

Bodo von Borries (1905-1956): Herforder und Friederizianer – ein Pionier der Elektronenmikroskopie

Von Hans R. Gelderblom

Zum Thema: Rechtfertigung,

Definitionen, wissenschaftlicher Hintergrund

Bodo von Borries' Verdienste um das Elektronenmikroskop (EM) und um das Fach Elektronenmikroskopie (EM) sind in der Öffentlichkeit nahezu unbekannt: Er steht, wie Franck H. Karrenberg das so treffend formuliert „in the shadow of the Nobel prize“, im grossen Schatten von Ernst Ruska, der den Preis 1986 erhielt.^{1,2} Aber auch in Fachkreisen herrschte lange Dissenz über den Anteil von Bodo von Borries an der so spät gewürdigten „Erfindung“ des EM, noch heute gibt es unterschiedliche Meinungen. Ich möchte sein Leben nachzeichnen, nicht nur, weil er in seiner Heimatstadt Herford interessieren mag, sondern weil wir hier beispielhaft das erfolgreiche Zusammenspiel von tatkräftigen und schöpferischen Menschen und zugleich Industriegeschichte skizzieren können. Auch der Nobelpreis 2017 an die „Erfinder“ der Kryo-EM, an Joachim Frank, Richard Henderson und Jaques Dubochet, ist Anlass für diese Arbeit.³ Ohne die hier geschilderten Grundlagen ist die Weiterentwicklung der EM nicht vorstellbar oder abstrakter, wie Newton es 1676 in einem Brief an Robert Hooke formulierte: „If I have seen further it is by standing on the shoulders of giants“ (Wenn ich weiter geblickt hätte, so deshalb, weil

ich auf den Schultern von Riesen stehe). Aber „last, but not least“: das EM war auch ein wesentliches Element in der Laufbahn des Verfassers dieses Essays.

Über das Sehen und Erkennen

Der Gesichtssinn ist uns der wichtigste, weil er umfassend über unsere Umwelt informiert. Er ist begrenzt, aber schon zum Ende des „finsteren Mittelalters“ erweiterten Glaslinsen den Blick in Makro- und Mikrokosmos: Linsen wurden als Sehhilfe, als Brille oder Lupe genutzt. Kombinierte man zwei Linsen in geeigneter Weise, so erhielt man ein Teleskop, konnte ferne Vorgänge auf der Erde oder am Sternenhimmel beobachten. Das Teleskop wurde kriegswichtig, aber auch zur Grundlage für unser heliozentrisches Weltbild, geschaffenen von Nikolaus Kopernikus (1473-1543).

Lichtmikroskop und Bakteriologie

Die Mikroskopie, das Erkennen von kleinen, dem Auge nicht mehr zugänglichen Details ist wesentlich mit dem begnadeten Amateur Antonio van Leeuwenhoek (1632-1723) und dem englischen Universalgelehrten Robert Hooke (1635-1702) verbunden. Der Niederländer erreichte mit selbstgeschliffenen Ein-

zellensen 250-fache Vergrößerungen und beschrieb als erster das Kapillarsystem, Blutkörperchen, Bakterien, Spermien und andere „lebende Dierkens“. Hooke nutzte ein zusammengesetztes optisches System: Objektiv und Okular. In seiner MICROGRAPHIA formuliert er u.a. das Konzept der Zelle; er war überzeugt: „by the help of microscopes, there is nothing so small as to escape our inquiry“: eine neue Welt wird sich unserem Verständnis öffnen.⁴

Im späten 19. Jahrhundert bekam das Mikroskop eine Schlüsselrolle in der Seuchenbekämpfung: Die Ursache übertragbarer Krankheiten bei Mensch, Tier und Pflanze, war lange unklar: Seit Hippokrates (460-375 vor Christi Geburt) hatte man „Miasmen“, giftige Ausdünstungen des Bodens oder ansteckende „Contagien“ als Ursache vermutet, die Tuberkulose hielt man für eine Erbkrankheit, bis Robert Koch (1843-1910) und Louis Pasteur (1822-1895) und ihre Schüler die Ära der Bakteriologie eröffneten. Koch isolierte und beschrieb 1876 den Erreger des Milzbrands, im Lichtmikroskop ein unbewegliches Stäbchen mit Sporenbildung und mit einer typischen Infektiosität im Versuchstier. Im Jahr 1882 entdeckte er den Erreger der Tuberkulose, zwei Jahre später den Cholera-Erreger. Bakterien wurden als Ursache für Tetanus (Kitasato, 1884), Diphtherie (Loeffler, 1891), Pest (Yersin, 1894) und viele andere Infektionskrankheiten identifiziert. Man lernte, die Seuchen gezielt zu bekämpfen, ihr Ende schien nahe und es herrschte großer Optimismus.

Kleiner als Bakterien: Viren

Die Hoffnung währte kaum 30 Jahre, weil man für manche übertragbare Krankheit keinen Erreger fand. So bei der Mosaik-Krankheit des Tabaks. Schon 1892 zeigten Adolf Mayer und Dimitri Iwanowski, wenig später auch Martinus Beijerinck. Nach Passage durch einen Bakterien-dichten Filter war der Saft aus der erkrankten Pflanze noch infektiös: Das heisst, die Krankheit ließ sich damit auf gesunde Pflanzen übertragen, aber im Lichtmikroskop war kein Erreger nachweisbar oder in der Zentrifuge sedimentierbar: Man mutmaßte ein Contagium vivum fluidum als Ursache.⁵ Oder die Maul- und Klauenseuche (MKS) bei Rind und Schwein. Im Versuch erkrankten und starben die Tiere auch nach 10.000-facher Verdünnung der Bläschenflüssigkeit. Aber auf den bewährten Nährböden der Bakteriologie ließ sich kein Erreger anzüchten, er wurde auch nicht von Bakterien-dichten Filtern zurückgehalten oder im Lichtmikroskop sichtbar.⁶

Solche negativ charakterisierten Erreger fasste man unter dem Begriff Virus (lat: Schleim, Gift) zusammen. Wenn Viren im Lichtmikroskop nicht nachweisbar sind, wenn sie Bakterien-dichte Filter passieren können, mussten sie deutlich kleiner sein als Bakterien. Um sie zu erforschen, brauchte es offensichtlich neue Instrumente und Methoden. Für ihre Anzucht schuf man neben dem Tierversuch ab 1930 das berühmte Hühner- und bald auch Zellkulturen. Mit der Ultrazentrifuge, bei 40.-70.000 Umdrehungen pro Minute, lernte man Viren zu sedimentieren, aber um sie sichtbar zu

machen, brauchte es ein Mikroskop, das die von Ernst Abbe (1840-1905) beschriebenen Grenzen der Lichtmikroskopie weit überschritt.

Lichtmikroskopie und Dimensionen

Die Leistung eines Mikroskops, seine Auflösung, ist definiert als der kleinste Abstand, den zwei Objekte haben müssen, damit sie noch als getrennt erkannt werden. Abbe, der wissenschaftliche Leiter bei ZEISS-Jena, hatte 1873 gezeigt, dass die Auflösung wesentlich von der Wellenlänge des verwendeten Lichtes, dann auch vom Öffnungswinkel des Objektivs und vom Brechungsindex des Mediums zwischen Objektiv und Objektiv abhängt.⁷ Unser sichtbares, „weißes“ Licht umfasst ein Spektrum von Farbtönen mit entsprechenden Wellenlängen von ROT (= 780 nm) bis VIOLETT (= 380 nm). Das Kürzel „nm“ steht für die Längeneinheit „Nanometer“ und ist schnell zu verstehen, wenn man sich folgendes merkt: Ein Millimeter (mm) enthält 1000 Mikrometer (µm) und der Mikrometer wiederum 1000 Nanometer (nm). Nach Abbe liegt die Auflösungsgrenze des Lichtmikroskops bei etwa einer halben Wellenlänge, d. h. Strukturen kleiner als 300 nm (oder 0,3 µm) können nicht dargestellt werden. Bakterien werden damit leicht entdeckt, z. B. die Stäbchenförmigen Milzbranderreger (Durchmesser 0,5 µm, Länge 5-8 µm) oder die kugelförmigen Staphylokokken (Durchmesser etwa 1 µm = 1000 nm). Viren aber sind erheblich kleiner: Sie messen zwischen 17 - 400 nm.

Definitionen und etwas Physik zum Elektronenmikroskop

Prinzipiell ist das Durchstrahlungs- oder Transmissions-Elektronenmikroskop (TEM) vom Raster- oder Scanning-Oberflächenmikroskop (SEM) zu unterscheiden. Das SEM erfasst die Oberflächeneigenschaften eines Objekts mit Hilfe von rückgestreuten Elektronen, während das TEM die Masseverteilung im durchstrahlten Präparat zeigt. Wie das sichtbare Licht haben Elektronen als elektromagnetische Strahlung eine Wellennatur.⁸ Sie sind allerdings um den Faktor 10.000 kürzwelliger als Lichtwellen und damit eine ideale Sonde, wenn man sie als Werkzeug der „Elektronenoptik“ zur Abbildung kleinster Strukturen nutzen möchte. Aber bis dahin war es noch ein weiter Weg.

Elektronen können sich in Metallen frei bewegen, eine Voraussetzung für elektrische Leitfähigkeit und zugleich für die Entstehung eines elektromagnetischen Feldes um den Strom-durchflossenen Leiter. Aus einem geheizten Metall-draht (Kathode) treten Elektronen aus und bilden eine Raumwolke (Glüh-Emission, Feldemission). Legt man ein starkes elektrisches Feld an, so werden die Elektronen von der Kathode in Richtung auf die Anode beschleunigt. Ein Elektronenstrahl bewegt sich - allerdings nur im Vakuum ungestört - gradlinig mit nahezu Lichtgeschwindigkeit. Elektronen lassen sich durch elektro-magnetische oder -statische Spulen zu einem Strahl bündeln und fokussieren, auch ablenken.⁹

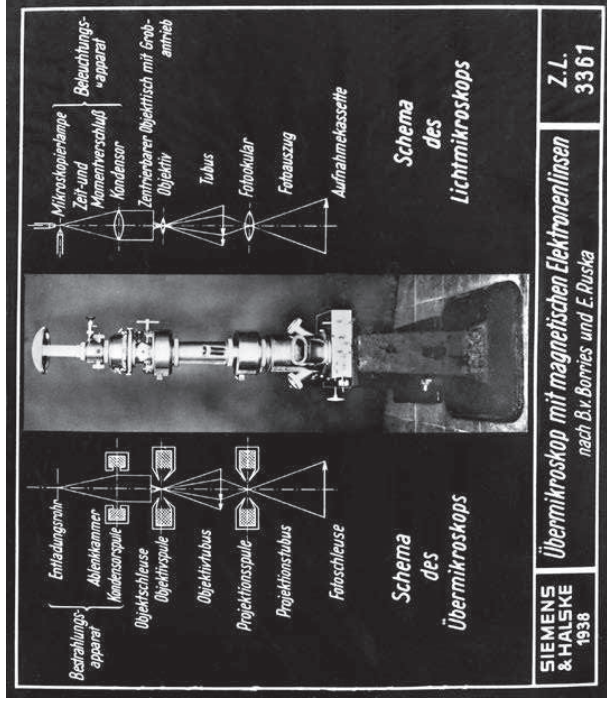


Abb. 1: Vergleichende Abbildung zum „Strahlengang“ im EM und im Lichtmikroskop

Siemens-Historical-Institute

Licht- und Elektronenmikroskop ähneln sich prinzipiell in ihrem Aufbau: Anstelle der Lichtquelle besitzt das EM die Kathode: Die aus dem glühenden Wolframdraht austretenden Elektronen werden im Hochspannungsfeld beschleunigt und vom Kondensator, einer elektromagnetischen Linse, zu einem parallelen Strahl gebündelt, der dann auf das Präparat trifft. Hier kommt es zur Wechselwirkung mit den verschiedenen Atomen, sie werden in unterschiedlichen Winkeln abgelenkt und/oder erleiden Energieverluste. Daraus ergibt sich eine unterschiedliche Elektronenverteilung, die letztlich schon die Bildinformation ist. Eine zweite Linse, das Objektiv des EM, formt daraus ein erstes vergrößertes Bild, das dann von der Projektivlinse hochvergrößert auf einen fluoreszierenden Bildschirm trifft.

Das konventionelle TEM nutzt Beschleunigungsspannungen zwischen 40.000 bis 100.000 Volt und erzielt Vergrößerungen zwischen 50- bis 100.000-fach. Dem Projektiv entspricht beim LM das Okular. Die Bildinformation geht heute bis in den atomaren Bereich, man kann aber auch Element-Analyse oder den Nachweis immunologischer Strukturen betreiben.

Präparation für das TEM

In dickeren Präparaten, über 50 nm, reagieren die Elektronen mit mehreren, oft verschiedenen Atomen: Mehrfachstreuung erhitzt das Präparat massiv, es kommt zu Verlust an Feinstruktur und zu lichtschwachen, unscharfen Bildern. TEM-Präparate sollten dünner als 40 - 80 nm sein: Dafür gibt es geeignete Prä-

parationsverfahren, wie die Ultradünnschnitt-Technik und für kleine Teilchen, wie Virus-Lösungen, das Negativ-Kontrastverfahren.

Bodo von Borries: Herkunft, Schulzeit und Studium

Landrat Franz von Borries (*1868 in Hildesheim – +1943 in Berlin), der fünfte und letzte der von Borries-Landräte des Kreises Herford, war hier von 1903 bis 1933 im Amt. Franz und seine Ehefrau Martha (geborene Kamp, 1872 – 1946) hatten zwei Kinder: Klara (Luise Else Adelheid (Kara genannt) und Bodo (Julius Heinrich Hermann Adalbert). Kara, am 29. Juni 1901 geboren, studierte Volkswirtschaft, promovierte und hat am 6. September 1929 den Arzt und Rassehygieniker Prof. Dr. Fritz Lenz geheiratet. Sie starb am 20. April 2006 in Charlottenburg. Bodo von Borries, am 22. Mai 1905 in Herford geboren, studierte Elektrotechnik und entwickelte in Berlin

zusammen mit Ernst Ruska (Nobelpreis für Physik 1986) das Elektronenmikroskop: Ein bahnbrechendes Instrument in Material- und Biowissenschaften. Zum Ende des 2. Weltkriegs wechselte Bodo von Borries in den Westen. Nach Station in Harvard/Leopoldshöhe gründete er 1948 das Rheinisch-Westfälische Institut für Übermikroskopie in Düsseldorf, 1949 wurde er Honorarprofessor an der dortigen Medizinischen Akademie und 1953 übernahm er zusätzlich in Aachen den Lehrstuhl für Elektronenoptik und Feinmechanik. Bodo von Borries verstarb am 17. Juli 1956, im Alter von 51 Jahren – unvollendet aus der Mitte eines tätigen Lebens.

Über seine frühen Jahre ist wenig bekannt und seine Kinder sind sich einig, über das bisher Bekannte hinaus keine weiteren Fakten über das Leben und Wirken ihres Vaters herauszugeben. Als Grundlage für diesen Essay dienten neben den Schriften zur „frühen Elektronen-

mikroskopie“ Gespräche und Korrespondenz mit Bodos Tochter Dr. Adelheid von Borries und mit den Kindern weiterer EM-Protagonisten. Sehr hilfreich waren auch das Gespräch mit Dr. Carla Ruska und zahlreiche Archive, nicht zuletzt das Kommunalarchiv Herford.

Von 1903 bis 1933 wohnten Landrat Franz von Borries und seine Frau Martha mit ihren zwei Kindern im „Kreishaus“ in der Amtshausstrasse 2 in Herford: ein dreistöckiges Zweiflügel-Gebäude im Neorenaissance-Stil, errichtet zwischen 1898 – 1900, noch unter Landrat Dr. Georg von Borries (1891-1903), dem Vetter und Vorgänger von Franz von Borries. Neben der repräsentativen Dienstwohnung enthielt das Kreishaus die damals noch kleine Verwaltung. Es ist auch heute noch von einem gepflegten Landschaftsgarten umgeben. Die alte Dienstwohnung wird seit 1996 u.a. vom Archiv von Stadt und Kreis Herford genutzt. In dieser Wohnung wurde Bodo von Borries mit an Sicherheit grenzender Wahrscheinlichkeit geboren.

Das am 22. Mai 1912 gefertigte Familienbild zeigt Bodo an seinem siebten Geburtstag, zusammen mit seinen Eltern und der vier Jahre älteren Schwester Kara. Das Datum der Atelier-Aufnahme ist sicherlich so gewollt: Anlass ist Bodos Geburtstag. Dokumentiert wird hier zugleich Familien- und Statusbewusstsein. Im Geiste der Zeit trägt der zartgebaute Siebenjährige Marinestil, wenn auch moderat. Er schaut zurückhaltend, doch selbstbewusst und mit einer gewissen Neugier auf den Fotografen.



Abb. 3: Familie Franz von Borries vor dem Prospekt des Kaiser-Wilhelm-Denkmal. Foto J. Zoerb in Minden, auf der Rückseite beschriftet: Franz, Martha, Kara, Bodo von Borries, 22. V. 1912

Dr. Adelheid von Borries

Nach einigen Jahren „Bürgerschule“ am Wilhelmplatz wechselte Bodo Ostern 1914, achtfährig, in die Sexta des humanistischen Friedrichs-Gymnasiums zu Herford (FGH).¹⁰ Er wurde 1919 in der nahen evangelischen Jakobikirche konfirmiert, auf der „Radewig“. Das FGH hatte einen großen Einzugsbereich, die Hälfte der Schüler kam aus dem Umland bis hinaus nach Minden, Lübbecke und Detmold. Das „staatstragende, gehobene Bürgertum“ schickte seine Söhne auf das FGH – so kamen Bodos Klassenkameraden überwiegend aus den noch heute in und um Herford be-



Abb. 2a: Kreishaus Herford um 1930, Gartenansicht von der Ecke Borries-Kreishausstrasse gesehen

Dr. Adelheid von Borries

kanteren Familien. Mädchen sind in Bodos Klassenlisten nicht dokumentiert. Interessieren mögen auch die Schülerzahlen: Für seine Quinta sind 44 Schüler gelistet, für die Unter- und Ober-Sekunda jeweils 38 und 21; der große Verlust zwischen U II und O II erklärt sich durch die Abgänge zur Mittleren Reife.

Bodo war über viele Jahre der Jüngste in seiner Klasse. Ein guter Schüler, aber seine Zeit am FGH war durch Gesundheitsprobleme überschattet. Er versäumte das letzte Trimester der Quarta, Januar bis Ostern 1917 („Privatunterricht wegen Krankheit“). In der Unterprima verlor er zwei weitere Trimester, seine neue Ober-Prima umfasst 1923/24 nur 12 Schüler. Im Gesuch auf Zulassung zur Reifeprüfung, im dazugehörigen Lebenslauf, formuliert er am 27. Juni 1923: „Von den Sommerferien 1921 bis Ostern 1922 musste ich aus Gesundheitsrücksichten die Schule versäumen und blieb darum ein zweites Jahr in der Unterprima, sodass ich erst Ostern 1923 in die Oberprima kam.“ Welche Erkrankung zu den Fehlzeiten führte, lässt sich nur mutmaßen. Aber wie auch immer: Bodo war kein Schwächling, im Fach „Turnen“, das damals auch die Leichtathletik einschloss, zeigte er über die Jahre eine „1“ oder „2“. Er war auch nicht „freigestellt vom Sport“, wie das auch damals schon vorkam.

Zum Herbsttermin 1923 bittet er um Zulassung zum Abitur.¹⁰ Anschließend möchte er „in einer Maschinenfabrik praktisch arbeiten, um dann auf der technischen Hochschule zu studieren“. Der Termin für die Reifeprüfung war ungewöhnlich –

die Mehrheit der zwölf Primaner absolvierte das Abitur in guter Routine erst Ostern 1924. Bodo trat also um ein halbes Jahr vorzeitig an, zusammen mit seinem Klassenkameraden Ludwig Niebel. Abgesehen von der „3“ als Note für die recht ausgearbeitete Handschrift (deutsche Kurrent) hatte Bodo nur gute bis exzellente Vorzensuren. In den Abiturunterlagen wird er als intellektuell „hochbegabt, von festem Charakter, beharrlichem Fleiß und untadeligem Betragen, auch außerhalb der Schule“, beschrieben. Dass er als Vertrauensmann seiner Klasse fungierte, deutet auf Ehrgeiz und Führungsqualität. Er wird auf Grund guter Vorleistungen von mündlichen Prüfungen befreit und besteht das Abitur am 22. September 1923 mit der Gesamtnote „Sehr gut“. Im Einzelnen: „Sehr gut“ in Deutsch: für den Besinnungsaufsatz hatte er die Wahl zwischen zwei eher „vaterländischen“ Themen von Fichte und Lessings positivem Ansatz: „Erziehung des Menschenschlechts“ – Bodo schrieb über Lessing: „Sehr gut“ auch in Geschichte, Mathematik, Physik und Turnen. „Gut“ dagegen in Religion, Latein, Griechisch und Englisch. Im Vergleich mit anderen Abiturzeugnissen am FGH aus dem Jahr 1923 ist Bodos Zeugnis um ein bis zwei Zensuren besser.¹⁰

Bodo von Borries: Studium und seine Verbindung zum Corps Saxonia

Nach einen halbjährigen Pflichtpraktikum begann Bodo von Borries im Sommersemester (SS) 1924 ein Maschinenbaustudium an der Tech-

nischen Hochschule (TH) in Karlsruhe. Hier wurde er am 16. April 1924 von der farbentragenden und pflichtschlagenden Verbindung Corps Saxonia als „Fuchs“ aufgenommen. Er wohnte auf dem Corpshaus in der Mathystrasse 9, erfüllte bald auch Außenaufgaben und qualifizierte sich nach vier Mensuren am 21. Februar 1925 zum „Burschen“. Er übernahm dann zunächst das Rechnungswesen für das „Cassino“, das gemeinsame Mittagessen auf dem Corpshaus, und wurde ab SS 1925 Sekretär des Corps (sog. Dritthagerter) mit der Verantwortung für Korrespondenz, Protokolle und die Kasse des Corps. Im Juli 1925 übernahm er auch die Verantwortung für die corpsstudentische Bildung des studentischen Nachwuchses (sog. Fuchsmajor), ein Amt, das sicherlich eine Menge an „soft skills“ erforderte.

Beurlaubt war Bodo von Borries 1924 für vier Monate „wegen praktischer Arbeit“. Möglicherweise suchte er in den Zeiten der Weltwirtschaftskrise einen Zuverdienst. 1925 folgte eine zweite Beurlaubung, wieder über vier Monate bis zum 22. Oktober. Als Aktiver hat Bodo von Borries seinem Corps mit hohem Einsatz und mit Erfolg gedient, so dass er am 16. Januar 1926 „inaktiviert“ wurde: Von da an hatte er weniger Pflichten und genoss mehr Freiheit in Alltag und Studium.

Zum Wintersemester (WS) 1926/27 wechselte er nach Danzig. Er studierte nun Elektrotechnik, ging nach München und bestand dort am 19. November 1928 sein Diplom mit Auszeichnung. Er pausierte für den Rest des WS 1928/29 in Herford und

wechselte zum 1. April 1929 nach Berlin, um dort zu promovieren. Bodo von Borries blieb als „Alter Herr“ seinem Corps als förderndes und beratendes Mitglied treu. Nur wenige Wochen vor seinem Tod, beim 100-jährigen Stiftungsfest der Saxonia 1956 in Karlsruhe, hielt er noch den Festvortrag über das Thema seines Lebens: „Die Erfindung und Entwicklung des Elektronennikroscops, seine Bedeutung und sein Einsatz in der Forschung“.¹¹

Präludium an der Technischen Hochschule Charlottenburg (TH) in Berlin

Ende 1926 gründete Prof. Dr.-Ing. Adolf Matthias an der Technischen Hochschule Berlin (TH), heute Technische Universität, Straße des 17. Juni) ein Laboratorium für Hochspannungstechnik und Elektrische Anlagen. Unterbracht im Lichthof der TH und in angrenzenden Räumen verfügte es als erstes deutsches Labor über eine 1 Million Volt-Anlage. Matthias folgte damit dem Wunsch der vor vielen technischen Problemen stehenden Elektrizitätswerke: Gefürchtet waren u. a. Gewittereinfüsse auf die Versorgungsstabilität der Netze. Für ihre Überwachung fehlte ein robustes Instrument. Ein noch experimentelles Gerät, den Kathodenstrahloszillographen, hatte der Ungar Dennis Gabor (1900-1977) an der TH zwischen 1924-1926 konstruiert (Inhaber von über 100 Patenten: als Jude 1933 emigriert, er wurde englischer Staatsbürger, Nobelpreis 1971: sein hochgemutes Motto: „Für die Mehrheit der Menschen ist Arbeit die einzige Zerstreuung, die sie auf Dauer aushalten können“).

Der Kathodenstrahloszillograph ist ein unter Vakuum stehendes Rohr mit einem System aus Kathode, Anode, Sammelspule und Ablenkplatten (Kondensatoren) und schließlich einem Bildschirm, im Prinzip ein Vorläufer der Fernsehöhre. Die von der Kathode ausgehenden Elektronen werden zur Anode hin beschleunigt und dabei durch eine elektromagnetische Sammelspule auf einen kleinen Brennfleck konzentriert („fokussiert“). Der Elektronenstrahl, und mit ihm der Brennfleck auf dem Bildschirm, lässt sich über elektrische oder magnetische Felder ablenken, man kann damit „schreiben“. Für den Einsatz in der Stromindustrie musste die „Schreib-Röhre“ weiterentwickelt werden, bis sie auch extrem schnelle Änderungen im Stromfluss, nämlich die Schockwellen nach Kurzschluss oder Blitz einschlag, gut erkennbar registrierte: Der Schreibfleck auf dem Bildschirm musste sich mit 3.000.000 Meter pro Sekunde bewegen. Mit bloßem Auge sind derart schnelle Vorgänge nicht zu erkennen – es brauchte hier einen extrem kleinen, aber dennoch intensiven Schreibfleck und einen nachleuchtenden Bildschirm, um seine Spur sehen oder fotografieren zu können.¹²

Die Max Knoll-Gruppe an der TH: Arbeit am Kathodenstrahloszillographen – Wirtschaftlich-soziales Umfeld

Die am 9. November 1918 ausgerufene Republik litt unter Kriegsfolgen und innerer Zerrissenheit. Es gab Putschversuche, Straßenschlachten und als die deutschen Reparations-

lieferungen im Dezember 1922 in Rückstand gerieten, besetzten französische Truppen das Ruhrgebiet. Die Geldentwertung führte 1922/23 in die Hyperinflation, bis dann 1923 die in der Geldmenge begrenzte Rentenmark eingeführt wurde. Kulturell florierte die Weimarer Republik, es gab Aufbaumitteilung, Vielfalt und Avantgarde, aber die politische Mitte, das Bürgertum, war geschwächt und die sozial-unteren Schichten verelendeten.

Nach einem überhitzten Boom kam es am 29. Oktober 1929 in New York zum Börsen-Crash („black tuesday“), weltweit brach die Wirtschaft zusammen, Depression und Arbeitslosigkeit folgten. In Deutschland, noch unter der Last der Reparationsfolgen, zählte man im Winter 1929/1930 mehr als drei Millionen Arbeitslose. Zunehmend wurden extreme Parteien gewählt, so dass die Große Koalition unter Hermann Müller am 27. März 1930 scheiterte. Reichspräsident von Hindenburg ernannte den konservativen Heinrich Brüning zum Reichskanzler, der mit drastischen Sparmaßnahmen, Bezüge-Kürzungen, Steuererhöhungen und Notverordnungen bis zum 30. Mai 1932 regierte – gemäß Artikel 48 der Weimarer Verfassung ohne parlamentarische Mehrheit, gestützt allein vom Reichspräsidenten. Auch die folgenden Regierungen (von Papen, von Schleicher, Adolf Hitler) nutzten das Instrument der präsidialen Notverordnung, aber mit der Reichstagsbrandverordnung vom 4. Februar 1933 und dem Ermächtigungsgesetz vom 24. März 1933 war Weimars Parlamentarismus am Ende, war Hitlers Diktatur gebahnt.

Der Kathodenstrahloszillograph als Aufgabe

Nach dem Weggang von Dennis Gabor übergab Prof. Matthias die Weiterentwicklung des Oszillographen 1928 an den rührigen Dr.-Ing. Max Knoll (1897-1969). Er scharte eine Gruppe von Studenten, Diplomanden und Doktoranden um sich, die jeweils Teilaspekte der Entwicklung voranbrachten. Man arbeitete sehr engagiert und kollegial-offen: Probleme und Fortschritte wurden regelmäßig in der nachmittäglichen Kaffeestunde diskutiert.

Bodo von Borries kam am 1. April 1929 an die TH Berlin und fand in der Knoll-Gruppe ein Promotions-thema. Dabei traf er auf Ernst Ruska, der hier schon am 1. November 1928 eine Studienarbeit begonnen hatte. Eine glückliche Fügung, denn für die Entwicklung des EM und seine schnelle Verbreitung wird die Zusammenarbeit dieser jungen Männer essentiell. Durch eine stärkere

Sammellinse verkürzte Bodo von Borries den Strahlengang im Oszillographen und damit das Gerät, er führte auch die Außenfoto-Dokumentation ein. Seine Promotionsarbeit „Außenaufnahmen am Kathodenstrahloszillographen“ schloss er am 24. März 1932 ab.

Bevor wir nun den gemeinsamen Weg von Bodo von Borries und Ernst Ruska in Berlin und ihr späteres Auseinandergehen schildern, wenden wir uns jetzt Ernst Ruska zu, um aus der Kenntnis beider Protagonisten ein volleres, annähernd gerechtes Bild der Personen und ihrer komplexen Wechselwirkung entstehen zu lassen.

Ernst Ruska: Herkunft und Schulzeit

Über die Kindheit von Ernst Ruska (1906-1988) und seines Bruders Helmuth (1908-1973) informieren eine Reihe von Veröffentlichun-



Abb. 4: Die Oszillographen-Arbeitsgruppe um Max Knoll, Mai 1932 im Keller der TU Berlin: stehend v. l. n. r.: Robert Andrieux, Carl Czernper, Martin Freundlich, Henning Knoblauch; sitzend v. l. n. r.: Bodo von Borries, Gustav-Adolf Blume, Max Knoll, Ernst Ruska und Kurt Schaudinn
Archiv der Max-Planck-Gesellschaft, Berlin-Dahlem

gen.^{13, 14, 15, 16} Ernst Ruska wurde als fünftes von sieben Kindern des Wissenschaftshistorikers Julius Ruska (1876-1949) und seiner Frau Elisabeth (1874-1945) in Heidelberg geboren. Die Eltern, protestantische Bildung-Elite, pflegten und forderten Pflichtbewusstsein, Genauigkeit, Sparsamkeit. Die finanzielle Situation der großen Familie war durchaus „prekär“, der Zeit geschuldet, aber auch weil der Privatgelehrte Julius über Jahre nur eine Lehrstelle am humanistischen Kurfürst-Friedrich-Gymnasium (KFG) in Heidelberg innehatte. Ernst Ruska besuchte das KFG, er rebellierte früh gegen die strengen und klassischen humanistischen Ansprüche zu Haus und an der Schule, aber früh sind auch Ehrgeiz und Durchhaltevermögen erkennbar: so schwamm er im Alter von 16 Jahren den Neckar herab, 18 km, bis nach Heidelberg. Ernst verstand sich gut mit seinem jüngeren Bruder Helmut – trotz ihrer unterschiedlichen Interessen: Ernst war wenig am humanistischen Bildungsgut interessiert: er glänzte in Physik, Mathematik und Sport, schwächelte aber in Griechisch, Latein, Französisch. Er kannte auch Karzer und „Blaue Briefe“ („Versetzung des Schülers... gefährdet“). Der spätere Nobelpreisträger absolvierte Ostern 1925 sein Abitur mit der Gesamtnote III (Genügend).

Auch Bruder Helmut enttäuschte seine Eltern zunächst, ihn interessierten die „Biolwissenschaften“. Das KFG verließ er schon nach drei Jahren und wechselte an die damals sozial wenig hoch geschätzte Oberrealschule (heute Helmholtz-Gymnasium, Heidelberg). Helmut Rus-

ka bestand dort sein Abitur im April 1927 und nahm in München ein Medizinastudium auf.

In Heidelberg nutzte Vater Julius zu Haus zwei Studierzimmer: Kinder hatten hier keinen Zugang, es sei denn, sie hatten ihren Vater durch lautes Toben gestört: Dann orderte er sie in sein Office, wo sie zur „Besserung“ für eine Stunde schweigend ausharrten, Rücken an Rücken auf einem niedrigen Hocker sitzend. Bei dieser Gelegenheit sahen Ernst und Helmut auch die Lichtmikroskope ihres Vaters. Ihr Interesse stieg weiter, als sie die Teleskope in der Heidelberger Sternwarte ihres Onkels Max Wolff kennenlernten: Optische Geräte wurden für die Brüder zu einem Faszinosum.^{17, 18}

Auf dem Weg zum Elektronenmikroskop: Max Knoll und Ernst Ruska

Ernst Ruska begann im WS 1925 in München mit dem Studium der Elektrotechnik. Nach dem Vordiplom wechselt er zum WS 1927 an die TH Berlin und beginnt am 1. November 1928 in der Knoll-Gruppe eine Studienarbeit: er soll die Wirkung der magnetischen „Konzentrierungsspule“, der „Elektrotennlinse“, auf Strahlführung und Fokussierung der Elektronen rechnerisch und experimentell im Sinne der von Hans Busch 1927 beschriebenen Vorstellungen überprüfen. Am 10. Mai 1929 legte er seine Arbeit vor: präzise Berechnungen und die experimentelle Bestätigung der Busch-Theorie: Die Arbeit wurde in Teilen veröffentlicht.^{19, 20, 21}

Ein Jahr später, am 18. Juli 1930, beginnt er seine Diplomarbeit über die Wirkung elektrostatischer und elektro-magnetischer Felder im Kathodenstrahloszillographen. Ernst Ruska beobachtete hier erstmals Vergrößerungs-Effekte: Er reicht seine Arbeit am 23. Dezember 1930 ein und setzt nun seine Bemühungen zur vergrößerten Abbildung fort, unbezahlt und hochmotiviert. Er kombinierte zwei elektro-magnetische Spulen und dokumentiert damit am 7. April 1931 bei ein-stufiger Abbildung einen Vergrößerungsfaktor von 4,8 und für die zwei-stufige einen Faktor von 17,4.²² Noch unendlich weit unter der Leistung eines Lichtmikroskops, aber er hatte hier mit Elektronen mikroskopiert und seine Versuchsanordnung lässt sich als Prototyp des EM erkennen.^{23, 24} Das Nobel-Komitee würdigt das 1986, wenn auch spät, mit dem Nobelpreis für Physik.

Ruskas Ergebnisse wurden in der Berliner Szene schnell bekannt. Am 4. Juli 1931 berichtete Max Knoll an der TH über „Berechnungsgrundlagen und neuere Ausführungsformen des Kathodenstrahloszillographen“ und dabei auch über die zwei-stufige Abbildung, wobei er die Verdienste daran klar dem Jüngeren zuordnete. Erst am 10. September 1931 reichen Knoll und Ruska die Arbeit mit dem Titel „Beitrag zur geometrischen Elektronenoptik“ (mit 55 Druckseiten) zur Veröffentlichung ein. Noch vermeiden sie den Begriff EM. Physiker theoretisierten auch zuvor schon über die Möglichkeit mit Elektronen abzubilden,^{25, 26} aber besonders die Biomedizin hielt wenig davon: Wenn es denn überhaupt eine „Feinstruktur“

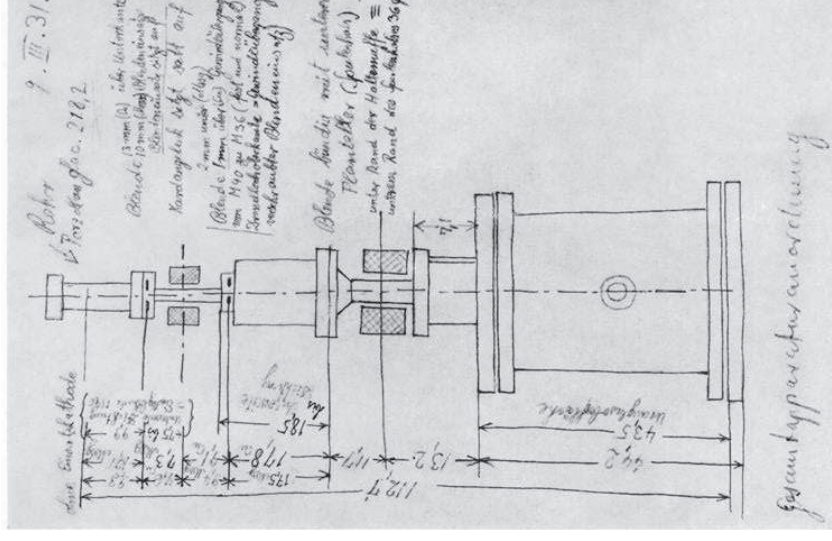


Abb. 5: Handskizze von Ernst Ruska vom 9. März 1931: Entwurf des ersten zweistufig abblenden Elektronenmikroskops²⁴

jenseits der Auflösung des Lichtmikroskops gäbe, würde sie unter dem Bombardement der schnellen, energiereichen Elektronen zerstört.²⁷

Physiker dachten realistischer: Reinhold Rüdtenberg (1883-1961), der umsichtige Leiter der Patentabteilung der Siemens-Schuckert-Werke, meldete 1931 drei Patente und 1932 weitere auf die Abbildung mit Elektronen an. Die Bewertung dieser Patente ist umstritten.^{28, 29} Sie sicherten Siemens aber Rechte u.a. an der mehrstufigen Abbildung unter Verwendung elektromagnetischer und

elektrostatischer Linsen.³⁰ Als Jude aber musste Rüdtenberg 1935 emigrieren. Patentrechtlich ist er der Erfinder des neuen Geräts, aber weil Siemens damals keine konstruktiven Arbeiten durchführte, sind seine Patente bloße Ideenskizzen und wirkungslos in Bezug auf die Priorität der Erfindung. Aber nicht völlig: Ernst Ruska verfolgte nun sein Konzept der zwei-stufigen Abbildung beschleunigt und höchst konzentriert, zunächst in Zusammenarbeit mit Max Knoll und bald mit Bodo von Borries.

Abb. 6: Die Freunde Bodo von Borries und Ernst Ruska am 26. Mai 1931 auf Fahrradtour: am Dortmundbusch auf Hiddensee

Foto: Bodo von Borries mit Selbstauslöser, Archiv der Max-Planck-Gesellschaft, Berlin-Dahlem



arbeit und gemeinsame wissenschaftliche Veröffentlichungen: Zusammen mit Bodo von Borries hatte Max Knoll zunächst drei Publikationen. Er konzentrierte sich dann aber auf seine Habilitation und zog sich aus der Betreuung seiner Gruppe zurück, so dass Bodo von Borries ab 1931 verstärkt auch mit Henning Knobloch und Ernst Ruska zusammenarbeitete. Eng wurde die Zusammenarbeit zwischen Bodo und Ernst: Am 16. März 1932 meldeten sie gemeinsam zwei wichtige Patente an: „Magnetische Sammellinse kurzer Feldlänge“ und „Anordnung zur Beobachtung und Kontrolle der im Strahlengang eines Elektronenmikroskops mit zwei oder mehr elektronenoptischen Vergrößerungsstufen auftretenden elektronenoptischen Bilder“. Eine weitere gemeinsame Anmeldung folgte am 30. November 1933.³¹ Aus der gemeinsamen Arbeit entstand auch herzlichere Freundschaft, dokumentiert u.a. in einem Bild der beiden bei einem Ausflug zur Insel Hiddensee.

Knoll verlässt die TH zum April 1932 und arbeitet nun bei Telefungen in Berlin an der Fernseh-Entwicklung. Bodo von Borries hatte noch zuvor, am 24. März 1932, seine Doktorarbeit „Außenaufnahmen am Kathodenstrahloszillographen“ eingereicht: Prof. Matthias setzte ihn am 1. April 1932 als seinen persönlichen Assistenten ein mit der Verantwortung für die verwaiste Knoll-Gruppe: Er hatte sich nun um den Umzug des Hochspannungslabors nach Potsdam-Neubabelsberg zu kümmern, um die Produktion von Oszillographen für die Industrie und er betreute auch die Arbeiten von Ernst Ruska und Mo-

ritz Freundlich: Die beiden waren als letzte aus der Knoll-Gruppe verblieben.^{32,33} Unter Bodos Leitung folgten am 18. und 19. April 1932 erste Umzüge nach Neubabelsberg. Am 27. April 1932 wurde Bodo von Borries mit „sehr gut“ zum Dr.-Ing. promoviert.

Ernst Ruska hatte klare Vorstellungen für seine Dissertation: Er wollte eine „speziell für die Elektronenmikroskopie geeignete Apparatur“ konstruieren und die Bildentstehung quantitativ analysieren, wie er im Antrag vom 13. April 1932 an Prof. Matthias formuliert. Sein „Kostenanschlag für ein Elektronenmikroskop“ belief sich bei vollständigem Ausbau auf 2.155 RM.³⁴ Matthias genehmigt und Ruska konstruiert Eisen-gekapselte Spulen mit nun schon viel kürzerer Brennweite (Polschuhlinse). Bereits am 31. August 1933 reicht er seine Dissertation ein, gefolgt von einer Veröffentlichung

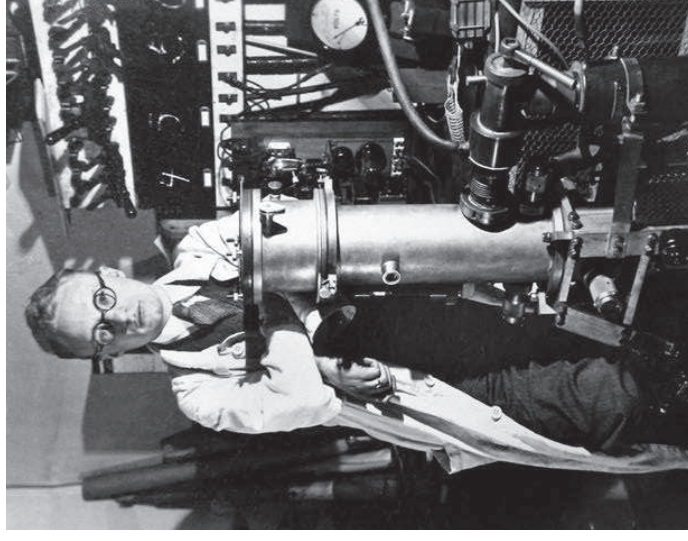


Abb. 7: Bodo von Borries 1932 mit „seinem“ Kathodenstrahloszillographen in Neubabelsberg

Dr. Adelheid von Borries

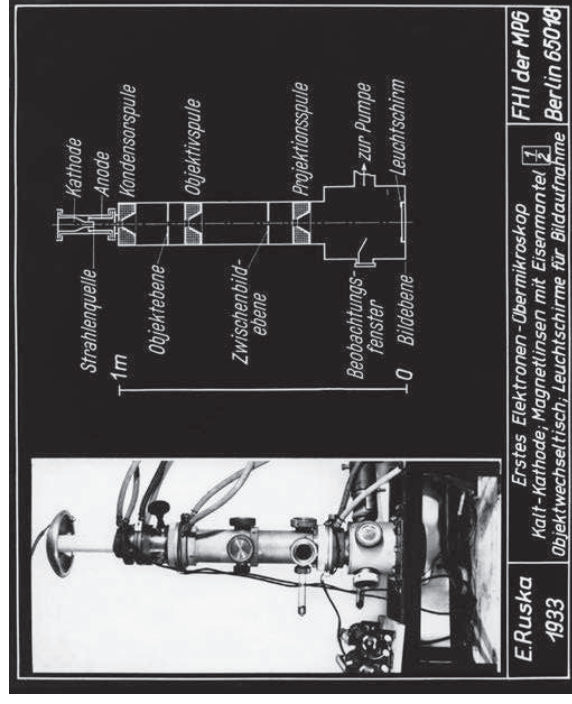


Abb. 8: Das erste Übermikroskop: Ernst Ruska, 1933

Archiv der Max-Planck-Gesellschaft, Berlin-Dahlem

lichung.³⁵ Er konstruiert dann noch ein weiter verbessertes Gerät, erstmals auch mit einem Kondensator, der das Präparat gleichmäßig mit hoher Elektronendichte bestrahlt. Das Mikroskop erreicht am 8. Dezember 1933 mit einer Beschleunigungsspannung von 75 kV eine 12.000-fache Vergrößerung, nachgewiesen an dünnen Metallfolien und Baumwollfasern: Die optische Leistung übertrifft bei weitem das Auflösungsvermögen des Lichtmikroskops; daher bezeichnet er das neue Gerät als Übermikroskop (ÜM).³⁶

Die Polshulinhlinse war ein wichtiger Schritt, der sicherlich in einer Art offener Zusammenarbeit zwischen Ernst Ruska und dem verantwortlichen Bodo von Borries erfolgt war. Die beiden nutzten für ihre Versuche denselben Raum und halfen sich gegenseitig bei ihren Experimenten.³⁷ Auch außerhalb der TH arbeiteten sie häufig gemeinsam: man diskutierte, rechnete, schrieb Anträ-

ge und Veröffentlichungen, oft bis spät in die Nacht und abwechselnd zu Haus, jeweils „auf der Bude“ des einen oder anderen. Briefe und Tag gebuchszüge von Bodo geben Aufschluss über die engagierte Kooperation. Auch wechselseitige Arbeitsbesuche bei den Eltern in Berlin und in Herford sind dokumentiert und: Bodo von Borries lernt Hedwig Ruska (1912-2008) kennen, die jüngste Schwester von Ernst und Helmut.^{38, 39, 40}

Der schnelle Weg zum ÜM war auch durch andere Umstände begünstigt: Die beiden Ingenieure waren getrieben von ihrer Idee und wurden darin von Helmut Ruska, dem Bruder von Ernst, ständig bestärkt. Neben dem elektrotechnischen Wissen und den konstruktiven Erfahrungen in der Knoll-Gruppe war auch die großzügige Haltung des Institutsleiters hilfreich: Als die Arbeit der jungen Leute über die Konstruktion eines brauchbaren Oszillographen

Abb. 9: Familie Franz von Borries mit Hedwig Ruska, zwischen 1932-1936. Von links: Bodo und seine Schwester Kara, Martha und Franz von Borries, Hedwig Ruska

Dr. Adelheid von Borries



hinauswuchs, als sie an die Möglichkeit eines völlig neuen elektronoptischen Geräts dachten, gab Prof. Matthias ihnen die Freiheit, die noch unklare Perspektive experimentell weiter zu verfolgen.⁴¹ Auf ein enges Vertrauen zwischen Ernst Ruska und Bodo von Borries weisen schließlich auch die oben genannten drei gemeinsamen Patentanmeldungen in den Jahren 1932/33, aber ab 1934 finden sich nur noch Einzelanmeldungen. Was war geschehen? Der kränkelnde Vater Landrat Franz von Borries plante, sich schon Anfang 1933 pensionieren zu lassen. Bodo, mit einem mageren TH-Salar von 175 RM pro Monat, mochte seinen Eltern nicht mehr länger „auf der Tasche liegen“. Am 2. Januar 1933 eröffnete er dem Institutsleiter seinen Wechsel zur Industrie und am selben Tag besprach er seinen Entschluss auch mit Ernst Ruska und Martin Freundlich: Man sprach auch über die anstehenden Publikationen. Themen und Verantwortlichkeiten wurden abgegrenzt und schriftlich fixiert. Geplant waren fünf Arbeiten, u.a.: „Strommeßsystem am Kathodenstrahloszillographen“ mit den Autoren Matthias, von Borries und Ruska, vom 12. - 18. April 1933 in Herford fertiggestellt; „Elektronenstrahlrelais“ (Freundlich und von Borries), „Sehr starke Vergrößerungen mittels des magnetischen Elektronenmikroskops“ (Ernst Ruska) und „Apparative Neuerungen am Elektronenmikroskop“ (von Borries und Ruska).⁴²

Bodo war bitter enttäuscht, aber in der Diskussion mit seinem Vater ließ er sich auf den Boden der Fakten zurückbringen.⁴⁶ Ruskas einstiges Vorgehen mag dem Zeitdruck geschuldet gewesen sein und in der Tat: man befürchtete immer Prioritätsstreitigkeiten mit den Berliner Konkurrenten. Auch Ernst Ruska stand unter einigem Druck, auch ihm bot die TH keine berufliche Zukunft. Er wechselte am 1. Dezember 1933 zur Fernseh AG in Berlin. In seiner 1934er Veröffentlichung hatte er noch weitere Verbesserungen vorgeschlagen, eine Schleuse für das Fotomaterial und eine „Glättung“ der Hochspannung. Das Übermikroskop blieb also unvollendet zurück in Neu-Babelsberg. Trotz des Schattens über ihrer Beziehung waren beide Ingenieure fest von der Perspektive ihres Mikroskops überzeugt. Sie glaubten weiter an die Möglichkeit, das Mikroskop gemeinsam weiter entwickeln und industriell produzieren zu können. Wer aber sollte ein solches Projekt stützen? Die beiden bemühen sich um Aufmerksamkeit und Interesse von Wissenschaft und Industrie: in

den Jahren 1934 bis 1936 halten sie mehr als 45 Vorträge und Besprechungen.⁴⁹

Erste Anwendungen in der Biologie und Entwicklungen im Ausland

Wie von Ernst Ruska 1934 vorgeschlagen wurde das verwaiste Gerät technisch aufgerüstet: Die Elektrotechnik-Studenten E. Driest und H.O. Müller bildeten erstmals auch „biologische Objekte“ ab: die Chitinstrukturen einer Fliege.⁵⁰ Danach übernahm der junge Mediziner Friedrich Krause (1914-1945) das Gerät. Er dokumentierte Diatomeen, Epithelzellen und schließlich auch Bakterien, wobei er auch schon die Negativ-Kontrastierung nutzte, ein Verfahren, das bewusst erst 1970 in die EM-Präparation eingeführt wurde.⁵¹

Fortschritt gab es auch im Ausland: in Belgien hatte der Ungar Ladislas Marton (1901-1980) die 1932er Veröffentlichung von Knoll und Ruska interessiert gelesen. Er konstruierte bald drei Elektronenmikroskope: nach einem Ein-Linsen-Gerät im Dezember 1932 zwei verbesserte Mikroskope in 1933 und 1935, Details bei Marton, 1994.⁵² Zur Minderung des Strahlenschadens entwickelte er ein heute noch genutztes Regime: dünne Präparate, die chemisch stabilisiert und gekühlt werden.⁵³ Erst sein drittes Gerät überschrift die lichtmikroskopische Auflösung. Marton ging 1938 in die USA und konstruierte bei der Radio Corporation of America (RCA) sein viertes Mikroskop, das RCA Typ A: ein teures und wenig anwenderfreund-

liches Gerät, so dass die RCA eine Neukonstruktion beschloss. Das 1941 vorgestellte RCA B war einfacher in Betrieb und Bedienung und wurde in den USA ein großer Erfolg.⁵⁴

In England konstruierte L.C. Martin ab 1935 ein Mikroskop, das er mit einem parallel zu nutzenden Lichtmikroskop ausstattete, um so vergleichend die Bildentstehung untersuchen zu können. Es erreichte aber noch keine „übermikroskopische“ Auflösung. Die Entwicklung kam zunächst zum Erliegen.^{55,56} Bis zum Kriegsende gab es auch in anderen Ländern weitere Konstruktionsansätze, zusammengefasst in von Borries und Ruska, 1944.⁵⁷

Das Siebeck-Gutachten (2.10.1936): Förderung des EM durch die Medizin

Das in Neu-Babelsberg aufgerüstete ÜM war noch nicht reif für die Serienfertigung. Überhaupt gab es grundlegende Zweifel am Nutzen eines solchen Mikroskops: hatte doch Ernst Ruska in seiner 1934-Veröffentlichung einen verkohlten Baumwollfaden abgebildet.⁵⁸ Schon das notwendige Vakuum würde verhindern, biologische Objekte im ÜM auch nur annähernd getreu abzubilden und die energiereichen Elektronen würden das Objekt beim Durchstrahlen zu strukturloser Asche verbrennen: Aber die Ingenieure Ernst Ruska und Bodo von Borries, nunmehr beide tätig in der Industrie, glauben an ihr Können und an das Potential ihrer Entwicklung und betreiben unermüdlich Public Relations.

Am Durchbruch zur industriellen Fertigung hatte die Medizin einen großen Anteil: Helmut Ruska, schon als Student von der Notwendigkeit eines besser auflösenden Mikroskops überzeugt, war seit dem 1. April 1934 Assistent an der I. Medizinischen Universitätsklinik der Charité bei dem wissenschaftlich sehr interessierten Prof. Richard Siebeck (1883-1965). Er motiviert Siebeck, die beiden Ingenieure zu einer Vorstellung ihres Projekts zu empfangen: Das Gespräch findet am 29. September 1936 statt, am 2. Oktober diktiert Siebeck sein Gutachten: Das EM werde mit seiner höheren Auflösung in der Lage sein, die Grenzen der Lichtmikroskopie weit zu überschreiten und neue Erkenntnisse zu schöpfen. In der „Gewebelehre“ könnte die Feinstruktur von Geweben, aber auch von krankhaft veränderten Geweben studiert und so „das EM von unmittelbar praktischer Bedeutung für den Arzt werden“. Noch dringlicher sieht er die Anwendung bei den im Lichtmikroskop nicht sichtbaren „filtrierbaren Infektionserregern“. Er nennt hier: „echte Pocken, Kuhpocken, Windpocken, Masern, Mumps, Grippe, Gehirnentzündungen, Tollwut, Maul- und Klauenseuche u. a.m.“, auch Tumore, Blutkrankheiten und die Bakteriophagen. Die bisher schon erreichten Ausbildungsmöglichkeiten hält er für so bedeutsam, „dass ich gerne bereit bin, in medizinischen Forschungsarbeiten zu beraten und durch Verfügungstellung der Hilfsmittel meines Instituts mitzuarbeiten“.⁵⁹

Das Gutachten überzeugte und als schließlich Zeiss und Siemens Interesse zeigten, entschieden sich die In-

genieure für die Siemens & Halske AG (S&H). Dort lagen ja bereits Rudenbergs Patente von Mai 1931.^{60,61} Überdies war Bodo von Borries mit den Verhältnissen bei Siemens vertraut, er war seit dem 1. Juli 1934 bei den Siemens-Schuckertwerken in Berlin mit der Entwicklung von Überspannungsschutzgeräten befasst.

Das Laboratorium für Elektronenoptik (LFE) bei S&H (1938-1941), ein „Familienunternehmen“: Weiterentwicklung und industrielle Produktion

Die Verhandlungen der beiden Ingenieure führten zur Gründung der „Entwicklungsstelle für Elektronenmikroskopie“ im Wernerwerk der S&H in Berlin-Siemensstadt im Bezirk Spandau. Sie verkauften ihre Patente an S&H und werden hier, in Z.L.44, zum 1. Februar 1937 parallel als Obergenieure und Handlungsbvollmächtigte eingesetzt. Im gleichen Jahr gründen sie auch ihre Familien: Am 15. Mai 1937 heirateten Ernst Ruska und Irmela Geigis (1907 - 2009).

Wenig später, am 23. August 1937, heirateten auch Bodo von Borries und Hedwig Ruska („Hede“, 1912 - 2008). Prof. Siebeck stellt Helmut Ruska und Carlheirich Wolpers (1906-2003), einen weiteren Mediziner, frei für Anwendung und Erprobung. Da die Mikroskope tagsüber von Schwingungen aus dem Fabrikbereich gestört und teilweise auch noch technisch weiterentwickelt werden, bleiben oft nur die Nächte für die angewandte Forschung und



Abb. 10: Hochzeit von Ernst und Irmeta Ruska, am 15. Mai 1937. Untere Reihe: das Brautpaar Ernst und Irmeta Ruska (geborene Geigis, mit Brautstrauß). Links neben Irmeta: Hedwig Ruska, die jüngste der sieben Kinder des Prof. Julius Ruska (1867 - 1949) und seiner Ehefrau Elisabeth. Vater Julius, hochgewachsen mit weißem Vollbart, zweiter von rechts. In der zweiten Reihe, links von Julius Rуска, steht 32-jährig Bodo von Borries, mit Brille und weißer „Fliege“. Die dritte, für die EM-Entwicklung wichtige Person, der 29-jährige Mediziner Helmut Ruska, der jüngere Bruder von Ernst Ruska, steht ganz oben rechts

Dr. Adelheid von Borries

Powerplay an Public Relations begimmt: Aus Berlin berichtet die New York Times am 26. Mai 1938 über das SUPER MICROSCOPE, mehrfach taucht auch Herford als Redaktionsort auf⁷¹ und am 22. Juni 1938 referiert Helmut Ruska vor der Berliner Medizinischen Gesellschaft. Der Vortrag findet ein weites Presseecho und wird bereits am 2. Juli 1938 mit den drei Autoren Bodo von Borries, Ernst Ruska und Helmut Ruska in der Klinischen Wochenschrift unter „Bakterien und Virus in übermikroskopischer Aufnahme“ veröffentlicht.⁷² Die gezeigten Viren, Pockenviren von Kaninchen und Maus und das für die Pockenschutzimpfung genutzte Vaccinia-virus sind große Viren und die Bilder zeigen noch wenig Detail. Aber Pockenviren messen 200 x 300 nm, sie sind also günstig gewählt für das „noch nicht genügend durchgereifte Gerät“, wie auch die Siemens-Hierarchie nüchtern weiß.⁷³

Als das Übermikroskop am 20. Juli 1938 der Presse vorgestellt wird, tönt es unisono durch das Dritte Reich: „Eroberung des Unsichtbaren – Ein Riesenerfolg deutscher Wissenschaft“ und die schwedische Berlingske Tidende vom 23. Juli 1938 kommentiert „Verdens stærkesteste Mikroskop“. Das LfE ist wissenschaftlich äußerst produktiv, schon im ersten Jahr erscheinen elf Veröffentlichungen. Um Nutzen und Anwendung des ÜM zu fördern, beschließt das Trio Ende 1938 die Gründung eines Castlabors in räumlicher und organisatorischer Verbindung zum LfE: es wird schließlich am 28. April 1940 als „Laboratorium für Übermikroskopie“ (LfÜ) eingeweiht.⁷⁴

mer zeitnah. Der Mediziner Helmut Ruska entwickelt die fehlenden Präparationsverfahren für die EM, betreibt eigene Forschung in Bakteriologie und Virologie und betreut im „Castlabor“ die externen Wissenschaftler der S&H. Die Synergie des Trios wird in eine erfolgreiche Zukunft führen.

Weiterentwicklung und industrielle Produktion

Die Entwicklung des ÜM verläuft zügig, zumal S&H sich auch die Mitarbeit von Prof. Walter Glaser (1906-1960) zum 1. Juli 1937 vertraglich gesichert hatte. Das erste Siemens-Gerät, montiert noch auf einem Schweißblock, geht am 2. Dezember 1937 ans Netz. An dem zweiten EM arbeitet überwiegend Helmut Ruska, bald auch sein Stellvertreter Gustav A. Kausche von der Biologischen Reichsanstalt in Berlin-Dahlem und eine Reihe von Gästen.^{68,69} Bodo von Borries und Ernst Ruska reichen im Februar 1938 zwei erste Veröffentlichungen über diese Geräte ein.⁷⁰ Ein

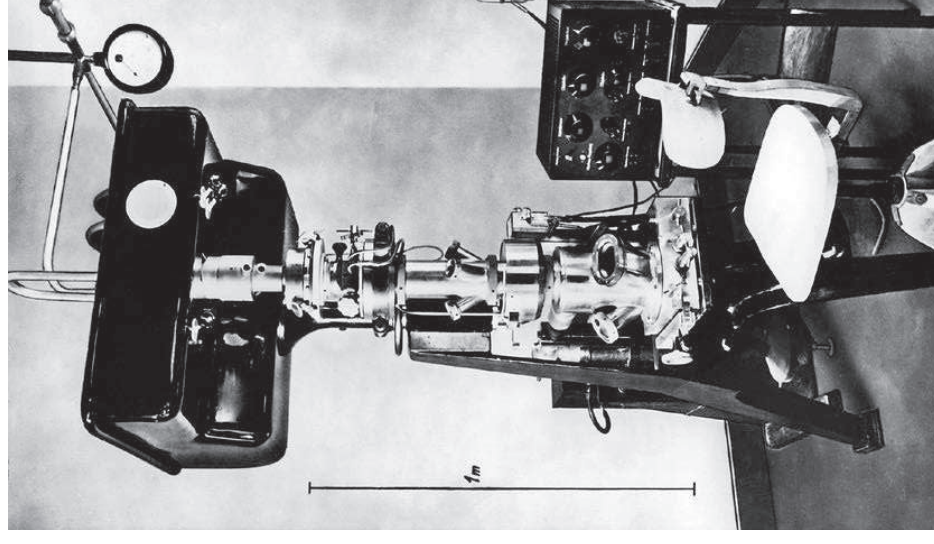


Abb. 11: Vorserien-Übermikroskop von S&H; auf Schweißblock montiert, 1938

Siemens Historial Institute

Die Drei halten vielbeachtete wissenschaftlichen Vorträge: Helmut Ruska berichtet im August 1938 in Zürich beim V. Internationalen Zellforscherkongress über die Darstellung von Zellen und Viren.⁷⁵ Ein Programmpunkt bei diesem global besuchten Kongress ist die „Demonstration des Übermikroskops“ durch Helmut Ruska und Bodo von Borries. Die Kunde vom Siemens-ÜM wird im In- und Ausland verbreitet: Auf Einladung von Prof.

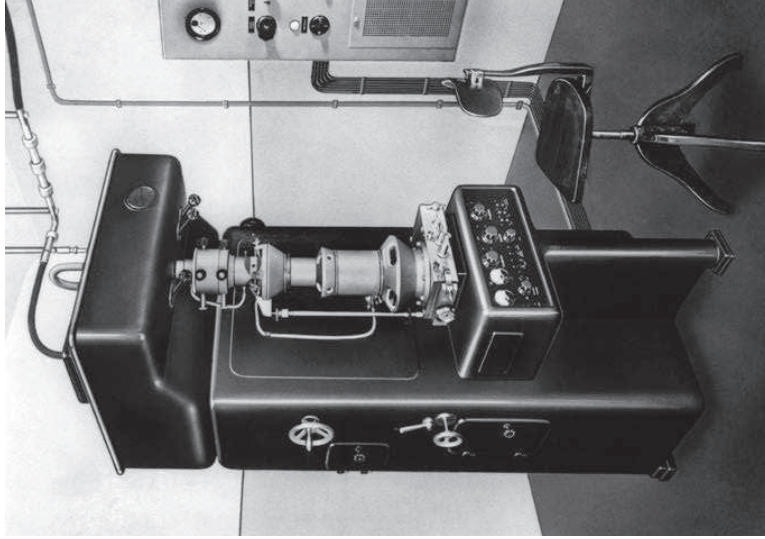


Abb. 12: Erstes seriennüßiges Übermikroskop der Firma S&H, 1939

Siemens Historical Institute

Mit 30.000-facher Vergrößerung und einer Auflösung von besser als 10 nm erweist das ÜM seine Eignung auch in der Materialforschung, bei der Analyse von synthetischen Fasern, Silikaten und Farben. Die Industrie zeigt sich interessiert und eine erste Serie von 10 Geräten wird geplant: „Drei Geräte wünscht bereits die I.G. Farben zu erhalten, und ein Gerät soll an Prof. Peter A. Thiessen geliefert werden“, den Direktor des Kaiser-Wilhelm-Instituts für physikalische Chemie in Berlin, höchst einflussreich im Reichsforschungsrat. Die Abteilung Z.L. 44 hatte auch, „ohne dass die Aufgabe gestellt war, mit Erfolg die Entwicklung eines Hochleistungs-Kathodenstrahlzylindergraphen“ vorangebracht und wurde nun mit seiner zentralen Entwicklung bei Siemens belohnt. Auch, „die Entwicklung der Fernrohröhre in Z.L. 44 kann zunächst fortgesetzt werden“. Die offenbar unautorisierte Erweiterung des Programms zeugt von Wagemut und Selbstbewusstsein. Angesichts dieser Erfolge wurde Z.L. 44 am 1. Juli 1938 von der Siemensführung (Carl Friedrich von Siemens, Hermann von Siemens, die Generaldirektoren Dr. H. von Buol von S&H und Dr. Köttgen von SSW) besucht und zum „Laboratorium für Elektronenoptik“ (LFE) aufgewertet.^{76, 79, 80} Die Entwicklungsarbeit im LFE ist nicht allein auf das ÜM fokussiert: Als interne Sondergeräte entstehen ein ÜM für 220 kV Strahlspannung und ein Schräglicht-Oberflächenmikroskop, beide wesentlich für die Materialforschung.⁸¹

Das erste Serien-ÜM wird Ende 1939 an die I.G. Farben in Höchst geliefert.⁸² Aber zuvor schon inte-

ressieren sich auch die Mächtigen im Reich dafür. Prof. Karl Brandt (1904-1948), der „chirurgische Leibarzt des Führers“ und „Generalkommissar des Führers für das Sanitäts- und Gesundheitswesen“, bittet Bodo von Borries zu einem Besuch bei dem Chirurgen Prof. Paul Rostock (1892-1956). Brandt und Rostock schätzen sich seit Jahren, beide machen Karriere an der II. Chirurgischen Universitätsklinik der Charité, Brandt wird Rostock 1943 zu seinem „Beauftragten für Medizinische Wissenschaft und Forschung“ ernennen. Am 23. Februar 1939 begutachtet Bodo von Borries in der Charité die Räumlichkeiten für ein ÜM und bespricht auch Details für die drei vom Führer gewünschten Mikroskope. Er fasst zusammen: ein Gerät soll an Prof. Rostock selbst gehen, das zweite an Prof. Theodor G. Morell (1886-1948), den Leibarzt des Führers, und das dritte könne nach Dahlem an das Reichsgesundheitsamt gehen, zu Dr. G. Piekarski (1910-1992), der mit Helmuth Ruska bereits erfolgreich gearbeitet habe. Als er Brandt die große Nachfrage nach Mikroskopier-Möglichkeiten und die Pläne der S&H für ein „Castlabor“ schildert, stimmt dieser einer zentralen Ausbildungsstätte bei S&H zu. Brandt interessiert auch Finanzielles: Er bemängelt den Preis von 70.000 RM für das Übermikroskop, von Borries beruhigt ihn: Der Preis gelte nur im Inland, Auslandskunden müssten mit 150.000 RM inklusive Montage und Zoll rechnen.⁸³ Auch andere Kontakte mit NS-Größen sind dokumentiert: so berichten Ernst Ruska und Bodo von Borries dem Reichsarzt SS Ernst Robert Grawitz (1899-1945) am 17. März 1942 über die „elektronenmikroskopische

Forschung in den USA“ und: Grawitz ist „Herrn Dr. von Borries privat bekannt“.⁸⁴

Laboratorium für Übermikroskopie (LfÜ), 1940-1944

Die von Prof. Siebeck 1938 für das LFE freigestellten Mediziner Helmut Ruska und Carlheinz Wolpers (1906-2003) bleiben weiter wissenschaftliche Assistenten an der Charité, sie leisten dort auch ihre Facharztweiterbildung für Innere Medizin.⁸⁵ Wolpers ist nur zu 50 Prozent freigestellt, wird zunächst auch häufiger zum Wehrdienst einberufen. Beide sollen im LFE das Potential des ÜM in der Biomedizin ausloten: Helmuth Ruska entwickelt Präparationsverfahren und betreibt eigenständige Mikrobeforschung, aber er kooperiert in den nächsten sieben Jahren auch mit mehr als einem Dutzend externer Wissenschaftler in dem von S&H gegründeten „Castlabor“. Dieses ist zugleich Kunden- und Trainings-Zentrum, in unmittelbarer Nähe zum LFE, aber bei aller wissenschaftlichen Freiheit administrativ vom LFE abhängig: Auf 650 m² Fläche angemessen mit Personal, mikrobiologischen Arbeitsmöglichkeiten und zunächst drei ÜM ausgestattet. Eingeweiht wurde es am 18. April 1940 als „Laboratorium für Übermikroskopie“ (LfÜ) unter großer Beteiligung der Öffentlichkeit. Dr. Hermann von Siemens stellt das Projekt LfÜ vor und Prof. Siebeck leitet die fünf Vorträge über den durch das ÜM erreichten wissenschaftlichen Fortschritt in Biomedizin und Materialwissenschaften.⁸⁶ Die Presse berichtet enthusiastisch: „stehen wir hier vor einer erneuten

Glanzleistung deutschen Forscher- und Erfindergeistes“ (Kölnische Zeitung, 4. Mai 1940) und: „In diesen Räumen fehlt nichts, was der Wissenschaftler, der Forscher für seine für die Allgemeinheit ungeheuer wertvolle Arbeit benötigt“ (Völkischer Beobachter, 7. Mai 1940).

Viren stehen im Vordergrund der Forschung am LfÜ: Pockenviren, Tabakmosaikvirus (TMV) und Bakteriophagen. Bereits 1935 hatte der Amerikaner Wendell M. Stanley das TMV aus infizierten Pflanzen isoliert: er kristallisierte TMV und die Kristalle waren infektiös. Da sie aber, so nahm Stanley an, allein aus Virusprotein bestünden, müsste das Protein auch Träger der Infektiosität, mithin von Leben, sein.⁸⁷ Ein Irrtum, wie wir heute wissen, aber 1946 erhielt Stanley dafür den Nobelpreis für Chemie. Seine Versuche hatte der Biologe Gustav A. Kausche an der Biologischen Reichsanstalt in Berlin verfolgt. Er wandte sich mit geringem TMV an das LfÜ und wies im ÜM 300 nm lange, sehr dünne, starre Stäbchen als das TMV nach.⁸⁸ Unabhängig von Kausche, aber mit dem von Kausche gereinigten TMV, kam Helmut Ruska zu ähnlichen Ergebnissen. Kausche wird am 11. Juli 1939 Mitarbeiter des LfÜ und zugleich Stellvertreter von Helmut Ruska.

Am 1. Juli 1941 notiert Helmut Ruska bereits fünf verschiedene Pockenviren, TMV und Kartoffel-X-Virus, Mykoplasmen und sieben verschiedene Bakteriophagen als erfolgreich beschrieben: Noch auf der Agenda, als „abzubilden versucht“, listet er „Hühnerpest- und Influenzavirus, Herpesvirus und das Polyedervi-

rus der Raupe“.⁸⁹ Offensichtlich in Konkurrenz wenden sich Kausche und Ruska den Bakteriophagen zu. Die Arbeiten gehen zögerlich voran, weil Ruska von Januar bis Oktober 1942 als Stabsarzt in Russland dient und weil sein Stellvertreter Kausche chronisch erkrankt, kaum verfügbar und offenbar unzufrieden mit seiner Rolle im LfÜ ist. S&H kündigt seinen Vertrag zum 31. Dezember 1942⁹⁰ und Wolpers übernimmt seine Position. Beide wurden Ende 1942 vom Generalkommissar des Führers für das Sanitäts- und Gesundheitswesen Prof. Brandt vom Kriegsdienst freigestellt (HR dient für insgesamt 16 und CW für 40 Monate) und für die Arbeit im LfÜ dienstverpflichtet. Wolpers befasste sich am LfÜ überwiegend mit der Charakterisierung von Geweben.

Helmut Ruska setzt zwischen 1940 und 1943 einen Schwerpunkt bei den Bakteriophagen, er nutzt sie für seine Habilitation unter Prof. Rosstock.^{91, 92} Am 23. März 1943 hält er die „Probavorlesung“: Anwesend ist auch Prof. Brandt, der Ruska und Wolpers zu einer Besprechung über die Reichsanstalt für übermikroskopische Strukturforschung am 25. März 1943 in das Führerhauptquartier bittet.⁹³ Es gab weitere Kontakte in Sachen Reichsanstalt zu Prof. Brandt, aber auch mit Prof. Paul Rostock, seinem Beauftragten für medizinische Wissenschaft und Forschung.⁹⁴

Im LfÜ drängen sich Gäste aus dem Reich, aber auch aus Italien, Frankreich, Schweden und der Schweiz: Im Januar 1941 werden dort zwei weitere ÜM aufgestellt. Auch Ausländer veröffentlichten ihre hier er-

arbeiteten Ergebnisse auf Deutsch, damals neben dem wichtiger werdenden Englisch noch eine Sprache der Wissenschaft. So berichten die Schweden Arne Tiselius und Sven Gard 1942 über „Beobachtungen an Poliomyelitis-Viruspräparaten“, die sie zuvor mühevoll ange-reichert hatten.⁹⁵ Tiselius lobt, dass er „die Ergebnisse schon am zweiten Tag seines Aufenthaltes“ gewonnen habe“.⁹⁶ 1943 bestätigt Helmut Ruska die Befunde der Schweden.⁹⁷ Der Pressehype ist enorm: „Eine medizinische Welt sensation“: „Aber wenige Jahre später erkannte man: abgeleitet wurde nicht das Poliovirus, sondern eine bakterielle Verunreinigung. Befreit vom Kriegsdienst erarbeiteten Helmut Ruska und Wolpers ab 1943 eine Reihe bahnbrechender Ergebnisse. Ruska zeigt, dass Windpocken und Gürtelrose durch dasselbe Virus, durch ein Herpesvirus, verursacht sind.“⁹⁸ Er wagt dann, auf der Basis seiner inzwischen breiten morphologischen Erfahrung, eine erste naturwissenschaftliche Klassifikation der Viren.⁹⁹ Wolpers forscht über Blutgerinnung, Blutplättchen und über Bindegewebs-Komponenten: Übersicht zu den Arbeiten am LfÜ bei Gelderblom und Krüger.¹⁰⁰

Außenstelle des LfÜ auf den Riems (April 1944 – März 1945)

Angesichts der „Luftgefährdung“ hatte S&H sich schon im Februar 1944 entschlossen, den Kern des LfÜ auf die kleine Insel Riems, nahe Greifswald, zur Reichsforschungsanstalt zu verlegen (heute „Friedrich-Loeffler-Institut“, Bundesinstitut für Tiergesundheit). Die Anstalt war damals wesentlich mit der

Maul- und Klauenseuche (MKS), der Produktion einer MKS-Vakzine und Forschung zur Klassischen Schweine- und Geflügelpest befasst und ihr Präsident, Prof. Otto Waldmann (1885-1955), sah den Zuzug aus Berlin – mit zwei Übermikroskopen – als Chance für „den Riems“. Schon im April 1944 nahmen Helmut Ruska und seine Mitarbeiter Bruno Lindemann und Wolpers dort ihre Arbeit auf. Das erste ÜM (das ÜMD aus dem LfÜ) wurde im Juni, das zweite, von der DFG finanzierte, im September 1944 montiert.¹⁰¹ Aber große Teile des Labors, unter anderem das Fotoarchiv, waren in Berlin geblieben und wurden dort im Luftangriff vom 6. Oktober 1944 vernichtet.¹⁰²

Biowaffen auf dem Riems

Überraschend „kriegswichtig“ wurde hier die Rinderpest, weil die deutschen Geheimdienste einen entsprechenden Biowaffen- (BW-) Angriff befürchteten. Für den Aufbau von Diagnostik und Schutzmaßnahmen wurden die Virologen Gerhard Schramm (1910-1969) und Werner Schäfer (1912-2000) zusätzlich auf den Riems beordert. Der Erreger der Rinderpest, ein Paramyxovirus, ist verwandt mit dem Masernvirus des Menschen. Es zerstört die Schleimhäute in den Atemwegen und im Verdauungstrakt von Rindern und dezimiert ungeschützte Bestände. Die Krankheit verschont den Menschen, aber durch den Ausfall der Milchversorgung trifft sie indirekt: Im Reich fürchtete man entsprechende Unruhen. Weil die Rinderpest in Mitteleuropa erloschen war, bemühte man sich um Rinderpest-

Proben aus der Türkei. Die aber hatten beim Transport ihre Infektiosität verloren, so dass die Virologen sich anderen Themen zuwenden konnten.¹⁰³

Nach den schrecklichen Erfahrungen im 1. Weltkrieg hatte Hitler 1942 Entwicklung und Einsatz von chemischen und biologischen Waffen untersucht.¹⁰⁴ Als die Wehrmacht 1940 im eroberten Paris aber auf ein BW-Labor mit MKS-Viruspräparaten stieß, bereitete man sich auf „dem Riems“ klammheimlich auf den offensiven MKS-Einsatz vor. Wald-

manns späterer Schwiegersohn Hanns-Christof Nagel erprobte in Russland erfolgreich die Versuchung von Kindern und Rentieren aus der Luft.¹⁰⁵ Aber dabei blieb es: weder die Deutschen noch die Alliierten haben im Zweiten Weltkrieg BW eingesetzt. Dem Verdacht auf BW-Forschung auf dem Riems sind die Amerikaner 1945 im Rahmen der ALSOS-Mission nachgegangen: sie befragten Helmut Ruska und seine Frau Carla am 28. Juli

1945 in Preetz, wo die beiden auf der Flucht vom Riems zwischenzeitlich Unterkunft gefunden hatten.¹⁰⁶ Neben dem Fleckfieber, der „kriegswichtigen“ Rickettsien-Infektion¹⁰⁷, erforschte Ruska auf dem Riems auch Bakteriophagen, TMV, MKS, Mykoplasmen und die Geflügelpest (Vogelgrippe), eine hochpathogene Influenzavirus-Infektion beim Huhn, letzteres zusammen mit Prof. Erich Traub (1906-1985), Gerhard Schramm (1910-1969) und Werner Schäfer (1912-2000).

Das Laboratorium für Elektronenoptik (LFE) im Krieg 1941-1945

Am 1. Oktober 1941 sind die zehn Geräte der ersten Serie ausgeliefert: Man arbeitet an der zweiten Order von zehn Stück und plant mit der dritten und vierten Order nun insgesamt 53 ÜM.¹⁰⁸ Die knappen Fertigungskapazitäten lassen aber bis zum Kriegsende insgesamt nur 38 Geräte zur Auslieferung kommen, je eines geht nach Rom und Uppsala



Dr. Adelheid von Borries

Abb. 13: Die LFE-Crew beim 40-jährigen Dienstjubiläum von Herrn Rühle am 28. September 1942 in Berlin-Siemensstadt. Ernst Ruska (links) und Bodo von Borries (rechts vom Jubilar) mit Parteiblatzzeichen

la.¹⁰⁹ Als weitere Verbesserung erhalten die ÜM der dritten Order, ab 1943, eine auf 100 kV erhöhte Strahlspannung anstelle zuvor 85 kV. Der Preis für das ÜM wird wegen des erhöhten Aufwands, aber auch wegen der beträchtlichen Verluste des LFE im Geschäftsjahr 1940/41 (563.000 RM) von 70.000 auf 80.000 RM erhöht.¹¹⁰ Aber angesichts des Propagandanutzens leistet sich die große S&H weiterhin ein defizitäres LFE.¹¹¹

Da pro Jahr nur sechs bis acht Geräte gefertigt werden können, bittet von Borries immer wieder, u.a. am 4. Januar 1943, um die Zuteilung von „qualifizierten ausländischen Arbeitskräften“ und er mahnt, dass „die Amerikaner, die uns bekanntlich diese Geräte nachbauen, inzwischen die 2- bis 3-fache Zahl von Mikroskopen ... in Betrieb genommen haben“.¹¹²

Entwicklung und Fertigung des ÜM sind nicht die einzigen Sorgen am LFE. Der Staatssekretär im Innenministerium, Reichsgesundheitsführer Staatsrat Dr. Leonardo Conti (1900-1945) plant seit 1941 auf Anregung der Brüder Ruska und von Bodo von Borries die Gründung eines gigantischen Reichsinstituts für Medizinische Strukturforchung in Frankfurt am Main, ausgestattet mit sechs Abteilungen am 18. ÜM. Bei der Besprechung am 17. Oktober 1942 lässt Conti die Pläne auf zwei Abteilungen und sechs ÜM schrumpfen, aber das Institut solle nun rasch unter Leitung von Helmut Ruska und Wolpers in Gang kommen.^{113, 114} Ständig einbezogen in die Planungen sind auch Prof. Brandt sowie der Chef des Wehrmachtssanitätswesens Prof. Siegfried Handloser



Abb. 14: Helmut Ruska, Bodo von Borries und Ernst Ruska (von links) berichten im April 1943 im „Paul Nipkoon-Fernsehen“ über das Elektronenmikroskop

Quelle: aus der Festsammlung Vögelinfr. Das Bild stammt aus: BDL/DV, Lauf (1996) Wissenschaft und Technik im Fernsehen des Dritten Reiches. Das Übermikroskop aus dem Deutschlandhaus. Deutsches Museum Verlag, München, Kultur & Technik 1, 33. (Karrenberg, F. H., 2019)

(1885-1954) und die Militärärztlche Akademie. Brandt bittet Helmut Ruska und Wolpers am 21. und 22. Januar 1943 in das Führerhauptquartier: Sie erfahren: „wegen Fliegergefahr“ soll das Reichsinstitut nicht mehr in Frankfurt, sondern in Berlin realisiert werden, angelehnt an das LFE. Brandt schlägt dazu vor, dass die beiden nun als Angehörige des Reichsinstituts und besoldet von der Deutschen Forschungsgemeinschaft umgehend ihre Arbeit aufnehmen.¹¹⁵ Mit zwei „reichseigenen“ ÜM sollen sie „kriegswichtige Forschung“ zu Fleckfieber (Läuseyphus“), Gelbsucht und zur Feldnephritis betreiben.¹¹⁶

Angesichts dieser Perspektive bilanziert Bodo von Borries am 4. Februar 1943: Bis dato werden im LFE drei, im LfÜ fünf ÜM, darunter ein 225 kV-Gerät, genutzt. Er plant den Ersatz älterer 85 kV-ÜM und für die „kriegswichtige Forschung“ in Zukunft in LfÜ und Gastlabor insgesamt acht ÜM. Für das LFE sind sieben Mikroskope vorgesehen, unter anderem ein 750 kV-Gerät und drei kleinere 60 kV-Entwicklungen, die

in der Perspektive „eine Endvergrößerung von 20.000- 30.000 schärfen“ – und in ihrer „Leistung merklich höher als das elektrostatische Instrument der AEG ... und möglichst nicht teurer als das elektrostatische Konkurrenzinstrument“ werden sollen.¹¹⁷ S&H sieht in der von Siemens-Patenten geknebelten AEG immer noch einen beachtlichen Rivalen, auch trotz der bis zum 15. Februar 1943 akkumulierten 297 eigenen Patente und Patentanmeldungen.¹¹⁸

Konkurrierende Entwicklungen in Berlin

Elektronenmikroskope wurden in Berlin auch an zwei anderen Stellen entwickelt. Am „Forschungs-Institut der AEG“, geleitet von Prof. Carl Ramsauer (1879-1955), arbeitet seit 1928 der Physiker Ernst Brüche (1900-1985) über grundlegende

Eigenschaften von Elektronen und ihre Nutzung. Schon 1931 betrieb man „Oberflächenmikroskopie“.¹¹⁹ Das Konzept der „geometrischen Elektronenoptik“ wurde entwickelt und früh war man im Prioritätsstreit mit der Knoll-Gruppe.¹²⁰ Die AEG konnte ihr von Hans Mahl (1909-1988) und Ernst Brüche konstruiertes EM erst im November 1938 vorstellen. Mit den elektrostatischen Linsen war es weniger komplex, preiswerter und einfacher zu bedienen als das S&H-ÜM, aber es konnten diese Vorteile nicht recht nutzen: Von der 1940 verbesserten Version hat die AEG in den 40er Jahren schließlich noch eine Kleinserie von fünf Geräten gefertigt. Die weitere Verbreitung hinderte die Patent-situation.

Das Gerät der AEG hatte 1939 eine Auflösung von kaum 10 nm und erreichte 9.000-fache Vergrößerung.¹²¹ Dem Robert Koch-Institut (RKI) in Berlin schenkte die AEG ein EM, in der Hoffnung auf Prestige und Promotion. Für die Forschung an Bakterien war es hinreichend, aber für die in der Virologie notwendige höhere Auflösung hätte es die von Siemens patentierten magnetischen Linsen gebraucht. Am RKI nutze man es zur Charakterisierung von Bakterien mit ihren Geißeln und Kapseln,¹²² später auch von Mücken, Malaria-Parasiten und Tumorzellen.¹²⁴ Das Gerät verweist im RKI, sein weiteres Schicksal ist unklar.

Manfred von Ardenne

Die dritte EM-Entwicklung verfolgte der geniale Entrepreneur Baron Manfred von Ardenne (1907-1997)

in Berlin-Lichterfelde. Bereits 1938 konstruierte er im privaten „Forschungslaboratorium für Elektronenphysik“ ein Abtast-Mikroskop, ein Vorläufer des Raster-EM für durchstrahlbare Objekte, basierend auf seinen Erfahrungen aus der Entwicklung der Fernsehöhre.¹²⁵ Er veröffentlichte viele grundlegende Arbeiten, 1940 ein auch international gefragtes Lehrbuch über die EM und stellt 1940 auch sein erstes „Universal-Elektronenmikroskop“ vor.^{126, 127} Die Zeitungen melden: „Erstes Molekül abgebildet“ und „Moleküle werden photographiert: Eine Wunderleistung des Elektronenmikroskops“ (Rheinische Landeszeitung, 24. März 1940). In der Tat, das Gerät erreichte höchste Auflösung, aber auch der Baron war patentrechtlich und vertraglich von Siemens abhängig.

In Zusammenarbeit mit Virologen bildet von Ardenne 1941 erstmals eine Antigen-Antikörper-Reaktion im EM ab. Er zeigt die Bindung von Tabakmosaikvirus (TMV)-spezifischen Antikörpern an die stabförmigen TMV-Teilchen und ihre dichte Vernetzung (Aggregation).¹²⁸ Zu bemerken ist hier: dieser erste Fall von Immun-EM war nicht einzigartig: In den USA waren die Geräteentwicklung bei der RCA und die Arbeiten am TMV so weit fortgeschritten, dass man dort – unabhängig von den Deutschen – zu vergleichbaren Ergebnissen gekommen war.¹²⁹ Anspruchsvoll versucht sich von Ardenne auch an der Darstellung des Maul- und Klauenseuchervirus¹³⁰ später konstruiert er ein noch weiter verbessertes Universal-EM mit erstaunlicher 1,5 nm Auflösung.¹³¹

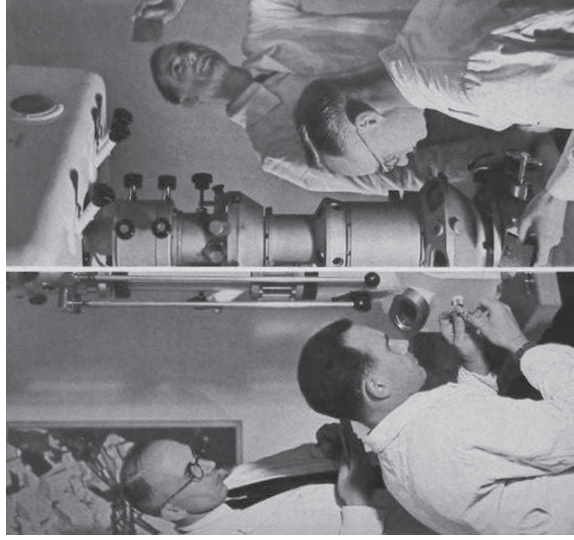
Sieben silberne Leibniz-Medaillen 1941

Um die Überlegenheit deutscher Forschung zu betonen, vielleicht auch um den Streit zwischen den drei Entwicklergruppen in der Öffentlichkeit zu kalmieren, beschließt die Preußische Akademie der Wissenschaften am 16. Januar 1941 die Verleihung von „Leibniz-Medaillen für die Anerkennung von Verdiensten um den Bau und die Anwendung des Elektronenmikroskops“. Die Akademie versammelte damals die deutsche Spitzenforschung: Vorschlagsberechtigt waren u.a. die drei Nobelpreisträger Max von Laue (1914), Max Planck (1918) und Otto Hahn (1944). Am 3. Juli 1941 wurden die sieben Medaillen an Manfred von Ardenne, Hans Boersch, Hans Mahl und Ernst Brüche (AEG), Bodo von Borries, Max Knoll und Ernst Ruska, TH Berlin/S&H) für das „Meisterwerk der wissenschaftlichen Technik“ verliehen.¹³⁹

Laboratorium für Elektronenoptik (Lfe) bei Kriegsende

Auch das Reich belohnt Verdienste: Am 8. Februar 1944 erhält Ernst Ruska den Dr.-Fritz-Todt-Preis in Gold für besondere Erfinder-Leistungen, dotiert mit 50.000 RM. Hitler hatte den Preis am selben Tag begründet, benannt nach dem zwei Jahre zuvor verunglückten Reichsminister für Bewaffung und Munition Fritz Todt (1891-1942) (Litzmannstädter Zeitung, 9. Februar 1944). Hedwig von Borries erinnert dagegen auf Seite 148: „im Februar 1944 erhalten Bodo von Borries und Ernst Ruska aus der Reichskanzlei

Abb. 15: Die zwei EM-Entwicklergruppen 1943/1944: links Hans Mahl (sitzend) und Ernst EM. Rechts: Bodo von Borries (sitzend) und Ernst Ruska am S&H-ÜM
aus der Währungsdruckschrift: SIGNAL, 1944



ähnliche Briefe, in denen ihre Verdienste um die EM mit je 20.000 RM belohnt werden.¹³³ Auf wessen Veranlassung auch immer: mutmaßlich wurde der Preis nach Intervention nachträglich geteilt.

Zwischen Januar 1943 und Oktober 1944 flogen die Alliierten 135 Luftangriffe auf die Hauptstadt – der Krieg traf nun auch Berlin.¹³⁴ Am 6. Oktober 1944 wird Siemensstadt schwer bombardiert. Bodo von Borries hatte das Personal in den sicheren Bunker der nahen Spandauer Zitadelle geschickt. Er selbst blieb im LfE, wurde leicht verletzt und das LfE brannte, aber die Produktionsanlagen waren kaum betroffen.

Die Arbeit im LfE wird wieder aufgenommen und das letzte von insgesamt 37 bis zum Kriegsende gefertigten ÜM wird noch 1945 ausgeliefert. Aber angesichts der verheerenden Kriegslage stellt Bodo von Borries die Konstruktionsarbeiten ein: er verfasst seine Habilitations-Arbeit und hält die obligatorische „Probenvorlesung“ am 11. Januar 1945 an der TH Berlin: Aber die Position als Privatdozent lehnte er ab, weil er dafür den Eid auf den Führer hätte leisten müssen.¹³⁵

Im Februar 1945 bereitet er die Teilauslagerung des LfE, Menschen und Gerät, in das ihm vertraute Ost-Westfalen vor. Der Rektor der in Teilen nach Bad Salzuflen verlagerten Universität Münster hatte hier Arbeitsraum und Unterkünfte zugesagt. Mit zwei Güterwagen, gefüllt mit zwei ÜM, Konstruktionszeichnungen, Werkzeug und Archiv, reiste er am 22. März 1945 nach Westen – ausgestattet für einen schnellen

Neuanfang. Ziel war zunächst die kleine Stadt Enger im Kreis Herford: hier wurde das Material am 31. März vor den Alliierten verborgen. Die von Dr. von Buol, dem Direktor von S&H, am 22. März 1945 angeordnete Gesamtverlagerung des LfE in den Westen ließ sich im Chaos der letzten Kriegstage nicht mehr realisieren.¹³⁶

Ernst Ruska war in Berlin geblieben. Die Sowjets demonstrieren das LfE als Reparationsgut und versuchen, Ruska für den Aufbau eines neuen Instituts in Moskau zu gewinnen: Er verhandelt zögerlich, versteckt sich schließlich und kann sich nur mit Glück und Hilfe aus der Nachbarschaft am 27. Juni vor der Deportation retten.¹³⁷ In Vorbereitung auf den Viermächtestatus Berlins treffen britische Truppen am 1. Juli in Siemensstadt ein. Siemens war lange unentschieden, ob und wo schließlich Forschung und Produktion des ÜM wiederaufgenommen werden sollten: Aber Ernst Ruska lässt bereits im Sommer 1945 eines der in Enger verborgenen ÜM und Konstruktionsunterlagen nach Berlin zurückführen und beginnt in Berlin mit dem Bau eines verbesserten Geräts, des ÜM 100.¹³⁸

Kriegsende für Bodo von Borries und Zwischenspiel

Am 2. April marschierten die US-Truppen in Ostwestfalen ein. Bodo schreibt: „Bittere Zeiten werden kommen... Wenn Deutschland aus den Trümmern, in die es sein Weg geführt hat, sich je wieder erholen kann, so führt dieser Weg über ehrliche, allen Phrasen abholde Arbeit.

Die wollen wir tapfer in Angriff nehmen... Blicke den Menschen ein objektives Bild der Vergangenheit, so müsste Entsetzen und Scham überwiegen, über alles was geschehen ist. Das Gute würde demgegenüber verblassen“.¹³⁹ Bodo und seine wachsende Familie leben in einem Behelfsheim auf Gut Hovedissen in Leopoldshöhe. Im zerstörten und geplünderten Berlin sieht er keine Möglichkeit für einen Neubeginn. Er entschließt sich zu einem Treffen mit der Siemens-Führung in München: Am 12. Juli 1945 beginnt er eine Rundreise mit Besuchen bei Bekannten und Verwandten, per Fahrrad, nach München.

Am 25. Juli 1945 berichtet er an Ernst von Siemens und Direktor Storch über das Schicksal der LfE-Mitarbeiter: „Ernst Ruska ist während der Besetzung im Labor in Spandau gewesen; er befand sich am 23. 5. noch in seiner Spandauer Wohnung. Glaubhaften Nachrichten zufolge ist er inzwischen nach Russland verbracht“. Sein Schwager Helmut Ruska habe ein ÜM vom Riems mit der Bibliothek und Teilen der Einrichtung nach Holstein evakuiert und wohne in Preetz, aber bisher gäbe es noch keinen Kontakt zu ihm. Und Dr.-Ing. H.O. Müller, einem sehr tüchtigen Mitarbeiter, der das auf der Sachsenburg nahe Frankenberg/Sachsen befindliche ÜM und seine Familie in den Westen überführen sollte, fehle jede Nachricht. Man ist sich einig, „dass derzeit die Entwicklung und Fertigung von Übermikroskopen nicht aufgenommen werden kann. Es besteht jedoch die feste Absicht, das Gebiet wieder aufleben zu lassen. Herr Dr. v. Borries wird die Wartezeit benutzen,

um ein Lehrbuch über die Übermikroskopie zu schreiben und sich mit dem Entwurf eines einfachen möglichst billigen Übermikroskops zu beschäftigen“. Sollte sich das Projekt Übermikroskopie aber nicht realisieren lassen, so solle ihm „in Erlangen die dann anlaufende Entwicklung und Fertigung der Braunschener Röhre verantwortlich übertragen werden“.¹⁴⁰ Am 4. August 1945 ist Bodo von Borries wieder zurück in Hovedissen und beginnt mit der Arbeit an seinem Lehrbuch.

Die Flucht des LfÜ vom Riems, Kriegsende und das Treffen in Hovedissen

Auf dem Riems bleibt das LfÜ lange vom Krieg unbehelligt.¹⁴¹ Erst als die sowjetischen Truppen die Oder erreichten, wurde es nach Abstimmung mit Reichskommissar Brandt und der Universität Münster nach Westen beordert. Im Raum Herford, entweder in Enger oder in Bad Salzuflen, sollte das Labor wiederaufgebaut werden.¹⁴²

Der Weg nach Westen war chaotisch: Helmut Ruska und seine junge Frau Carla fanden Unterkunft bei einem Apotheker in Preetz, Schleswig-Holstein.¹⁴³ Das vom Riems evakuierte ÜM strandete im Raum Schwerin. Ruska holt es im Juni 1945 mit britischer Hilfe in den Westen, die Briten konfiszieren es, wie fünf weitere Siemens-Geräte. Am 21. August 1945 zogen Helmut und Carla Ruska nach Leopoldshöhe Gut Hovedissen in die Nachbarschaft der von Borries-Familie. Vom 24. – 27. August trafen sich dort Ernst und Helmut Ruska mit Bodo von Bor-



Abb. 16: Hedwig von Borries mit vier Kindern 1949 vor dem 30 qm-Behelfsheim auf Gut Hovedissen, Gemeinde Leopoldshöhe

Dr. Adelheid von Borries

ries. Die Drei berieten über ihre Zukunft und die Perspektiven für die Übermikroskopie. Entgegen dem Rat von Ernst von Siemens ging Ernst Ruska in das inzwischen verteilte Berlin zurück.¹⁴⁴

Bodo von Borries: Die Mühlen des Neuanfangs im Westen

Nach der Rückkehr aus München beginnt Bodo von Borries in Leopoldshöhe zügig sein Lehrbuch „Die Übermikroskopie: Einführung und Untersuchung ihrer Grenzen und Abriß ihrer Ergebnisse“ zu schreiben. Bei den Fragen zur Biomedizin, erinnert Carla Ruska, konsultiert er häufig den Rat des Mediziners. Das ungewöhnlich eingängige Buch von 416 Seiten wird erst 1949 erscheinen.¹⁴⁵ Ein zweites Vorhaben, ein Vier-Männer-Handbuch, das Bodo von Borries, Walter Glaser und die Brüder Ruska schreiben wollten, kommt nicht zustande, weil letzte-

re ihre Manuskripte nicht fertigstellen.¹⁴⁶

Während Ernst Ruska in Berlin das ÜM konstruktiv überarbeitet, kümmert sich Bodo von Borries im Westen bei Förderinstitutionen und Universitäten um Promotion für die EM. Im April 1947 aber, als Bodo von Borries seine Zukunft bei S&H klären möchte, zerbrechen Arbeitsteilung und Gemeinschaft: Ernst Ruska verweigert die Zusammenarbeit, denn „mit den verschiedenen Ansichten stünde man sich gegenseitig nur im Wege“.¹⁴⁸ Eine kaum verständliche Härte. Aber dennoch finden die Drei auch später immer wieder zusammen für ihr gemeinsames Projekt: die Förderung der EM.

Bodo von Borries sucht einen Neuanfang. Optionen in Braunschweig und Göttingen zerschlagen sich. Im Juli 1947 bringt ihn die britische Militärregierung nach Hampstead zur Befragung, zum Abschöpfen

von Know-how und wissenschaftlichen Erkenntnissen. Fairness und Offenheit der Briten beeindruckten ihn und bald kann er das RCA-Mikroskop mit dem vom Riems evakuierten Siemens-ÜM vergleichen: Siemens überzeugt durch Bildintensität und Zuverlässigkeit. Er betreibt eigene Forschung und lernt mit Dr. Vladimir Zworykin (1888-1982) von RCA in Camden, USA, und Prof. Vernon E. Cosslett (1908-1990), Cambridge UK, prominente EM-Spezialisten kennen. Er verfasst ein Memorandum über zukünftige internationale Zusammenarbeit, er darf reisen und das Klima wird so gut, dass Prof. Cosslett ihn auf Honorarbasis einstellt und auf Konferenzen sprechen lässt. Ende 1947 kehrt er zurück nach Hovedissen. Er ergänzt das Manuskript seines Lehrbuchs um die in England erarbeiteten Ergebnisse, aber beruflich gibt es noch immer keine Perspektive. Er plant Projekte und pflanzt Kartoffeln und Rüben im kleinen Hausgarten.¹⁴⁸

Bodo von Borries in Düsseldorf und Aachen 1948 – 1956

Die berufliche Lage klärt sich mit Beginn von 1948: Bodo von Borries lehnt ein Angebot von Siemens-Erlangen ab, weil dort die EM nicht im Vordergrund stehen sollte. Aber der Bedarf an Ultrastrukturforschung wächst in den Industriekreisen an Rhein und Ruhr, besonders am ehemaligen Kaiser-Wilhelm-Institut (KWI) für Eisenforschung in Düsseldorf. Bodo von Borries führt viele Vorgespräche, auch mit der britischen „Besatzung“, und am 9. Juni 1948 gründen Bayer Leverkusen, Henkel, die Eisen-, Stahl- und

Kohle-Industrie, Leitz Wetzlar, S&H und die Medizinische Akademie Düsseldorf (heute Heinrich-Heine-Universität) die „Gesellschaft für Übermikroskopie e.V. zu Düsseldorf“ – zusammen mit ihm als Direktor. Der Verein ist gemeinnützig und etabliert das „Rheinisch-Westfälische Institut für Übermikroskopie“, wiederum unter seiner Leitung. Das zweite der beiden nach Enger evakuierten Siemens-ÜM wird hier in den Material- und Biowissenschaften eingesetzt. Man betreibt Auftragsforschung für die Mitglieder des Vereins, unterstützt aber auch externe Gäste. Bodo von Borries ist bestrebt, neue Forschungsfelder für die EM zu eröffnen und den Kreis der Nutzer zu erweitern. Bis 1952 haben hier über 50 Externe ihre Themen bearbeitet, zwischen 1948 und 1956 verfassen die Gäste über 145 Publikationen.^{149, 150}

Zum 1. Januar 1949 verfügt das Institut schon über acht Mitarbeiter, darunter die Physiker Friedrich Lenz und Max Hahn. Bodo von Borries hat Siemens 1948 verlassen und entwickelt nun ein 60 kV-EM mittlerer Auflösung: Er stützt sich dabei auf ein von ihm 1940 bei S&H realisiertes Gerät.¹⁵¹ Regelbare permanent-magnetische Linsen erlauben kostengünstige Konstruktion und vereinfachte Bedienung. Für Vergrößerungen bis 20.000-fach ausgelegt, soll es dem Hochleistungs-ÜM die weniger anspruchsvolle Laborroutine abnehmen.¹⁵² Erste Arbeitsergebnisse kann er am 1. Oktober 1949 demonstrieren. Im Februar 1952 erhält das Institut schließlich ein drittes Gerät, ein Siemens ÜM 100B, finanziert von der Deutschen Forschungsgemeinschaft.^{153, 154}

Das Institut wird am 15. Februar 1949 in Anwesenheit der einflussreichen NRW-Erziehungsministerin Christine Teusch, von Dr. Hermann von Siemens und vieler früher in der EM tätigen Wissenschaftler eingeweiht. Auf dem Kolloquium am 16. Februar 1949 schlägt Bodo von Borries die Gründung einer „Deutschen Gesellschaft für Elektronenmikroskopie (DGE)“ vor – mit Ernst Ruska als Vorsitzendem. Am 17. März 1949 wird Bodo von Borries zum Honorarprofessor an der Medizinischen Akademie ernannt.¹⁵⁵

Das erste DGE-Treffen organisiert der Ex-AEG-Wissenschaftler Ernst Brüche am 23. und 24. April 1949 in Mosbach/Baden. Wie geplant wird Ernst Ruska hier Vorsitzender. Bodo von Borries wird Sekretär, er wird die Geschäfte der DGE bis zu seinem Lebensende führen.¹⁵⁶ Anerkannt werden auch seine Bemühungen zur Stärkung der internationalen Zusammenarbeit: Im Juli 1954 wird in London die International Federation of Electron Microscopic Societies (IFSEM) gegründet, am 21. Juli werden Bodo von Borries

zu ihrem Präsidenten und Vernon E. Cosslett zum ersten Sekretär der IFSEM gewählt. Wo immer er vorträgt, plädiert er für offenes Netzwerken mit und unter erfahrenen Mikroskopikern. An seinem Institut entstehen bis 1956, innerhalb von acht Jahren, 145 Veröffentlichungen. Bodo von Borries verbessert auch die Präparationsmethodik: Zusammen mit Leitz Wetzlar konstruiert er ein Mikrotom für die Herstellung ultradünner Schnitte, nur 30-100 nm dick, notwendig für hochauflösende Arbeit am TEM.^{157, 158} In Deutschland sind inzwischen drei Zentren zur Weiterentwicklung des EM entstanden: Siemens unter Ernst Ruska in Berlin, die „Süddeutschen Laboratorien Mosbach“ (SDL), 1947 von Ernst Brüche in Nachfolge der AEG-Entwicklung zusammen mit ZEISS gegründet und 1953 in Gänze von ZEISS Oberkochen übernommen) und das „Rheinisch-Westfälische Institut für Übermikroskopie“ in Düsseldorf. Anders als Bodo von Borries beabsichtigt, kommt das in Zusammenarbeit mit Leitz entwickelte magnetostatische EM nicht zur Serienfertigung: Siemens und

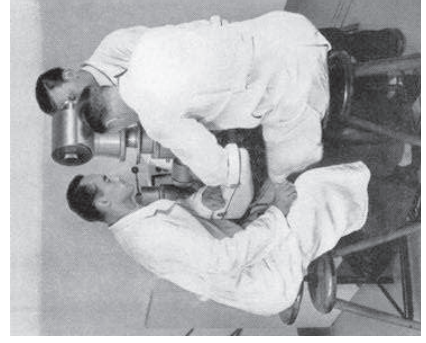
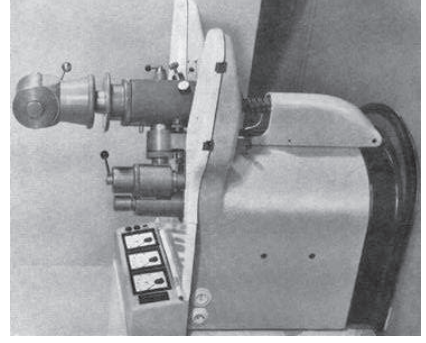


Abb. 17: Das magnetostatische 60 kV-EM von Bodo von Borries, 1952: (a) der Strahlengang verläuft von unten nach oben und ermöglicht eine kompakte Bauweise. (b) Das Gerät mit drei Einblickfenstern ermöglicht ergonomisch günstiges und gemeinsames Mikroskopieren
RWTH-Jahrbuch 1954, Archiv der RWTH



Abb. 18: Familie Bodo und Hedwig von Borries mit ihren fünf Kindern: Giselas Taufe am 11. November 1951
Dr. Adelheid von Borries

Leitz verhandeln jahrelang über Lizenzprobleme ... bis das Gerät seine Markt-Chancen verloren hat.

Einen Teil der hier realisierten Patente wird Ernst Ruska später am Fritz-Haber-Institut in Berlin beim Entwurf eines ähnlichen Mittelklasse-EM übernehmen: Es wird ab 1967 von Siemens unter der Bezeichnung Elmiskop 51 in Serie gefertigt werden.¹⁵⁹

Nicht nur beruflich, sondern auch im Privaten erleben Bodo und Hedwig von Borries ab 1949/1950 eine Konsolidierung: Sie beginnen mit dem Bau ihres Privathauses in Düsseldorf in der Clara-Viebig-Straße, günstig gelegen – nahe dem Max-Planck-Institut für Eisenforschung. „Er nutzt jede freie Stunde, um sich intensiv mit seinen Kindern zu beschäftigen. Er sucht sie für Kunst und Kultur zu begeistern“ und es gibt nun „alljährliche Urlaubsreisen, meist mit dem Fahrrad“.¹⁶⁰ Die Familie bezieht ihr Haus noch knapp vor Weihnachten 1950 und feiert am

11. November 1951 die Taufe der jüngsten Tochter.

In der Bundesrepublik sind 1951 schon wieder 30 EM in Betrieb: damit trägt die Service-Idee des Düsseldorf-er Instituts immer weniger, so dass Bodo von Borries Alternativen für den weiter steigenden Bedarf an guter Ultrastrukturforschung plant. Sein Institut ist 1952 auf 25 Mitarbeiter angewachsen, Physiker, Mechaniker, Biologen, die interdisziplinär zum Erfolg beitragen. Für NRW plant er nun drei Zentren an den Universitäten in Aachen, Bonn und Düsseldorf. Vor Ort strebt er die Integration des Rheinisch-Westfälischen Instituts in die Medizinische Hochschule an. Ein Teilinzug erfolgt schon 1952, das gesamte Institut wird aber erst nach seinem Tod integriert, aber ohne den EM-Entwicklungsbereich, und von der Stadt übernommen werden.^{161, 162}

Die Rheinisch-Westfälische Technische Hochschule (RWTH) Aachen reicht am 24. Juli 1952 die Bewerber-



Abb. 19: Bodo von Borries bei der Verleihung der Röntgen-Plakette der Stadt Remscheid an Max von Laue am 3. Juni 1952

Dr. Adelheid von Borries

1914) und überreicht ihm die Röntgen-Plakette.

Auf einer einmonatigen Studienreise in die USA besucht er 1954 mit einer Reisegruppe 16 Firmen, acht Forschungsinstitute und 14 Universitäten. Er hält 12 Vorträge und anschließend seines Besuchs in New York trifft er auch seinen Schwager Helmut Ruska am New York State Department of Health in Albany. Helmut Ruska leitet dort das Institut für Mikromorphologie, er wird 1958 in Düsseldorf seine Nachfolge antreten.¹⁶⁴

Bodo von Borries: Früher Tod und Nachlass

Bodo von Borries findet Ausgleich für die berufliche Belastung „in einem harmonischen Familienleben: Er pflegt auch häusliche Geselligkeit, immer hellwach, froh und beschwingt auch mit den Fachgenossen bei privaten Treffen im eigenen Haus oder auf Kongressen“.^{165, 166} Am 29. Juni 1956 erhält er die Baubewilligung für das Düsseldorfer Institut, er freut sich kaum, erleidet am nächsten Tag eine Hirnblutung. Auf dem Krankenbett diskutiert er die Pläne für das neue Gebäude. Eine Operation erscheint notwendig, am 9. Juli wird er in die Chirurgie nach Köln verlegt. Für den Fall seines Todes wünscht er, dass Helmut Ruska das Düsseldorfer Institut weiterführt. Sein Schüler Prof. Friedrich Lenz (1922- 2014) soll das Institut an der RWTH übernehmen. Mit seiner Frau bewertet er nüchtern die Zukunft der Familie: Er kann bisher nur mit einer Pension aus den dreieinhalb Jahren Staatsdienst an

starb zu früh, um zu erleben, wie seine Bemühungen in Europa und in Düsseldorf und Aachen wirklich fruchteten.^{168, 169} Er erlebte auch nicht das Heranwachsen und die erfolgreichen, geachteten Karrieren seiner fünf Kinder.

Im Gedenken an Bodo von Borries hat seine Frau Hedwig 1992 an der Universität Tübingen eine Stiftung „zur Förderung der Physik unter besonderer Berücksichtigung der Umsetzung grundlegender Erkenntnisse in die Praxis“ errichtet. Aus dem Stiftungsvermögen von etwa 150.000 € wird die alljährlich an der Universität stattfindende „Bodo-von-Borries-Vorlesung“ mit einer Summe von etwa 3.000 € ermöglicht. In der Liste der Vortragenden findet sich die globale Wissenschaftselite, darunter auch fünf Nobelpreisträger.

Zukunft des Düsseldorfer Instituts

Der Bau des von Bodo von Borries geplanten großzügig-funktionalen Institutsgebäudes beginnt erst im Juli 1958. Sein Schwager Helmut wird am 14. Februar 1958 zur Nachfolge berufen. Das Institut wird am 16. Februar 1961 in „Institut für Biophysik und Elektronenmikroskopie“ umbenannt und offiziell Ende 1961 eingeweiht. Am 22. März 1963 wird der Lehrstuhl in ein Ordinariat, in eine ordentliche Professur, umgewandelt.¹⁷⁰ Helmut Ruska konnte hier mit seinen Mitarbeitern seine 1938 am IFE begonnene Laufbahn in der EM erfolgreich bis in die Analyse molekularer Zusammenhänge, bis zur Darstellung von Einzelatomen fortsetzen.¹⁷¹



Abb. 20: Bodo von Borries, spätes Porträt nach 1950 aus Ernst Ruska, *Nachruf* 1957/165

Diskussion um NSDAP und Nobelpreis

Landrat Franz von Borries und sein Sohn Bodo wurden beide zum 1. Mai 1933 Mitglied in der NSDAP: Bodo in Essen und sein Vater in Herford, unmittelbar vor der von der Parteileitung verhängten Aufnahmesperre.^{172, 173} Aber als Bodo 1942 in Delft bei den holländischen Kollegen mit dem Parteiabzeichen am Revers zum Vortrag anreiste, riet ihm der Einladende Dr. Dorgelo, den „Bonbon“ abzunehmen, die Kollegen kämen sonst nicht zum Vortrag. Bodo folgte, sein Vortrag fand statt und die eh eilige Stimmung der niederländischen EM-Entwickler-Gruppe wurde zunehmend freundlich.¹⁷⁴ Bodo war kein Fanatiker und kein Antisemit. Ja, er war kurzzeitig auch Mitglied in der SA, aber er hat sie schon bald – mit der Austerde „Zeitmangel“ – wieder verlassen. In der Knoll-Gruppe hatte man unterschiedslos kollegial zusammengearbeitet, auch mit den jüdischen Kollegen Martin Freundlich und Gerhard Lubzynski. Das am 7. April 1933 erlassene „Gesetz zur Wiederherstellung des Berufsbeamtentums“ verbot Juden und Haljuden die Beschäftigung auch an Hochschulen. Freundlich emigrierte deshalb im September 1934 – in einem Brief an Ernst Ruska stellte er sich im Prioritätsstreit Ruska versus Rüdberg nicht nur gegen die sachliche Berechtigung der frühen Rüdberg-Patente, er erwähnte auch seine Dankbarkeit gegenüber Bodo von Borries, der ihm bei der Emigration geholfen habe.¹⁷⁵

Wie stehen wir zum Eintritt der beiden von Borries in die NSDAP?

Vorab: Es gab nur wenige Weiter-sichtige wie den Theologen Dietrich Bonhoeffer (1906-1945): Seinen Freunden erklärte er schon im Sommer 1932, mit 26 Jahren, dass Hitlers Herrschaft eine Katastrophe nicht nur für Deutschland, sondern auch für die Welt sein werde. Nach der Ernennung Hitlers zum Reichskanzler am 30. Januar 1933 warnte Bonhoeffer im Rundfunk vor der Verführung durch Führergestalten. Er beklagte öffentlich den am 1. April 1933 organisierten Boykott jüdischer Geschäfte und acht Tage später den Ausschluss jüdischer Bürger aus dem Dienst am Staat und an Universitäten. Bonhoeffer bekam Redeverbot und Schreibverbot, wurde 1943 verhaftet und noch kurz vor Kriegsende gemordet.¹⁷⁶

Der gleichaltrige Dipl.-Ing. Bodo von Borries lebte – abseits der Politik – voll und ganz für seine Vision von der Abbildung mit Elektronen. Nicht anders die Brüder Ruska, und was man 1944 über den 46-jährigen Max Knoll im enthusiastischen NS-Stil schrieb: „... ein Fanatiker der Arbeit. Den Achtzehnstundentag hält er, was ihn selbst angeht, für eine selbstverständliche Sache“ (Wehrmachtszeitschrift SIGNAL, 1944), das galt auch für die Knoll-Gruppe: Man arbeitet ausdauernd, bemüht um Erkenntnis, Fortschritte im Projekt und für den Erfolg des ÜM. Bodo von Borries war der politischen Macht loyal und er kannte sie, weil er häufig mit ihr zu verhandeln hatte. Die heute gern bemühte „work-life-balance“ war damals eine andere und das politische Weltgeschehen, den bald aussichtslosen Krieg, haben weite Kreise ausgeblendet: Man hat auch weggeschaut,

sich an seine „Aufgabe“ geklämmert. Bodo von Borries hatte seine frühe Begeisterung für das System gewiss schon auf seinen Auslandsreisen verloren, aber spätestens Ende 1944 erkannte er die Zeichen der Zeit – als „das Reich“ immer noch den Krieg gewinnen wollte.

Das dokumentiert sein Antrag um Aufnahme in die Wehrforschungsgemeinschaft. Diese vom Reichsmarschall Göring im August 1944 ins Leben gerufene Institution koordinierte die Rüstungsforschung von Wehrmacht, Staat und Industrie, stellte das notwendige Personal sicher und stand unter Leitung von Prof. Werner Osenberg (1900-1974): Der hatte das LfE auf Vorschlag von Reichskommissar Brandt am 5. September 1944 aufgefordert, seine Aufnahme in die Wehrforschungsgemeinschaft zu beantragen. Bodo von Borries tat das erst am 2. Dezember 1944.¹⁷⁷ War Bodo von Borries 1933 noch überzeugt in die NSDAP einzutreten, so zeugt der 1944 ungewöhnlich verzögerte Antrag vom Verlust seiner Illusionen. Konsequenter vermeidet er dann auch im Januar 1945, anlässlich seiner Habilitationsvorlesung, den üblichen verpflichtenden Eid auf den Führer.¹⁷⁸ Aber sein Pflichtbewusstsein gegenüber Siemens übersteht ungebrochen den Krieg.

Der Eintritt von Vater und Sohn in die NSDAP weist auf gemeinsame Überzeugungen: Man sah sich 1933 als Teil einer konservativen Leistungselite unter dem Simmspruch: „Der Borries Trachten und Dräuen, Halteung des jungen Bodo von Borries wurde auch vom Friedrichs-

Gymnasium zu Herford (FGH) und dem Erleben in einem schlagenden Corps geprägt. Das entsprechende Klassenbewusstsein äußert auch Theodor Denecke, der Direktor des FGH von 1914-1946, in seinem Brief vom 4. Juli 1941: Er übermittelt Bodo „von uns Herfordern die herzlichsten Glückwünsche zur Auszeichnung mit dem silbernen Lorbeerblatt durch die Preußische Akademie der Wissenschaften“. Und weiter: „die Preußische Akademie ist echt preußisch sparsam mit Auszeichnungen. Daß Sie Träger dieser Medaille sind, macht uns stolz, da wir Sie nach wie vor zu den Unseren zählen und Sie der unsere auch nach wie vor sein wollen. Seitdem Sie nicht mehr hier sind, hat sich wie in allen deutschen Schulen auch bei uns äußerlich manchenlei geändert, ich denke aber, der Geist, von dem die Schule seit 400 Jahren getragen wird, ist der alte und hat wahrhaftig ganze Kerle dem Vaterlande großgezogen“.¹⁷⁹ Der Brief atmet Stolz auf den tüchtigen Absolventen seiner Schule. Und er zeigt das intakte Netz der Eliten, aber in der saloppen Formulierung „hat wahrhaftig ganze Kerle dem Vaterlande großgezogen“ auch den Corps-Geist, der die Eliten einstmals prägte: Die Denekes und die von Borries' waren über mehrere Generationen Mitglieder eines Corps.

Den frühen Beitritt zur NSDAP können wir Nachgeborenen wohl nicht „gerecht“ bewerten: Prof. Vernon E. Cosslett (1908-1990), ein nüchtern-kritischer Engländer, lernte Bodo von Borries nach dem Krieg näher kennen und charakterisierte ihn als einen „easy going sort of chap“, als angenehmen Menschen: Sein Eintritt in die NSDAP sei ein

etwas forscher Beitrag der verunsicherten Eliten zum Wiederaufbau Deutschlands gewesen, Bodo sei ein eher leichter Charakter, bereit auch zu eher schnellen, leichtfertigen Entschlüssen.¹⁸⁰

Diskussion um den Nobelpreis

Bodo von Borries verstarb am 17. Juli 1956. Ernst Ruska würdigt ihn in einem noblen Nachruf von vier Seiten als den „aktivsten Vorkämpfer der Elektronenmikroskopie“. Schon den Doktoranden habe die Aussicht gefesselt, „Elektronenstrahlen zur Mikroskopie zu verwenden“. Rastlos habe er das Fach wissenschaftlich, technisch und organisatorisch vorangebracht und mit „seiner ganzen überzeugenden Persönlichkeit“ gefördert. Der „begeisterte und daher mitreissende Lehrer“ habe sich als Ingenieur gefühlt, seine Lebensleistung sei einer gelungenen „Synthese von wissenschaftlichem, technischem und wirtschaftlichem Denken und Schaffen“ entsprungen.¹⁸¹

Ernst Ruska wurde 1986 mit dem Nobelpreis für Physik „for his fundamental work in electron optics, and for the design of the first electron microscope“ ausgezeichnet, ein halbes Jahrhundert nach seiner Pioniertat, zwei Jahre vor seinem Tod am 27. Mai 1988.¹⁸² Schnell gab es Einzelne, die nach der Berechtigung dieser Allein-Nominierung fragten: Hätte das Nobelkomitee neben Ernst Ruska nicht auch andere Pioniere, wie Hans Busch, Max Knoll und Bodo von Borries, oder seinen Bruder Helmut, auch Manfred von Ardenne, bedenken müssen?

Historisch findet man dafür auch immer gute Argumente: Das aktive Umfeld in der Knoll-Gruppe, besonders Max Knoll und Bodo von Borries, förderten die Entstehung des EM, ja, sogar ein Teil der notwendig vakuum-tauglichen Bauteile war in der Gruppe bereits vorhanden.^{183, 184, 185} Aber wie das Nobelkomitee am 15. Oktober 1986 feststellte: Grundsätzlich erfunden war das EM am 7. April 1931, als Ernst Ruska mit seinem Apparat tatsächlich mit Elektronen zwei-stufig vergrößert abbilden konnte.¹⁸⁶ Die gemeinsamen Patente auf die Polshuhlinen 1932 waren dann eine weitere Voraussetzung für den Schritt zur übermikroskopischen Abbildung. Daran hat Bodo von Borries einen klaren Anteil, aber Verdienste sind auch bei Max Knoll zu sehen: Also genügend Gründe für eine Dreier-Nominierung, wenn man nicht die initiale Idee und Umsetzung als entscheidend heranziehen muss. Bodo von Borries und Max Knoll aber waren 1956 und 1969 schon verstorben: Für eine Dreier-Nominierung hätte das Nobelkomitee seine Statuten, die besagen, dass der Preis an lebende Wissenschaftler zu vergeben ist, kaum soweit dehnen können.

Lang übrigens vor der Verleihung des Nobelpreises an Ernst Ruska, schon 1976, plädierte Heinrich Grunewald für eine erweiterte Anerkennung: Er montierte den Wortlaut einer Gedenktafel in der TU Berlin: „In diesen Räumen wurde im Jahr 1931 von Max Knoll und Ernst Ruska das erste Elektronenmikroskop gebaut und erprobt.“¹⁸⁷ Historisch präzise und gut dokumentiert schlägt er eine Texterweiterung vor, die nun auch Bodo von Borries Ver-

dienste und die enge Zusammenarbeit explizit erwähnt. Mit dem Vorschlag, ihm ein ähnliches Maß an Verdiensten um das EM zuzurechnen, aber war Ernst Ruska nicht einverstanden. Die Sache endete in einem Vergleich, in dem u.a. festgelegt wird: „E. Ruska hat unter Mitverwendung von gemeinsam mit B. von Borries erarbeiteten wissenschaftlichen und erfinderischen Ergebnissen im Laufe des Jahres 1933 das Elektronenmikroskop durch wissenschaftliche und technische Entwicklungen allein so vervollkommenet, dass er damit am 8. Dezember 1933 erstmals bis zu 12.000-fach vergrößerte Bilder ... aufnehmen konnte.“ Und: „Auf die Mitwirkung von B. v. Borries sowie auch auf die von M. Freundlich hat E. Ruska in seiner Arbeit über Fortschritte im Bau und in der Leistung des magnetischen Elektronenmikroskops hingewiesen“.¹⁸⁸ Die Abfolge der Ereignisse ist korrekt beschrieben, aber es bleibt ein Unbehagen – wie es gelegentlich und unausweichlich bei der Zumessung von wissenschaftlichen Verdiensten auftritt: Es bleibt auch hier Newtons Bemerkung gültig: „If I have seen further it is by standing on the shoulders of giants“.¹⁸⁹

Anmerkungen:

Mein herzlichster Dank geht an Prof. Dr. Peter W. Hawkes, Toulouse, und Dr. Falk Müller, Frankfurt, die mir den Zugang zur „frühen“ Elektronenmikroskopie durch manchen Hinweis und Überlassung relevanter Literatur sehr erleichtert haben. Dr. Adelheid von Borries, Berlin, und Thomas Ruska, Berlin (Ernst Ruska Archiv) dank ich für die freundliche Überlassung von Bildmaterial zur „Familie“ und zur frühen Technik. Henriette Senst, Heide Tröllmich, Andrea Schartendorff und Jens Erling, Robert Koch-Institut Berlin, und Dr. Heinz Schwarz, Max-Planck-Institut für Entwicklungsbiologie Tübingen, danke ich für die freundliche Beschaffung von einschlägigem Schrifttum und die Nachbearbeitung alter Fotos. Sehr hilfreich waren auch Christoph Laue vom Kommunal-Archiv Herford, Susanne Uebele vom Archiv der Max-Planck-Gesellschaft in Berlin-Dahlem, das Archiv der RWTH Aachen und das Archiv der Siemens AG in Berlin (Siemens Historical Institute) mit den Herren Christoph Frank, Christopher Heise und Frank Wittendorfer.

Schließlich danke ich herzlich auch Herrn Dipl.-Ing. Jürgen Winkler, dem Archivar des Corps Saxonia, für Details aus Bodo von Borries' Studentenleben und seiner Beziehung zum Corps.

- ¹ Karrenberg, F. H. (2019) In the Light of the Electron Microscope / In the Shadow of the Nobel Prize. Verlag Karin Karrenberg – Atelier 31, Düsseldorf.
- ² Nobelpreis für Physik 1986: Ernst Ruska, Royal Swedish Academy of Science, 15.10.1986.
- ³ Nobelpreis für Chemie 2017: Joachim Frank, Richard Henderson, Jaques Dubochet, Royal Swedish Academy of Science, 4. Oct 2017
- ⁴ Hooke, Robert (1664) *Micrographia*, The Royal Society of London. Nachdruck: Edition Medicina Rara.
- ⁵ Beijerinck, M. W. (1898) Über ein Contagium vivum fluidum als Ursache der Fleckenkrankheit der Tabaksblätter. Verhandlungen der Koninklijke Akademie van Wetenschappen te Amsterdam 65 1-22.
- ⁶ Loeffler, F., Frosch, P. (1898) Berichte der Kommission zur Erforschung der Maul- und Klauenseuche beim Institut für Infektionskrankheiten in Berlin. Zbl. Bakt. Hyg., I. Abt. Orig., A. 23, 371-392.
- ⁷ Abbe, E. (1873) Beiträge zur Theorie des Mikroskops und seiner mikroskopischen Wahrnehmung. M. Schultze's Arch. mikrosk. Anatomie IX, 413-468.
- ⁸ De Broglie (1925) Recherches sur la théorie des quanta. Thesis. Paris: Masson 1924. Ann. de Physiques 3, 22-128.
- ⁹ Busch, H. (1927) Über die Wirkungsweise der Konzentrierungsspule bei der Braunschweiger Röhre. Arch. Elektrotechnik 18, 583-594.
- ¹⁰ von Borries, B.: Zeugnisse und Gesuch vom 27. Juni 1923 zum Abitur im Herbst 1927. Kommunalarchiv Herford, Stadtarchiv 40 FGH (Schularchiv des Friedrichs Gymnasiums Herford).
- ¹¹ von Borries, B.: Archiv des Corps Saxonia Karlsruhe, 2019, persönliche Mitteilung von J. Winkler.
- ¹² van Gorkom, J. (2018) The early electron microscopes: a critical study. Editor: P.W. Hawkes. In: *Advances in Imaging and Electron Physics* 205, 1-137. AP / Elsevier.
- ¹³ Ruska, E., Ruska, H. (1970) Erinnerungen an die Anfänge der Elektronenmikroskopie. Vorträge anlässlich der Verleihung des Paul-Ehrlich- und Ludwig Darmstaedterpreises, 1970. Gustav Fischer Verlag, Stuttgart, 19-34 und 35-48.
- ¹⁴ von Borries, Hedwig (1991) Bodo von Borries: Pioneer of Electron Microscopy. Editor P.W. Hawkes. In: *Advances in Electronics and Electron Physics* 81, 127-176. AP / Elsevier.
- ¹⁵ Lambert, L., Mulvey, T. (1996) Ernst Ruska (1906-1988) designer extraordinaire of the electron microscope: A memoir. *Advances in Imaging and Electron Physics* 95, 1-61. Ed.: Peter W. Hawkes, AP / Elsevier.
- ¹⁶ Gelderblom, H.R., Krüger, D.H. (2014) Helmut Ruska (1908-1973): his role in the evolution of electron microscopy in the life sciences, and especially virology. Editor: Peter W. Hawkes. In: *Advances in Imaging and Electron Physics* 182, 1-94 AP / Elsevier.
- ¹⁷ Zit. wie Ann. 12.
- ¹⁸ Zit. wie Ann. 13.
- ¹⁹ Grünewald, H. (1976) Zur Entstehungsgeschichte des Elektronenmikroskops mit elektromagnetischen Linsen. *Technikgeschichte* 43, 213-216.
- ²⁰ Zit. wie Ann. 12.
- ²¹ Ruska, E., Knoll, M. (1931) Die magnetische Sammelspule für schnelle Elektronenstrahlen. Z. techn. Physik 12, 389-400 und 448.
- ²² Knoll, M., Ruska, E. (1932) Beitrag zur geometrischen Elektronenoptik (I, II). Ann. Physik 12, 607-640; 641-661.
- ²³ Gabor, D. (1957) Die Entwicklungsgeschichte des Elektronenmikroskops. *Elektron. techn. Zeitschr. (ETZ-A)* 78, 522-530.
- ²⁴ Ruska, E. (1979) Die frühe Entwicklung der Elektronenlinsen und der Elektronenmikroskopie. *Acta Historica Leopoldina* 12, 5-136.
- ²⁵ Marton, L. (1968) *Early History of the Electron Microscope*. Second Edition. San Francisco Press.

- ²⁶ Zit. wie Ann. 24.
- ²⁷ Zit. wie Ann. 23.
- ²⁸ Rudenberg, H. G., Rudenberg, P. C. (2010) Origin and background of the invention of the electron microscope: Commentary and expanded notes on memoir of Reinhold Rüdenberg. Editor: Peter W. Hawkes. In: *Advances in Imaging and Electron Physics* 160, 207-286. AP / Elsevier.
- ²⁹ Zit. wie Ann. 12.
- ³⁰ Rüdenberg, R. (1932) Elektronenmikroskop. *Naturwissensch.* 20, 522-31.
- ³¹ Zit. wie Ann. 19.
- ³² Freundlich, M. (1994) The history of the development of the first high-resolution electron microscope. *Microscopy Society of America Bulletin* 24, 405-415.
- ³³ Zit. wie Ann. 14.
- ³⁴ Zit. wie Ann. 24.
- ³⁵ Ruska, E. (1934) Über ein magnetisches Objektiv für das Elektronenmikroskop. Diss. Technische Hochschule Berlin, Z. Physik 89, 90-128.
- ³⁶ Ruska, E. (1934b) Über Fortschritte im Bau und in der Leistung des magnetischen Elektronenmikroskops. Z. Physik 87, 580-602.
- ³⁷ Zit. wie Ann. 13.
- ³⁸ Zit. wie Ann. 14.
- ³⁹ von Borries, Götz (2001) Bodo von Borries und das Elektronenmikroskop. *Erfindung und Entwicklung*. Fouque Literaturverlag, Engelsbach.
- ⁴⁰ Zit. wie Ann. 12.
- ⁴¹ Zit. wie Ann. 24.
- ⁴² Zit. wie Ann. 14.
- ⁴³ Zit. wie Ann. 19.
- ⁴⁴ Zit. wie Ann. 14.
- ⁴⁵ Zit. wie Ann. 39.
- ⁴⁶ Zit. wie Ann. 14.
- ⁴⁷ Zit. wie Ann. 39.
- ⁴⁸ Zit. wie Ann. 14.
- ⁴⁹ Zit. wie Ann. 24.
- ⁵⁰ Driest, E., Müller, H.O. (1935) Elektronenmikroskopische Aufnahmen (Elektronenmikrogramme) von Chitinobjekten. *Zeitschr. wissensch. Mikroskopie* 52, 53-57.
- ⁵¹ Krause, F. (1937) Das magnetische Elektronenmikroskop und seine Anwendung in der Biologie. *Naturwissenschaften* 25, 817-825.
- ⁵² Zit. wie Ann. 25.
- ⁵³ Marton, L. (1934) Electron microscopy of biological objects. *Nature* 133, 911.
- ⁵⁴ Rasmussen, N. (1997) *Picture Control: the Electron Microscope and the Transformation of Biology in America, 1940-1960*. Stanford, CA: Stanford University Press.
- ⁵⁵ Martin, L.C., Wheelpton, R.V., Parnum, D.H. (1937) A new electron microscope J. Sci. Instruments 14, 14-24.
- ⁵⁶ Zit. wie Ann. 24.
- ⁵⁷ von Borries, B., Ruska, E. (1944) Neue Beiträge zur Entwicklungsgeschichte der Elektronenmikroskopie und der Übermikroskopie. *Physikal. Z.* 45, 314-326.
- ⁵⁸ Zit. wie Ann. 47.
- ⁵⁹ Zit. wie Ann. 24.
- ⁶⁰ Zit. wie Ann. 39.
- ⁶¹ Zit. wie Ann. 24.
- ⁶² Zit. wie Ann. 15.
- ⁶³ Kruger, D.H., Schneck, P., Gelderblom, H.R. (2000) Helmut Ruska and the visualization of viruses. *THE LANCET* 355, 1713-1717.
- ⁶⁴ Müller, F. (2009) The birth of a modern instrument and its development during World War II. *Electron microscopy in Germany from the 1930s to 1945*. In: A. Maas, & H. Hooftmaiers (Eds.), *Scientific research in World War II, what scientists did in the war* (S. 121-146). Abingdon: Routledge.
- ⁶⁵ Zit. wie Ann. 14.
- ⁶⁶ Zit. wie Ann. 39.
- ⁶⁷ Ruska, E. (1957) Bodo von Borries: Nachruf. *Z. wiss. Mikroskopie* 63, 129-132.
- ⁶⁸ Zit. wie Ann. 24.

- ⁶⁹ Zit. wie Anm. 14.
- ⁷⁰ v. Borries, B., Ruska, E. (1938) Vorläufige Mitteilung über Fortschritte im Bau und in der Leistung des Übermikroskops. *Wiss. Veröff. Siemens* 17, 99-106 und (b) Übermikroskopische Bakterienaufnahmen. *Wiss. Veröff. Siemens* 17, 107-111.
- ⁷¹ z. B. Der Freiheitskampf, Dresden / Die Zeit, Reichenberg v. 30.10.1939. SAA 11/ Presseorder
- ⁷² v. Borries, B., Ruska, E. und Ruska, H. (1938) *Klin. Wochenschr.* 17, 921-925.
- ⁷³ Flir an v. Buol u.a: Niederschr. v. 28.05.1938: Perspektive ÜM, 10 Stück, Z.L.44 in LFf. SAA11/ Lg 177.
- ⁷⁴ Zit. wie Anm. 16.
- ⁷⁵ Ruska, H. (1939) Übermikroskopische Darstellung organischer Struktur (vom Größenbereich der Zelle zum Ultravirus). *Arch. exptl. Zellforsch.* 22, 673-680.
- ⁷⁶ Zit. wie Anm. 39.
- ⁷⁷ Zit. wie Anm. 14.
- ⁷⁸ Zit. wie Anm. 73.
- ⁷⁹ von Borries, B., E. Ruska, E. (1939) Ein Übermikroskop für Forschungsinstitute. *Naturwissenschaften* 27, 577-582.
- ⁸⁰ Zit. wie Anm. 14.
- ⁸¹ Müller, H.O. und Ruska E. (1941) Ein Übermikroskop für 220 kV Strahlspannung. *Kolloid-Zeitschr.* 95, 21-25.
- ⁸² Wolpers, C. (1991) *Electron microscopy*. in Berlin 1928-1945. Editor P.W. Hawkes: *Advances in Electronics and Electron Physics* 8, 211-229, AP / Elsevier.
- ⁸³ BvB an v. Buol, Aktenvermerk 17.02. / 23.02.1939: Besprechung mit Brandt und Rostock. SAA 11/ Lg 177.
- ⁸⁴ Notiz v. 24.02 / 16.03.1942: Gespräch Reichsarzt SS Grawitz mit E.R. + BvB über USA. SAA 11/ Lg 177.
- ⁸⁵ Wolpers, C. (1988) Helmut Ruska und die medizinische Elektronenmikroskopie. *Deutsches Ärzteblatt* 85, A-31-74-A-3175.
- ⁸⁶ Siebeck, R. (1941) Das Übermikroskop als Forschungsmittel. Vorträge, gehalten am 18. April 1940 anlässlich der Eröffnung des Laboratoriums für Übermikroskopie der Siemens & Halske AG, Berlin. Walter de Gruyter & Co, Berlin 1941.
- ⁸⁷ Stanley, W. M. (1935) Isolation of a crystalline protein possessing the properties of tobacco-mosaic virus. *Science* 81, 644-645.
- ⁸⁸ Kausche, G.A., Pflankuch, E., Ruska, H. (1939) Die Sichtbarmachung von pflanzlichem Virus im Übermikroskop. *Naturwissenschaften* 27, 292-299.
- ⁸⁹ Ruska, H. an Flir, Notiz v. 1.07.1941: LFÜ-Bilanz, „abgebild.“ / „versucht abzubilden“. SAA 11/ Lg 602.
- ⁹⁰ Flir an v. Buol, Brief vom 07.1942, SAA 11/ Lg Kausche Vertrag.
- ⁹¹ Ruska, H. (1943) Ergebnisse der Bakteriophagenforschung und ihre Deutung nach morphologischen Befunden. *Ergeb. Hyg., Bakt., Immunitätsforsch., exptl. Therapie* 25, 437-498.
- ⁹² Zit wie Anm. 16.
- ⁹³ Flir an v. Buol, Brief v. 22.07.1941: H.Ruska hat habilitiert, 23.03., Gespräch Brandt mit H.R. + C.W. über Reichsanstalt med. Ultrastrukturforschung, AFG-Klagen, Brandt - Hitler: Stand ÜM-Liefer. ? SAA 11/ Lg 29.
- ⁹⁴ Rostock Brief an H. Ruska + Wolpers v. 1.04.1944: Stand EM-Entw. + -Forschung? SAA 11/ Lg 29.
- ⁹⁵ Tiselius, A., Gard, A. (1942) Übermikroskopische Beobachtungen an Poliomyelitis-Viruspräparaten. *Naturwissenschaften* 30, 728-731.
- ⁹⁶ Flir an H. v. Siemens, Brief v. 09.10.1942: Tiselius: Poliovirus im LFÜ dargestellt. SAA 11/ Lg 602.
- ⁹⁷ Ruska, H. (1943) Der Erreger der spinalen Kinderlähmung. *Umschau* 47, 216-217.
- ⁹⁸ Ruska, H. (1943) Über das Virus der Varizellen und des Zoster. *Klin. Wochenschr.* 22, 703-704.
- ⁹⁹ Ruska, H. (1943) Versuch zu einer Ordnung der der Virusarten. *Arch. ges. Virusforsch.* 2, 480-498.
- ¹⁰⁰ Zit. wie Anm. 16.
- ¹⁰¹ Müller, H.O. an Flir, 19.09.1944: Bericht über Aufstellung 2. ÜM auf dem Riems. SAA 11/ Lg 29.
- ¹⁰² Zit. wie Anm. 82.
- ¹⁰³ Zit. wie Anm 16
- ¹⁰⁴ Geißler, E. (1999) *Biologische Waffen - nicht in Hitlers Arsenalen. Biologische und Toxin-Kampfmittel in Deutschland von 1915 bis 1945. 2. Auflage, Münster, LIT.*
- ¹⁰⁵ Gessler, E. (2001) Maul- und Klauenseuche: aus 20 Metern Höhe über den Weiden versprüht. *Tagesspiegel*, Berlin, 09.04.2001.
- ¹⁰⁶ AL50S Report B-C/249, 28.07.1945. Secret Intelligence Report. Subject: German B.W. Information from Handloser, Brandt and Ruska. Data on Island of Riems and Foot and Mouth Disease.
- ¹⁰⁷ Eyer, H., Ruska, H. (1944) Über den Feinbau der Fleckfieber-Rickettsie. *Z. Hygiene* 125, 483-492.
- ¹⁰⁸ Notiz Flir v. 01.10.1941: Orderplanung LFf für ÜM, bis jetzt 53 Stück. SAA 11/ Lg 177.
- ¹⁰⁹ Zit. wie Anm. 82.
- ¹¹⁰ v. Borries an Flir, Brief vom 10.02.1942: Verbesserungen ÜM, 100 kV, neue Preise. SAA 11/ Lg 177.
- ¹¹¹ v. Borries Aktennotiz v. 10.01.1942: Abschluss LFf-Konto 1940/41. SAA 11/ Lg 177.
- ¹¹² v. Borries Brief v. 4.01.1943: Fertigungsempfasse, Statistik bestellt/ geliefert 1938-4. SAA 11/ Lg 177.
- ¹¹³ Zit wie Anm. 64.
- ¹¹⁴ Flir an v. Buol, Notiz v. 19.10.1942: ÜM kriegswichtig?, Reichsforschungsanstalt. SAA 11/ Lg 177.
- ¹¹⁵ Flir an v. Buol, Brief v. 02.02.1943: H. Ruska + C. Wolpers bei Brandt, Fleckfieber. SAA 11/ Lg 177.
- ¹¹⁶ Flir an v. Buol, Bericht v. 23.02.1943: BvB + E.R. bei Brandt, Planung für Reichsinstitut im LFÜ mit 2 „reichseigenen ÜM“ mit H. Ruska + Wolpers für „kriegswichtige Forschung“, Raumplanung SAA 11/ Lg 177.
- ¹¹⁷ v. Borries an v. Buol, Brief v. 04.02.1943: Neuregelung med. Forschung im LFÜ, LFf. SAA 11/ Lg 177.
- ¹¹⁸ E. Ruska an Flir: Brief v. 04.03.1943: Patentanmeldungen bis 15.2.43, „guter Stand“. SAA 11/ Lg 177.
- ¹¹⁹ Brüche, E., Johansson, H. (1932) *Elektronenoptik und Elektronenmikroskop*. *Naturwissenschaften* 20, 353-358.
- ¹²⁰ Brüche, E. (1932) *Elektronenmikroskop*. *Naturwissenschaften* 20, 49.
- ¹²¹ Mahl, H. (1939) Über das elektrostatische Elektronenmikroskop hoher Auflösung. *Z. techn. Physik* 20, 316-317.
- ¹²² Brüche, E., Haagen, E. (1939) Über ein neues, einfaches Übermikroskop und seine Anwendung in der Bakteriologie. *Naturwissenschaften* 27, 62-69.
- ¹²³ Jakob A., Mahl, H. (1940) Strukturdarstellung bei Bakterien, insbesondere die Kapseldarstellung bei Anaerobieren mit dem elektrostatischen Elektronen-Übermikroskop. *Arch. exptl. Zellforschung* 24, 87-104.
- ¹²⁴ Jakob, A. (1941) Die Darstellung morphologischer Einzelheiten von Tumor-Asziteszellen (Ehrlichsches Ascites-Carcinom der Maus) mit dem elektrostatischen Elektronen-Übermikroskop. *Klin. Wochenschr.* 20, 719-720.
- ¹²⁵ von Ardenne, M. (1938) Das Elektronen-Rastermikroskop. *Praktische Ausführung. Z. techn. Physik* 19, 407-416.
- ¹²⁶ von Ardenne, M. (1940) Über ein Universal-Elektronenmikroskop für Hellfeld-, Dunkel- und Stereobetrieb. *Z. Physik* 115, 339-368.
- ¹²⁷ Zit. wie Anm. 16.
- ¹²⁸ von Ardenne, M., Friedrich-Freksa, H., Schramm, G. (1941) *Elektronenmikroskopische Untersuchungen zur Präzipitinreaktion von Tabak-Mosaikvirus mit Kaninchenantiserum*. *Arch. ges. Virusforsch.* 2, 80-86.
- ¹²⁹ Anderson, T.F., Stanley, W.M. (1941) A study by means of the electron microscope of the reaction between tobacco mosaic virus and its antiserum. *J. Biol. Chemistry* 139, 339-344.
- ¹³⁰ von Ardenne, M., Pyl, G. (1941) Versuche zur Abbildung des Maul- und Klauenseuchervirus mit dem Universal-Elektronenmikroskop. *Naturwissenschaften* 28, 531-532.
- ¹³¹ von Ardenne, M. (1944) Über ein neues Universal-Elektronenmikroskop mit Hochleistungsmagnet-Objektiv und herabgesetzter thermischer Objektbelastung. *Kolloid-Zeitschrift*, 108, 195-208.

- ¹³² Zentr. Archiv der Berlin Brandenburgischen Akademie der Wissenschaften (AdW-DDR, „Leibniz-Medaille“, Sign. II-X-10).
- ¹³³ Zit. wie Anm. 14, 148.
- ¹³⁴ Girbig, W. (1977) Im Anflug auf die Reichshauptstadt. Motorbuch, Stuttgart
- ¹³⁵ Zit. wie Anm. 14.
- ¹³⁶ Zit. wie Anm. 14.
- ¹³⁷ Zit. wie Anm. 15.
- ¹³⁸ Zit. wie Anm. 16.
- ¹³⁹ Zit. wie Anm. 14.
- ¹⁴⁰ Notiz v. 26.07.1945: „Besprechung über die Behandlung der Übermikroskopie v. 25.7.45“, SAA
- ¹⁴¹ Zit. wie Anm. 16.
- ¹⁴² DFG-Akte von Helmut Ruska, BAK R 73, Nr. 14117.
- ¹⁴³ Zit. wie Anm. 16.
- ¹⁴⁴ Zit. wie Anm. 14.
- ¹⁴⁵ von Borries, B. (1949) Die Übermikroskopie: Einführung, Untersuchung ihrer Grenzen und Abriss ihrer Ergebnisse. Berlin, Saenger-Verlag, 1-416.
- ¹⁴⁶ Zit. wie Anm. 14.
- ¹⁴⁷ Zit. wie Anm. 14.
- ¹⁴⁸ Zit. wie Anm. 14.
- ¹⁴⁹ Zit. wie Anm. 1.
- ¹⁵⁰ Zit. wie Anm. 14.
- ¹⁵¹ von Borries, B., Ruska, E., Krumm, J., H.O. Müller, H.O. (1940) Übermikroskopische Abbildung mittels magnetostatischer Linsen. Naturwissenschaften 28, 350-351.
- ¹⁵² von Borries, B. (1952) Ein magnetostatisches Gebrauchs-Elektronenmikroskop für 60 kV-Strahlspannung. Z. wiss. Mikroskopie 60, 329-358.
- ¹⁵³ Zit. wie Anm. 14.
- ¹⁵⁴ Ruska, Erdmann (1988) Über die Entstehungsgeschichte des Düsseldorfer Institutes für Biophysik und Elektronenmikroskopie. Dissertation, Medizinische Fakultät der Universität Düsseldorf.
- ¹⁵⁵ Zit. wie Anm. 14.
- ¹⁵⁶ Schimmel, G. (1996) The history of the german society for electron microscopy. In: Advances in Imaging and Electron Physics 96, 149-170 Editor: P.W. Hawkes, Academic Press/ Elsevier.
- ¹⁵⁷ Zit. wie Anm. 14.
- ¹⁵⁸ Zit. wie Anm. 154.
- ¹⁵⁹ Zit. wie Anm. 14.
- ¹⁶⁰ Zit. wie Anm. 39.
- ¹⁶¹ Zit. wie Anm. 1.
- ¹⁶² Zit. wie Anm. 154.
- ¹⁶³ von Borries, B. (1954) „Elektronenoptik und Feinmechanik“, Antrittsvorlesung RWTH am 19. Juli 1953, Jahrbuch 1954 der RWTH Aachen, 44-56.
- ¹⁶⁴ Zit. wie Anm. 14.
- ¹⁶⁵ Ruska, E. (1957) Bodo von Borries: Nachruf. Z. wiss. Mikroskopie 63, 129-132.
- ¹⁶⁶ Zit. wie Anm. 14.
- ¹⁶⁷ Zit. wie Anm. 14.
- ¹⁶⁸ Zit. wie Anm. 1.
- ¹⁶⁹ Zit. wie Anm. 154.
- ¹⁷⁰ Zit. wie Anm. 154.
- ¹⁷¹ Zit. wie Anm. 1.
- ¹⁷² Zit. wie Anm. 12.
- ¹⁷³ Christoph Laue, Kommunalarchiv Herford, 2018: persönliche Mitteilung über Franz von Borries.
- ¹⁷⁴ Le Poole, J.P. (1985) Early electron microscopy in the Netherlands. Editor: Peter W. Hawkes. In: Advances in Electronics and Electron Physics, Suppl. 16, AP / Elsevier.
- ¹⁷⁵ Zit. wie Anm. 12.
- ¹⁷⁶ Huber, W. (2019) Dietrich Bonhoeffer. Auf dem Weg zur Freiheit – ein Portrait. Verlag C.H. Beck.
- ¹⁷⁷ Brief v. Borries an Osenberg vom 02.12.1944; SAA 11, Lg 177.

- ¹⁷⁸ Zit. wie Anm. 14.
- ¹⁷⁹ Theodor Denecke, Brief an Bodo von Borries vom 04.07.1941: Leibniz-Medaille, Kommunalarchiv Herford, Stadtarchiv 40 FGH (Schularchiv des Friedrichs-Gymnasiums Herford).
- ¹⁸⁰ Peter W. Hawkes, Toulouse: persönliche Mitteilung über Bodo von Borries, 2018.
- ¹⁸¹ Zit. wie Anm. 165.
- ¹⁸² Zit. wie Anm. 2.
- ¹⁸³ Zit. wie Anm. 12.
- ¹⁸⁴ Zit. wie Anm. 18.
- ¹⁸⁵ Zit. wie Anm. 23.
- ¹⁸⁶ Zit. wie Anm. 22.
- ¹⁸⁷ Zit. wie Anm. 19.
- ¹⁸⁸ Vergleich Ernst Ruska versus Heinrich Grünewald: Landgericht Berlin. Technikgeschichte 44, 360.
- ¹⁸⁹ Erling Norrby, Nobel Komitee Stockholm, persönliche Mitteilung (2018) über Nobelpreis-Vorschläge.