. Ambronn 1899 um Verleihung der Venia legendi.
- [34] Universitätsbibliothek Jena, Handschriften-Abteilung: Niederschriften von Vorträgen in der Mathematischen Gesellschaft zu Jena. Bde: 1 (1855/56), 4 (1858/59), 6 (1860/61), 8 (1862/63), 11 (1865/66), 12 (1866/67), 13 (1867/68), 18 (1875/78) und 19 (1878/81).

C. Publikationen zu Leben und Werk von Ernst Abbe (Auswahl)

- [35] Auerbach, F.: Ernst Abbe. Sein Leben, sein Wirken, seine Persönlichkeit nach den Quellen und aus eigener Erfahrung geschildert. Leipzig 1918.
- [36] Beyer, H.: 100 Jahre Abbesche Mikroskoptheorie und ihre Bedeutung für die praktische Mikroskopie. Feingerätetechnik 22 (1973) 4, S. 147 bis 150.
- [37] Boegehold, H.: Die Glasmessungen Abbes und sein erstes Polyopobjektiv. Forschungen zur Geschichte der Optik (Beilagehefte z. Z. f. Instrumentenkunde) 3 (1939) 1, S. 1–15.
- [38] Ders.: Zum hundertsten Geburtstag Ernst Abbes. Z. f. physik. u. chem. Unterricht 53 (1940) 2, S. 53–60.
- [39] Ders.: Abbes wissenschaftliche Leistungen für die moderne Optik. Zum 50. Todestag Ernst Abbes (14. Januar 1955). Feingerätetechnik 4 (1955) 1, S. 24 f.
- [40] Brundig, K.; u. Mitarb. G. Steiger: Der bürgerliche Demokrat und die politische Arbeiterbewegung Jenas. Sozialist. Universität vom 14. Januar 1965, Nr. 1, S. 5 f.: Ernst Abbe, Gedanken zu seinen politischen Auffassungen und zu seinem politischen Wirken.
- [41] Elm, L.: Der bürgerliche Demokrat und seine Klasse. Ebenda.
- [42] Esche, P. G.: Ernst Abbe. Leipzig 1963.
- [43] Gause, H.; P. Görlich: Beiträge zu Abbes Tätigkeit in gelehrten Gesellschaften und seine Korrespondenz mit Gelehrten seiner Zeit. Jenaer Jahrbuch 1966. Jena 1966. S. 19–37.
- [44] Günther, N.: Ernst Abbe. Schöpfer der Zeiss-Stiftung. 2. Aufl. Stuttgart 1951.
- [45] Gurikow, W. A.: Ernst Abbe (Russisch). Moskau 1985.
- [46] Hofmann, C.; H. Zöllner: Die Abbesche Sinusbedingung von 1873 und ihre Weiterentwicklung in den vergangenen 100 Jahren. Feingerätetechnik 22 (1973) 4, S. 151–159.
- [47] Hofmann, C.: Die Auswirkung der Zusammenarbeit von E. Abbe und O. Schott für die Entwicklung optischer Gläser und für den Jenaer optischen Präzisionsgerätebau am Ende des 19. Jahrhunderts. Augenoptik 101 (1984) 6, S. 162–168.
- [48] Koch, H.: Ernst Abbe und die mathematische Gesellschaft in Jena. Zeiss-Werkzeitung 17 (1942) 5, S. 89 f.
- [49] Korch, H.: Ernst Abbe als Wegbereiter für die Durchsetzung der Wissenschaft als Produktivkraft. Wiss. Z. d. FSU Jena. Gesellschafts- u. Sprachwiss. R. 14 (1965) S. 621–626.
- [50] Müller, K.; C. Hofmann: Tradition und Fortschritt – zum 100jährigen Jubiläum der Mikroskoptheorie und der Sinusbedingung von Ernst Abbe. Feingerätetechnik 22 (1973) 4, S. 145 f.
- [51] Pierstorff, J.: Ernst Abbe als Sozialpolitiker. München 1905.
- [52] Reichel, W.: Von der Abbeschen Theorie zur holografischen Abbildung. Feingerätetechnik 22 (1973) 4, S. 167–170.
- [53] Riesenberg, H.: Die Weiterentwicklung der Abbeschen Erkenntnisse in der Optikentwicklung moderner Mikroskope. Ebenda, S. 163–167.

- [54] Ders.: Das neue Ernst-Abbe-Denkmal in Jena. Jenaer Rundschau 23 (1978) 3, S. 146 f.
- [55] Rohr, M. v.: Erinnerungen an Ernst Abbe und den Optikerkreis um ihn. Die Naturwissenschaften 6 (1918) 22, S. 317–322 u. 23, S. 337 bis 342.
- [56] Ders.: Ernst Abbes Apochromate. Zur 50. Wiederkehr ihrer ersten Bekanntmachung am 9. Juli 1886. Jena (o. Jahr).
- [57] Ders.: Zur Geschichte der Zeissischen Werkstätte bis zum Tode Ernst Abbes. Mit Beiträgen von M. Fischer und A. Köhler. Forschungen zur Geschichte der Optik 2 (1936) 1, S. 1–119.
- [58] Ders.: Über die Arbeitsgemeinschaft von Carl Zeiss und Ernst Abbe bis zum Ende der siebziger Jahre. I. Ebenda (1937) 2, S. 160–176.
- [59] Ders.: Über den Ausgang der Arbeitsgemeinschaft von Carl Zeiss und Ernst Abbe. II. Ebenda (1938) 4, S. 253–292.
- [60] Ders.: Ernst Abbe als Leiter der Werkstätte bis zu seinem Tode. III. Ebenda (1938) 5, S. 295–346.
- [61] Ders.: Ernst Abbe. Jena 1940.
- [62] Rosenthal, E.: Ernst Abbe und seine Auffassung von Staat und Recht. Rede bei der von der Universität Jena veranstalteten Gedächtnisfeier am 6. Februar 1910. Jena 1910.
- [63] Schütz, W.: Ernst Abbe. Hochschullehrer und Industriephysiker. Carl Zeiss – zum 150. Geburtstag. Beilage zur Jenaer Rundschau 11 (1966), S. 13–23.
- [64] Stier, F.: Ernst Abbes akademische Tätigkeit an der Universität Jena. Zu seinem 50. Todestag am 14. Januar 1955. Jenaer Reden und Schriften. H. 3, Jena 1955.
- [65] Unangst, D.; J. Wittig: Das Zusammenwirken von Wissenschaft und Produktion und Ernst Abbes wissenschaftliches Wirken. Augenoptik 96 (1979) 6, S. 165–170.
- [66] Wahl, V.; J. Wittig: Einleitung in [9], S. XI–XLII.
- [67] Winkelmann, A.: Ernst Abbe. Rede bei der von der Universität Jena veranstalteten Gedächtnisfeier am 2. Mai 1905. Jena 1905.
- [68] Wittig, J.: Vor 100 Jahren wurde Abbe ehrenpromoviert. Sozialist. Universität vom 12. Sept. 1983, Nr. 1/2, S. 8 u. 10.
- [69] Ders.: Zum Konflikt Abbes mit dem weiteren Ausbau der Theorie des Mikroskopes und der Verwirklichung seiner Lebensaufgabe. Alma mater Jenensis. H. 4, Jena 1987, S. 63–70. Bearb. Auszug u. d. T.: Die Abbesche Theorie des Mikroskops – im 19. Jahrhundert noch ein Torso? Feingerätetechnik 35 (1986) 6, S. 272–274.
- [70] Ders.: Zur Persönlichkeitsentwicklung und zum Wirken von J. Fraunhofer und E. Abbe als technische Optiker – eine vergleichende Betrachtung. Wiss. Z. FSU Jena. Naturwiss. R., 37 (1988) 2, S. 341 bis 347.

D. Weitere Literatur (Auswahl)

- [71] Abicht, J.: 30 Jahre Deutsche Demokratische Republik – Neues Leben der Carl-Zeiss-Stiftung Jena. Festrede des Bevollmächtigten der Carl-Zeiss-Stiftung Jena am 11. Mai 1979. Hrsg.: Carl-Zeiss-Stiftung Jena. Jena 1979.
- [72] Altmann, R.: Zur Theorie der Bilderzeugung. Archiv f. Anatomie u. Physiologie. Leipzig 1880. S. 111–184.
- [73] Apoldaer Tageblatt. Nr. 51, 1. März 1871, S. 172.
- [74] Autorenkollektiv: Carl Zeiss Jena – einst und jetzt. Berlin 1962.
- [75] Brockhaus ABC der Optik. Hrsg. K. Mütze gemeinsam mit L. Foitzik; W. Krug; G. Schreiber. Leipzig 1961.
- [75a] BI-Lexikon Optik. Hrsg. H. Haferkorn. Leipzig 1988.
- [76] Cotta, B.: Briefe über Alexander von Humboldt's Kosmos. Ein Comentar zu diesem Werke für gebildete Laien. Erster Theil. Leipzig 1848. S. V.
- [77] Czapski, S.: Ueber ein System von der Apertur 1.60 (Monobromnaphthalin), hergestellt nach Rechnungen von Professor Abbe in der optischen Werkstätte von Carl Zeiss. Z. f. wiss. Mikroskopie u. f. mikroskop. Technik 6 (1889), S. 417–422.
- [78] Ders.: Die voraussichtlichen Grenzen der Leistungsfähigkeit des Mikroskops. Ebenda 8 (1891), S. 145–155.
- [79] Dippel, L.: Das Mikroskop und seine Anwendung. 2. Aufl., Erster Theil. Handbuch der allgemeinen Mikroskopie. Braunschweig 1882.
- [80] Eichhorn, A.: Bestimmung der Interferenzen von mehreren isochronen und in gleicher Phase schwingenden Lichtcentren. Von der philosophischen Facultät zu Jena gekrönte Preisschrift. Jena 1878.
- [81] Esche, P. G.: Carl Zeiss. Leben und Werk. 2. Aufl. Jena (o. Jahr).
- [82] Franz, Dietrich-E.: Saint-Simon, Fourier, Owen: Sozialutopien des 19. Jahrhunderts. Leipzig: Jena, Berlin 1987.
- [83] Frey, H.: Das Mikroskop und die mikroskopische Technik. 8. Aufl. Leipzig 1886.
- [84] Gauß, C. F.: Dioptrische Untersuchungen (1840). Abhandlungen der Mathematischen Classe der Königlischen Gesellschaft der Wissenschaften zu Göttingen. Bd. 1. Göttingen 1843. S. 1–34.
- [85] Geschichte der Universität Jena 1548/58–1958. Festgabe zum 400-jährigen Universitätsjubiläum. Verfaßt u. hrsg. Autorenkollektiv d. Histor. Inst. d. FSU Jena u. Leitung M. Steinmetz. Bd. 1. Jena 1958; Bd. 2. Jena 1962.
- [86] Haferkorn, H.: Optik. Physikalisch-technische Grundlagen und Anwendungen. Berlin 1980.
- [87] Harting, P.: Das Mikroskop – Theorie, Gebrauch, Geschichte und gegenwärtiger Zustand desselben. 3 Bde. 2. Aufl. Braunschweig 1866. Bd. 1: Theorie und allgemeine Beschreibung des Mikroskopes. Bd. 2: Gebrauch des Mikroskopes und Behandlung mikroskopischer Objecte. Bd. 3: Geschichte und gegenwärtiger Zustand des Mikroskopes sowie der Hülfsmittel bei mikroskopischen Untersuchungen.

- [88] Hofmann, C.; J. Wittig: Joseph v. Fraunhofer und seine Bedeutung für den optischen Präzisionsgerätebau. *Jenaer Rundschau* 22 (1977) 1 S. 9–11.
- [89] Hofmann, C.: 75 Jahre Zeiss-Tessar (1902–1977). *Feingerätetechnik* 27 (1978) 6, S. 281–284.
- [90] Ders.: 90 Jahre Anastigmaten – 90 Jahre Fotoobjektiventwicklung in Jena. *Ebenda* 28 (1979) 2, S. 89–92.
- [91] Ders.: *Die optische Abbildung*. Leipzig 1980.
- [92] Humboldt, A. v.: *Kosmos. Entwurf einer physischen Weltbeschreibung*. Stuttgart und Tübingen. Bd. 1, 1845; Bd. 2, 1847; Bd. 3, 1850; Bd. 4, 1858, und Bd. 5, 1862.
- [93] *Jenaische Zeitung*. Nr. 106, 6. Mai 1884, S. 2.
- [94] Jobst, R.: Vom Export der Zeiss-Mikroskope in den Jahren 1847 bis 1866. *Jenaer Rundschau* 4 (1959) 6, S. 186 f.
- [95] Kühnert, H.: Otto Schott. Eine Studie über seine Wittener Zeit bis zur Gründung des Jenaer Glaswerkes. Witten 1940.
- [96] *Mathematisches Wörterbuch*. Mit Einbeziehung der Theoretischen Physik. Bearb. u. hrsg. u. Mitwirk. zahlr. Fachgelehrter: Naas, J.; H. L. Schmid: Bd. 1, Leipzig 1961, S. 595.
- [97] Meyerstein, M.: Preisverzeichniss der astronomischen und physikalischen Werkstätte. *Astronom. Nachrichten* 53 (1860) Nr. 1258, Sp. 155–160; Nr. 1265, Sp. 263–272; Nr. 1267, Sp. 301–304.
- [98] Neumann, O.: Gottlob Frege als Mathematiker in seiner Zeit. *Alma mater Jenensis*. H. 4, Jena 1987, S. 71–81.
- [99] *Physikalisches Wörterbuch*. Hrsg.: W. H. Westphal. Berlin, Göttingen, Heidelberg 1952. 2. Teil. S. 55.
- [100] Planck, M.: *Das Princip der Erhaltung der Energie*. Leipzig 1887.
- [101] Rohr, M. v.: *Joseph Fraunhofers Leben, Leistungen und Wirksamkeit*. Nach Quellen geschildert. Leipzig 1929.
- [102] Schacht, H.: *Das Mikroskop*. Berlin 1851. 2. Aufl. Berlin 1855.
- [103] Schaeffer, H.: *Erinnerungsblätter der Mathematischen Gesellschaft zu Jena*. Den Mitgliedern gewidmet. Jena 1859.
- [104] Schleiden, M. J.: *Grundzüge der wissenschaftlichen Botanik*. 1. Theil, Leipzig 1842; 2. Aufl. (u. d. T.): *Die Botanik als inductive Wissenschaft behandelt*. Leipzig 1845; 3. Aufl. (u. d. T.): ... bearbeitet, Leipzig 1849; 4. Aufl. („unveränderter Abdruck ... der dritten Auflage“) Leipzig 1861.
- [105] Schreier, W.: Zu Problemen der Wechselwirkungen zwischen Physik und Produktion im 19. Jahrhundert. *Studien zur Geschichte der Produktivkräfte. Deutschland zur Zeit der industriellen Revolution*. Hrsg. K. Lärmer. Berlin 1979, S. 125–153.
- [106] Seidel, L. P.: Zur Dioptrik. Ueber die Entwicklung der Glieder dritter Ordnung, welche den Weg eines ausserhalb der Ebene der Axe gelegenen Lichtstrahles durch ein System brechender Medien bestimmen. *Astronom. Nachrichten* 43 (1856) Nr. 1027–1029, Sp. 289 bis 322.

- [107] Ders.: Trigonometrische Formeln für den allgemeinsten Fall der Brechung des Lichtes an centrirten Flächen. Wiederabdruck in [108].
- [108] Steinheil, A.; E. Voit: Handbuch der angewandten Optik. Bd. 1: Voraussetzung für die Berechnung optischer Systeme und Anwendung auf einfache und achromatische Linsen. Leipzig 1891.
- [109] Ule, W.: Geschichte der Kaiserlichen Leopoldinisch-Carolinischen deutschen Akademie der Naturforscher während der Jahre 1852 bis 1887. Halle 1889. S. 204.
- [110] Weimarerische Zeitung, Nr. 57, 8. März 1871.
- [111] Weimarerische Zeitung, Nr. 105, 4. Mai 1884, S. 1.
- [112] Werner, Karl; Konrad Werner: Wilhelm Weber. Leipzig 1976.
- [113] Wiedemann, E.: Zur Reichstagswahl. Apoldaer Tageblatt, Nr. 53, 3. März 1871, S. 176.
- [114] Wittig, J.: Exponate aus den Anfängen des handwerklichen und wissenschaftlichen Mikroskopbaues in Jena. Reichtümer und Raritäten. Bd. 2. Jenaer Reden u. Schriften d. FSU Jena. Jena 1981. S. 9–19.
- [115] Ders.: Friedrich Körner und die Anfänge des wissenschaftlichen Gerätebaues in Jena in der ersten Hälfte des 19. Jahrhunderts. NTM-Schriftenr. Gesch. Naturwiss., Technik, Med., Leipzig 18 (1981) 2, S. 17–28.
- [116] Ders.: Zur Disziplinengese der technischen Optik. Studien zur Entstehungsgeschichte technikwissenschaftlicher Disziplinen. III. Rostocker Wiss.-histor. Symposium 2. bis 4. Dez. 1982. AdW der DDR. Inst. f. Theorie, Gesch. u. Org. d. Wiss. Kolloquien. Heft 51. Berlin 1985, S. 13–31.
- [117] Ders.: Zur Entstehungsgeschichte und Anfangsentwicklung des Physikalischen Instituts an der Jenaer Universität bis 1911. Alma mater Jenensis. H. 3, Jena 1986, S. 93–121.
- [118] Ders.: Joseph Fraunhofer – Begründer des wissenschaftlichen Fernrohrbaus. Feingerätetechnik 36 (1987) 3, S. 129–131.
- [119] Ders.: Technische Optik. Geschichte der Physik – Ein Abriß. Hrsg.: W. Schreier. Berlin 1988. S. 303–319.
- [120] Zeiß, C.: Briefe. Zeiss-Werkzeitung 12 (1937) 4, S. 58–61.

Personenregister

- | | |
|---|---|
| Abbe, Elisabeth Christina (1809 bis 1857) 8, 18, 19, 137 | Abbe, Sophie (1841–?) 8, 30 |
| Abbe, Elise, geb. Snell (1844–1914) 87, 88, 113, 132, 137 | Altmann, R. (1852–1900) 98 |
| Abbe, Ernst (1840–1905) passim | Ambrohn, Hermann (1856–1927) 129 |
| Abbe, Georg Adam (1813–1874) 8, 9, 10, 11, 16, 21, 27, 41, 137, 138 | Amici, Giovanni Battista (1786 bis 1863) 50, 51, 100 |
| Abbe, Margarete (1872–1945) 88, 113, 138 | Auerbach, Felix (1856–1933) 10, 12, 16, 21, 30, 38, 43, 44, 87, 128 |
| Abbe, Paula (1874–1945) 88, 113, 138 | Babuchin, Alexander Iwanowitsch (1827 oder 1835–1891) 95, 96, 98 |

- Bacon, Francis (1561–1626) 22, 23
 Bamberg, Carl (1847–1892) 106
 Barfuß, Friedrich Wilhelm (1809 bis 1854) 44, 45, 47
 Bauersfeld, Walter (1879–1959) 136
 Bebel, August (1840–1913) 85
 Beck, K. O. (19. Jh.) 51
 Boegehold, Hans (1876–1965) 81, 82, 135
 Boettger, Rudolf Christian (1806 bis 1881) 31, 34, 104
 Busch, Emil (1820–1888) 91, 106
- Chevalier, Charles Louis (1804 bis 1859) 50
 Chevalier, Vincent (1770–1841) 50
 Colding, Ludwig August (1815 bis 1888) 34
 Cotta, Bernhard von (1808–1879) 15
 Craillsheim, Alexander (1806–1880) 32, 33
 Czapski, Siegfried (1861–1907) 40, 59, 92, 108, 116, 119, 120, 135
- Deyl, Herman van (1738–1809) 49
 Dippel, Leopold (1827–1914) 63, 73, 76, 77, 78, 99, 102
 Dohrn, Anton (1840–1909) 84, 85, 91
 Dollond, John (1706–1761) 49
- Eggeling, Heinrich (1838–1911) 135
 Eichel-Streiber, Eduard von (1818 bis 1896) 8, 11, 16, 27
 Eisenlohr, Friedrich (19. Jh.) 32
 Euler, Leonhard (1707–1783) 55
- Foerster, Wilhelm (1832–1921) 106
 Fraunhofer, Joseph von (1787–1826) 55, 56, 57, 76, 131, 132
 Frege, Gottlob (1848–1925) 92, 93, 94
 Frey, Heinrich (1822–1890) 76
 Fries (19. Jh.) 86, 87
- Gabor, Dennis (1900–1979) 134
 Garibaldi, Giuseppe (1807–1882) 26
 Gauß, Carl Friedrich (1777–1855) 12, 24, 36, 40, 56, 93
- Goethe, Johann Wolfgang von (1749–1832) 14
 Graßmann, Hermann Günther (1809 bis 1877) 33
 Guinand, Pierre Louis (1748–1824) 56
- Haeckel, Ernst (1834–1919) 131
 Harting, Pieter (1812–1885) 51, 54, 100
 Hartmann, A. (1862–1898) 120
 Hartnack, Edmund (1826–1891) 54
 Hegel, Georg Wilhelm Friedrich (1770–1831) 33
 Helmholtz, Hermann Ludwig Ferdinand von (1821–1894) 34, 68, 91, 106, 128
 Hildebrand, Adolf von (1847–1921) 133
 Humboldt, Friedrich Heinrich Alexander von (1769–1859) 15, 17
- Joule, James Prescott (1818–1889) 34
- Kant, Immanuel (1724–1804) 26, 33
 Kleinenberg, Nikolaus (1842–1897) 135
 Klinkerfues, Ernst Friedrich Wilhelm (1827–1884) 25, 29, 32
 Klügel, Georg Simon (1739–1812) 55
 Koch, Robert (1843–1910) 102
 Kohlrausch, Friedrich Wilhelm Georg (1840–1910) 131
 Köpp, Gustav (1819–1903) 12
 Körner, Bernhard (19. Jh.) 47
 Körner, Johann Christian Friedrich (1778–1847) 44, 45, 46, 47
 Kronecker, Leopold (1823–1891) 33
 Kummer, Ernst Eduard (1810 bis 1893) 33
- Lange, Friedrich (1828–1875) 85
 Lautsch, A. (1869–?) 120
 Lealand 102

- Legendre, Adrien Marie (1752 bis 1833) 36
 Lenoir, Jean Joseph Etienne (1822 bis 1900) 33
 Liebetrau, Eva Margarethe (19. Jh.) 137
 Listing, Johann Benedikt (1808 bis 1882) 25, 30
 Löber, August (1830–1912) 47, 58, 76, 93
 Lorey, Johann Balthasar (1799 bis 1869) 32
 Lotze, Rudolf Hermann (1817 bis 1881) 24
 Löwe, Fritz (1874–1955) 125
 Lummer, Otto (1860–1925) 134
 Luther, Martin (1483–1546) 100

 Martin, Carl Eduard (1838–1907) 12, 14, 20, 25, 31
 Marx, Karl (1818–1883) 85
 Mayer, Julius Robert (1814–1878) 34
 Meyerstein, Moritz (1808–1882) 29, 30, 32, 43

 Napoleon III., Louis Napoleon, franz. Kaiser (1808–1873) 26

 Oberhäuser, Georg (1798–1868) 47, 51, 52, 54
 Orest (Gestalt aus griech. Mythologie) 25
 Ovid (43 v. Z.–17 u. Z.) 15
 Owen, Robert (1771–1858) 116

 Petzval, Joseph (1807–1891) 57
 Pfeiffer, Ludwig Carl Heinrich (1842–1921) 43, 44, 93
 Pistor, Karl Philipp Heinrich (1778 bis 1847) 50
 Planck, Max Ernst Ludwig (1858 bis 1947) 35, 131
 Plössl, G. Simon (1794–1868) 46, 50
 Poincaré, Louis (1777–1859) 40
 Porro, Ignaz Peter Paul (1801 bis 1875) 124
 Powell 102

 Pulfrich, Carl (1858–1927) 120, 125
 Pylades (Gestalt aus griech. Mythologie) 25

 Rau, Rudolf (1871–1914) 129
 Reiche, Fritz (19./20. Jh.) 134
 Reiß, Michael (1805–1869) 35
 Riedel, Paul (1852–1909) 106, 120
 Riemann, Bernhard Friedrich (1826 bis 1866) 25, 29, 33
 Rohr, Moritz von (1868–1940) 43, 44, 100
 Rosenthal, Eduard (1853–1926) 127
 Rudolph, Paul (1858–1935) 108, 120, 124, 135

 Saint-Simon, Claude Henri de (1760 bis 1825) 116
 Schacht, Hermann (1814–1864) 47
 Schaeffer, Hermann Karl Julius Traugott (1824–1900) 19, 20, 28, 36, 94
 Schering, Ernst Christian Julius (1833–1897) 25, 36
 Schieck (nicht Schick), Friedrich Wilhelm (1790–1870) 50
 Schleiden, Matthias Jacob (1804 bis 1881) 45, 46, 47, 50, 52
 Schmid, Ernst Erhard (1815–1885) 45, 46
 Schopenhauer, Arthur (1788–1860) 26, 33
 Schott, Otto (1851–1935) 98, 102, 103, 104, 105, 106, 107, 112, 119, 120, 129, 135, 138
 Schüttauf, R. (1861–1926) 120
 Schütz, Harald (1840–1915) 25, 26, 30, 33, 35, 38, 41, 43, 84, 88, 119, 137
 Schwann, Theodor (1810–1882) 47
 Seebeck, Moritz (1805–1884) 21, 41, 61, 88, 92
 Seidel, Ludwig Philipp von (1821 bis 1896) 56, 57
 Selligie 50
 Senft, Ferdinand (1810–1893) 12
 Snell, Elise (s. Abbe)

- Snell, Karl (1806–1886) 19, 21, 22,
 28, 36, 38, 40, 61, 84, 85, 86,
 87, 88, 93, 94, 138
 Sohncke, Leonhard (1842–1897) 95
 Spencer (19. Jh.) 100, 102
 Steinheil, Carl August (1801–1870)
 57
 Steinheil, Hugo Adolph (1832 bis
 1893) 57
 Stephenson, John Ware (19. Jh.) 101
 Stern, Moritz Abraham (1807 bis
 1894) 25, 29
 Straubel, Rudolf (1864–1943) 132,
 135
 Sy, Hermann Antoine (1822–1899)
 86
 Thieme, Georg August (1831–1910)
 29
 Thomae, Johannes (1840–1921) 94
 Tolles, Robert Bruce (1822–1883)
 102
 Ulrich, Georg Karl Justus (1798 bis
 1879) 25
 Unrein, Otto (1862–?) 138
 Virchow, Rudolf Ludwig (1821 bis
 1902) 106
 Voigtländer, Peter Wilhelm
 Friedrich von (1812–1878) 57
 Waldeck, Franz Leo Benedikt (1802
 bis 1870) 26
 Wandersleb, Ernst (1879–1963) 135
 Weber, Wilhelm Eduard (1804 bis
 1891) 24, 25, 26, 29, 32, 40
 Weierstraß, Karl Theodor (1815 bis
 1897) 33, 34
 Weinhold, Adolf Ferdinand (1841
 bis 1917) 135
 Wette, Theodor (19./20. Jh.) 138
 Wheatstone, Charles (1802–1875) 26
 Wilhelm I. (1797–1888), seit 1861
 König von Preußen, seit 1871
 deutscher Kaiser 84
 Witte, E. (1855–1931) 120
 Wollaston, William Hyde (1766 bis
 1828) 47
 Zeiß, Carl (1816–1888) 30, 40, 43,
 44, 45, 46, 47, 48, 51, 52, 53,
 54, 55, 57, 60, 63, 73, 74, 76, 77,
 78, 79, 89, 90, 91, 93, 102, 106,
 111, 114, 118, 128, 135, 137, 138
 Zeiß, Roderich (1850–1919) 91, 93,
 106, 114, 119, 123, 138
 Zernike, Frits (1888–1966) 134

Titel dieser Reihe:

Band	Autor und Titel	Preis	Bestell-Nr.
60	Jürß/Ehlers: Aristoteles	6,80	666 057 3
61	Engewald: G. Agricola	6,80	666 113 8
62	Dunsch: H. Davy	4,80	666 111 1
63	Kant: A. Nobel	6,80	666 152 5
64	Stolz: O. Hahn und L. Meitner	4,80	666 142 9
65	Ullmann: E. F. F. Chladni	4,80	666 143 7
66	Hoffmann: E. Schrödinger	4,80	666 080 5
67	Hamel: F. W. Bessel	4,80	666 197 1
68	Beckert: J. Beckmann	6,80	666 151 7
69	Schierhorn: W. Friedrich	4,80	666 141 0
70	Krauß: E. Haeckel	8,80	666 148 8
71	Herneck: H. W. Vogel	6,80	666 193 9
72	Göbel: F. A. Kekulé	4,80	666 192 0
73	Kant: Réaumur, Fahrenheit, Celsius	6,80	666 188 3
74	Remane: E. Fischer	4,80	666 194 7
75	Guntau: A. G. Werner	6,80	666 196 3
76	Strube: G. E. Stahl	4,80	666 195 5
77	Grabow: S. Stevin	6,80	666 250 1
78	Beier: W. C. Röntgen	6,80	666 256 0
79	Purkert/Ilgauts: G. Cantor	6,80	666 252 8
80	Kuczera: G. Hertz	4,80	666 258 7
81	Waßermann: O. Lilienthal	4,80	666 268 3
82	Kästner: Paracelsus	4,80	666 266 7
83	Kant: R. Oppenheimer	8,80	666 257 9
84	Szabadváry: A.-L. Lavoisier	4,80	666 263 2
85	Dunsch: J. J. Berzelius	6,80	666 322 1
86	Bélafi: Graf F. v. Zeppelin	6,80	666 287 8
87	Schreiber: Euklid	7,50	666 375 8
88	Preuß: G. Stephenson	4,80	666 406 4
89	Hamel: F. W. Herschel	6,80	666 464 6