



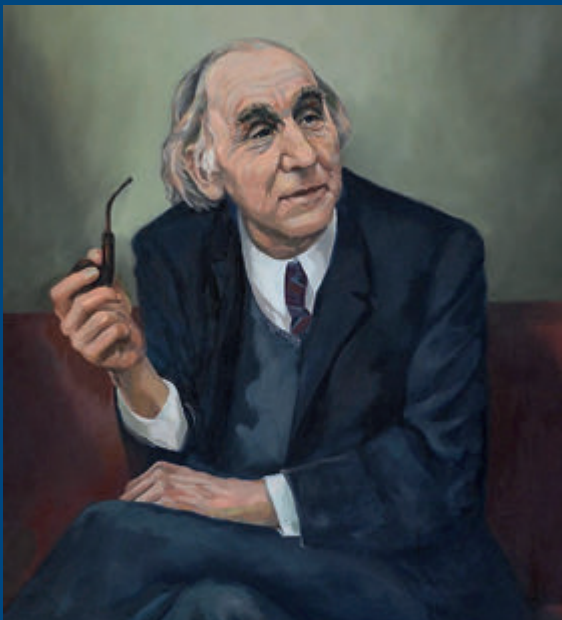
Leopoldina
Nationale Akademie
der Wissenschaften

NOVA ACTA LEOPOLDINA

Neue Folge | Supplementum Nummer 37

**Festkolloquium anlässlich des
100. Geburtstages von Prof. Heinz Bethge**

Herausgegeben von Gunnar Berg und Goerg H. Michler



**Deutsche Akademie der Naturforscher Leopoldina –
Nationale Akademie der Wissenschaften, Halle (Saale) 2020**

Wissenschaftliche Verlagsgesellschaft Stuttgart

Festkolloquium anlässlich des 100. Geburtstages von Prof. Heinz Bethge



Prof. Dr. Dr. h. c. Heinz BETHGE
15. November 1919 – 9. Mai 2001

NOVA ACTA LEOPOLDINA

Abhandlungen der Deutschen Akademie der Naturforscher Leopoldina

Herausgegeben von Diethard TAUTZ,
Director Ephemeridum der Akademie

NEUE FOLGE

SUPPLEMENTUM

NUMMER 37

Festkolloquium anlässlich des 100. Geburtstages von Prof. Heinz Bethge

der
Heinz-Bethge-Stiftung für Angewandte Elektronenmikroskopie
und der
Deutschen Akademie der Naturforscher Leopoldina –
Nationale Akademie der Wissenschaften

am 22. November 2019 in Halle (Saale)

Herausgegeben von

Gunnar BERG (Halle/Saale)
Vizepräsident der Leopoldina

Goerg H. MICHLER (Halle/Saale)
Vorsitzender der Heinz-Bethge-Stiftung
für Angewandte Elektronenmikroskopie



**Deutsche Akademie der Naturforscher Leopoldina –
Nationale Akademie der Wissenschaften, Halle (Saale) 2020
Wissenschaftliche Verlagsgesellschaft Stuttgart**

Redaktion: Dr. Michael KAASCH und Dr. Joachim KAASCH

Abbildungen:

Frontispiz – Heinz BETHGE auf dem Festkolloquium zu Ehren seines 80. Geburtstages (Jahrbuch 1999 der Deutschen Akademie der Naturforscher Leopoldina, Leopoldina Reihe 3, 45 [2000], S. 227).

S. 6, 8, 18, 55, 56, 87, 106 – © Heinz-Bethge-Stiftung für Angewandte Elektronenmikroskopie

S. 12, 21, 61, 62, 72, 88 – © Archiv der Nationalen Akademie der Wissenschaften Leopoldina

S. 21, 22, 71 – Reinhard HENTZE für die Leopoldina

S. 24 – Jahrbuch 1999 der Deutschen Akademie der Naturforscher Leopoldina (Leopoldina Reihe 3, 45 [2000], S. 276).

S. 38 – Deutsche Akademie der Naturforscher Leopoldina (Hrsg.): „Die Wellen schlagen hoch ...“. Zur 75. Wiederkehr des Geburtstages von Heinz Bethge, XXIII. Präsident der Leopoldina. Halle (Saale) am 15. November 1994, S. 92.

Titelbild:

Ulrich BEWERSDORFF schuf für die Präsidentengalerie der Leopoldina 1987 das Bildnis des XXIII. Präsidenten der Akademie Heinz BETHGE (Ausschnitt, © Archiv der Leopoldina).

Die Schriftenreihe Nova Acta Leopoldina erscheint bei der Wissenschaftlichen Verlagsgesellschaft Stuttgart, Birkenwaldstraße 44, 70191 Stuttgart, Bundesrepublik Deutschland.

Die Schriftenreihe wird gefördert durch das Bundesministerium für Bildung und Forschung sowie das Ministerium für Wirtschaft, Wissenschaft und Digitalisierung des Landes Sachsen-Anhalt.

Bibliografische Information der Deutschen Nationalbibliothek

Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über <https://portal.dnb.de> abrufbar.

Die Abkürzung ML hinter dem Namen der Autoren steht für Mitglied der Deutschen Akademie der Naturforscher Leopoldina – Nationale Akademie der Wissenschaften.

© 2020 Deutsche Akademie der Naturforscher Leopoldina e. V. – Nationale Akademie der Wissenschaften

Postadresse: Jägerberg 1, 06108 Halle (Saale), Postfachadresse: 110543, 06019 Halle (Saale)

Hausadresse der Redaktion: Emil-Abderhalden-Straße 37, 06108 Halle (Saale)

Tel.: +49 345 47239134, Fax: +49 345 47239139

Herausgeber: Prof. Dr. Diethard TAUTZ, *Director Ephemeridum* der Deutschen Akademie der Naturforscher Leopoldina – Nationale Akademie der Wissenschaften

Printed in Germany 2020

Gesamtherstellung: Druck-Zuck GmbH Halle (Saale)

ISBN: 978-3-8047-4108-9

ISSN: 0369-4771

Gedruckt auf chlorfrei gebleichtem Papier.

Inhalt

BERG, Gunnar, und MICHLER, Goerg H.: Vorwort	7
HACKER, Jörg: Begrüßung (Für die Leopoldina)	9
WEHRSPHOHN, Ralf B.: Begrüßung (Für die Heinz-Bethge-Stiftung)	13
SACHSE, Petra: Grußwort der Stadt Halle (Saale)	15
TIETJE, Christian: Grußwort der Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg	19
Prof. Dr. Dr. h. c. Heinz Bethge – Lebensdaten	23
TEICHERT, Christian: Heinz Bethge und das Institut für Festkörperphysik und Elektronenmikroskopie in Halle – Eine Familiengeschichte	25
NEUMANN, Wolfgang: Bethge und das Internationale Zentrum für Elektronenmikroskopie	37
LILIENTAL-WEBER, Zuzanna: Mentors of the Past – Prof. Heinz Bethge and his Center for Electron Microscopy	57
BERG, Gunnar: Bethge und die Leopoldina	63
URBAN, Knut: Atomare Elektronenmikroskopie	73
KIRSCHNER, Jürgen: Heinz Bethge und die Elektronenmikroskope am halleschen Institut	89
MICHLER, Goerg H., und KATZER, Dieter: Die Heinz-Bethge-Stiftung für angewandte Elektronenmikroskopie	97



Die Teilnehmer des Festkolloquiums zu Ehren von Prof. Heinz BETHGE, veranstaltet von der Heinz-Bethge-Stiftung für angewandte Elektronenmikroskopie und der Leopoldina am 22. November 2019 im kleinen Vortragssaal des Hauptgebäudes der Deutschen Akademie der Naturforscher Leopoldina – Nationale Akademie der Wissenschaften auf dem Jägerberg 1 in Halle (Saale).

Aus Anlass der 100. Wiederkehr des Geburtstags des XXIII. Präsidenten der Leopoldina, Prof. Dr. Dr. h. c. Heinz BETHGE (15. November 1919 – 9. Mai 2001), fand am 22. November 2019 im Hauptgebäude der Leopoldina auf dem Jägerberg ein gemeinsam von der Nationalen Akademie der Wissenschaften Leopoldina und der Heinz-Bethge-Stiftung für angewandte Elektronenmikroskopie organisiertes und vorbereitetes Festkolloquium statt. In einer eindrucksvollen Veranstaltung wurde BETHGE im Kreis derer, die ihn kannten und die ihn in Ehren halten, gedacht. Der Einladung waren ca. 130 Gäste gefolgt, die aufmerksam das Wirken Heinz BETHGES für die Wissenschaft, in der Wissenschaftspolitik sowie nicht zuletzt für die Leopoldina verfolgten.

1964 in die Akademie aufgenommen, wurde der zu diesem Zeitpunkt in seinem Fach bereits sehr bekannte Elektronenmikroskopiker 1974 in schwierigen Zeiten – mit der 3. Hochschulreform waren die Universitäten zu ‚sozialistischen Kaderschmieden‘ umgewandelt worden – zum XXIII. Präsidenten gewählt. Er, dessen Amtszeit regulär 1990 endete, steuerte mit taktischem Geschick und mit Standhaftigkeit das Schiffchen Leopoldina durch „hochgehende Wellen“, wie er es bei verschiedenen Gelegenheiten ausgedrückt hat. Zu Recht konnte er später resümieren: „an unseren Grundsätzen haben wir nie rütteln lassen“, denn es gelang tatsächlich, Unabhängigkeit und Internationalität der Akademie, die Grundlage von ihrem heutigen Ansehen, gegen allen Widerstand staatlicherseits zu bewahren.

Auf persönliche Erinnerungen an Heinz BETHGE und Würdigungen der verschiedenen Facetten seiner Tätigkeit folgten Fachvorträge, die, anschließend an die Arbeiten BETHGES, den heutigen Stand der Elektronenmikroskopie eindrucksvoll demonstrierten. Natürlich fehlte auch nicht eine Darstellung der Arbeiten der Stiftung zur Propagierung und Förderung naturwissenschaftlichen Wissens durch Organisation von Fortbildungen, durch die Förderung des wissenschaftlichen Nachwuchses sowie durch Angebote für Schüler, um diese mit den Grundlagen elektronenmikroskopischen – und damit grundsätzlich auch naturwissenschaftlichen – Arbeitens vertraut zu machen. Die jährliche Vergabe des „Bethge-Preises für Materialwissenschaften“ mit einem Preisgeld der Commerzbank Halle und des „Bethge-Nachwuchspreises“, unterstützt durch den VDI Bezirksverein Halle, fand in diesem Jahr hier einen würdigen Rahmen und war gleichzeitig eine Ehrung des Namensgebers durch praktisches Tun.

Ein Empfang, unterstützt von der Stadt Halle und der Fraunhofer-Gesellschaft, mit sehr vielen anregenden Gesprächen von Unterstützern der Bethge-Stiftung, von weiteren Vertretern aus der Wissenschaft und befreundeter, fachlich einschlägiger Firmen und vielen ehema-

ligen Mitarbeitern des Akademie-Institutes für Festkörperphysik und Elektronenmikroskopie sowie der Leopoldina, die ihn noch als Präsidenten kennengelernt und erlebt hatten, beschloss die Veranstaltung und damit eine gelungene, würdige Ehrung von Professor Heinz BETHGE.

Gedankt für die gute Vorbereitung sei besonders Frau Heike IRRGANG, Assistentin der Heinz-Bethge-Stiftung, die die gesamte Organisation in der Hand hatte, sowie Frau Katharina SCHMIDT und Frau Antje WALDHEIM vom Veranstaltungsmanagement der Leopoldina, die einen reibungslosen Ablauf vor Ort gewährleisteten.

Gunnar BERG
Vizepräsident der Leopoldina

Goerg H. MICHLER
Vorstandsvorsitzender der Bethge-Stiftung



Auditorium des Festkolloquiums zu Ehren von Prof. Heinz BETHGE am 22. November 2019

Begrüßung (Für die Leopoldina)

Jörg HACKER ML (Halle/Saale)

Präsident der Deutschen Akademie der Naturforscher Leopoldina –
Nationale Akademie der Wissenschaften

Magnifizenz,
sehr verehrte Frau SACHSE,
sehr geehrter Herr Kuratoriumsvorsitzender,
sehr verehrte Frau SPINDLER,
sehr geehrter Herr KIRSCHNER,
sehr geehrter Herr Vizepräsident,
sehr geehrte Vortragende,
sehr geehrte Mitglieder der Leopoldina,
sehr geehrte Damen und Herren!

Die Erinnerung an den 100. Geburtstag einer Forscherpersönlichkeit, die sich durch herausragende wissenschaftliche Leistungen und unermüdliches Engagement für die freie Wissenschaft unter schwierigsten Bedingungen auszeichnete, hat uns heute hier im Vortragssaal der Leopoldina zusammengebracht. Heinz BETHGE ist ein weltweit renommierter Physiker und Pionier der Elektronenmikroskopie gewesen. Darüber hinaus führte er die Deutsche Akademie der Naturforscher Leopoldina als ihr XXIII. Präsident durch die letzten sechzehn Jahre des – so BETHGE (1990, S. 21) – „Kommandostaat[es]“ DDR.

Für mich als amtierenden Präsidenten der Leopoldina ist es eine besondere Freude, Sie zum Festkolloquium zu Ehren Heinz BETHGES anlässlich seines 100. Geburtstages zu begrüßen – in seiner Akademie, doch in einem Gebäude, von dem zu seinen Lebzei-

ten nicht abzusehen war, dass es einmal die Leopoldina beherbergen würde, auch wenn damals hier Veranstaltungen der Akademie regelmäßig stattgefunden haben.

Besonders willkommen heiße ich Frau SPINDLER und die weiteren Repräsentanten der Heinz-Bethge-Stiftung für angewandte Elektronenmikroskopie. Stellvertretend möchte ich mich bei Ihnen, sehr geehrter Herr MICHLER, als Vorsitzenden der Stiftung für die vertrauensvolle und gedeihliche Zusammenarbeit während der Vorbereitung dieser Veranstaltung herzlich bedanken. Auf Seiten der Leopoldina hat unser Vizepräsident Herr BERG, der zugleich Mitglied des Kuratoriums der Stiftung ist, bei der Organisation des Kolloquiums mitgewirkt. Dafür danke ich Ihnen, lieber Herr BERG, ebenfalls herzlich.

Sehr geehrte Damen und Herren,

als Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler scheinen wir in einer Gesellschaft zu leben, die zu unserer Arbeit in einem widersprüchlichen Verhältnis steht. Einerseits haben die Ergebnisse der Wissenschaft immer größere Auswirkungen auf alle Bereiche unseres Lebens, und die steigenden Ausgaben für Forschung und Innovation zeigen, dass diese Bedeutung der Wissenschaft auch anerkannt und gefördert wird. Andererseits verstärkt sich der Eindruck unter vielen Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftlern, dass die Freiheit von Forschung und Lehre weltweit und womöglich auch bei uns stärker gefährdet und das Vertrauen in unsere Arbeit niedriger ist als noch vor einigen Jahren.

Gerade als Mitglied oder Angehöriger von Wissenschaftseinrichtungen wie der Martin-Luther-Universität, der Fraunhofer-Gesellschaft, der Max-Planck-Gesellschaft und der Leopoldina muss sich jeder einzelne von uns über die eigene Verantwortung für die Zukunft der freien Wissenschaft in einem freien Land klarwerden. Dabei bieten uns Leben und Wirken von Heinz BETHGE ein prägnantes Beispiel der persönlichen Integrität, die erforderlich ist, um an exponierter Stelle für den Freiheitsraum der Wissenschaft unter einer totalitären Herrschaft willensstark, mutig und besonnen zugleich einzutreten. Wenn wir mit dieser Festveranstaltung an den 100. Geburtstag Heinz BETHGES erinnern, so fordern wir uns damit selbst zum Einsatz für die Wissenschaftsfreiheit auf – in einer Situation, die ein solches Engagement ungleich leichter macht als vor vierzig Jahren.

Vor fast genau 45 Jahren, am 16. November 1974, wurde Heinz BETHGE das Amt des Präsidenten der Leopoldina feierlich übergeben. Während seiner vorhergehenden Laufbahn hatte er gezeigt, dass er es vermochte, wissenschaftlich auf internationalem Spitzenniveau zu forschen, ohne dafür den Avancen der herrschenden Partei nachgeben zu

müssen, die ihn als Sohn eines Handwerkers und als Absolventen des – wie wir es heute nennen würden – zweiten Bildungswegs vermutlich gerne zum Vorzeigexemplar des sogenannten „sozialistischen Wissenschaftlers“ gemacht hätte. Das erforderte von Heinz BETHGE strategischen Weitblick, der sich am Ideal der Freiheit der Wissenschaft und ihrer grenzüberschreitenden Kommunikation orientierte. Dieser Weitblick musste sich mit einem großen taktischen Geschick bei der alltäglichen Aushandlung des Bestmöglichen unter Bedingungen verknüpfen, die der Verwirklichung der Freiheit und Internationalität der Wissenschaft massiv entgegenwirkten. Das betraf – um nur einige auf Dauer gestellte Herausforderungen zu nennen – den grundsätzlichen Status der Leopoldina als unabhängiger Gelehrtengemeinschaft, die Möglichkeit der Aufrechterhaltung des internationalen akademischen Austauschs durch Reisen und die Durchführung der Jahresversammlung als herausgehobener Möglichkeit zur freien wissenschaftlichen Rede.

Am 30. Juni 1990, am Vorabend der Wirtschafts-, Währungs- und Sozialunion, übergab Heinz BETHGE sein Amt an den XXIV. Präsidenten der Leopoldina Benno PARTHIER. In seiner Abschiedsansprache brachte BETHGE (1990, S. 23) seinen Rückblick folgendermaßen auf den Punkt: „Für viele galt: Bleibe im Lande und färbe dich rötlich! Die andere Variante hieß: Bleibe im Lande und wehre dich täglich! Es waren viele, zu viele Tage, und es hat viel Kraft gekostet.“ Dies mag defensiv, gar resignativ klingen. Wenn wir dieses Motto aber vor dem Hintergrund des gesamten Wirkens von BETHGE deuten, so lässt es sich so verstehen: „Setze dich dort, wo du lebst, für das ein, was du als richtig erkannt hast! Erwarte nicht, dass du ein strahlender Sieger sein wirst, aber die Hoffnung, zu einem guten Ende beitragen zu können, ist nicht immer trügerisch.“

Sehr geehrte Damen und Herren,

die Erinnerung an Heinz BETHGE verbindet sich in diesem Jahr mit der Trauer um seinen Nachfolger. Wir werden am 23. Januar 2020 das Wirken Benno PARTHIERS mit einem Gedenksymposium würdigen, zu dem ich Sie jetzt schon herzlich einlade. Heute möchte ich nur unterstreichen, dass die große Leistung Benno PARTHIERS für die Leopoldina, in

einem Umfeld voller Unsicherheit die Entwicklungspotenziale unserer Akademie in der freien und demokratischen Gesellschaft des wiedervereinigten Deutschlands zu entfalten, ohne den erfolgreichen Einsatz Heinz BETHGES für die Unabhängigkeit unserer Akademie nicht möglich gewesen wäre.

Sehr geehrte Damen und Herren,

die Vorträge des heutigen Nachmittags werden Ihnen einen Einblick in die vielfältigen wissenschaftlichen und institutionellen Wirkungskreise Heinz BETHGES sowie in die Entwicklung seines Forschungsgebiets, der Elektronenmikroskopie, geben. Ich danke allen Vortragenden herzlich für ihre Bereit-

schaft, uns wesentliche Facetten dieses wegweisenden Wissenschaftlers und verdienstvollen Leopoldina-Präsidenten vor Augen zu führen.

Ihnen, meine sehr geehrten Damen und Herren, danke ich für Ihre Aufmerksamkeit.

Literatur

BETHGE, H.: Ansprache des scheidenden Präsidenten.
In: Feierliche Übergabe des Präsidentenamtes von Heinz Bethge an Benno Parthier am 30. 6. 1990 im Goethe-Theater zu Bad Lauchstädt. NAL NF Bd. 65, Nr. 278, 10–23 (1990)

Prof. Dr. Dr. h. c. mult. Jörg HACKER
Präsident
Deutsche Akademie der Naturforscher Leopoldina –
Nationale Akademie der Wissenschaften
Jägerberg 1
06108 Halle (Saale)
Bundesrepublik Deutschland
E-Mail: joerg.hacker@leopoldina.org



Altpräsident Heinz BETHGE im Gespräch mit dem Ministerpräsidenten des Landes Sachsen-Anhalt Reinhard HÖPPNER zur Jahresversammlung „Signalwandlung und Informationsverarbeitung“ am 7. April 1995 im großen Festsaal des Maritim-Hotels in Halle (Saale).

Begrüßung (Für die Heinz-Bethge-Stiftung)

Ralf B. WEHRSPORN (München)

Vorstand der Fraunhofer-Gesellschaft e. V., Technologiemarketing und Geschäftsmodelle
Kuratoriumsvorsitzender der Heinz-Bethge-Stiftung

Sehr geehrte Damen und Herren,
liebe Freunde und Bewahrer des wissenschaftlichen Erbes von Heinz BETHGE,
liebe Familie von Heinz BETHGE,
im Besonderen liebe Kuratoriumskollegin Marianne SPINDLER, geb. BETHGE,

Ich freue mich, dass wir heute den Festakt zum 100. Geburtstag von Heinz BETHGE hier im Gebäude der Nationalen Akademie der Wissenschaften Leopoldina in Halle (Saale) begehen können.

Heinz BETHGE wäre am 15. November 2019 100 Jahre alt geworden. Er ist, ein Jahr nach Ende des Ersten Weltkriegs, in Magdeburg zur Welt gekommen, studierte Physik an der Technischen Hochschule (TH) Berlin und war Professor an der Martin-Luther-Universität in Halle seit 1959.

Er gründete das Vorläuferinstitut des Max-Planck-Instituts (MPI) für Mikrostrukturphysik und des Fraunhofer-Instituts für Mikrostruktur von Werkstoffen und Systemen (IMWS). Doch zunächst wurde sein Institut 1960 als Außenstelle des heutigen Leibniz-Instituts für Festkörper- und Werkstoffforschung (IFW) in Dresden gegründet, und dann erfolgte 1968 die Neugründung als Institut für Festkörperphysik und Elektronenmikroskopie der Akademie der Wissenschaften. Dieses Institut war ein Zentrum der Elektronenmikroskopie

nicht nur in Ostdeutschland, sondern auch in der RGW/Comecon-Region, ausgezeichnet durch Hochleistungselektronenmikroskope, wie z. B. das JEOL HEM mit 1000 kV als Referenzelektronenmikroskop. Damit wurde ein internationaler Austausch, gekennzeichnet durch die Frühjahrs- und Herbstschulen *für Elektronenmikroskopie*, möglich. Die Themenvielfalt und hohe Qualität dieser Veranstaltungen hat viele Wissenschaftler aus Ost und West mit Halle verbunden.

Diese weiter gewachsene Kompetenz der Mikrostrukturaufklärung am Standort und die eigene Expertise bewogen uns 2011, in Halle die „Heinz-Bethge-Stiftung für angewandte Elektronenmikroskopie“ zu gründen. Ich möchte Sie im Namen aller Gründungstifter und Zustifter ganz herzlich zu unserer heutigen Festveranstaltung anlässlich des 100. Geburtstages von Prof. Heinz BETHGE begrüßen.

Die Stiftung selbst hat folgende Aufgaben, basierend auf dem Erbe von Heinz BETHGE:

- Vergabe von Stipendien und des Bethge-Nachwuchspreises für Studenten und Nachwuchswissenschaftler.
- Unterstützung wissenschaftlicher Veranstaltungen, wie z. B. des traditionellen Workshops „Ultramikrotomie und ergänzende Techniken in der Materialwissenschaft“.
- Es ist eine Sommerschule für Elektronenmikroskopie hier am Standort Halle geplant – vielleicht heute auch der Moment, dies noch einmal forciert anzugehen.
- Initiieren und Unterstützen von Partnerschaften zwischen Forschungsinstituten und Ausbildungseinrichtungen in Mitteldeutschland zur akademischen Aus- und Weiterbildung (ergänzend zur universitären Lehre).
- Förderung des Wissens- und Ideentransfers auf dem Gebiet der Elektronenmikroskopie und angrenzender Bereiche der Mikrostrukturcharakterisierung aus den Forschungseinrichtungen, Universitäten und Hochschulen in die Wirtschaft.
- Förderung und Begleitung von Schulen und Schülern bei der Ausbildung in naturwissenschaftlichen Fächern (MINT-Unterstützung) – z. B. im Projekt Saline-Technikum. Hierzu geht auch mein besonderer Dank an die Stadt Halle bei der Ideenumsetzung zur Einrichtung des „Ersten außeruniversitären Schülerlabors für Elektronenmikroskopie“ auf der Saline-Insel!
- Öffentlichkeitswirksame Darstellung der komplexen elektronenmikroskopischen Kompetenzen der Einrichtungen auf dem *Weinberg Campus* und in der Stadt Halle, wozu auch die heutige Veranstaltung gehört.

Diese Aufgaben werden durch viele ehrenamtliche Helfer professionell erledigt, die Nachfrage zeigt die zunehmende Wahrnehmung und Bedeutung erstellter Angebote.

Die Stiftung selbst ist immer offen für Zustiftungen von Unternehmen und Privatpersonen. Damit können die Vorhaben des Stiftungszweckes umgesetzt und weiter vorangebracht werden. Unterstützen Sie uns dabei.

Lassen Sie mich am Ende auch noch eine persönliche Anmerkung machen.

Heinz BETHGE ist einer der wenigen Menschen, die in beiden Systemen – DDR und BRD – mit den höchsten staatlichen Preisen – dem Nationalpreis der DDR und dem großen Bundesverdienstkreuz mit Stern der BRD – ausgezeichnet wurden, ohne sich politisch zu verbiegen. Dies konnte ihm nur gelingen, weil er sich ausschließlich der Wissenschaft verpflichtet sah und nicht dem jeweiligen politischen System! Er war authentisch, und so habe ich als Habilitand am MPI für Mikrostrukturphysik Heinz BETHGE 1999 auch noch kennengelernt.

Tragen wir mit unserer Arbeit in der Heinz-Bethge-Stiftung zur Bewahrung seines wissenschaftlichen Erbes bei.

Prof. Dr. Ralf B. WEHRSPORN
 vormals Institutsleiter am Fraunhofer-IMWS in Halle
 Vorstand Technologiemarketing und Geschäftsmodelle
 Zentrale der Fraunhofer-Gesellschaft
 HansasträÙe 27c
 80686 München
 Bundesrepublik Deutschland
 Tel.: +49 89 12054000
 Fax: +49 89 1205774000
 E-Mail: ralf.b.wehrspohn@zv.fraunhofer.de

Grußwort der Stadt Halle (Saale)

Petra SACHSE (Halle/Saale)

Leiterin des Dienstleistungszentrums Wirtschaft, Wissenschaft, Digitalisierung
der Stadt Halle (Saale)

Sehr geehrter Herr Prof. HACKER,
sehr geehrter Herr Prof. TIETJE,
sehr geehrte Mitglieder des Präsidiums,
sehr geehrte Frau Dr. SPINDLER,

Halle an der Saale ist geprägt durch eine reizvolle Vielfalt und spannende Gegensätze einer Stadt, die sich seit Jahrzehnten im Umbruch befindet. Sie ist ein guter Platz zum Leben, aber auch eine Stadt mit Tradition, die geprägt ist durch Neugier auf Neues sowie einem Streben nach Erkenntnis, aber auch mit einer Zukunft als Standort für Innovation und Entstehungsort bahnbrechender wissenschaftlicher Errungenschaften.

Die historische Komponente der Wissenschaftsstadt Halle ist aber nicht nur spannend, sondern steht auch in einem geradezu bemerkenswert stringenten Zusammenhang zu heutigen Befunden. Halle ist die Metropole in einer Region, die auf 7000 Jahre Geschichte zurückschauen kann, die mit den Themen Salz und Sonne verbunden ist – und das bis heute.

Bedarf es eines Beweises, dass Halle eine Wissenschaftsstadt ist: Sie ist der Sitz der Nationalakademie Deutschlands. Wie Wissenschaft und Forschung als übergreifende Themen einer städtischen Entwicklung wirken, zeigt eindrucksvoll die Entwicklung der Martin-Luther-Universität. In Halle 1694 gegründet, besitzt sie ohne Zweifel nicht

nur einen der schönsten Universitätsplätze in Europa, sondern heute mehr als 20000 Studenten. Die Burg Giebichenstein Kunsthochschule Halle verleiht der Stadt kreatives Gepräge und ist – wunderbar gelegen – für die heute mehr als 1000 Studenten ein Ort, an dem gewissermaßen die Tradition der Moderne fortgesetzt und in diesem Jahr im Sinne des 100. Bauhausjubiläums besonders gefeiert wird.

Das beeindruckende wissenschaftliche Potential ist nur ein Faktor des Erfolges der Stadt, die sich als Vorzugsstandort für wissenschaftsbasierte und technologieorientierte Branchen – insbesondere auf den Gebieten der Lebenswissenschaften und der Materialwissenschaften – etablieren will. Entscheidend ist es vor allem, wie es gelingt, wissenschaftliche Erkenntnis in technologischen Vorsprung und letztlich Wirtschaftswachstum umzuwandeln.

Halle hat aber auch dafür beste Voraussetzungen, verfügt die Stadt doch über den zweitgrößten Technologiepark in den neuen Bundesländern – den Technologiepark *Weinberg Campus*, der eine exzellente Infrastruktur für Forschungs- und Entwicklungs-

einrichtungen sowie -unternehmen bietet und über ein ausgesprochen erfolgreiches Netzwerk verfügt. Dort befinden sich vor allem die über die Grenzen Halles hinaus bekannten Institute der Wissenschaftsgemeinschaften, die hohe Investitionen in den Technologiepark brachten und hunderte Wissenschaftlerarbeitsplätze schufen. Lassen Sie mich hier insbesondere das Max-Planck-Institut für Mikrostrukturphysik und das Fraunhofer-Institut für Mechanik der Werkstoffe und Systeme erwähnen, stehen sie doch beide in besonderer Tradition zu Professor BETHGE, den wir heute ehren.

Heinz BETHGE etablierte in den 1950er Jahren die Elektronenmikroskopie an der Universität in Halle. Ende der 1950er Jahre richtete er im Auftrag der Akademie der Wissenschaften eine Arbeitsstelle für Elektronenmikroskopie am Weinberg in Halle ein. Die Anfänge waren bescheiden: In einer alten, verfallenen Gaststätte am Weinberg nutzte er die eine Hälfte für sich und seine Mitarbeiter, in der anderen Hälfte war die Mensa. Interessanterweise forschten er und sein Team an Salzkristallen zu Fragen der Kristallbaufehler und schufen damit den Einstieg in die Kristall- und Werkstoffphysik.

1961 erfolgte die Grundsteinlegung für das neue Institutsgebäude oberhalb der alten Gaststätte am Weinberg. BETHGE war damals gerade 40 Jahre alt und hat mit einer jungen Mannschaft auf „der grünen Wiese“, wie er sagte, angefangen. Die Arbeitsstelle wurde aufgrund einer sehr erfolgreichen Tätigkeit im Jahre 1968 zum Institut für Festkörperphysik und Elektronenmikroskopie (IFE) erweitert. Das IFE entwickelte sich nachhaltig, so dass zum ehemaligen Hauptgebäude ein Laborgebäude mit einer Halle für ein 1 MV-Höchstspannungs-Elektronenmikroskop (HEM), ein Gästehaus und ein Rechnerwürfel kamen. Das 1 MV (1000 kV) HEM, damals eines von wenigen, war das erste in Deutschland installierte Gerät dieses Typs.

Die auf Professor BETHGE zurückgehende Elektronenmikroskopieforschung hat wesentlich dazu beigetragen, dass sich Halle in der Wissenschaftslandschaft einen Namen gemacht hat. Viele Wissenschaftler sind zu Arbeitsaufenthalten und zu persönlichen Besuchen nach Halle gekommen.

Die gemeinsam mit seinem „Vize“ Prof. Dr. Johannes HEYDENREICH im Jahre 1975 erfolgte Gründung eines „Internationalen Zentrums für Elektronenmikroskopie“ war ein Ausdruck für die hier vorhandene Vielfalt elektronenmikroskopischer Methoden und eine gut ausgebildete und motivierte Mannschaft. Das Zentrum unterstützte die Forschungsk Kooperation innerhalb des Rates für gegenseitige Wirtschaftshilfe (RGW) – daneben gab es nur drei weitere Zentren zu unterschiedlichen Schwerpunkten. Zu den Besuchen ausländischer Wissenschaftler trugen auch die jährlichen Frühjahrs- und Herbstschulen des Zentrums bei, die eine gute Fortbildung für junge Nachwuchswissenschaftler darstellten.

Die herausragenden Leistungen des durch Professor BETHGE begründeten und bis 1985 geleiteten Institutes waren so überzeugend, dass Anfang 1991 der Wissenschaftsrat die Empfehlung gab, es als ein Institut der Max-Planck-Gesellschaft weiterzuführen. Die Gründung des Max-Planck-Institutes für Mikrostrukturphysik als erstes Max-Planck-Institut der neuen Bundesländer war eine Folge dieser Empfehlung.

So ist es Heinz BETHGE und seinem überaus erfolgreich wirkenden wissenschaftlichen Zentrum für Elektronenmikroskopie, das auch weit über die engen Grenzen der damaligen DDR hinaus wirkte, zu verdanken, dass nach der Wiedervereinigung Deutschlands das erste Max-Planck-Institut in den neuen Bundesländern nach Halle kam. Der Ruf Heinz BETHGES und seiner Mitarbeiter in der Stadt Halle war damals bereits ein internationaler, der dem Standort Halle die

Aufmerksamkeit der renommierten Wissenschaftsgesellschaften eingebracht hatte.

In diesem Sinne sind die Entwicklungen nach der Gründung des Technologieparks auch Entwicklungen, die eng mit dem Wirken von Heinz BETHGE verbunden sind. Die Branchenstruktur der hier ansässigen Unternehmen zeigt interessanterweise, dass sich auch die Schwerpunkte der Wissenschaftseinrichtungen – eben z. B. das Thema der Materialwissenschaften – in der Struktur der Unternehmen abbildet. Das findet seinen Niederschlag im Ausgründungsgeschehen, aber auch in der weiter steigenden Anziehungskraft der Institute auf Unternehmen und Netzwerke. Die Erfolgsgeschichte des Standortes Technologiepark *Weinberg Campus* lässt sich durch eindrucksvolle Zahlen belegen. Die Summe der Investitionen aus privaten und öffentlichen Mitteln erreichte bereits vor einiger Zeit die Milliardengrenze. Mehr als 5000 hochwertige Arbeitsplätze wurden geschaffen, und mehr als 7000 Studierende gehen hier täglich ihren Studien unter hervorragenden Bedingungen nach.

Die durch Professor BETHGE immer verfolgte Förderung jüngerer Wissenschaftler ist auch ein Ziel der Bethge-Stiftung für angewandte Elektronenmikroskopie, die im Jahre 2011 in Halle – auch mit Unterstützung der Stadt Halle – ins Leben gerufen wurde. Die Aktivitäten der Stiftung, wie Workshops zur Ultramikrotomie, Kolloquien zum nachhaltigen Bauen mit Faserverbundwerkstoffen und eine Unterstützung nepalesischer

Wissenschaftler werden durch die Stadt mitgetragen.

Die Nachwuchsförderung beginnt schon in der Schule. So hat ein 2016 gegründetes Schülerlabor für Elektronenmikroskopie im Saline-Technikum das Ziel einer Unterstützung von Schülern in den MINT-Fächern. Hier gibt es einen außerschulischen Raum mit Licht- und Elektronenmikroskopen, in dem Schüler der oberen Klassenstufen in halbtägigen Kursen in die Mikrowelt und die Techniken der Elektronenmikroskopie eingeführt werden. Die Themen kommen dabei aus der Kristallphysik, der Biologie und auch vom Steinsalz, das ja ein wichtiger Rohstoff in Halle war und auch in den Forschungsarbeiten von Professor BETHGE eine wichtige Rolle spielte.

Die Bethge-Stiftung ist weiterhin aktiv an den Planungen zur Einrichtung eines naturwissenschaftlich orientierten Technikums auf der Saline-Insel beteiligt, die 2021/22 auch zu einem Bereich „Elektronenmikroskopie“ führen sollen. Staunen, bewundern, begreifen – darum geht es. In der Tradition BETHGES sollen Menschen für die Wissenschaft begeistert werden.

Seine Ideen wirken durch die Stiftung fort, der Name BETHGE behält seinen guten Klang und trägt dazu bei, den Wissenschaftsstandort Halle auch im 21. Jahrhundert zu festigen. Der Dank der Stadt, ihrer Wissenschaftler, ja ihrer gesamten Zivilgesellschaft ist Professor BETHGE gewiss.

Dr. Petra SACHSE
Stadt Halle (Saale)
Fachbereich Wirtschaft, Wissenschaft und
Digitalisierung
Marktplatz 1
06100 Halle (Saale)
Bundesrepublik Deutschland
Tel.: +49 345 2214782
Fax: +49 345 2214788
Mobil: 0173 2188043
E-Mail: petra.sachse@halle.de
www.halle.de



Blick in das Auditorium während des Festkolloquiums für Heinz BETHGE.

Grußwort der Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg

Christian TIETJE (Halle/Saale)

Rektor der Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg

Liebe Festversammlung,
sehr geehrte Damen und Herren!

Als vierter Grußwortredner werde ich mich auf die Bedeutung Heinz BETHGES für die hallische Universität beschränken, ist doch zu seinen wissenschaftlichen Leistungen auf dem Gebiet der Physik bereits einiges gesagt worden und wird mit Sicherheit im Laufe des heutigen Nachmittags noch mehrfach darauf Bezug genommen werden.

Nach Ende des Krieges, nach Verwundung und aus kurzer Kriegsgefangenschaft entlassen, kam Heinz BETHGE zum Studium nach Halle. Noch war die Universität geschlossen, er engagierte sich bereits für die Wiedereröffnung und gehörte so 1946 zu den ersten Studenten unserer *Alma mater*, um sein 1941 an der Technischen Hochschule (TH) Berlin-Charlottenburg begonnenes Physik-Studium fortzusetzen. 1949 legte BETHGE in Halle das Diplom ab, wurde 1954 promoviert und damit Oberassistent am 1. Physikalischen Institut bei Professor Wilhelm MESSERSCHMIDT. Nach der Habilitation 1959 wurde er 1960 zum Professor für Experimentalphysik an unserer Universität berufen. Zu dem Zeitpunkt hatte er sich be-

reits einen Ruf als Experte für Elektronenmikroskopie erworben. Wie damals noch üblich, wurden die Apparaturen in eigenen Institutswerkstätten gebaut. So auch das erste Elektronenmikroskop, das Heinz BETHGE konzipiert und entwickelt hatte. Bedeutsam für die weitere Entwicklung war es aber dann, dass er die Elektronenmikroskopie zur Untersuchung für Festkörper, insbesondere von deren Oberflächen einsetzte. Er gehörte damit maßgeblich zu denen, die die Grundlagen für den Schwerpunkt Festkörperphysik der hallischen Physik legten. Bis zum heutigen Tag gehört dieses Gebiet zu den profilbestimmenden der Universität.

Ebenfalls 1960 hatte BETHGE es erreicht, dass er im Rahmen der Akademie der Wissenschaften der DDR eine „Arbeitsstelle für Elektronenmikroskopie“ aufbauen konnte. Am Weinberg, dem heutigen naturwissenschaftlichen Campus der Universität, richtete er in einer ehemaligen Gaststätte Labors und Arbeitsräume ein und arbeitet dort so erfolgreich, dass die „Arbeitsstelle“ 1968 in das „Institut für Festkörperphysik und Elek-

tronenmikroskopie“, auch unter dem Kürzel IFE bekannt, umgewandelt werden konnte. Die zum Teil riesengroßen „Zentralinstitute“ der Akademie vor Augen, legte BETHGE immer Wert darauf, dass das eigene Institut nicht zu groß wurde, was er mehrfach zum Ausdruck gebracht hat. Auch die zeitweilige Einverleibung seines Instituts in das Dresdner „Zentralinstitut für Festkörperphysik und Werkstoffforschung“ konnte er – zur Überraschung vieler – wieder rückgängig machen. Man kann wohl sagen, es ging ihm darum, auch in der DDR das Harnack-Prinzip zu verwirklichen, das so erfolgreich beim Aufbau der Kaiser-Wilhelm-Institute und dann auch bei dem der Max-Planck-Institute angewendet worden war: um einen fachlich ausgezeichneten Wissenschaftler eine Gruppe errichten, die dieser Direktor nicht nur übersehen und „leiten“ konnte, sondern wo er in der Lage war, die einzelnen Arbeiten der Mitarbeiter zu verfolgen und bei fachlichen Diskussionen auch zu befruchten. Heinz BETHGE hat zeit seines Lebens versucht, diesem Grundsatz treu zu bleiben. Es gelang ihm, trotz aller Schwierigkeiten das Institut zu einer international bekannten Hochburg von Elektronenmikroskopie und Festkörperphysik zu machen, so dass es nach der friedlichen Revolution die Evaluation der Akademieinstitute durch den Wissenschaftsrat mit Glanz bestand und aus ihm – hier in der Nachbarschaft der Universität – das erste Max-Planck-Institut in den neuen Ländern hervorging. Daneben wurde aus Teilen des Instituts auch eine Fraunhofer-Einrichtung gegründet, zunächst als Teilinstitut des Freiburger „Fraunhofer-Instituts für Werkstoffmechanik“, heute selbständiges „Fraunhofer-Institut für Mikrostruktur von Werkstoffen und Systemen“ in Halle.

Für Heinz BETHGE war es selbstverständlich, dass die Wissenschaft international ist und international betrieben werden muss,

ein Bestreben, das in der DDR mit ihrer Abschottungspolitik nicht gerade leicht zu verwirklichen war. Er versuchte es mit einer Institutionalisierung – wie sich zeigen sollte, mit sehr großem Erfolg – und gründete am Institut 1975 das „Internationale Zentrum für Elektronenmikroskopie“, das geleitet von seinem Stellvertreter Professor Johannes HEYDENREICH z. B. regelmäßig Frühjahrs- und Herbstschulen durchführte, in denen zumeist junge Wissenschaftler vorwiegend aus den Staaten des Ostblocks mit den neuesten Methoden und Erkenntnissen zur „abbildenden Oberflächenanalytik“ – wie BETHGE das Gebiet genannt hatte – vertraut gemacht wurden. Selbstverständlich wurden auch dazu Gäste aus dem Westen eingeladen, natürlich auch hier mit den DDR-typischen Schwierigkeiten kämpfend.

Für Professor BETHGE war es selbstverständlich, weiterhin in die Lehre des Instituts für Physik eingebunden zu bleiben, nicht zuletzt, weil ihm jeglicher Kontakt mit jungen Leuten ein Herzensanliegen war. Er legte auch Wert darauf, dass die fachlichen Beziehungen zwischen seinem Institut und der Universität nicht abrissen, eine Tradition, die glücklicherweise die Direktoren der beiden genannten Nachfolgeeinrichtungen fortführen. Professor KIRSCHNER, der nun gleich nach mir reden wird, hat das seit seiner Berufung nach Halle mit aller Konsequenz verfolgt. Zum einen können wir die Direktoren als Professoren der Universität begrüßen. Zum anderen gibt es aber auch starke Wechselwirkungen zwischen den einzelnen Arbeitsgruppen dort und denen der Universität. So ist es gewiss diesem Umstand geschuldet, dass einer der ersten Sonderforschungsbereiche (SFB) der Universität zu Beginn der 1990er Jahre durch einen gemeinsamen Antrag der Physiker der Universität und des Max-Planck-Instituts zustande kam, ein SFB, dessen Nachfolgeprojekte nach wie vor zu den Flaggschiffen der Universität gehören.

Ich wünsche mir, dass auch zukünftig zum Wohle aller physikalischer Einrichtungen in

Halle auf diese Weise das Erbe Heinz BETHGES fortgesetzt werde.

Prof. Dr. Christian TIETJE
Rektor der
Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg
Universitätsplatz 10
06108 Halle (Saale)
Bundesrepublik Deutschland
Tel.: +49 345 5521000
Fax: +49 345 5527075
E-Mail: rektor@uni-halle.de



Der seinerzeitige Bundesaußenminister Hans-Dietrich GENSCHER und späterer Ehrensator sowohl der Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg als auch der Deutschen Akademie der Naturforscher Leopoldina im Gespräch mit dem Generalsekretär der Akademie Hans-Albrecht FREYE und Altpräsident Heinz BETHGE während der Feierlichen Übergabe des Präsidentenamtes am 30. Juni 1990 im Goethe-Theater zu Bad Lauchstädt (*von links nach rechts*).



Prof. Dr. Dr. h. c. Heinz BETHGE

Prof. Dr. Dr. h. c. Heinz Bethge – Lebensdaten

- Am 15. November 1919 in Magdeburg geboren, 1934 Ausbildung zum Maschinenschlosser;
- seit 1939 Studium an der Hochschule für angewandte Technik in Köthen und der Technischen Hochschule Berlin-Charlottenburg mit Unterbrechungen wegen Einberufungen zum Kriegsdienst;
- ab Februar 1946 Fortsetzung und Abschluss des Studiums am Physikalischen Institut der Universität Halle (Saale);
- 1954 Promotion an der Universität Halle (Thema: „Entwicklung und Bau eines Laboratorium-Elektronen-Mikroskops und Anwendung der Elektronenmikroskopie auf Fragen zum Realbau des Steinsalzes“);
- 1959 Habilitation an der Universität Halle (Thema: „Elektronenmikroskopische Untersuchungen zur Struktur von Steinsalz-Spaltflächen“);
- 1961 Ernennung zum Professor für Experimentalphysik an der Universität Halle;
- 1960 Gründung der Arbeitsstelle für Elektronenmikroskopie im Auftrag der damaligen Deutschen Akademie der Wissenschaften zu Berlin am Weinberg in Halle (Saale).
- 1968 wurde diese Arbeitsstelle zum Institut für Festkörperphysik und Elektronenmikroskopie (IFE) der Akademie der Wissenschaften der DDR umgewandelt, dessen Direktor er bis zu seiner Emeritierung war. Er baute das Institut mit großem persönlichem Einsatz auf und führte es zu internationalem Ansehen.
- Seit 1964 Mitglied der Deutschen Akademie der Naturforscher Leopoldina. Hier wählte man ihn 1974 als Nachfolger von Kurt MOTHEs zu deren XXIII. Präsidenten. Dieses Amt hatte er 16 Jahre inne und gab es 1990 an seinen Nachfolger Benno PARTHIER ab, nachdem dieser turnusgemäß im Frühjahr 1989 gewählt worden war.
- Am 9. Mai 2001 in Halle gestorben; beigesetzt auf dem Stadtgottesacker in Halle.

Nach der friedlichen Revolution 1990 entstanden aus dem IFE das Max-Planck-Institut für Mikrostrukturphysik und das Fraunhofer-Institut für Werkstoffmechanik, heute das Fraunhofer-Institut für Mikrostruktur von Werkstoffen und Systemen IMWS.

Für seine Leistungen wurde Heinz BETHGE vielfältig geehrt:

- 1967 Nationalpreis II. Klasse der DDR;
- 1969 korrespondierendes Mitglied und
- 1972 ordentliches Mitglied der Akademie der Wissenschaften der DDR;
- 1978 korrespondierendes Mitglied der Bayerischen Akademie der Wissenschaften;
- 1984 Ehrendoktorwürde der Technischen Hochschule Karl-Marx-Stadt;
- 1987 korrespondierendes Mitglied der Akademie der Wissenschaften zu Göttingen, Gustav-Hertz-Medaille der Physikalischen Gesellschaft der DDR;
- 1989 Ehrenmitglied der Deutschen Gesellschaft für Elektronenmikroskopie, Cothenius-Medaille der Leopoldina;
- 1990 Helmholtz-Medaille der Berlin-Brandenburgischen Akademie der Wissenschaften;
- 1992 Großes Bundesverdienstkreuz mit Stern der Bundesrepublik Deutschland;
- 1999 Deutscher Nationalpreis der Deutschen Nationalstiftung, Ehrenmedaille der Alexander von Humboldt-Stiftung;
- 2000 Ehrenmitgliedschaft der Deutschen Physikalischen Gesellschaft.

Im Jahre 2011 wurde die nach ihm benannte Heinz-Bethge-Stiftung zur Förderung der angewandten Elektronenmikroskopie in Halle (Saale) gegründet (www.bethge-stiftung.de).



Ende der 1990er Jahre: Institutsgebäudekomplex des Max-Planck-Instituts für Mikrostrukturphysik, eine der Nachfolgeeinrichtungen, die aus dem von Heinz BETHGE geleiteten Institut für Festkörperphysik und Elektronenmikroskopie der Akademie der Wissenschaften der DDR (IFE) auf dem Weinberg in Halle (Saale) hervorgegangen sind.

Heinz Bethge und das Institut für Festkörperphysik und Elektronenmikroskopie in Halle – Eine Familiengeschichte

Christian TEICHERT (Leoben, Österreich)

Liebe Familie SPINDLER,
sehr geehrte Herren Präsident und Vizepräsident,
Magnifizenz,
liebe Stifter und Kuratoriumsmitglieder der Heinz-Bethge-Stiftung für angewandte Elektronenmikroskopie,
liebe ehemalige Mitarbeiter des Instituts für Festkörperphysik und Elektronenmikroskopie,
meine Damen und Herren!

Das Institut für Festkörperphysik und Elektronenmikroskopie der Akademie der Wissenschaften der DDR (IFE) wurde von Prof. Dr. Dr. h. c. Heinz BETHGE am 1. Januar 1960 auf dem Weinberg in Halle (Saale) – zunächst als Arbeitsstelle für Elektronenmikrosko-

pie der damaligen Deutschen Akademie der Wissenschaften – gegründet (siehe Abb. 1). In den 32 Jahren bis zu seiner Auflösung am 31. Dezember 1991 waren am IFE ca. 250 Mitarbeiter tätig, und es ist schön, dass heute, knapp 60 Jahre nach Institutsgründung



Abb. 1 *Links*: Foto von Prof. Heinz BETHGE (15. 11. 1919 – 9. 5. 2001) aus den 1990er Jahren, welches mit seinen markanten Stirnfalten die Pinwand meines Leobener Büros in einer Reihe mit selbstorganisierten makroskopischen und mikroskopischen Wellenmustern ziert. *Rechts*: Eingangsbereich des 1963 errichteten Hauptgebäudes des Instituts für Festkörperphysik und Elektronenmikroskopie der Akademie der Wissenschaften der DDR auf dem Weinberg in Halle (Saale).

noch einige der Pioniere der ersten Stunde anwesend sind. So wird sich mancher von Ihnen jetzt fragen, wieso an dieser Stelle nun jemand steht, der erst als Institutsmitarbeiter eingestellt wurde, als Herr BETHGE schon im Ruhestand war. Die Erklärung ist recht einfach: Mir war im Zuge der Wende der Doktorvater verlorengegangen, Heinz BETHGE ist eingesprungen, und ich war folglich BETHGES letzter Doktorand. Seine ganze Fürsorge und Förderung wurden mir bis zu seinem Tode zuteil, und das wirkt bis heute nach. Ich danke den Organisatoren des Festkolloquiums, dass sie mich aus genanntem Grunde gebeten haben, anhand von eigenem Erlebtem, von überlieferten Anekdoten und von Aussagen internationaler Fachkollegen exemplarisch Facetten der Familiengeschichte des IFE und insbesondere von dessen Vaterfigur Heinz BETHGE zu beleuchten.

Als Physikstudent an der Martin-Luther-Universität in Halle hatte ich mich in einem freiwilligen Laborprojekt unter Anleitung von Gunnar BERG, einem der amtierenden Vizepräsidenten der Leopoldina und Mitorganisator der heutigen Veranstaltung, mit Monte-Carlo-Simulationen zur Defektaggregation in Natriumchlorid-Kristallen beschäftigt, welches mich dann zufällig zu FORTRAN-Experten am IFE führte, die mich wiederum recht schnell für ihre eigenen Forschungsarbeiten begeistern konnten. Als ich einem ehemaligen Klassenkameraden davon erzählte, meinte dieser: „Oh, das ist ein interessantes Institut, ein Freund hat mich kürzlich dorthin zu einer Feier mitgenommen. Da saß hinten in der Ecke ein Pfeife-rauchendes Männchen und beobachtete das fröhliche Treiben genau.“ Seine Frage, ob das der Hausmeister des Instituts



Abb. 2 Feier am IFE mit Hildegard BETHGE, Johannes HEYDENREICH, Heinz BETHGE und Volker SCHMIDT (1. Reihe von links nach rechts).

sei, wurde ihm beantwortet mit: „Nein, das ist unser Chef.“

Am 1. September 1983 begann für mich als Student der erste Tag meines Forschungspraktikums am IFE, frühmorgens um 8 Uhr. Allerdings lag meine Heimkehr weit nach Mitternacht, denn an diesem Freitag gab es eine der legendären Doktorfeiern des IFE. Neben acht Promotionen (darunter die von Wolfgang NEUMANN, der im Anschluss das internationale Wirken von Herrn BETHGE auf dem Feld der Elektronenmikroskopie würdigen wird) wurden die Berufung von Prof. Johannes HEYDENREICH (1930–2015) als korrespondierendes Mitglied der Akademie der Wissenschaften der DDR sowie die Ernennung von Volker SCHMIDT (1935–2012), dem späteren Nachfolger in der Position des Institutsdirektors, zum Professor gefeiert (siehe Abb. 2). Meine Mutter, die mich (übrigens nüchtern) um 3 Uhr morgens heimkommen hörte, hatte sich damals arg gewundert, was man an diesem Institut wohl so treibt.

Das erste Mal persönlich begegnet bin ich Herrn BETHGE zu seinem 65. Geburtstag, also vor 35 Jahren, kurz bevor er als Institutsdirektor in den Ruhestand ging. Bevor die in Abbildung 3 gezeigte Geburtstagstorte – verziert mit einer symbolischen Pfeife – angeschnitten wurde, nahm er im alten Hauptgebäude – oben am anderen Ende der Wendeltreppe stehend – die Gratulationen der zu ihm hinaufströmenden Institutsmitarbeiter entgegen. Als die Reihe an die Arbeitsgruppe KLAUA kam, stellte mich mein Diplomarbeitbetreuer Christian AMMER als den neuen Diplomanden vor. „Und, ist er gut?“, fragte BETHGE, was mit einem Nicken von AMMER und Gruppenleiter Manfred KLAUA beantwortet wurde. Daraufhin BETHGE: „Na, dann ist es o. k.“ Dabei klang sein großes Vertrauen in die von seinen Schülern getroffene Auswahl heraus.

An dieser Stelle möchte ich eine Anekdote anführen, die BETHGE selbst gerne verbreitete: Aufgrund einer Stellenausschreibung

für einen Kraftfahrer kommt ein Bewerber auf den Hof des IFE und erkundigt sich bei einem ölverschmierten Mann, der gerade unter seinem Auto hervorrutschte, ob bei dem Fahrerjob am Institut auch mal eine Schwarzfahrt möglich sei. Zur Antwort bekam er: „Überhaupt nicht, das sind penible Hunde hier.“ „Den waren wir los“, lautete BETHGES Originalton.

Bisher war die Rede von Feiern aus besonderen Anlässen, aber es gab auch noch eine stattliche Anzahl regulärer „Events“, die unter dem Schuttschirm des Chefs und späteren „Altchefs“ bis zum Ende des Instituts regelmäßig stattfanden. Da seien genannt zünftige Institutsfaschingsveranstaltungen, Sommerfeste sowie besinnliche Weihnachtsfeiern mit hochkarätiger musikalischer Umrahmung aus den eigenen Reihen. Nicht unerwähnt bleiben sollen die Ferienbungalows auf einem dem Institut gehörenden Grundstück – für dessen Erwerb sich Heinz BETHGE persönlich eingesetzt hat – in Morungen im Harz und die Dauerzelte auf dem freizügigen Campingplatz in Prerow auf dem Darß mit Blick in die ferne Welt. Letztendlich gehörten auch Kunst- und Fotoausstellungen im Foyer des Hauptgebäudes, Wettbewerbe um den besten Obstwein sowie diverse Sportzirkel zum Innenleben des IFE.



Abb. 3 Feier des 65. Geburtstags von Heinz BETHGE am 15. 11. 1984 am IFE: Rosamunde MÖHNER, Johannes HEYDENREICH, Heinz und Hildegard BETHGE, Ingrid AMLER (von links nach rechts).



Abb. 4 Links: Titelbild der 1. Auflage des „BH“ von 1982 (BETHGE und HEYDENREICH 1982). Rechts: Titelbild der 1. Auflage des „BH“ in englischer Übersetzung (BETHGE und HEYDENREICH 1984), mit starken Gebrauchsspuren.



Abb. 5 Die große Bethge-Pyramide umfasst die Mehrheit der Autoren des „BH“.

Nun mag nach diesen Ausführungen der Eindruck entstanden sein, dass am IFE nur gefeiert wurde. Nein, in erster Linie wurde hart gearbeitet. Herausragendes Resultat war der sogenannte „BH“, ein von Heinz BETHGE mit seinem „Vize“ Johannes HEYDENREICH Anfang der 1980er Jahre herausgegebenes, fast 600 Seiten dickes Fachbuch zum Einsatz der Elektronenmikroskopie in der Festkörperphysik und an Oberflächen (BETHGE und HEYDENREICH 1982). Dieses Standardwerk wurde kurze Zeit später auch ins Englische übersetzt (BETHGE und HEYDENREICH 1984, 1987) und trug so den Ruf des Instituts in die ganze Welt hinaus. An diesem Opus hat fast jeder zum damaligen Zeitpunkt am IFE beschäftigte wissenschaftliche Mitarbeiter als Autor mitgewirkt (siehe Abb. 4 und 5).

Wissenschaftliche Höchstleistungen unter den ökonomischen Bedingungen der DDR zu erbringen, das erforderte viel Schweiß und Kreativität. So wurde der oft zitierte Ausspruch von Heinz BETHGE „Der Tag hat 24 Stunden, wenn das nicht reicht, nehmen Sie die Nacht dazu.“ häufig in die Tat umgesetzt, und der Anspruch BETHGES an eine Doktorarbeit „Bauen Sie mal eine neue Methode auf, dann machen Sie damit schöne Experimente und entwickeln eine schlüssige Theorie dazu!“ resultierte in mittleren Promotionsdauern von sieben Jahren. Das war exakt auch bei meiner Dissertation der Fall. In genau der Hälfte dieser Zeit kam mir der Glücksumstand zugute, dass Heinz BETHGE alle zwei Jahre gemeinsam mit seinem Freund Rostislaw KAISCHEW (1908–2002), Gründungsdirektor des Instituts für Physikalische Chemie der Bulgarischen Akademie der Wissenschaften in Sofia, einen halb-privaten Workshop zur Oberflächenphysik organisierte (siehe Abb. 6). So hatte ich bereits 1986 in Halle die Gelegenheit, über die ersten Resultate meiner Dissertation den bulgarischen Kollegen in Englisch zu berichten.

1988 nahm der „Altchef“ uns junge Mitarbeiter, die wir – wie in meinem Falle

auch – nicht einmal zu Konferenzen in die ČSSR oder Polen fahren durften, zum Gegenbesuch nach Bulgarien mit. Die älteren Kollegen hatten uns bei der zweitägigen Bahnfahrt auf den Balkan schon unvergessliche Begegnungen wissenschaftlicher und persönlicher Art prophezeit. So durfte ich also in der Tagungsstätte der Bulgarischen Akademie der Wissenschaften im Rila-Gebirge über Teile meiner Doktorarbeit, die sich mit niederenergetischer Elektronenbeugung auf Silberoberflächen beschäftigte, vortragen und dabei auch neuartige Monte-Carlo-Simulationen zur kinetischen Behinderung der atomaren Diffusion auf Silber-Einkristallen über Stufenkanten hinweg vorstellen (TEICHERT et al. 1994). Der Vortrag betraf einen Effekt, der 1966 vom Feldionenmikroskopiker Gert EHRLICH (1926–2012) entdeckt wurde (EHRLICH und HUDDA 1966) und von diesem kurz darauf auf Einladung BETHGES in Halle bei einer Leopoldina-Veranstaltung persönlich vorgestellt wurde. Resultat des Effekts sind terrassierte Wachstumshügel, die am IFE nahezu zeitgleich mittels der von BETHGE und Mitarbeitern neben Salzoberflächen (vgl. Beitrag von W. NEUMANN) auch an Metalloberflächen eingesetzten Golddekorationmethode nachgewiesen wurden (KLAUA 1975, MEINEL et al. 1988) (siehe Abb. 7). Ich war bei diesem ersten Vortrag im Ausland sehr aufgeregt und habe entsprechend laut gesprochen, mit dem Resultat, dass die beiden schwerhörigen „Altchefs“ – wie damals üblich in der ersten Reihe sitzend – mich nicht nur akustisch verstanden hatten, sondern auch gleich von diesen neuen Ideen begeistert waren. KAISCHEW bat sofort um die Zusendung eines Preprints, und Heinz BETHGE hatte sich seither regelmäßig nach dem Fortschritt der Arbeiten erkundigt und mir die Gelegenheit geboten, den Vätern der



Abb. 6 Die beiden Träger der Cothenius-Medaille der Leopoldina Heinz BETHGE und Rostislaw KAISCHEW im Oktober 1988 in der Tagungsstätte der Bulgarischen Akademie der Wissenschaften in Gjuletshitsa im Bulgarischen Rila-Gebirge.

Oberflächenphysik wie Ernst BAUER oder Gerhard ERTL, die er als Leopoldina-Präsident nach Halle holte, darüber zu berichten.

Ja, die Internationalität von Herrn BETHGE, sowohl gen Osten als auch nach Westen, hat meinen weiteren Werdegang stark geprägt.¹ Vermittelt durch Heinz BETHGE brachte ich 1990 – also noch vor Abschluss

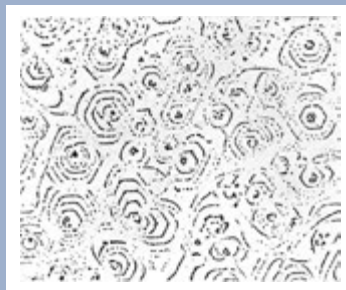


Abb. 7 1,0 μm \times 1,4 μm Golddekorationaufnahme von Silber-Wachstumshügeln auf der Silber(111)-Oberfläche (MEINEL et al. 1988).

¹ In diesem Beitrag wird hauptsächlich auf die internationalen Kontakte Herrn BETHGES auf dem Gebiet der Oberflächenwissenschaften eingegangen, seine Internationalität auf dem Gebiet der Elektronenmikroskopie wird im nachfolgenden Beitrag ausführlich gewürdigt.

der Promotion – einen Forschungsaufenthalt am Institut für Physik der Ukrainischen Akademie der Wissenschaften, bei Anton NAUMOVETS, der jetzt Vizepräsident dieser Akademie ist. Nach der Promotion 1992 (siehe Abb. 8) hat mir der aus Rumänien stammende George COMSA, der mit BETHGE im Beirat des Fritz-Haber-Instituts der Max-Planck-Gesellschaft (MPG) tätig war und mich auf spezielle Stipendien der Alexander-von-Humboldt-Stiftung zur Förderung ostdeutscher Wissenschaftler aufmerksam machte, einen Postdoc-Aufenthalt am Forschungszentrum Jülich ermöglicht. Dort war gerade der Elektronenbeugungsexperte Max LAGALLY aus Wisconsin, ein Verehrer von Heinz BETHGE, als Humboldt-Preisträ-

ger zu Gast. Dieser hatte mich ermuntert, mich um ein weiteres Stipendium zu bewerben. So wurde mir über ein Stipendium des Deutschen Akademischen Austauschdienstes (DAAD) 1993 der Weg in die USA gebahnt. Da ich offenbar an diesen Stationen mit – den am IFE erlernten – Fähigkeiten ordentlich etwas zustande gebracht habe, boten mir beide Direktoren des Max-Planck-Instituts (MPI) für Mikrostrukturphysik in Halle (eine der Nachfolgeeinrichtungen des IFE) eine weitere Postdoc-Stelle an. Jürgen KIRSCHNER war einen Tag schneller als Ulrich GÖSELE (1949–2009), und so befand ich mich zurück am Weinberg in Halle in der Abteilung KIRSCHNER. Meine damaligen Forschungsarbeiten verknüpften Halbleiternanostrukturen und Magnetismus, so dass daraus fast folgerichtig die erste gemeinsame Veröffentlichung dieser beiden Gründungsdirektoren des MPI für Mikrostrukturphysik entstand (SENZ et al. 1997).

Als ich nach fast 10 Jahren Wissenschaftsnomadentums das Angebot erhielt, an der Montanuniversität Leoben eine Rastersondenmikroskopiegruppe aufzubauen, haben mir alle zuvor erwähnten Mentoren zugeraten, diesen Schritt in die Steiermark an die „Bergakademie“ Österreichs zu wagen. Und auch hier hat mir der Name Heinz BETHGE Türen geöffnet. Er war nämlich befreundet mit Hein-Peter STÜWE (1930–2005), der im Jahr 1971 das Erich-Schmid-Institut für Metallforschung der Österreichischen Akademie der Wissenschaften in Leoben ganz nach dem Vorbild des IFE gegründet hatte, und der auch eine Zeit lang Rektor der Montanuniversität war. Heinz BETHGE war im Beirat dieses Instituts und hatte auch schon Leobener Kollegen in den 1980er Jahren nach Halle gebracht, so dass mir dieser Ort durchaus ein Begriff war. George COMSA riet mir: „Gehen Sie dahin, da können Sie in Ruhe Oberflächenphysik machen.“ Und BETHGE ergänzte, dass auch „die Landschaft und z. B. die Nähe nach Venedig nicht zu verachten seien“. An dieser kleinen,

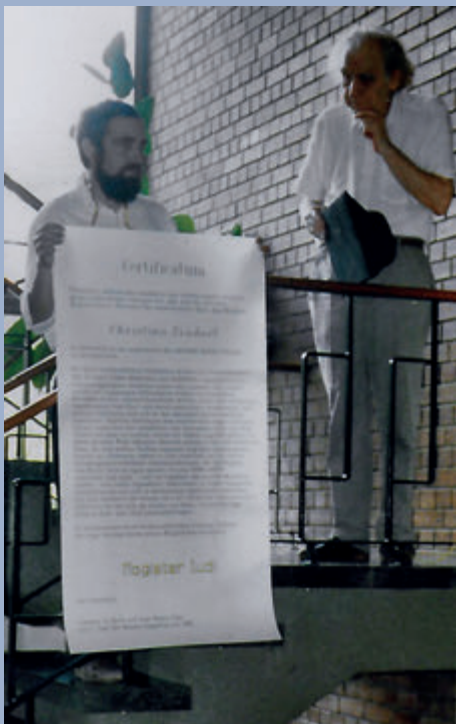


Abb. 8 Heinz BETHGE im damaligen Wissenschaftlergebäude des IFE bei der Promotionsfeier von C. TEICHERT, August 1992.

aber feinen *Alma Mater Leobensis* habe ich mich im Frühjahr 2001 für das Fach Materialphysik habilitiert. Als ich dieses Herrn BETHGE drei Wochen vor seinem Tode per Telefon mitteilte, antwortete er mit schwacher Stimme: „Na wenigstens einer hat es geschafft.“ Obwohl diese Bemerkung auf das ganze Institut bezogen nicht voll zutreffend war, klang darin schon seine Verbitterung über die gängige Praxis der Verdrängung ostdeutscher Wissenschaftler deutlich durch.

Kurz noch einmal zurück nach Leoben, wo ich seit nunmehr 22 Jahren forsche und lehre. Der Grund dafür, dass es dort in den Alpen eine Universität gibt, ist eine berühmte Eisenerzlagerstätte, der „Steirische Erzberg“, die immer noch abgebaut wird. Als vor ca. 12 Jahren der damalige Doktorand Gregor HLAWACEK (nach Postdoc-Aufenthalt an der Universität Twente in den Niederlanden inzwischen Experte für Heliumionenmikroskopie am Helmholtz-Zentrum Dresden-Rossendorf)

in organischen Dünnschichten mittels Rasterkraftmikroskopie die in Abbildung 9 gezeigten Wachstumshügel beobachtet hat, habe ich mich sofort an die Golddekorationsabbildungen erinnert, die die Gänge des IFE in Halle zierten (siehe Abb. 7). Basierend auf den Forschungsarbeiten meiner Dissertation in Halle, konnten wir so etwa 15 Jahre später in einer im renommierten Wissenschaftsjournal *Science* veröffentlichten Publikation erstmalig die sogenannte Ehrlich-Schwoebel-Barriere (EHRlich und HUDDA 1966, SCHWOEBEL und SHIPSEY 1966) in organischen Dünnschicht-Systemen nachweisen (HLAWACEK et al. 2008). In Anlehnung an den Steirischen Erzberg haben wir die resultierenden Wachstumshügel „Nanoerzberge“ getauft. Im Übrigen hat sich dabei auch bestätigt, dass das, was man in seiner Promotion erforscht hat (zumindest dann, wenn diese die Bethgeschen Kriterien erfüllen musste), nach wie vor am besten beherrscht.

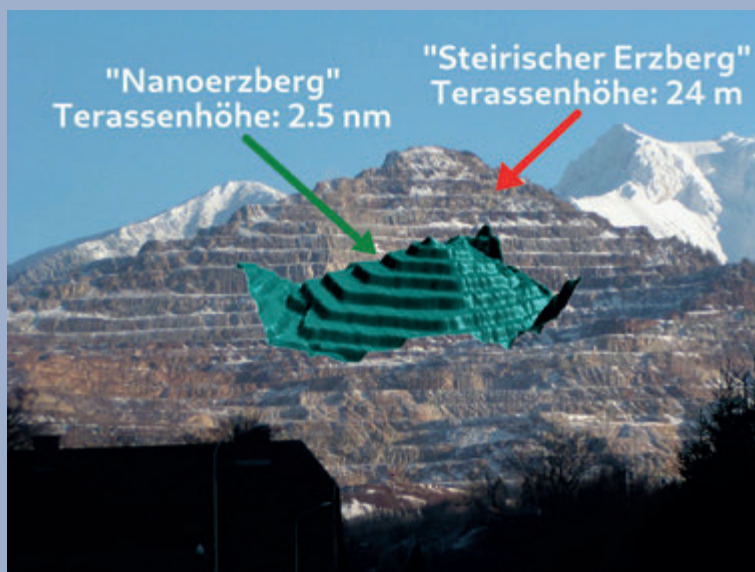


Abb. 9 $1,4 \mu\text{m} \times 1,4 \mu\text{m} \times 20 \text{ nm}$ -Rasterkraftmikroskopie-Aufnahme eines terrassierten Wachstumshügels einer organischen Dünnschicht im Vergleich zu dem 700 m hohen Steirischen Erzberg in Eisenerz, Österreich.

In den inzwischen mehr als zwei Jahrzehnten an der Montanuniversität Leoben war es mir über – insbesondere vom Österreichischen Akademischen Austauschdienst geförderte – bilaterale Projekte möglich, mehrere aus der Hallenser Zeit bestehende wissenschaftliche Kontakte aufzufrischen. Dazu gehörten Projekte mit Instituten der Ukrainischen Akademie der Wissenschaften sowie der Kiewer Nationalen Taras-Schewtschenko-Universität, alle vermittelt durch Anton NAUMOVETS. Weiterhin war es mir möglich, einige Projekte auch mit Kollegen vom *Centre Interdisciplinaire de Nanoscience de Marseille* (CINaM – CNRS) durchzuführen, wobei ich so auch den Institutsgründer, Raymond KERN (1928–2014), wiedertraf, der im Jahre 1988 vier Wochen auf Einladung von Heinz BETHGE am IFE zu Gast war. Mit KERNs Nachfolger Claude HENRY, der dazumal mit mehreren IFE-Mitarbeitern gemeinsam forschte, verbindet mich nun schon eine lange Freundschaft, und aus den Projekten mit diesem Institut sind inzwischen einige wichtige Publikationen hervorgegangen.

Ganz besonders freut es mich, dass ich aktuell in einem bilateralen Projekt mit Frau Professor Vessela TSAKOVA vom Institut für Physikalische Chemie der Bulgarischen Akademie der Wissenschaften zusammenarbeite. Vessela habe ich 1988 beim bereits erwähnten Workshop im Rila-Gebirge kennengelernt. Sie war kurz zuvor beim fast achtzigjährigen Rostislaw KAISCHEW promoviert worden. Sie, die schon damals perfekt Englisch und Deutsch sprach, hat über viele Jahre eine Ost-West-Konferenz zur Oberflächenwissenschaft in Bulgarien mitorganisiert. Vor einigen Jahren trafen wir uns im Rahmen eines Forums der Alexander-von-Humboldt-Stiftung wieder und fanden heraus, dass auch unsere

neuen Forschungsinteressen wieder eng beieinanderliegen. Bei der erstmaligen Ausschreibung von Bulgarisch-Österreichischen Forschungsprojekten im Jahre 2018 haben wir einen gemeinsamen Antrag eingereicht. Als ich ihr, der amtierenden Direktorin des inzwischen nach ihrem Doktorvater benannten Akademie-Instituts, im Sommer 2019 freudig von der Genehmigung des Projekts berichtete, antwortete sie mir: „Yes, you are right that this project builds a kind of a bridge over time and seems to bring us back to the starting point of our careers and to the spirit of our teachers. For me personally, I should say that my entire career was predetermined by what I have learned from Kaischew’s school not only in terms of science but in a much broader sense.“² Ich für meine Person kann auch die letzte Bemerkung identisch auf Heinz BETHGE und das IFE übertragen.

Nun lassen Sie mich bitte einige Bemerkungen zum Menschen Heinz BETHGE ausführen. Ich beginne mit seinem Führungsstil. Heinz BETHGE hat mit Klugheit und einer gewissen Schläue, mit Mut, aber auch mit Pragmatismus das IFE durch schwieriges Gewässer manövriert und dabei oft die Grenzen des Machbaren ausgelotet. Wie bereits erwähnt, war die Besatzung des „Schiffs“ handverlesen. So bot das Institut oft kritischen Geistern Unterschlupf. Dieter KATZER, einer der Mitorganisatoren der heutigen Festveranstaltung, wurde wegen Verweigerung der Mitarbeit in der Zivilverteidigung (ZV) an der Martin-Luther-Universität nach seiner Promotion nicht weiterbeschäftigt. Er fand seinen Platz am IFE. Allerdings war er schon verblüfft, als Herr BETHGE am Ende des Einstellungsgesprächs kurz erwähnte: „Übrigens, ab sofort sind Sie unser ZV-Verantwortlicher“, wohl wissend, dass von einer solchen Person in die-

2 „Du hast recht, dieses Projekt bildet eine Brücke über die Zeiten und scheint uns zurückzubringen zu unseren Startpunkten in der Wissenschaft und zum Geiste unserer Lehrer. Ich für meinen Teil kann feststellen, dass meine gesamte Karriere vorbestimmt wurde durch das, was ich von Kaischews Schule gelernt habe, nicht nur in Sachen Wissenschaft, sondern in einem viel breiteren Sinne.“ (Übersetzung: C. TEICHERT)

ser Funktion sicher nichts übertrieben wird. Das war Bethgescher Stil. Oder auch die bis zum Schluss durchgehaltene Praxis, dass die – auch an den Akademie-Instituten in der DDR obligatorische Jugendgruppe – am IFE immer von einem Parteilosen geleitet wurde. Damit befinden wir ehemaligen FDJ-Sekretäre des IFE uns übrigens in guter Gesellschaft mit einer prominent gewordenen Physikerin aus Berlin. Selbst der SED-Parteisekretär am IFE war ein ausgesuchter, grundehrlicher Mann, der von seinen festen Überzeugungen nie abrückte, aber durchaus andere Meinungen respektiert hat. Aufgrund seiner fachlichen Qualifikation war er bis zu seiner Pensionierung als Elektronenmikroskopiker an der Universität Münster tätig. Heinz BETHGE war klar, dass man nach seinem Ausscheiden

keinen parteilosen Institutsleiter mehr dulden würde. Um zu vermeiden, dass jemand von außen in das „Nest“ gesetzt wird, hat er einen seiner Schüler zum Eintritt in die Partei bewogen. Das ging dann doch schief, wie bekannt wurde. Aber er hat diejenigen, denen er einst vertraut hatte und die ihn dann doch enttäuschten, in der Wendezeit nicht völlig fallen gelassen. Und ich bin mir ziemlich sicher, dass der „Altchef“ den von einem Teil der ehemaligen IFE-Belegschaft verfassten Nachruf auf seinen Nachfolger Volker SCHMIDT auch mitunterzeichnet hätte.

Die Bescheidenheit und Zurückhaltung von Heinz BETHGE wurde schon eingangs deutlich. Eine Begebenheit möchte ich hierzu noch zum Besten geben. Nach der Rückkehr aus den USA ergab es sich, dass meine



Abb. 10 *Links*: Heinz BETHGE, XXIII. Präsident der Leopoldina, auf einem Gemälde von Ullrich BEWERSDORFF (1987, Ausschnitt). *Rechts*: Grabstein von Heinz BETHGE und seiner Gattin auf dem Stadtgottesacker in Halle (Saale).

Familie zufällig im Zentrum von Halle mit dem ehemaligen Universitätszeichenlehrer Ullrich BEWERSDORFF (1920–2008) Tür an Tür wohnte. Dieser hatte 1987 den nur unwesentlich älteren Heinz BETHGE für die Präsidentengalerie der Leopoldina porträtiert (siehe Abb. 10). Er erzählte mir, wie BETHGE bei der Präsentation seines Werkes das Gemälde aufmerksam betrachtete, und dann wortlos auf ihn zuing und ihn als Zeichen der Anerkennung fest umarmte.

Aber auch jeder große Mensch hat seine Laster, bei Heinz BETHGE war das eindeutig die nie verlöschende Pfeife. Als die Ärzte Alarm schlugen, versuchte er es ein paar Wochen lang mit Kaugummis, die dann unter dem Tisch seines Stammsplatzes im Seminarraum der Bibliothek klebten. Aber das hielt der ehemalige mitteldeutsche 3000 m-Meister leider nicht lange durch.

Eine letzte Episode soll Herrn BETHGE als weltoffenen Kulturförderer zeigen, eine Seite die mir zumindest nicht so bekannt war. Mitte der 1990er Jahre kam er mir eines Samstags auf der Brücke vor der Moritzburg entgegen. Dort wurde gerade im Innenhof vom Hallenser Bildhauer Bernd GÖBEL ein Modell des jetzigen Brunnens auf dem Hallmarkt der Öffentlichkeit präsentiert. BETHGES Kommentar zu den lautstarken Äußerungen einiger Eiferer in Anbetracht der unmissverständlich dargestellten „nackten Tatsachen“ war kurz und bündig: „Die spinnen ja.“ Mich verband mit dem Hallenser Bernd GÖBEL und einigen weiteren Mitstreitern unter der Leitung des unermüdlichen Peter DAHLMEIER der jahrelange, hartnäckige Kampf im Rahmen der Stiftung „Bauhütte Stadtgottesacker“ um die Rettung des jahrzehntelang vernachlässigten, einzigartigen Friedhofs in Halles Zentrum. Und da schließt sich wieder der Kreis: Als Ehrenbürger der Stadt Halle wurde Herr BETHGE auf dem inzwischen wieder voll nutzbaren Stadtgottesacker eine Grabstät-

te inmitten berühmter Söhne der Stadt von August Hermann FRANCKE (1663–1727) bis zu Christian THOMASIVS (1655–1728) zuteil. Wenn immer es die Zeit meiner kurzbemessenen Besuche in Halle erlaubt, stattete ich dem Grab von BETHGE einen Besuch ab, so auch im Oktober 2018 (siehe Abb. 10) gemeinsam mit meinem großartigen Diplomanden Kevin GRADWOHL, der jetzt am Institut für Kristallzüchtung in Berlin im Rahmen seiner Dissertation isotopenreine Germanium-Kristalle für den Nachweis des Neutrino-losen doppelten Beta-Zerfalls im Gran Sasso-Massiv in Italien wachsen lässt. Nicht ohne Grund spiegelt sich Kevin, der nun an vorderster Front in der Grundlagenforschung der „dunklen Materie“ auf der Spur ist, in dem in Abbildung 10 gezeigten Foto auf dem Grabstein von Heinz BETHGE und seiner Frau wider. Ich habe versucht, all das, was ich von der Bethgeschen Schule am IFE gelernt habe, wie Beharrlichkeit, Kreativität, Neugier und Vielseitigkeit der Interessen, an meine Studenten weiterzugeben. Bei Kevin, der der gleichen Generation wie Herrn BETHGES heute anwesender Enkelsohn – und bereits promovierter Physiker – angehört, ist mir das wohl besonders gut gelungen.

Schließen möchte ich mit Meinungen von internationalen Fachkollegen über Heinz BETHGE, welche diese mir in Vorbereitung des Vortrags übermittelt haben. Max G. LAGALLY, mein Postdoc-Betreuer von 1993 bis 1996 an der *University of Wisconsin* in Madison, Mitglied der Leopoldina seit 1999, schreibt: „Early in my studies on Surface Science I became aware of the magnificent work of Bethge on the decoration of atomic steps. I was finally able to meet Professor Bethge when I invited him to a NATO Workshop on ‚Kinetics of Ordering and Growth at Surfaces‘ in Italy 1989, which he was able to attend. I found a most charming and knowledgeable gentleman, one whose legacy will

live on long after we are all gone.“³ Matthias SCHEFFLER, Direktor des Fritz-Haber-Instituts (FHI) der Max-Planck-Gesellschaft in Berlin und Mitglied der Leopoldina seit 2017, erinnert sich: „Heinz Bethge war von 1986 bis 1990 im Fachbeirat des FHI. Das ist ein Gremium von Spitzenwissenschaftlern, das den Präsidenten der MPG beraten soll, ob das Institut seine Sache gut macht. Ich traf Heinz Bethge beim Treffen des Fachbeirats 1987. Ich wäre gerne am 22. 11. in Halle dabei, denn Heinz Bethge war ein Vorbild.“

Als Letztes noch ein Statement aus meiner neuen Heimat von meinem Grazer Kollegen, Ferdinand HOFER, der auch in Halle kein Unbekannter ist. Er leitet derzeit das bereits 1951 gegründete renommierte Forschungsinstitut für Elektronenmikroskopie (FELMI) an der Technischen Universität Graz in der Steiermark und bat mich Folgendes zu den Beziehungen des FELMI zu BETHGE und dem IFE zu berichten: „Professor Bethge war unter Grazer Elektronenmikroskopikern schon seit Beginn der sechziger Jahre sehr gut bekannt. Dies ist einerseits auf seine außergewöhnlichen und visionären Beiträge für die Entwicklung der Elektronenmikroskopie zurückzuführen, aber andererseits auch auf seine besonderen menschlichen Qualitäten. Der damalige Institutsleiter, Fritz Grasenick, war an Kooperationen mit Instituten der ehemaligen DDR sehr interessiert, es gab regen Austausch vor allem auch mit Mitarbeitern von Professor Bethge, und im Zuge dieser Kooperationen war Professor Bethge auch in Graz.“ In Abbildung 11 sieht man Heinz BETHGE bei seinem Besuch 1981



Abb. 11 Heinz BETHGE gemeinsam mit Elisabeth INGO-LIC und Fritz GRASENICK bei seinem Besuch 1981 am FELMI Graz.

in Graz zusammen mit Hofrat Fritz GRASENICK (1926–2003) und Dr. Elisabeth INGO-LIC, einer exzellenten Probenpräparatorin, mit der ich gleich zu Beginn meiner Zeit in Leoben einen gemeinsamen Artikel publizieren konnte.

Es ist beeindruckend zu erfahren, welche Wertschätzung Heinz BETHGE knapp 20 Jahre nach seinem Tode weltweit immer noch entgegengebracht wird. Ich hoffe, dass in Zukunft in Halle nicht nur sein Grab auf dem Stadtgottesacker und das Bild in der Präsidentengalerie der Leopoldina an ihn erinnern werden, sondern auch an seiner langjährigen Wirkungsstätte, dem Weinberg in Halle, seine Person und das von ihm gegründete IFE, das Vorgängerinstitut des jetzigen MPI für Mikrostrukturphysik, nicht in Vergessenheit geraten werden.⁴ Für meinen Teil versuche

3 „Frühzeitig in meinen Forschungsarbeiten auf dem Gebiet der Oberflächenwissenschaft wurde ich auf die großartige Arbeit Bethges zur Dekoration atomarer Stufen aufmerksam. Im Jahre 1989 war ich schließlich in der Lage, bei einem von mir organisierten NATO Workshop zur ‚Kinetik der Ordnung und des Wachstums auf Oberflächen‘ in Italien Professor Bethge auf meine Einladung hin, der er folgen konnte, zu treffen. Ich begegnete einem höchstcharmanten und sachkundigen Herren, dessen Vermächtnis weiterleben wird, auch wenn wir alle schon längst abgetreten sein werden.“ (Übersetzung: C. TEICHERT)

4 Der Autor war einigermaßen entsetzt, aus dem letzten Vortrag bei der Festveranstaltung zum 100. Geburtstag von Heinz BETHGE erfahren zu müssen, dass das alte Hauptgebäude des ehemaligen IFE in Kürze abgerissen werden soll.

ich weiterhin, den Namen meines Doktorvaters und den guten Geist der IFE-Familie in meiner internationalen Rastersondenmikroskopie-Gruppe an der Montanuniversität Leoben – sozusagen in dritter Generation – weiterleben zu lassen, einerseits in Form von Forschungsergebnissen auf dem Gebiet der Oberflächenphysik und Nanotechnologie sowie durch ein reges Gruppenleben,

z. B. durch ein jährliches „Sommerfest bei Teicherts am Teich“ mit allen aktuellen und ehemaligen Gruppenmitgliedern sowie deren Familien.

Ihnen allen, meine Damen und Herren, danke ich für die Aufmerksamkeit und schließe mit dem Steirischen Bergmannsgruß „Glückauf!“.

Dank

Mein Dank gilt den Mitarbeitern des IFE für den am Institut herrschenden – und immer noch nachwirkenden – guten Geist. Mein besonderer Dank gilt der Arbeitsgruppe von Manfred KLAUA, die mich vor 35 Jahren als Nesthäkchen aufgenommen und den Bethgeschen Geist an mich weitervererbt hat und seither – egal über welche Distanzen – engsten Kontakt zu mir gehalten hat. Für die Bewahrung und Bereitstellung von Fotos danke ich Wolfgang KELLER, Dieter KATZER, Christian AMMER, Peter WERNER, Klaus MEINEL (alle Halle), Wolfgang NEUMANN (Berlin), Armin ZANKEL (Graz) und Ivan MARKOV (Sofia). Für das Teilen von Erinnerungen sei Vessela TSAKOVA (Sofia), Claude HENRY (Marseille), Max LAGALLY (Madison), Matthias SCHEFFLER (Berlin) sowie Ferdinand HOFER (Graz) gedankt.

Literatur

- BETHGE, H., und HEYDENREICH, J. (Hrsg.): Elektronenmikroskopie in der Festkörperphysik. Berlin: VEB Deutscher Verlag der Wissenschaften 1982
- BETHGE, H., and HEYDENREICH, J. (Eds.): Electron Microscopy in Solid State Physics. Berlin: VEB Deutscher Verlag der Wissenschaften 1984
- BETHGE, H., and HEYDENREICH, J. (Eds.): Electron Microscopy in Solid State Physics. Materials Science Monographs 40. Amsterdam: Elsevier 1987
- EHRlich, G., and HUDDA, F. G.: Atomistic view of surface self-diffusion: tungsten on tungsten. *J. Chem. Phys.* 44, 1039–1049 (1966)
- HLAWACEK, G., PUSCHNIG, P., FRANK, P., WINKLER, A., AMBROSCH-DRAXL, C., and TEICHERT, C.: Characterization of step-edge barriers in organic thin-film growth. *Science* 321/5885, 108–111 (2008)
- KLAUA, M.: Electron microscopy investigations of surface diffusion and nucleation of Au on Ag(111) (in Russisch). *Rost Krist.* 11, 65–69 (1975)
- MEINEL, K., KLAUA, M., and BETHGE, H.: The influence of the substrate microtopography on the growth of thin films studied for the Au-Ag system by TEM and AES. *J. Cryst. Growth* 89/4, 447–458 (1988)
- SCHWOEBEL, R. L., and SHIPSEY, E. J.: Step motion on crystal surfaces. *J. Appl. Phys.* 37, 3682–3686 (1966)
- SENZ, S., GRAFF, A., TEICHERT, C., ZIMNOL, M., SIEBER, H., DE, S. K., OEPEN, H. P., HESSE, D., KIRSCHNER, J. and GÖSELE, U.: Reactive growth and properties of epitaxial Fe–Mg–O spinel films on (100) MgO. *Materials Research Society Symposium Proceedings* 474, 277–282 (1997)
- TEICHERT, C., AMMER, C., and KLAUA, M.: Step formation on the ion-bombarded Ag(100) surface studied by LEED and Monte Carlo simulations. *Physica Status Solidi (a)* 146/1, 223–242 (1994)

Univ.-Prof. Dr. Christian TEICHERT
Institut für Physik
Montanuniversität Leoben
Franz-Josef-Straße 18
A-8700 Leoben
Österreich
Tel.: +43 3842 4024663
Fax: +43 3842 4024602
E-Mail: teichert@unileoben.ac.at

Bethge und das Internationale Zentrum für Elektronenmikroskopie

Wolfgang NEUMANN (Berlin)

Liebe Familie SPINDLER,
sehr geehrter Herr Präsident HACKER, sehr geehrter Herr Vizepräsident BERG,
Magnifizenz,
liebe Stifter und Kuratoriumsmitglieder der Heinz-Bethge-Stiftung für angewandte
Elektronenmikroskopie,
liebe ehemalige Mitarbeiter des Instituts für Festkörperphysik und Elektronenmikroskopie,
meine Damen und Herren!

Es ist für mich eine große Ehre und Freude zugleich, dass ich auf der gemeinsamen Festveranstaltung der Nationalen Akademie der Wissenschaften Leopoldina und der Heinz-Bethge-Stiftung für angewandte Elektronenmikroskopie anlässlich des 100. Geburtstages von Prof. Dr. Dr. h. c. Heinz BETHGE in einem Vortrag das Wirken des Jubilars für das Internationale Zentrum für Elektronenmikroskopie in Halle würdigen darf. Heinz BETHGE hat die Deutsche Akademie der Naturforscher Leopoldina als ihr XXIII. Präsident von 1974 bis 1990 mit großem Geschick, mit List und Diplomatie durch schwierige Zeiten geführt. Anlässlich seines 75. Geburtstages am 15. November 1994 hat die Leopoldina den Geburtstagsband *Die Wellen schlagen hoch* herausgegeben (PARTHIER 1994), in welchem Geburtstagsbriefe von Mitgliedern der Leopoldina an den Jubilar veröffentlicht wurden. Der Physiker Victor C. WEISSKOPF schrieb in seinem Brief u. a.:

„Es war für mich immer eine Ehre und ein Vergnügen, mit Ihnen zusammen zu sein, um zu helfen, die Gemein-

de der Wissenschaftler zusammen zu halten. Sie waren ja ein sehr erfolgreicher Kämpfer für die Supernationalität der Wissenschaft, die keine ideologischen oder nationalen Grenzen anerkennt.“ (WEISSKOPF 1994.)

Diese Eigenschaft von Heinz BETHGE war es auch, die ihn bewog, mit einer Gründung des Internationalen Zentrums für Elektronenmikroskopie Wissenschaftlern aus den anderen sozialistischen Ländern Zugang zur sehr guten Geräteausstattung des halleischen Instituts zu ermöglichen. In meiner langjährigen Zugehörigkeit zum Institut für Festkörperphysik und Elektronenmikroskopie am halleischen Weinberg habe ich ihn als einen außergewöhnlichen Menschen und Wissenschaftler, der sich immer für seine Mitarbeiter einsetzte, kennen und schätzen gelernt. Das persönliche Markenzeichen von Heinz BETHGE beschreibt der Ehrenförderer der Leopoldina Hans ROTTA in seinem Geburtstagsbrief wie folgt:

„Lieber Heinz Bethge, / der Mann mit der Pfeife, so möchte ich Sie einordnen. Hierzu trat in unmittelbarem Zusammenhang Flying Dutchman, Ihr Pfeifentabak.“ (ROTTA 1994, Abb. 1.)

Der Mann mit der Pfeife hatte es auch auf die Seite 2 von *On the Beam* der Ausgabe der Tageszeitung des 9. Internationalen Kongresses für Elektronenmikroskopie in Toronto vom 9. August 1978 gebracht. Auf dem Kongress in Toronto wurde Heinz BETHGE auf der Generalversammlung der *International Federation of Societies for Microscopy* (IFSEM) von den Delegierten gemeinsam mit Hatsujiro HASHIMOTO (Japan) und Gérard T. SIMON (Kanada) in den Vorstand der IFSEM gewählt. Diese Zuwahl war eine internationale Wertschätzung von BETHGE und seinen wissenschaftlichen Arbeiten. Heinz BETHGE war nicht nur ein begnadeter Elektronenoptiker, der bereits in den Jahren von 1947 bis 1958 am Institut für Experimentelle Physik (Direktor: Prof. Dr. Wilhelm MESSERSCHMIDT)

an der Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg mehrere Elektronenmikroskope konstruiert und gebaut hatte. Er war auch ein hervorragender Festkörperphysiker, der mit diesen Elektronenmikroskopen die Realstruktur von kristallinen Materialien untersuchte. Sein besonderes Interesse galt dabei der Untersuchung von molekularen Prozessen auf der Kristalloberfläche, aber auch der Entstehung und Wirkung von Kristalldefekten im Festkörpervolumen.

Die wissenschaftlichen Beiträge von BETHGE auf dem 4. Internationalen Kongress für Elektronenmikroskopie 1958 in Berlin waren letztendlich der Kristallisationskeim für die Gründung eines Instituts für Elektronenmikroskopie in Halle (BETHGE 1960, BETHGE et al. 1960). Der Physikochemiker



Abb. 1 Hans ROTTA und Heinz BETHGE

Peter Adolf THIESSEN, Vorsitzender des Forschungsrates der DDR von 1957 bis 1965, war von den Arbeiten BETHGES so begeistert, dass er alle notwendigen Schritte für die Gründung eines solchen Instituts einleitete. Peter Adolf THIESSEN hatte selbst Elektronenbeugung an Kolloiden in Berlin-Dahlem am Kaiser-Wilhelm-Institut für physikalische Chemie und Elektrochemie, dessen Direktor er von 1935 bis 1945 war, durchgeführt.

Am 1. Januar 1960 wurde die Arbeitsstelle für Elektronenmikroskopie der Deutschen Akademie der Wissenschaften in Halle offiziell gegründet. Die Arbeit für Heinz BETHGE und seiner Mannschaft begann in einer ehemaligen Gaststätte am Weinberg. Bereits zwei Jahre später konnte man in einen Institutsneubau umziehen. Ab Januar 1968 gab es dann das Institut für Festkörperphysik und Elektronenmikroskopie (IFE) der Akademie der Wissenschaften der DDR. Von Beginn an wurde das Institut mit Geräten großzügig ausgestattet. Bereits 1960 wurde ein *Siemens Elmiskop* (Abb. 2) in Betrieb genommen. Dieses Gerät war damals das weltbeste und modernste Elektronenmikroskop, von welchem mehr als 1200 Stück weltweit verkauft wurden.

Zehn Jahre später wurde mit dem Bau eines Laborgebäudes und einer speziellen Halle für ein Höchstspannungs-Elektronenmikroskop begonnen (Abb. 3). Im Sommer 1971 wurde das japanische JEOL-JEM-Höchstspannungs-Elektronenmikroskop (HEM) (Abb. 4) mit einer Beschleunigungsspannung von 1 MeV feierlich eröffnet. Dieses Gerät war das erste 1 MeV-HEM in Deutschland und das zweite in Europa. Das erste 1 MeV-Gerät in Europa war ein Laborgerät, entwickelt von Gaston DUPOUY in Toulouse (Frankreich).

Das Gerät in Halle, das wohl mit einer Betriebsdauer von 32 Jahren am längsten betriebene Höchstspannungs-Elektronenmikroskop weltweit mit ca. 300 000 aufgenommenen HEM-Bildern, wurde 2003 im Rahmen eines



Abb. 2 Siemens-Elmiskop

Kolloquiums feierlich außer Betrieb gestellt. Vier Jahre nach Inbetriebnahme des HEM wurde mit dem JEOL JEM 100C das erste Hochauflösungs-Elektronenmikroskop mit einer Punktauflösung von 0,3 nm im IFE installiert (Abb. 5).

Neben den oben genannten Elektronenmikroskopen verfügte das Institut über ein breites Gerätespektrum zur Analyse von Kristalloberflächen. Neben Raster-Elektronenmikroskopen kamen Elektronenspiegel-Mikroskope und Emissions-Mikroskope für die Oberflächenanalyse zum Einsatz. Zur Materialanalyse wurden Verfahren wie energiedispersive und wellenlängendispersive Röntgenspektroskopie, Auger-Elektronenspektroskopie und Elektronenenergieverlust-Spektroskopie angewandt.



Abb. 3 Laborgebäude und HEM-Halle

Im Institut wurde breitgefächert angewandte Elektronenmikroskopie auf hohem Niveau betrieben, wie es weltweit nur in wenigen Instituten zu dieser Zeit geschah. Diese Tatsa-

che und nicht zuletzt die Initiativen und das diplomatische Geschick von Heinz BETHGE waren ausschlaggebend dafür, dass am 15. März 1975 am Institut für Festkörperphysik und Elektronenmikroskopie der Akademie der Wissenschaften der DDR in Halle das Internationale Zentrum für Elektronenmikroskopie gegründet wurde. Zum Zeitpunkt der Gründung existierten in den sozialistischen Ländern, die im Rat für gegenseitige Wirtschaftshilfe (RGW) verankert waren, bereits folgende vier physikalisch-mathematisch orientierten Wissenschaftszentren:

- Vereinigtes Institut für Kernforschung Dubna in der Sowjetunion,
- Internationales Laboratorium für starke Magnetfelder und tiefe Temperaturen Breslau (Wrocław) in Polen,
- Internationales Banach-Zentrum für Mathematik Warschau in Polen,
- Internationales Zentrum für Wärme- und Stoffaustausch Minsk in der Sowjetunion.



Abb. 4 JEOL JEM1000 HEM im IFE Halle

Diese vier Wissenschaftszentren werden auch nach dem Zerfall der sozialistischen Staaten unter den veränderten politischen Bedingungen in Russland, Polen und Weißrussland weiterhin betrieben.

Der im Gründungsvertrag aufgeführte offizielle Titel des Wissenschaftszentrums in Halle lautete: Internationales Zentrum der Akademien der Wissenschaften sozialistischer Länder zur Weiterbildung wissenschaftlicher Kader auf dem Gebiet der Elektronenmikroskopie. Durch die Anbindung des Zentrums an die jeweilige Akademie der Mitgliedsländer waren Entscheidungen über die Arbeit des Zentrums nicht von Ministerratsvorlagen und damit auch nicht von Ministerien für Wissenschaft und Technik der einzelnen Mitgliedsländer abhängig. Der Gründungsvertrag enthält 16 Artikel, in denen Struktur, Aufgaben und Ziele des Zentrums festgelegt sind. Ein wichtiger Artikel, die Arbeit des Zentrums betreffend, ist der Artikel 13: Offizielle Sprachen des Zentrums sind die Sprachen der Länder, deren Akademien der Wissenschaften am vorliegenden Vertrag beteiligt sind. Arbeitssprache ist Russisch. Erforderlichenfalls können auch andere Sprachen als Arbeitssprachen benutzt werden. Der letzte Satz des Artikels war eminent wichtig. Damit wurde vertraglich festgelegt, dass nicht nur in der Arbeitssprache Russisch, sondern auch in der Wissenschaftssprache Englisch Vorträge erlaubt waren.

Mitgliedsländer des Internationalen Zentrums für Elektronenmikroskopie am IFE in Halle waren: Bulgarien, DDR, Polen, Sowjetunion, Tschechoslowakei und Ungarn. Rumänien konnte nicht offizielles Mitglied des Zentrums werden, da dort keine Akademie der Wissenschaften existierte und die wissenschaftliche Arbeit über ein Nationalkomitee organisiert wurde. An den Weiterbildungsveranstaltungen des Zentrums nahmen jedoch auch rumänische Wissenschaftler teil.



Abb. 5 Hochauflösungs-Elektronenmikroskop JEOL JEM 100C

Direktor des Internationalen Zentrums für Elektronenmikroskopie war von der Gründung bis zum April 1985 Heinz BETHGE. Ihm zur Seite stand der Wissenschaftliche Rat, in dem jedes Land durch zwei Mitglieder vertreten war. Auf der jährlichen Sitzung des Rates wurden die Arbeitspläne für gemeinsame Forschungsarbeiten und die Programme für die Weiterbildungsveranstaltungen des Zentrums erarbeitet und beschlossen. Die materiellen und finanziellen Mittel für das Zentrum wurden vom IFE Halle und von der Akademie der Wissenschaften der DDR getragen. Ein Gruppenfoto des Wissenschaftlichen Rates nach einer Arbeitssitzung im Jahre 1979 zeigt Abbildung 6. In der hinteren Reihe sitzen (von links nach rechts): Gerhard KÄSTNER, Johannes HEYDENREICH (beide IFE Halle), Jaroslav SCHILDER (Gruppe Elektronenmikroskopie, Elektrotechnisches Institut, Bratislava), László MALICSKÓ (For-

schungsgruppe Kristallzüchtung, Budapest), Vladimir Nicolaevič ROZHANSKI (Institut für Kristallographie, Moskau), Julian AULEYTNER (Institut für Physik, Warschau), Cheslav Vladimirovič KOPETZKI (Institut für Festkörperphysik, Chernogolovka), Péter BARNA (Forschungsinstitut für Technische Physik, Budapest), Nikolai PASCHOFF (Institut für Festkörperphysik, Sofia), das Ehepaar BARANIAK. Hartwig BARANIAK war der Sekretär des Internationalen Zentrums, der neben organisatorischen Aufgaben für die Anfertigung des Ratsprotokolls in der Arbeitssprache Russisch verantwortlich war. Seine Frau Johanna war für die finanztechnischen Fragen des Zentrums zuständig. In der vorderen Reihe sitzen Armin DELONG (Institut für Wissenschaftlichen Gerätebau, Brno), Heinz BETHGE (IFE Halle), Frau AULEYTNER und Miko MARINOV (Institut für Physikalische Chemie, Sofia).

Von Beginn an unterhielt das halleische Institut eine enge wissenschaftliche Zusammenarbeit mit dem Institut für Physikalische Chemie in Sofia (Direktor: Rostislav KAISCHEW), dem Institut für Kristallographie in Moskau (Direktor: Boris Konstantinovič VAINSHTEIN) und dem Institut für Wissenschaftlichen Gerätebau in Brno (Direktor: Armin DELONG). So ist es verständlich, dass

diese Einrichtungen auch im Wissenschaftlichen Rat jeweils durch ein Mitglied vertreten waren. Aber auch für die Ratsmitglieder Nikolai PASCHOFF und László MALICKÓ war das Bethge-Institut kein Neuland. Nikolai PASCHOFF war 1961/1962 der erste Gastwissenschaftler an der Arbeitsstelle für Elektronenmikroskopie in Halle. Ebenso weilte auch László MALICKÓ bereits Mitte der 1960er Jahre zu einem längeren Arbeitsaufenthalt in Halle, wo er seine Dissertation zum Thema „Untersuchungen über die Realstruktur von in Lösungen gezüchteten KCl-Kristallen“ anfertigte, die er 1967 an der Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg verteidigte (MALICKÓ 1967).

Das Internationale Zentrum organisierte jährlich zwei Weiterbildungsveranstaltungen (Frühjahrs- und Herbstschulen), an denen ca. 60 bis 80 Wissenschaftler teilnahmen. Der Anteil der ausländischen Gäste lag durchschnittlich bei 50%. Zusätzlich zum Vorlesungsprogramm wurden Demonstrationen und praktische Übungen an Geräten angeboten. Bei einigen Schulen wurde der in den Vorlesungen gebotene Stoff durch theoretische Übungen vertieft. Die Teilnehmer erhielten am Ende der Übungen die Lösungsblätter und konnten so den Stand ihres Wissens überprüfen. Die Durchführung der



Abb. 6 Wissenschaftlicher Rat 1979

Schulen bedeutete einen erheblichen Mehraufwand für die vom IFE daran beteiligten Mitarbeiter. Die zum Zeitpunkt der Zentrumsgründung hervorragende Ausstattung des Instituts mit leistungsstarken Elektronenmikroskopen hatte zur Folge, dass sehr viele Wissenschaftler aus den Mitgliedsländern an einem Arbeitsaufenthalt zur Durchführung gemeinsamer Forschungsarbeiten bzw. zur Weiterbildung interessiert waren. So war es nicht verwunderlich, dass im Jahr ca. 40 bis 50 ausländische Wissenschaftler zu einem mehrwöchentlichen bzw. mehrmonatlichen Arbeitsaufenthalt in Halle weilten. Das vorhandene Gästehaus des Instituts – ein größeres villenartiges Gebäude in der Ernst-Grube-Straße in Institutsnähe – reichte für den Gästeansturm nicht aus. Es war wieder einmal der Hartnäckigkeit und dem Verhandlungsgeschick BETHGES zu verdanken, dass bereits 1977/1978 auf dem Instituts Gelände ein Wissenschaftlergebäude entstand (Abb. 7), das für Gastwissenschaftler als auch für vorwiegend theoretisch arbeitende Wissenschaftler des IFE Arbeitsplätze enthielt und während der Schulen als Gästeunterkunft genutzt wurde.

Mit der umfangreichen und dem Entwicklungsstand der Technik entsprechenden Geräteausrüstung des IFE und nicht zuletzt durch das in den Arbeitsgruppen vorhandene breitgefächerte experimentelle und theoretische Wissen konnte in den Weiterbildungsveranstaltungen nahezu das Gesamtgebiet der Elektronenmikroskopie abgedeckt werden. Den wohl umfassendsten Überblick über die langjährige erfolgreiche Forschungsarbeit des IFE liefert das Buch *Elektronenmikroskopie in der Festkörperphysik* (BETHGE und HEYDENREICH 1982), in welchem von 30 Mitarbeitern des Instituts das wissenschaftliche Spektrum der elektronenmikroskopischen Untersuchungsverfahren und deren Anwendung in der Festkörperphysik und Werkstoffforschung in 20 Kapiteln und 2 Anhängen ausführlich dargestellt wurde. Eine revidierte und erweiterte Fassung des Buches erschien in englischer Sprache 1987 (BETHGE und HEYDENREICH 1987). In den Frühjahrs- und Herbstschulen wurden die Möglichkeiten und Grenzen folgender elektronenmikroskopischer Untersuchungsverfahren ausführlich behandelt:



Abb. 7 Wissenschaftlergebäude und Gästehaus

- Transmissions-Elektronenmikroskopie;
- Hochauflösungs-Elektronenmikroskopie;
- Höchstspannungs-Elektronenmikroskopie;
- Oberflächen-Elektronenmikroskopie (Raster-Elektronenmikroskopie, Emissions-Elektronenmikroskopie, Spiegel-Elektronenmikroskopie);
- Analytische Elektronenmikroskopie (Raster-Transmissions-Elektronenmikroskopie, Röntgenspektroskopie, Elektronenenergieverlust-Spektroskopie, Auger-Elektronenspektroskopie, energiegefilterte Transmissions-Elektronenmikroskopie);
- Methoden der Elektronenbeugung.

Weitere Schulen, die der Vermittlung wichtiger elektronenmikroskopischer Grundkenntnisse dienten, beinhalteten die Themen Bildverarbeitung und Bildinterpretation, Computersimulation elektronenmikroskopischer Abbildungen, Abbildung von Kristalldefekten und Defektanalyse, indirekte Oberflächenabbildung durch Abdruck- und Dekorationstechnik und die so eminent wichtigen Verfahren und Techniken zur Probenpräparation. Ein wesentliches Anliegen des Internationalen Zentrums war es aber auch, den aktuellen Stand der Einsatzmöglichkeiten der Elektronenmikroskopie in der Festkörperphysik und den Materialwissenschaften in den Weiterbildungsveranstaltungen aufzuzeigen. Dabei wurden folgende Themen bzw. Materialklassen ausführlich behandelt:

- Plastizität und Bruch von Materialien;
- Ionenkristalle, Keramiken und Gläser;
- Amorphe Materialien;
- Grenzflächen;
- Schichten und Schichtsysteme;
- Kleine Teilchen;
- Metall-Cluster;
- Katalysatoren und nanostrukturierte Materialien.

In den Schulen zur elektronenmikroskopischen Untersuchung von Hochleistungshalbleitern und Halbleiterbauelementen für die Mikro- und Optoelektronik wurde gezeigt, welches unverzichtbare Potential die Elektronenmikroskopie für die Entwicklung neuer Bauelemente besitzt.

Die Herbstschule im Oktober 1975 war die erste Weiterbildungsveranstaltung des Internationalen Zentrums zum Thema „Transmissions-Elektronenmikroskopie kristalliner Objekte“, bei der die Grundlagen und Anwendungen der Methode des Beugungs- kontrastes zur Abbildung und Analyse von Kristallbaufehlern vermittelt wurden. In der Frühjahrsschule 1976 „Elektronenmikroskopische Direktbeobachtung von Oberflächen“ wurden die Möglichkeiten und Grenzen der Raster-, Emissions- und Spiegel-Elektronenmikroskopie zur Abbildung und Analyse von Oberflächen behandelt. Die Abbildung 8 zeigt (*von links nach rechts*) ein Raster-Elektronenmikroskop der Firma JEOL, ein Emissionsmikroskop (Elektronenoptische Anlage EF6) der Firma Carl Zeiss Jena und ein Spiegel-Elektronenmikroskop, Geräte die im IFE für die Oberflächenanalytik verwendet wurden. Heinz BETHGE hatte über viele Jahre Erfahrungen in der Konstruktion von Emissionsmikroskopen gesammelt. So ist es nicht verwunderlich, dass Konstruktionsideen von BETHGE sich im Zeiss-Mikroskop wiederfinden. Das Spiegel-Elektronenmikroskop wurde von Johannes HEYDENREICH konstruiert und in der Werkstatt des IFE gebaut. Die in Halle durchgeführten Arbeiten auf dem Gebiet der Spiegel-Elektronenmikroskopie gehörten viele Jahre zu den führenden in der Welt, was in zahlreichen eingeladenen Vorträgen auf internationalen Tagungen und eingeladenen Übersichtsartikeln zum Ausdruck kam. Beispiele hierfür sind die Übersichtsarbeiten *Practise of Mirror Electron Microscopy* (BETHGE und HEYDENREICH 1971) und *Mirror Electron Microscopy* (GODEHARDT 1995).

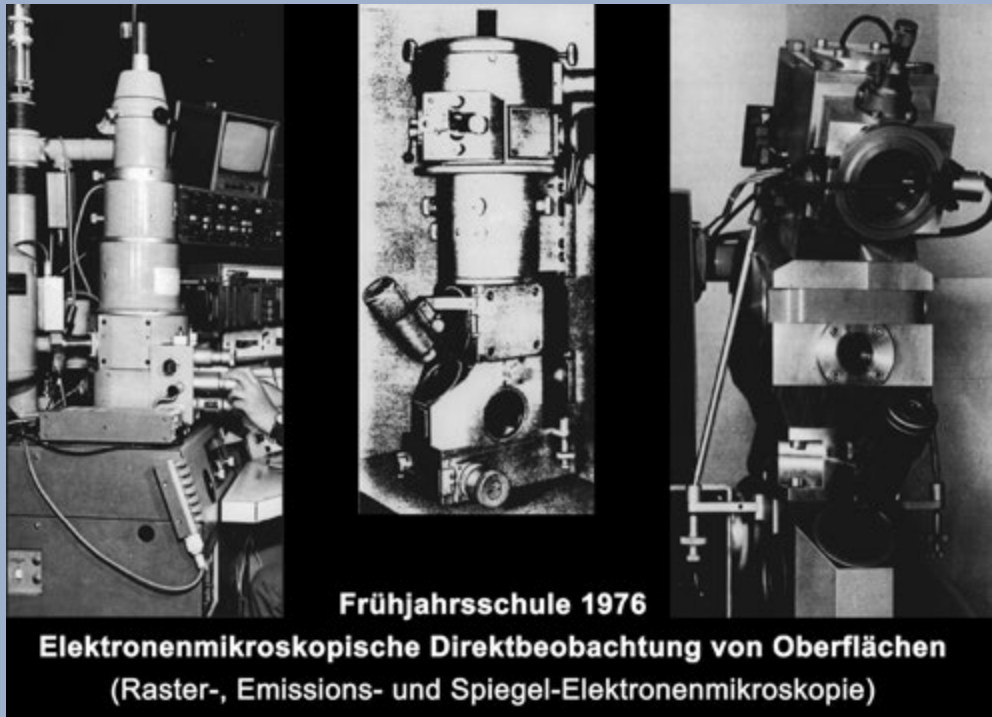


Abb. 8 Frühjahrsschule 1976 „Elektronenmikroskopische Direktbeobachtung von Oberflächen“

Neben den direkten elektronenoptischen Methoden zur Oberflächenabbildung war es vor allem das von G. Alan BASSETT erstmals angewandte Verfahren der Golddekoration (BASSETT 1958), welches von BETHGE und Mitarbeitern sehr erfolgreich zur Untersuchung molekularer Prozesse auf Kristalloberflächen angewandt wurde (BETHGE und KELLER 1960, BETHGE 1962a, b, BETHGE et al. 1987, KELLER und HÖCHE 1987). Der Wissensstand über dieses indirekte Verfahren der Oberflächenabbildung wurde in der Herbstschule 1976 zum Thema „Probleme und Methoden der Oberflächendekoration“ vermittelt. Eine typische Dekorationsstruktur einer NaCl-Oberfläche mit Abdampfspiralen zeigt Abbildung 9.

Die Herbstschule 1977 war die erste Weiterbildungsveranstaltung des Zentrums, auf welcher die Grundlagen zur Interpretation von elektronenmikroskopischen Abbildungen mittels Computersimulation umfassend behandelt wurden. Ein Foto der Teilnehmer an dieser Schule zeigt Abbildung 10. Die Teilnehmer in der ersten Reihe sind (von links nach rechts): Dietrich SCHULZE (Dresden), Heinz BETHGE (Halle), Vladimir Nicolaevič ROZHANSKI (Moskau), Johannes HEYDENREICH (Halle), Vladimir Lvovič INDENBOM (Moskau) und Tadeusz WARMINSKI (Warschau).

Die Schulen des Internationalen Zentrums fanden in einem Vortragsraum unseres Nachbarinstituts am Weinberg, dem Institut für Biochemie der Pflanzen der Akademie

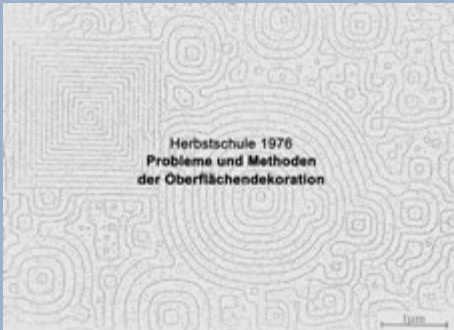


Abb. 9 Dekorationsstruktur einer NaCl (100)-Oberfläche

der Wissenschaften der DDR, statt. Zusätzlich zum wissenschaftlichen Programm gab es eine Halbtagesexkursion zu interessanten historischen und kulturellen Stätten in der Umgebung von Halle. Beliebte Ausflugsziele waren die Saale-Unstrut-Region mit ihren Burgen, Schlössern und Kirchen, die Wirkungsstätten von GOETHE und SCHILLER in Weimar und Jena, aber auch Orte im Harz wie Stolberg und Wernigerode. Ein stets geselliger Abschlussabend in Halle diente nicht nur dem wissenschaftlichen Erfahrungsaustausch, sondern auch dem Knüpfen und Ver-

tiefen von persönlichen Kontakten zwischen den Teilnehmern.

Im Frühjahr 1979 fand das internationale Symposium „*In-situ*-Höchstspannungs-Elektronenmikroskopie auf dem Gebiet der Plastizität und anderen Gebieten der Werkstoffforschung“ statt, an welchem 90 Wissenschaftler aus 14 Ländern teilnahmen. In insgesamt 42 Vorträgen wurden folgende Schwerpunkte behandelt:

- Allgemeine Aspekte der *In-situ*-Höchstspannungs-Elektronenmikroskopie;
- Geräteausstattung (Probenhalter für *In-situ*-Verformung, Bildaufzeichnung);
- Untersuchungen zur Festigkeit von Metallen;
- Untersuchungen zur Festigkeit von Ionenkristallen, kovalenten Kristallen, Polymeren und Gläsern;
- nicht mechanische Probenbehandlung (thermische Behandlung, Bestrahlung).

Ein Gruppenfoto der Teilnehmer zeigt Abbildung 11.

An diesem Symposium waren nahezu alle Forschungsgruppen vertreten, die Höchstspannungs-Elektronenmikroskopie betrieben. Die Teilnehmer in der ersten Rei-



Abb. 10 Teilnehmer der Herbstschule 1977



Abb. 11 Teilnehmer des internationalen Symposiums „In-situ-Höchstspannungs-Elektronenmikroskopie auf dem Gebiet der Plastizität und anderen Gebieten der Werkstoffforschung“ (1979)

he (von links nach rechts) sind: Michael J. GORINGE (London), Gerhard KÄSTNER (Halle), Peter R. SWANN (Pittsburgh), Michio KIRITANI (Osaka), Péter BARNA (Budapest), Vernon Elliot COSSLETT (Cambridge), Mike LORETTO (Birmingham), Heinz BETHGE (Halle), Vladimir Nicolaevič ROZHANSKI (Moskau), Julian AULEYNER (Warschau), Hiroyasu SAKA (Nagoya), Ladislav B. KUBIN (Toulouse), Elmar ZEITLER (Berlin), Mikhail Mikhailovič MYSHLAEV (Chernogolovka) und Ulrich MESSERSCHMIDT (Halle).

Ein besonderer Höhepunkt des Jahres 1979 war zweifelsohne der 60. Geburtstag von Heinz BETHGE am 15. November, an welchem die IFE-Mannschaft ihren Chef beim Eintreffen im Institut mit einem launigen Geburtstagsprogramm überraschte. Abbildung 12 zeigt einen entspannten und gut gelaunten Chef bei seiner Dankesrede.

Auch der 65. Geburtstag im Jahre 1984 wurde im Institut groß gefeiert. Aber es war auch etwas Wehmut zu spüren, denn zum Ende des Jahres 1984 endete die Amtszeit von Heinz BETHGE als Direktor des Instituts für Festkörperphysik und Elektronenmi-

roskopie. Rechtzeitig zum 65. Geburtstag erschien der von Mitarbeitern des IFE verfasste Band *Bildinterpretation in der Hochauflösungs-Elektronenmikroskopie* (HILLEBRAND et al. 1984) in den Beiträgen zur Forschungstechnologie im Akademie-Verlag Berlin, der Heinz BETHGE gewidmet ist. Im Vorwort schreiben die Herausgeber dieser Schriftenreihe u. a. folgendes:

„Die Herausgeber freuen sich, Professor Bethge diesen Band zu seinem Jubiläum zueignen zu können. Der Tabaksqualm, göttlicher Odem des Pan, holder Beschwinger der Träume, sei ihm weiterhin zu Diensten bei Meditationen über die Elektronenmikroskopie in der Festkörperphysik.“

Heinz BETHGE hat das Internationale Zentrum für Elektronenmikroskopie von der Gründung im Jahre 1975 bis zur Sitzung des Wissenschaftlichen Rates im April 1985 geleitet. Nachfolger als Direktor des Zentrums wurde Johannes HEYDENREICH (Abb. 13), der seit der Gründung des Zentrums dem Wissenschaftlichen Rat angehörte und durch seine engagierte Arbeit wesentlich zum Erfolg des Zentrums beigetragen hat. Johannes HEYDENREICH war von 1962 bis



Abb. 12 Heinz BETHGE bei seiner Dankesrede an seinem 60. Geburtstag im Foyer des Hauptgebäudes des IFE (1979)

1991 stellvertretender Direktor des IFE. Es war wohl die ideale, sich ergänzende wissenschaftliche Symbiose „BETHGE – HEYDENREICH“, welche die Voraussetzungen schaffte, dass aus der Arbeitsstelle für Elektronenmikroskopie ein gleichermaßen in Ost und West international anerkanntes Institut für Festkörperphysik und Elektronenmikroskopie wurde. Treffender als Tom MULVEY von der Aston-Universität in Birmingham, der häufiger Gast am Institut war, dieses Wechselverhältnis einmal ausgedrückt hat, kann man es wohl kaum sagen:

„Johannes Heydenreich war der ideale Gegenpart zu Heinz Bethge. Beide waren gleicher Gesinnung. Physiker, die nach hervorragenden Leistungen in der Physik strebten. Bethge mehr offenerherzig, ja unverblümt, Heydenreich mehr diplomatisch. Aber keiner von beiden verspielte die persönliche Integrität in einem politischen System, welches oft Loyalität zur Partei über wissenschaftliche Leistung setzte.“ (MULVEY 1995)

Im Oktober 1989 führte das Internationale Zentrum ein weiteres Symposium mit breiter internationaler Beteiligung in Holzgau im Erzgebirge in einem Tagungshotel der Akademie der Wissenschaften zum Thema „Elektronenmikroskopie zur Untersuchung von Plastizität und Bruch in Werkstoffen“ durch, an dem ca. 100 Wissenschaftler teil-

nahmen. Folgende Schwerpunkte wurden während des Symposiums behandelt:

- Verformung von Nichteisenmetallen und Legierungen,
- Mikrostruktur und Verformung von Stählen,
- Verformung von Ionenkristallen und Halbleitern,
- Mikrostruktur und mechanisches Verhalten von Keramiken,
- Hochtemperaturverformung und Erholung,
- Ermüdung,
- Bruch,
- Eigenschaften und Wechselwirkung von Kristalldefekten.

Der zugehörige Tagungsband mit 16 Übersichtsvorträgen und 46 Originalbeiträgen erschien 1990 im Akademie-Verlag in der Serie *Physical Research* (MESSERSCHMIDT et al. 1990).

Mit der politischen Wende in der DDR, die zur deutschen Wiedervereinigung führte, eröffnete sich die Möglichkeit, das Zentrum zu einem Internationalen Zentrum ohne Ost-West-Begrenzung zu erweitern. Bereits auf der Tagung des Wissenschaftlichen Rates im April 1990, also noch vor der Wiedervereinigung, wurde vorgeschlagen, das Zentrum nach Westeuropa hin zu öffnen. Ein erster Schritt sollte die Aufnahme von zwei ausgewiesenen Elektronenmikroskopikern aus der Bundesrepublik Deutschland in den Wissenschaftlichen Rat sein. Nach der Wiedervereinigung waren Manfred RÜHLE (Max-Planck-Institut für Metallforschung Stuttgart) und Knut URBAN (Institut für Festkörperforschung, Forschungszentrum Jülich) die ersten Wissenschaftler aus den alten Bundesländern, die dem Wissenschaftlichen Rat angehörten. Gemäß Artikel 38 des Einigungsvertrages wurden alle Institute der Akademie der Wissenschaften der DDR zum 31. 12. 1991 aufgelöst. Die Herbstschule 1991 zum Thema „Hochauflösungs-Elektro-

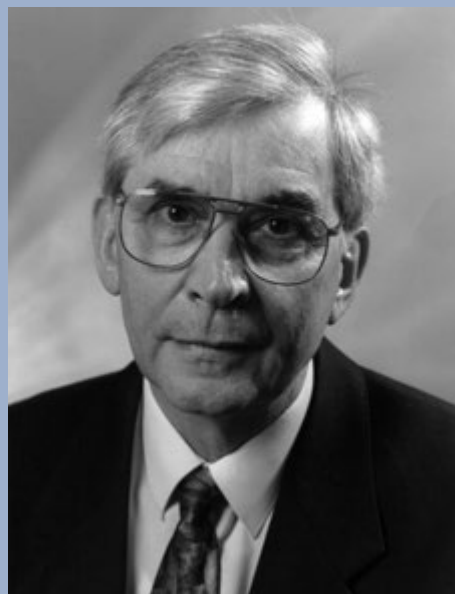


Abb. 13 Prof. Dr. Dr. h. c. Johannes HEYDENREICH

nenmikroskopie – Grundlagen und Anwendungen“ war die letzte Weiterbildungsveranstaltung, die am Institut für Festkörperphysik und Elektronenmikroskopie veranstaltet wurde. Sie war zwar die letzte Schule am IFE, aber gleichzeitig auch die erste, auf der es keine Ost-West-Begrenzung für Vortragende und Teilnehmer gab. Die Schule wurde von 100 Wissenschaftlern aus 12 Ländern besucht. Die Beiträge der Schule wurden in einem Tagungsband veröffentlicht (HEYDENREICH und NEUMANN 1991).

Von 1975 bis 1990 hat das Internationale Zentrum am IFE 14 Frühjahrs- und 15 Herbstschulen veranstaltet. Insgesamt haben 1929 Wissenschaftler teilgenommen, die Anzahl der Teilnehmer aus den sozialistischen Ländern betrug 1001. Auf den 29 Weiterbildungsveranstaltungen wurden insgesamt 756 Vorträge gehalten, davon entfielen 380 Vorträge auf ausländische Gäste. Eine Übersicht über die Themen der Schulen enthält Tabelle 1.

Tab. 1 Übersicht über die durchgeführten Weiterbildungsveranstaltungen (FS – Frühjahrsschule, HS – Herbstschule) des Internationalen Zentrums für Elektronenmikroskopie am Institut für Festkörperphysik und Elektronenmikroskopie (IFE) der Akademie der Wissenschaften der DDR von 1975 bis 1991

Jahr	Veranstaltung	Thema
1975	HS	Transmissions-Elektronenmikroskopie kristalliner Objekte Teil I
1976	FS	Elektronenmikroskopische Direktbeobachtung von Oberflächen (Raster-, Emissions- und Spiegel-Elektronenmikroskopie)
1977	HS	Probleme und Methoden der Oberflächendekoration
	FS	Abbildung von Kristalldefekten mit Hilfe des elektronenmikroskopischen Beugungskontrastes
1978	HS	Transmissions-Elektronenmikroskopie kristalliner Objekte Teil II (Computersimulation elektronenmikroskopischer Abbildungen)
	FS	Elektronenoptische Untersuchungsmethoden in der Mikroelektronik
1979	HS	Physikalische Grundlagen der Oberflächen-Rasterelektronenmikroskopie
	IS	Internationales Symposium <i>In-situ</i> -Höchstspannungs-Elektronenmikroskopie auf dem Gebiet der Plastizität und anderen Gebieten der Werkstoffforschung
1980	HS	Hochauflösungs-Elektronenmikroskopie
	FS	Grundlagen der Bildentstehung und Bildinterpretation in der Transmissions-Elektronenmikroskopie
1981	HS	Grundlagen und Anwendung der Oberflächenanalytik
	FS	Elektronenmikroskopie und Elektronenbeugung amorpher und teilkristalliner Objekte
1982	HS	Anwendung der Elektronenmikroskopie für Grenzflächenuntersuchungen
	FS	Rasterelektronenmikroskopie – Grundlagen und Anwendung in der Mikroelektronik
1983	HS	Elektronenoptische Methoden in der Oberflächenanalytik
	FS	Bildverarbeitung und Bildmodellierung in der Elektronenmikroskopie
1984	HS	Defekte in Ionenkristallen, Keramiken und Gläsern
	FS	Elektronenoptische Untersuchung von Bruch- und Rissbildungsprozessen in Festkörpern
1985	HS	Anwendung elektronenoptischer Untersuchungsmethoden in der Mikroelektronik
	FS	Stand und Perspektiven der Höchstspannungs-Elektronenmikroskopie
1986	HS	Analytische Elektronenmikroskopie
	FS	Grundlagen und Anwendung der Methoden der Elektronenbeugung
1987	HS	Anwendung elektronenoptischer Verfahren zur Untersuchung von Materialien und Bauelementen der Mikroelektronik
	FS	Moderne Techniken der Präparation elektronenmikroskopischer Proben für die Werkstoffforschung
1988	HS	Elektronenmikroskopie dünner Schichten und Schichtsysteme
	FS	Gegenwärtiger Stand der Transmissions-Elektronenmikroskopie
1989	HS	Elektronenmikroskopie von Keramiken, Gläsern und Polymeren
	FS	Elektronenmikroskopie kleiner Teilchen
1990	IS	Internationales Symposium Elektronenmikroskopie zur Untersuchung von Plastizität und Bruch
	FS	Rasterelektronenmikroskopie: Stand und Perspektiven
1991	HS	Möglichkeiten und Grenzen der Elektronenbeugung
	HS	Hochauflösungs-Elektronenmikroskopie: Grundlagen und Anwendungen

Die äußerst positive Evaluierung des Instituts für Festkörperphysik und Elektronenmikroskopie durch den Wissenschaftsrat führte dazu, dass ein Teil dieses Instituts in das *Max-Planck-Institut (MPI) für Mikrostrukturphysik* überführt wurde, welches als erstes Institut der Max-Planck-Gesellschaft in den neuen Bundesländern gegründet und am 9. Januar 1992 feierlich eröffnet wurde. Johan-

nes HEYDENREICH war von 1992 bis zu seiner Emeritierung im Jahre 1995 Geschäftsführender Direktor des MPI für Mikrostrukturphysik. Die Max-Planck-Gesellschaft bewilligte finanzielle Mittel für das Zentrum, so dass bis 1995 je eine Herbstschule pro Jahr durchgeführt werden konnte. Die Themen der Herbstschulen sind in Tabelle 2 aufgeführt.

Tab. 2 Übersicht über die Herbstschulen am Max-Planck-Institut für Mikrostrukturphysik Halle von 1992 bis 1995

Jahr	Veranstaltung	Thema
1992	HS	Bildinterpretation und Bildverarbeitung in der Elektronenmikroskopie
1993	HS	Analytische Transmissions-Elektronenmikroskopie – Grundlagen und Techniken
1994	HS	Elektronenmikroskopie von Grenzen und Interfaces in der Werkstoffwissenschaft
1995	HS	<i>In-situ</i> -Elektronenmikroskopie in der Materialforschung: Gegenwärtiger Stand und zukünftige Perspektiven

Die Beiträge der Herbstschulen 1992 bis 1994 wurden ebenso wie die Beiträge der Herbstschule 1991 in Tagungsbänden veröffentlicht (HEYDENREICH und NEUMANN 1992, 1993, 1994). Im Jahre 1996 fand keine Veranstaltung des Zentrums statt. Das Zentrum wurde umstrukturiert und seitdem als *Internationales Zentrum für moderne Werkstoffe und Elektronenmikroskopie* weitergeführt. Von 1997 bis 2001 wurde das Zentrum von zwei Direktoren, Ulrich M. GÖSELE (Direktor am MPI für Mikrostrukturphysik Halle) und Robert SCHLÖGL (Direktor am Fritz-Haber-Institut Berlin der Max-Planck-Gesellschaft), geleitet. Der Wissenschaftliche Rat war mittlerweile international ohne Ost-West-Begrenzung besetzt. Mitglieder des Rates in den Jahren 1998 bis 1999 waren: Alexander Leonidovič ASEEV (Novosibirsk), Alain CLAVERIE (Toulouse), Jan DUTKIEWICZ (Krakow), Michael W. FINNIS (Belfast), Jiří KOMRSKA (Brno), Wolfgang NEUMANN (Berlin), György RADNÓCZI (Budapest), Horst P. STRUNK (Erlangen), Gustaaf VAN TENDELOO (Antwerpen), Jochen URBAN (Berlin), Peter

WERNER (Halle) und Elmar ZEITLER (Berlin). Von 1997 bis 2001 wurden die Herbstschulen alternierend in Halle am MPI für Mikrostrukturphysik und in Berlin im Harnack-Haus in Berlin-Dahlem durchgeführt. Die Themen dieser Herbstschulen sind in Tabelle 3 aufgeführt.

Die Beiträge der in Berlin 1998 durchgeführten Herbstschule wurden in einem Sonderheft *Metal Clusters* der Zeitschrift *Crystal Research and Technology* veröffentlicht (HEYDENREICH et al. 1998). Die Herbstschule 2001 „Diffusion und Reaktionen an fest-fest-Grenzflächen“ am MPI für Mikrostrukturphysik Halle war dem Gründer des Internationalen Zentrums Heinz BETHGE gewidmet, der am 9. Mai 2001 in Halle verstorben war.

Erwähnenswert ist auch, dass der Physiknobelpreisträger des Jahres 2000 Žhores I. ALFĚROV, Direktor des Physikalisch-Technischen Joffe-Instituts der Russischen Akademie der Wissenschaften in St. Petersburg, sich 2001 in einem Brief an die beiden Direktoren des Zentrums wandte. Er wies darin

Tab. 3 Übersicht über die Herbstschulen am Max-Planck-Institut für Mikrostrukturphysik Halle und am Fritz-Haber-Institut Berlin in den Jahren von 1997 bis 2001

Jahr	Veranstaltung	Thema
1997	HS	Hochleistungshalbleiter: Bildung, Eigenschaften und Charakterisierung von nanoskaligen Strukturen, MPI Halle
1998	HS	Metallcluster, FHI Berlin
1999	HS	Neue Techniken in der Elektronenmikroskopie für Materialwissenschaften, MPI Halle
2000	HS	Elektronenmikroskopie von Katalysatoren und nanostrukturierten Materialien, FHI Berlin
2001	HS	Diffusion und Reaktionen an fest-fest-Grenzflächen, MPI Halle

auf die lange Tradition und ihre erfolgreichen und stimulierenden wissenschaftlichen Veranstaltungen hin und brachte gleichzeitig die Hoffnung zum Ausdruck, dass auch in den Jahren von 2001 bis 2005 die Schulen fortgesetzt werden sollten, um eine zukünftige Zusammenarbeit von Forschern aus Ost- und Westeuropa aufrecht zu erhalten. Die Finanzierung der Schulen des Internationalen Zentrums aus zentralen Mitteln der Max-Planck-Gesellschaft lief zum Jahresende 2001 aus. Mit meiner Wahl zum Direktor des Zentrums

auf der Sitzung des Wissenschaftlichen Rats im Jahre 2001 war verbunden, dass die Herbstschulen von 2002 bis 2007 am Wissenschaftsstandort Adlershof am Institut für Physik durchgeführt wurden. Sowohl Ulrich M. GÖSELE als auch Robert SCHLÖGL waren nach dem Ende ihres Direktorats weiterhin Mitglieder des Wissenschaftlichen Rats und stellten für die Schulen von 2002 bis 2004 dankenswerterweise finanzielle Mittel zur Verfügung. Die Themen der Schulen von 2002 bis 2007 sind in Tabelle 4 aufgeführt.

Tab. 4 Übersicht über die Herbstschulen von 2002 bis 2007 am Institut für Physik (AG Kristallographie) der Humboldt-Universität zu Berlin am Wissenschaftsstandort Adlershof

Jahr	Veranstaltung	Thema
2002	HS	Fortschritte in der Werkstoffwissenschaft durch Elektronenmikroskopie
2003	HS	Neue Entwicklungen von nanostrukturierten Materialien: Synthese, Charakterisierung, Funktionalität
2004	HS	Zukünftige Mikroskopie für moderne Materialentwicklung: Abbildung und Spektroskopie auf atomarer Ebene
2005	HS	Mikroskopie von neuen industriellen Materialien
2007	HS	Mikroskopie – ein hochentwickeltes Instrumentarium für zukünftige Materialien

Im Jahre 2005 wurde in einem Einführungsvortrag das dreißigjährige Bestehen des Zentrums gewürdigt. Als Veranstalter waren wir sehr erfreut, dass Johannes HEYDENREICH als unser Ehrengast die Herbstschule besuchte. Einen besonderen Charakter hatte die Herbstschule 2007, an welcher mehr als 100

Wissenschaftler teilgenommen haben. Sie war gleichzeitig eine Weiterbildungsveranstaltung für die jungen Wissenschaftler, die im *Marie Curie Training Network PARSEM (Interfacial Phenomena at Atomic Resolution and multiscale properties of novel III-V SEMiconductors)* der Europäischen Union

tätig waren. Die für die nachfolgenden Jahre 2008 und 2009 geplanten Herbstschulen konnten wegen fehlender Finanzierung nicht durchgeführt werden. Durch die nicht sofortige Wiederbesetzung meines Lehrstuhls nach der altersbedingten Beendigung meiner Tätigkeit an der Humboldt-Universität zu Berlin ruht das Zentrum seit 2010. Mitglieder des zuletzt tätigen Wissenschaftlichen Rates waren Alain CLAVERIE (Toulouse), Jan DUTKIEWICZ (Wrocław), Ludek FRANK (Brno), Ferdinand HOFER (Graz), John HUTCHINSON (Oxford), Holm KIRMSE (Berlin), Philomela KOMNINOU (Thessaloniki), Alexander V. LATYSHEV (Novosibirsk), Michael LEHMANN (Berlin), Wolfgang NEUMANN (Berlin), György RADNÓCZI (Budapest), Robert SCHLÖGL (Berlin), Horst P. STRUNK (Erlangen), Dang Sheng SU (Berlin) und Peter WERNER (Halle).

Da es gegenwärtig am Institut für Physik der Humboldt-Universität zu Berlin am Wissenschaftsstandort Adlershof mit der Besetzung des Lehrstuhls für Strukturforschung/Elektronenmikroskopie eine Fortsetzung der Elektronenmikroskopie mit einer Geräteausstattung auf höchstem Niveau gibt, wäre eine Fortführung des Zentrums im Bethgeschen Sinne wünschenswert und denkbar.

Zum Schluss meiner Ausführungen möchte ich noch berichten, wie ich erstmals als junger Diplomand der Mineralogie und Kristallographie bei Prof. Will KLEBER 1968 in Berlin mit der halleschen Physik vom Weinberg durch zwei Vorträge Bekanntheit machte. Den ersten hielt Prof. BETHGE im Magnus-Haus, dem damaligen Sitz der Physikalischen Gesellschaft der DDR, über die Methode der Doppeldekoration. Ich war nicht nur von dem Vortragsstil und den Ergebnissen begeistert, sondern auch von der forschenden Art der Diskussion, wie Heinz BETHGE jeden Zweifler in die Schranken wies. Wenig später hörte ich im Berliner Kristallographie-Kolloquium einen brillanten und herzerfrischenden Vortrag über

Elektronenmikroskopie und die Methode des Beugungscontrastes, der mich meine ersten Gehversuche auf dem Gebiet der Elektronenmikroskopie sehr schnell vergessen ließ. Der Vortragende war Dr. HEYDENREICH aus Halle. Die Faszination dieser beiden Vorträge war es letztendlich, die mich später nach langem Zögern an die Tür des halleschen Instituts klopfen ließ, um nachzufragen, ob es zwischen lauter Physikern auch noch Verwendung für einen Kristallographen gäbe.

Von Johannes HEYDENREICH wurde ich sehr freundlich empfangen. Er zeigte durchaus Interesse, machte mir Mut. Wenig später saß ich, wie sollte es anders sein, einem Pfeife rauchenden BETHGE in seinem Arbeitszimmer gegenüber. Die Ergebnisse meiner Diplomarbeit hatten zur ersten Veröffentlichung geführt, die ich ihm zeigte. Darin gab es auch Aufnahmen von Dekorationsstrukturen von NaCl, dekoriert mit CdSe. BETHGE sah sich die Veröffentlichung an und sagte mir kurz und knapp: „Nicht schlecht, aber dafür habe ich Physiker, die können das besser.“ Dass ich trotzdem eine Anstellung bekam, lag offensichtlich daran, dass Kristallographen Kristalle oft auch in schiefwinkligen Koordinatensystemen abhandeln müssen, Physiker aber lieber rechtwinkelige Systeme bevorzugen, und das Institut am halleschen Weinberg damals in jeder Beziehung ein Hort für Andersdenkende war. Es war wohl die Vorbildwirkung des am Institut praktizierten Führungsstils und die ausgewogene Anwendung der Wechselbeziehung „fordern und fördern“, die zu einem familiären Arbeitsklima am IFE führte. BETHGE war nicht nur ein sachkundiger Ratgeber für die eigene Forschungsarbeit. Er unterstützte seine Mitarbeiter sowohl in dienstlichen als auch in privaten Angelegenheiten. Heinz BETHGE setzte sich mit all seiner Autorität dafür ein, dass auch jungen Wissenschaftlern ermöglicht wurde, zu Tagungen in das „kapitalistische“ Ausland zu reisen. Viele meiner Freunde und Bekannten, die in anderen

Akademieinstituten arbeiteten, beneideten uns nicht nur wegen der exzellenten Geräteausstattung, sondern vor allem auch um unseren Chef, der sich für die Belange seiner Mitarbeiter – wie wohl in keinem anderen

Akademieinstitut – einsetzte. An meine für mich wissenschaftlich prägende Zeit im Institut für Festkörperphysik und Elektronenmikroskopie bei den Physikern am Weinberg denke ich mit Dankbarkeit zurück.

Literatur

- BASSETT, G. A.: A new technique for decoration of cleavage and slip steps on ionic crystal surfaces. *Philosophical Magazine* 3, 1042–1045 (1958)
- BETHGE, H.: Über Grenzflächenreaktionen zur Entwicklung von üblicherweise im Abdruck nicht erkennbaren Oberflächenstrukturen. *Verhandlungen 4. Internationaler Kongress für Elektronenmikroskopie*, Berlin 1958. Bd. 1, S. 217–222. Berlin, Heidelberg: Springer 1960
- BETHGE, H.: Oberflächenstrukturen und Kristallbaufehler im elektronenmikroskopischen Bild, untersucht am NaCl (I). *Physica Status Solidi* 2/1, 3–27 (1962a)
- BETHGE, H.: Oberflächenstrukturen und Kristallbaufehler im elektronenmikroskopischen Bild, untersucht am NaCl (II). *Physica Status Solidi* 2/7, 755–820 (1962b)
- BETHGE, H., EGGERT, H., und HERBOLD, K.: Über einige anwendungstechnische Erfahrungen mit einem Emissionsmikroskop. *Verhandlungen 4. Internationaler Kongress für Elektronenmikroskopie*, Berlin 1958, Bd. 1, S. 409–414. Berlin, Heidelberg: Springer 1960
- BETHGE, H., und HEYDENREICH, J.: Practice of mirror electron microscopy. In: BARER, E., and COSSLETT, V. E. (Eds.): *Advances in Optical and Electron Microscopy*. Vol. 4, pp. 237–241. New York: Academic Press 1971
- BETHGE, H., und HEYDENREICH, J. (Hrsg.): *Elektronenmikroskopie in der Festkörperphysik*. Berlin: VEB Deutscher Verlag der Wissenschaften 1982
- BETHGE, H., und HEYDENREICH, J. (Eds.): *Electron Microscopy in Solid State Physics*. *Materials Science Monographs*. Vol. 40. Amsterdam: Elsevier 1987
- BETHGE, H., und KELLER, W.: Über die Abbildungen von Versetzungen durch Abdampfstrukturen auf NaCl-Kristallen. *Z. Naturforsch.* 15A, 271–272 (1960)
- BETHGE, H., KROHN, M., und STENZEL, H.: Indirect imaging of surfaces by replica and decoration techniques. In: BETHGE, H., und HEYDENREICH, J. (Eds.): *Electron Microscopy in Solid State Physics*. *Materials Science Monographs*. Vol. 40, pp. 202–218. Amsterdam: Elsevier 1987
- GODEHARDT, R.: Mirror electron microscopy. In: HAWKES, P. W. (Ed.): *Advances in Imaging and Electron Physics*. Vol. 94, pp. 81–150. Amsterdam: Elsevier 1995
- HEYDENREICH, J., und NEUMANN, W. (Eds.): *Proceedings. High-resolution Electron Microscopy – Fundamentals and Applications*. Autumn School 1991 of the International Centre of Electron Microscopy at the Institute of Solid State Physics and Electron Microscopy, Halle/Saale. Printed: Elbe Druckerei Wittenberg 1991
- HEYDENREICH, J., und NEUMANN, W. (Eds.): *Proceedings. Image Interpretation and Image Processing in Electron Microscopy*. Autumn School 1992 of the International Centre of Electron Microscopy at the Max Planck Institute of Microstructure Physics, Halle/Saale. Printed: Elbe Druckerei Wittenberg 1992
- HEYDENREICH, J., und NEUMANN, W. (Eds.): *Proceedings. Analytical Transmission Electron Microscopy in Materials Science – Fundamentals and Techniques*. Autumn School 1993 of the International Centre of Electron Microscopy at the Max Planck Institute of Microstructure Physics, Halle/Saale. Printed: Elbe Druckerei Wittenberg 1993
- HEYDENREICH, J., und NEUMANN, W. (Eds.): *Proceedings. Electron Microscopy of Boundaries and Interfaces in Materials Science*. Autumn School 1994 of the International Centre of Electron Microscopy at the Max Planck Institute of Microstructure Physics, Halle/Saale. Printed: Elbe Druckerei Wittenberg 1994
- HEYDENREICH, J., NEUMANN, W., und ZEITLER, E. (Eds.): *Special Issue. Autumn School Berlin 1998 – Metal Clusters, Crystal Research and Technology*. Vol. 33, 7–8, 977–1186 (1998)
- HILLEBRAND, R., SCHEERSCHMIDT, K., NEUMANN, W., WERNER, P., und PIPPEL, A.: *Bildinterpretation in der Hochauflösungs-Elektronenmikroskopie*. Numerische und optische Verfahren zur Interpretation elektronenmikroskopischer Hochauflösungsabbildungen kristalliner Objekte. Berlin: Akademie-Verlag 1984
- KELLER, K. W., und HÖCHE, H.: Molecular processes in crystal growth. In: BETHGE, H., und HEYDENREICH, J. (Eds.): *Electron Microscopy in Solid State Physics*. *Materials Science Monographs*. Vol. 40, pp. 437–453. Amsterdam: Elsevier 1987
- MALICKÓ, L.: *Untersuchungen über die Realstruktur von in Lösungen gezüchteten KCl-Kristallen*. Diss., Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg 1967
- MESSERSCHMIDT, U., APPEL, F., HEYDENREICH, J., und SCHMIDT, V. (Eds.): *Electron Microscopy in Plasticity and Fracture Research in Materials*. Berlin: Akademie-Verlag 1990

MULVEY, T., and NEUMANN, W.: Preface. *Physica Status Solidi (a)* 150/1, 5–6 (1995)

PARTHIER, B. (Hrsg.): „Die Wellen schlagen hoch ...“ Zur 75. Wiederkehr des Geburtstages von Heinz Bethge, XXIII. Präsident der Leopoldina, Halle (Saale) am 15. November 1994. Halle (Saale): Deutsche Akademie der Naturforscher Leopoldina 1994

ROTTA, H.: [Glückwunsch]. In: PARTHIER, B. (Ed.): „Die Wellen schlagen hoch ...“ Zur 75. Wiederkehr des Geburtstages von Heinz Bethge, XXIII. Präsident der

Leopoldina, Halle (Saale) am 15. November 1994. S. 92. Halle (Saale): Deutsche Akademie der Naturforscher Leopoldina 1994

WEISSKOPF, V. F.: [Glückwunsch]. In: PARTHIER, B. (Ed.): „Die Wellen schlagen hoch ...“ Zur 75. Wiederkehr des Geburtstages von Heinz Bethge, XXIII. Präsident der Leopoldina, Halle (Saale) am 15. November 1994. S. 136. Halle (Saale): Deutsche Akademie der Naturforscher Leopoldina 1994

Prof. i. R. Dr. Wolfgang NEUMANN
Institut für Physik
Humboldt-Universität zu Berlin
Newtonstraße 15
12489 Berlin
Bundesrepublik Deutschland
E-Mail: wolfgang.neumann@physik.hu-berlin.de



Tagungsimpression vom Festkolloquium anlässlich des 100. Geburtstages von Heinz BETHGE.



Blick in das Auditorium während des Festkolloquiums anlässlich des 100. Geburtstages von Heinz BETHGE. Im Vordergrund Zuzanna LILIENTAL-WEBER.

Mentors of the Past – Prof. Heinz Bethge and his Center for Electron Microscopy

Zuzanna LILIENTAL-WEBER (Berkeley, CA, USA)

Dear President Prof. HACKER, Vice-president Prof. BERG,
Magnificence of the Martin Luther University Halle-Wittenberg,
Former colleagues and friends of the International Center and the Academy Institute of Solid State Physics and Electron Microscopy,

In 1975, I was a PhD student researcher at the Institute of Physics of the Polish Academy of Sciences in Warsaw (Poland). During this time, I was using the electron microscope at my institute which was the only one available to me at that time. My research, however, required much more sophisticated equipment with a better resolution. I was fortunate to hear from my supervisor, Prof. Julian AULEYTNER, about the newly opened “International Center of Electron Microscopy” in Halle, founded and headed by Prof. Heinz BETHGE. The Academies of Sciences of the GDR, Poland, the Soviet Union, Czechoslovakia, Hungary and Bulgaria were participating in the center.

The center was an extension of the Institute of Solid State Physics and Electron Microscopy (IFE) of the Academy of Sciences of the GDR. As it turned out, Prof. AULEYTNER was on the council there. I also learned

that “Academies of Sciences” from Eastern European countries, including the Soviet Union, had signed an agreement on scientific exchange that did not require additional financial support from the country of the scientist’s origin. Based on this agreement, the scientists employed by these Academies were encouraged to visit another academy institute of their choice to do research abroad. To facilitate this special exchange program, it was determined that the host institute was requested to financially support the visiting guest scientists per diem.

I was fortunate to take this opportunity and was allowed to travel to the Center of Electron Microscopy in Halle. Between 1975 and 1980, twice a year, I was able to conduct some of my experiments there, during my stays that lasted approximately two weeks each. My work at the IFE contributed significantly to the success of my PhD research.



Fig. 1 Prof. Heinz BETHGE and Prof. Julian AULEYTNER at an international conference in 1979

When I first met Heinz BETHGE, he was very eager to hear about the scope of my PhD research, and he, in turn, shared with me interesting and current information about the work he and his co-workers were doing. He

then introduced me to Prof. Johannes HEYDENREICH with whom I discussed the details of my research work and who suggested which equipment would be best for me. The greatest advantage I had during my stay in Halle, was being able to use the High-Voltage Microscope (HEM), the only microscope of this type to be found in the former Communist Block (Fig. 2, *left*).

There were also other people at the Center that played a key role in enabling me to conduct my research there. Among them I have to mention Dr. Gerhard KÄSTNER, who was in charge of that microscope, Dr. U. RICHTER who scheduled the equipment usage time, and other colleagues who helped me with operating this machine and helped to troubleshoot technical problems that may have come. I especially remember the IFE colleagues who kindly took care of me at the HEM during my stays: Dr. H. BARTSCH, Dr. Maria BARTHEL and Dr. Chr. DIETSCH.

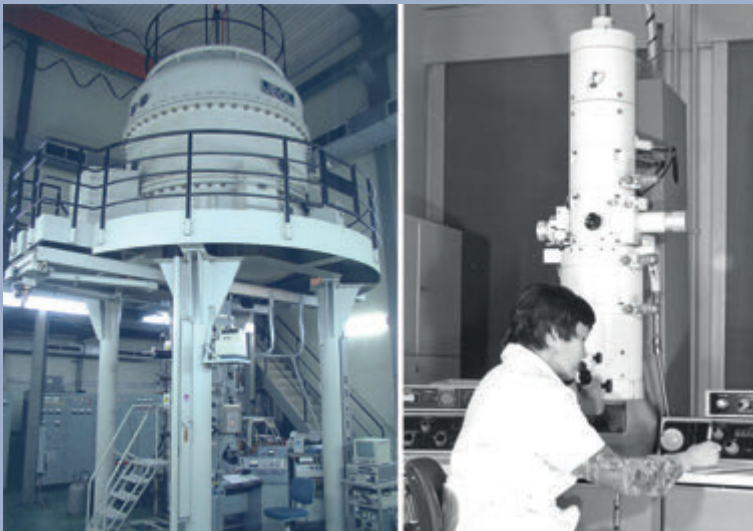


Fig. 2 High-voltage electron microscope (*left*) and high-resolution electron microscope (*right*) at the IFE, which were available to all visiting scientists from foreign academy institutes.

My research was further enriched when I had the opportunity to use the JEOL high-resolution microscope (Fig. 2, right), run by Dr. Monika PASEMAN and Dr. Peter WERNER, both of whom received their PhD degrees under the “tutelage” of Heinz BETHGE. They were the ones who introduced me to the various new high-resolution microscopy techniques.

My special gratitude also goes to Hartwig BARANIAK who was in charge, not only of the financial aspects of our stay, but also managed all other logistics issues, including our accommodation.

In 1975 and 1976, I and the other visiting scientists stayed in a hotel located close to Halle main railway station. Later, a special guest house was built near the IFE to accommodate the increasing number of international scientists, who were coming every year, especially to participate in the so-called “Spring and Autumn Schools” in Halle organized by the members of the Center. These Schools represented another activity offered by the Center. In addition to conducting scientific research, the Schools became very famous and attractive to the entire community of electron microscopists, working in solid state physics. Both Spring and Autumn Schools offered 7 day programs, and after the educational program was over, the rooms, in the new building, were used as offices for the local scientists. A few of the rooms were left for use by the foreign exchange researchers who came to work at the IFE in Halle. Figure 4 shows a typical example of some of school participants, were about 60 scientists could gather. In the front row some of the members of the Center’s council can be seen: Heinz BETHGE, Vladimir Nicolaevič ROZHANSKI (SU), Johannes HEYDENREICH (IFE), Péter BARNA (Hungary) and Tadeusz WARMINSKI (Poland). The council met twice a year to discuss the scientific activities of the Center, as well as future goals of the exchange program. Figure 5 shows some members of the council.

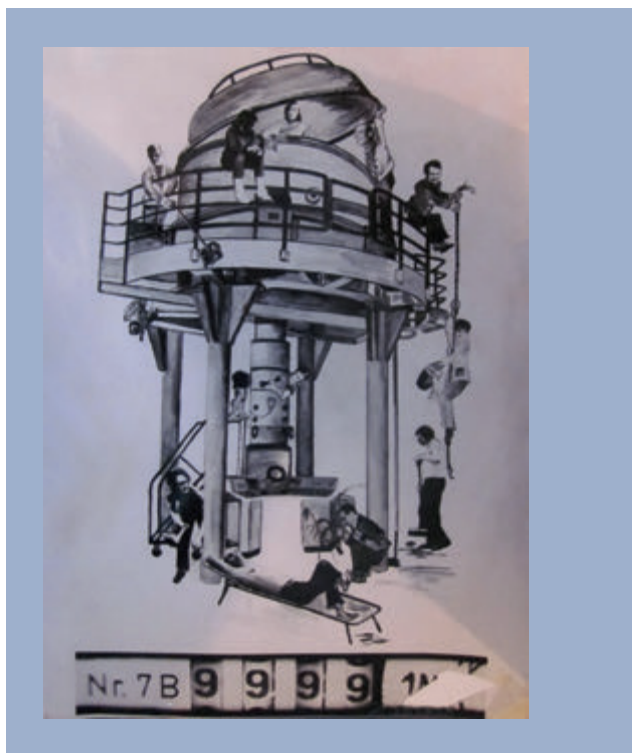


Fig. 3 Cartoon of the dedicated HEM team. All of these IFE coworkers ensured the success of the work of the visiting scientists with this sophisticated electron microscope.



Fig. 4 Participants of the Autumn School in Halle at the IFE in 1977. In the front row – members of the council of the “International Center of EM”.



Fig. 5 Photo of the members of the council during a council meeting in 1980. From the *left to right*: Péter BARNÁ, Gerhard KÄSTNER, J. BARANIÁK, IFE coworker, Julian AULEYTNER, Vladimír RÚZHANSKÍ.

At the beginning, the instructors of the schools came from Eastern European countries. Later, through the careful policy of Heinz BETHGE, the center became more and more international, enabling the participation of scientists from outside of the Communist Bloc, could participate, including those from Great Britain and even from West Germany.

Each time, the schools focused on a particular theme. For example, in 1975, the first School program was focused on “TEM on crystalline materials”, in 1979 it was “*In-situ* HVEM in plasticity research and other fields of material science” and in 1989 “Electron microscopy in plasticity and fracture research of materials”.

The schools did not only include lectures, but also task-solving sessions, followed by intensive group discussions with all participants and evaluation of practical exercises. The official language of the School was English. New microscopy techniques were being taught in a pleasant and encouraging atmosphere. Taking part in the Schools was always a truly enjoyable experience, and bonding ties with other participants led to many friendships that survived decades and last

until today. The organizers also took care of the social aspect of the gatherings. At the end of each School, after meeting at banquets and singing songs together, we felt like a family. We even made up our own School anthem, and each year, new verses were added to it. I did not know a single participant who did not learn to sing it.

BETHGE’s idea to found the Center of Electron Microscopy and the Schools became a true success. The center in Halle was a place that gave all of us participants from multiple nations a feeling of unity as a scientific community; a place where the borders of our countries became invisible. We soon realized that we were so much alike, united by common goals. Being scientists, we wanted to understand the structure of our tiny samples of different materials, as well as the processes like heating, hardening, doping etc. In the course of the discussions between the participants, we learned to uncover the secrets of nature by studying material structures and the role of defects on optoelectronic properties.

The exchange between international and local scientists resulted in collaboration between the researchers. The center became well recognized internationally. Thanks to our access to the new developments in solid state physics, people like myself were able to build their professional careers not only in the countries of their origin, but also internationally.

Summing up, I am extremely grateful to Prof. Heinz BETHGE for his innovative vision. He proved that, against all odds, innovative ideas could also take place behind the Iron Curtain.

This morning I had the opportunity to visit the institute at the Weinberg, one of the starting points of my scientific career nearly 45 years ago. I was very excited to learn about all the new developments. I saw new buildings, excellent state-of-the-art research equipment, and new directions in research

that include the hottest topics of solid-state research. And there were new young researchers coming from all over the world! I am sure that Prof. Heinz BETHGE would be

very satisfied to see this development, including the ongoing progress and the role of electron microscopy at the Weinberg, here in Halle.

Dr. Zuzanna LILIENTAL-WEBER, PhD
 Lawrence Berkeley National Laboratory
 1 Cyclotron Rd. MS 2-200
 Berkeley, CA 94720
 USA
 E-Mail: z_liliental-weber@lbl.gov



Die Leopoldina ehrte ihren XXIII. Präsidenten Heinz BETHGE zu seinen besonderen Geburtstagen auch nach seinem Ausscheiden aus dem Amt mit wissenschaftlichen Veranstaltungen und Festkolloquien, die dann auch in den Schriften der Leopoldina publiziert worden sind.



Zur Jahresversammlung „Musterbildung und Mustererkennung“ besuchte am 6. April 1991 erstmals ein deutscher Bundespräsident die Leopoldina. Bundespräsident Richard VON WEIZSÄCKER (2. von links) wurde auf dem Weg in den Festsaal von Leopoldina-Altpräsident Heinz BETHGE, dem Ministerpräsidenten von Sachsen-Anhalt Gerd GIES und Leopoldina-Präsident Benno PARTHIER begleitet (von links nach rechts).

Bethge und die Leopoldina

Gunnar BERG ML (Halle/Saale)

Vizepräsident der Deutschen Akademie der Naturforscher Leopoldina –
Nationale Akademie der Wissenschaften

Das Thema ist so umfassend, dass ich nur einige kleine Mosaiksteine präsentieren kann, die mir besonders bemerkenswert erscheinen, um Heinz BETHGE zu charakterisieren.

Ich will versuchen, ihn oft selbst zu Wort kommen zu lassen, so dass Sie, soweit das in einem Vortrag geht, die Persönlichkeit möglichst authentisch erleben können.

1. Vorgeschichte und Zeitkolorit

Präsident Emil ABDERHALDEN musste 1945 mit den Amerikanern Halle verlassen. Eigentlich war die Leopoldina wie alle Organisationen nach 1945 durch einen Befehl der Sowjetischen Militäradministration verboten, aber der ortsansässige Vizepräsident Otto SCHLÜTER führte die Geschäfte weiter, ohne Aufsehen zu erregen. ABDERHALDEN, auf Lebenszeit gewählt, stirbt 1950 in der Schweiz.

Mit dem Jahr 1952 ist an das 300-jährige Bestehen der Akademie zu denken. SCHLÜTER bemüht sich um Anerkennung und hat dabei Unterstützung durch den Historiker Leo STERN, zu dieser Zeit Prorektor der Universität, der sogar in sehr kurzer Zeit eine Geschichte der Leopoldina schreibt und seine guten Beziehungen zu SED und Staatsorganen nutzt, um ohne große Formalitäten das Jubiläum zu feiern, wodurch das Weiterbestehen der Akademie *de facto* akzeptiert ist. Eine Satzung wird es während der gesamten DDR-Zeit nicht geben. Der 80-jährige SCHLÜTER wird zum Präsidenten gewählt, tritt das Amt aber bewusst nur als Übergangskandidat an mit dem Ziel, einen jüngeren Nachfolger zu

suchen. Er findet ihn rasch in Kurt MOTHES, der schon 1954, nun allerdings nicht mehr auf Lebenszeit, sondern auf zweimal zehn Jahre gewählt wird. Diesem gelingt es, durch Zuwahl hervorragender Gelehrter aus der ganzen Welt der Leopoldina internationale Anerkennung zu verschaffen, in der DDR ein wichtiges Argument, wo allerdings auch entsprechend taktiert werden muss, um die immer wieder versuchte Einflussnahme der staatlichen Stellen zu verhindern.

1974 läuft also die Amtszeit aus. Nun muss man aber wissen, dass sich mittlerweile die Situation im Bereich der Universitäten, auf deren Mitglieder sich die Leopoldina im Lande ja hauptsächlich stützen muss, grundsätzlich geändert hat. Zu MOTHES' Zeiten wurde, von Ausnahmen abgesehen, die ich aber heute hier nicht abhandeln will, auf die sogenannten ‚bürgerlichen Professoren‘ bis zum Mauerbau 1961 Rücksicht genommen, da man sie an den Universitäten brauchte. Doch mit der dritten Hochschulreform 1968 waren diese Professoren, soweit sie nicht im Ruhestand waren, ‚entmachtet‘, die Institute waren aufgelöst

worden, und Sektionen wurden gegründet, an deren Spitze nun in der Regel linientreue ‚Kader‘ standen. In den 1980er Jahren war es dann erreicht, dass, wie BETHGE es mehrfach nach der friedlichen Revolution ausgedrückt hat: „etwa 80% aller Professoren SED-Genossen waren und bei 60 – 70% davon das Parteibuch die Karriere ermöglicht hat“.¹ Und sein Kommentar, nachdem er das öffentlich geäußert hatte: „manche unserer lieben Freunde waren regelrecht empört“.² – Nach dem Motto, ‚getroffene Hunde bellen‘. In diese Situation hin-

ein trat er die Präsidentschaft an. Ihm war von vornherein klar, dass, wollte er die Leopoldina erhalten, er geschmeidiger als sein Vorgänger auftreten musste, allerdings dabei immer die Grenzen wahren. Sein Nachfolger Benno PARTHIER hat das anlässlich der Vorbereitung der Laudatio zum 80. Geburtstag von BETHGE sehr treffend ausgedrückt: „listig dumme Anweisungen einfach unterlaufen“; „mit dem Teufel frühstücken, aber sehr lange Löffel benutzen“ und „den kleinen Finger geben, um die ganze Hand zu verweigern“.³

2. Selbstverständnis als Präsident

BETHGE war es von vornherein klar, dass er nicht den Stil von MOTHES – patriarchalisch und stolz repräsentierend – nachahmen wollte, deswegen betonte er gleich in seiner Antrittsrede bei der Übergabe der Amtskette am 16. November 1974, einen Tag nach seinem 55. Geburtstag, im Goethe-Theater in Bad Lauchstädt seine Änderungsabsichten: „Einmal wünschen wir die etwas stärkere Einbeziehung des Senats, d. h. der Obmänner [...] und der Adjunkten in die Tätigkeit des Präsidiums“,⁴ wobei er z. B. auf die Jahresversammlungen verweist, die bisher offenbar immer von einem sehr engen Kreis vorbereitet wurden. Und er setzt fort: „Ein weiteres Anliegen ist [...] die Einbeziehung des wissenschaftlichen Nachwuchses in Veranstaltungen der Akademie“,⁵ beides Punkte, die er dann auch konsequent durchsetzt.

BETHGE ist bei alledem klar, wie er später mehrfach betont hat: „Ich konnte, wollte und durfte nicht einfach in die Fußtapfen meines Vorgängers [...] treten, und ich mußte auch ein paar allzu elitäre Zöpfe abschneiden, was freilich nun gelegentlich mal Ärger induzierte.“⁶ So wurde ihm nach seiner Amtszeit bescheinigt, „daß Sie das Präsidentenamt entmythologisiert haben“.⁷

Die erwähnte „Einbeziehung des wissenschaftlichen Nachwuchses“ im Rahmen öffentlicher Veranstaltungen war offenbar ein Stein des Anstoßes für staatliche Stellen, denn in einem Brief an den Stellvertretenden Minister heißt es: „Kurzum, große Sorge macht mir Ihre Eröffnung, daß es solche gravierenden Probleme mit öffentlichen Vorträgen gibt“;⁸ diese „gravierenden Probleme“ sind nicht explizit genannt, vermutlich aber

1 Leopoldina-Archiv (LeoA); LeoA-M1-5248, II: Gratulationsschreiben an Rektor Ernst SCHMUTZER vom 9. 5. 1990.

2 Ebenda.

3 LeoA-M1-5248, II: handschriftliche Notizen von Benno PARTHIER zur Laudatio zum 80. Geburtstag von Heinz BETHGE, Juni 1999.

4 SCHARF 1975, hier S. 43.

5 Ebenda, S. 44.

6 LeoA-M1-5248, I: BETHGES Dankesrede zum Festkolloquium anlässlich seines 75. Geburtstags am 17. 11. 1994. Siehe auch: BETHGES Ansprache auf der Jahresversammlung 1975, in SCHARF 1977, hier S. 16 [er kommentiert z. B.: bei Schrittmaß verrenkt sei anstrengend und nicht schön anzusehen].

7 LeoA-M1-5248, II: Glückwunschsreiben von Gottfried GEILER, Leipzig, zum 75. Geburtstag am 15. 11. 1994.

8 LeoA 502/65/03: Brief BETHGE an den Stellv. Minister Prof. Dr. HEIDORN vom 5. 2. 1979.

mündlich angesprochen worden. Man kann vermuten, wenn man die üblichen Reaktionen der DDR-Oberen zum Vergleich heranzieht, dass der offiziellen Seite besonders die Tatsache missfiel, dass in diesen öffentlichen Vorträgen zum allergrößten Teil Referenten aus dem westlichen Ausland gesprochen haben, was natürlich die Attraktivität dieser Angebote für DDR-Bürger ausmachte. In dem Brief heißt es dazu: „[...] sind es hier vor allem die öffentlichen Vorträge, die diesem Zweck [Einbeziehung des Nachwuchses] dienen, wobei ich meine, daß es doch guttut, wenn auch Studenten mal in einen solchen Vortrag gehen, wobei der Eindruck einer besonderen Persönlichkeit und das fachlich Gebotene sich durchaus die Waage halten.“⁹ Das bekräftigt BETHGE in einem späteren Brief an Minister BÖHME, wenn er schreibt, dass es „vornehmliche Aufgabe der Akademie sein sollte, den Wissenschaftlern unseres Landes Spitzenwissenschaft vorzuführen, und damit insbesondere unseren Nachwuchs zu fördern“.¹⁰ Offenbar hielt aber diese ‚Kritik‘ staatlicherseits an, denn noch in einem Brief im Jahr 1988 schrieb der Stellvertretende Minister Günter HEIDORN an BETHGE – es handelt sich um einen der seltenen Briefe aus dem Ministerium! –, nachdem er das vorläufige Programm für die Jahresversammlung 1989 erhalten hatte: „Ich erlaube mir die Bemerkung, daß der in der DDR ansässige Teil der Leopoldina-Mitglieder [...] stark unterrepräsentiert sind. [...] ich gebe zu bedenken, daß ein solcher Gesichtspunkt am Anfang der Konzipierung einer Veranstaltung stehen sollte.“¹¹ Doch BETHGE und das Präsidium ließen sich nicht beirren, das Programm wurde unverändert durchgeführt.

Wenn man den Briefwechsel mit dem Ministerium durchsieht, fällt auf, dass es



Abb. 1 Heinz BETHGE erhält die Amtskette des Leopoldina-Präsidenten von seinem Amtsvorgänger Kurt MOTHES zur Feierlichen Übergabe des Präsidentenamtes am 16. November 1974 im Goethe-Theater zu Bad Lauchstädt.¹²

meistens um die Bewilligung von Reisen in westliche Länder geht, sowohl um die des Präsidenten selbst, als auch um solche für Mitglieder des Präsidiums. Jeder dieser Besuche wurde wie eine Besonderheit behandelt – aber letzten Endes fanden alle bis auf ganz wenige Ausnahmen statt.

Weiterhin geht es bei den Präsidentenbriefen an den Minister – während der gesamten Amtszeit war es immer derselbe, nämlich Hans-Joachim BÖHME –, bzw. an seine Stell-

9 Ebenda.

10 LeoA 502/65/03: Brief BETHGE an Minister BÖHME vom 23. 9. 1982.

11 LeoA 502/65/02: Brief Stellv. Minister Prof. Dr. HEIDORN an BETHGE vom 24. 10. 1988.

12 SCHARF 1975, S. 41.

vertreter, die gelegentlich wechselten, um solch banale Dinge wie Papierbereitstellung für die Zeitschriften, um Einfuhrgenehmigungen für ein Auto, für Schreibmaschinen und Kopiergeräte bzw. Ersatzteile dafür und einmal auch um die Einfuhr von Gold, um die Cothenius-Medaille prägen lassen zu können, was BETHGE damit begründet hatte, dass er „späteren Historikern ersparen [möchte], zu schreiben, daß ab dem Jahre 1983 die Medaillen [sic!] nur noch ‚vergolddet‘ vergeben wird“.¹³

Der Transport all dieser ‚Raritäten‘ wurde oft bei den Rückreisen erledigt, gewissermaßen als ‚Hosentaschen-Import‘. Finanziert wurde das alles aus Geldspenden der westdeutschen Mitglieder. Sehr anschaulich schildert BETHGE diese Mühen in einem Brief an den gerade aus dem Amt geschiedenen Generaldirektor des Europäischen Forschungszentrums CERN, nachdem er seine „grenzenlose Hochachtung [...] für solche Projekte wie LEP [Large Electron-Positron Collider]“ ausgesprochen hatte: „[...] meine reale Welt besteht darin, daß ich, wenn ich z. B. einmal in München bin, unbedingt bei Herrn Walther vorbeigehe, weil ich ganz dringlich 10 Schrauben aus Edelstahl m 1,2 und m 2,0 brauche“.¹⁴

Selbstverständlich lag ihm auch generell die Stellung der Wissenschaft in der DDR am Herzen, wobei er natürlich nicht die allgemeine Phraseologie auf den Parteitag und ähnlichen propagandistischen Veranstaltungen meinte, sondern es ging ihm um die Wertschätzung konkreter wissenschaftlicher Ergebnisse. Das konnte er, wenn er es für richtig hielt, auch sehr drastisch ausdrücken, wie z. B. in einem Brief an Minister BÖHME: „Wenn ein gehegter und gepflegter Spitzensportler 1 cm höher hopst [...] steht das

zwar in allen Zeitungen, aber mich ärgert es immer, daß von der Wissenschaft und ihrer Wirksamkeit kaum gesprochen wird.“¹⁵

Bis auf die notwendigen Genehmigungen liegen nur Briefe von BETHGE vor. Die von ihm vorgetragene Sachfrage, die die Politik der Leopoldina und deren Behandlung durch das Ministerium betreffen, wurden offenbar alle ‚im Gespräch geklärt‘. Rückblickend stellt BETHGE dazu fest, wenn er das angesprochen habe, dann sei gesagt worden: „Was denn der Brief solle, ein klärendes Gespräch sei doch viel besser.“¹⁶

Zum Selbstverständnis als Präsident gehörte natürlich auch, sich um die Mitarbeiter der Akademie zu kümmern. So war die Akademie für viele, die politisch unliebsam waren, zur ‚Nische‘ geworden, wo sie unbehelligt von der allgegenwärtigen Politik arbeiten konnten. Einige wurden ab 1988/1989 auch in der Bürgerbewegung aktiv, was ihm natürlich nicht entgangen war, er aber immer gedeckt hat. Das gehört auch zur Charakteristik von Heinz BETHGE: sich für Personen einzusetzen, die in Schwierigkeiten geraten waren. Ich will hier, gewissermaßen als Exkurs, ein Beispiel aus früherer Zeit anführen, das in der Gauckbehörde aktenkundig ist. Bei dem Volksaufstand am 17. Juni 1953 war auch ein Physikstudent verhaftet und trotz der Proteste der Professoren Wilhelm MESSERSCHMIDT und Max HIEKE zu drei Jahren Zuchthaus verurteilt worden. BETHGE, damals Oberassistent bei MESSERSCHMIDT, fuhr nach Naumburg in das Zuchthaus, wo er den Häftling auch besuchen konnte. Die Staatssicherheit, die selbstverständlich dabei war, berichtete darüber:

„Die Aussprache zwischen dem Vollzugshäftling [...] und dem Dipl.-Physiker Böttge [= BETHGE, wie üblich, wurden Namen nach Gehör notiert]. Die techn. Formeln

13 LeoA 502/05/02: Brief BETHGE an Stellvertretenden Minister Prof. Dr. Hans-Joachim HICKE vom 6. 12. 1982.

14 LeoA 502/07/03: Brief BETHGE an Prof. Dr. Herwig SCHOPPER vom 18. 8. 1989.

15 LeoA 502/65/03: Brief BETHGE an Minister BÖHME vom 3. 5. 1985.

16 Naturwissenschaftliche Rundschau 34/12, 525–530 (1990), Amtsübergabe in Bad Lauchstädt am 30. 6. 1990; hier S. 530, linke Spalte. Auch in: LeoA-M1–5248, III.

und Formulierungen flogen nur so durch die Luft, daß ein gewöhnlicher Sterblicher gar nicht in der Lage war, dies zu Papier zu bringen. [...] Zum Schluß wurde [...] aufgezeigt, mit welchen Dingen er sich befassen solle, um noch weitere Erkenntnisse in der Wissenschaft zu machen.“¹⁷

3. „Politik“ für die Leopoldina

Schon in seiner Antrittsrede im Beisein aller staatlichen Vertreter betont BETHGE, daß „die Leopoldina ihre Wurzeln und ihre Basis in den deutschsprachigen Ländern hat“, und er erwähnte, dass „von recht kompetenter staatlicher Stelle der Einwand entgegengehalten“ wurde, „daß [...] gerade der Terminus ‚deutschsprachige Länder‘ herangezogen wurde, um damit Ziele westdeutscher Politik zu verknüpfen“, doch er entgegnete, dass man wohl kaum einen Begriff fände, der nicht schon einmal irgendwie gebraucht wurde, und: „Wir müssen uns davon freihalten und unseren eigenen Standpunkt definieren“¹⁸ – und er ging dann auch nie von dieser Formulierung ab.

Im Geleitwort zum 325-jährigen Jubiläum der Akademie 1977 stellte er definitiv klar: „Die Leopoldina ist eine Gemeinschaft der Begegnung und des Austauschs über die Grenzen der Staaten, der Ideologien und der wissenschaftlichen Disziplinen hinaus.“¹⁹

Es lag ihm viel daran, auch öffentlich die Unabhängigkeit der Leopoldina zu betonen. Schon in der Antrittsrede sprach er von einer „nichtstaatlichen Institution wie unsere Akademie“.²⁰ Und er betonte, sowohl öffentlich als auch in Briefen an den Minister,

Und BETHGE erreichte, dass er ihm noch zwei Fachbücher zustellen konnte. Nach vorzeitiger Entlassung wurde das Diplom erfolgreich abgelegt und später folgte die Promotion.

dass die Leopoldina nicht dem Ministerium unterstellt sei, sondern lediglich von diesem „finanziell betreut werde“.²¹ Wie er in der Rückschau feststellte, ging es „um absolute Unabhängigkeit bei der Wahl der Mitglieder oder [sic!] bei der Vergabe von Ehrungen“,²² ein Grundsatz, der tatsächlich bis zum Ende durchgehalten wurde.

So meinte bei einem Gespräch vor der Jahresversammlung 1979 der stellvertretende Minister HEIDORN, BETHGE mit der Feststellung konfrontieren zu müssen, „es sei doch höchst auffallend, wie groß der Anteil der Juden unter den sowjetischen Mitgliedern ist“, worauf BETHGE erwiderte, ihn „hätte es nie interessiert, wer denn von unsern Mitgliedern jüdischer Abstammung oder jüdischen Glaubens sei“.²³

Er verbat es sich, bei Besuchen als ‚Vertreter der DDR-Wissenschaft‘ angesehen zu werden, das geschah z. B. dem Minister gegenüber, wo er 1979 feststellte: „Wir sind und können keine Akademie sein, die offiziell unseren Staat repräsentiert; dies obliegt der AdW.“²⁴ Aber auch bei westdeutschen Gastgebern empörte es ihn, für die DDR vereinnahmt zu werden. Als ihn z. B. der Präsident der Heidelberger Akademie bei deren

17 BStU, MfS, AS Halle, AU 287 / 53, Bd. Erm.-Verf.

18 SCHARF 1975, hier S. 44–45.

19 LeoA-M1–5248, I: Geleitwort 325 Jahre Leopoldina, 1977.

20 SCHARF 1975, hier S. 46.

21 LeoA 502/65/03: Brief BETHGE an Minister BÖHME vom 3. 5. 1985.

22 LeoA-M1–5248, I: BETHGE: Anmerkungen zur Geschichte der Leopoldina vom 7. 1. 1994.

23 LeoA-M1–5248, I: Notiz von Gespräch mit Stellvert. Minister HEIDORN [undatiert, aber vor Jahresversammlung 1979, da im Text darauf Bezug genommen wird].

24 LeoA 502 / 65 / 03: Brief BETHGE an Stellvert. Minister HEIDORN vom 25. 4. 1979.

Festversammlung folgendermaßen begrüßte: „Herr Bethge, unser Mitglied, als Präsident der Akademie Leopoldina. Über seinen Besuch freuen wir uns besonders, denn wir legen großen Wert auf die Beziehung zur Wissenschaft der DDR“,²⁵ äußerte er seinen Unmut darüber.

Als sich nach der Jahresversammlung 1985 westdeutsche Mitglieder darüber beklagen, dass in der Ministerrede „eine Verunglimpfung unserer Regierungsform“²⁶ stattgefunden hätte, schreibt BETHGE direkt an den Minister und sagt deutlich: „Mit politischen Schlagworten [...] darf man doch unserem Mitgliederkreis nicht kommen.“²⁷ Leider gibt es keine Antwort des Ministers, das wurde vermutlich ‚im Gespräch‘ behandelt, aber bei den folgenden Jahresversammlungen unterblieben solche ‚Entgleisungen‘.

Natürlich ging es ihm auch um die langfristige Entwicklung der Akademie, wenn er rückblickend feststellt: „Auf der Jahresversammlung 1987 leiteten wir die Verjüngung des Präsidiums unserer Akademie ein, und im April 1989 wählte der Senat auch für mich einen designierten Nachfolger“,²⁸ der

im Juni des folgenden Jahres im Alter von 57 Jahren in einer feierlichen Veranstaltung ins Amt eingeführt wurde.

Selbstverständlich lag ihm auch die fachliche Ausrichtung der Akademie am Herzen. Sieht man sich z. B. die Themen der Jahresversammlungen während seiner Amtszeit an, so fällt auf, dass gegenüber seinem Vorgänger zunehmend Themen physikalisch-chemischen Inhalts eine Rolle spielen, das zeigt sich auch bei den von ihm eingeführten Meetings, kurzen Veranstaltungen, bei denen viel Zeit für Diskussionen bleiben sollte. Hervorgehoben werden soll hier nur beispielhaft, dass für BETHGE bereits in den 1980er Jahren das heute so aktuelle Thema ‚Klimawandel‘ eine Rolle gespielt hat, wenn er bei der Vorstellung der Planungen schreibt: „[...] auch ein Meeting, das unsere Geowissenschaftler veranstalten wollen und das sich mit der wirklich hochwertigen Frage der CO₂-Zunahme in der hohen Atmosphäre befassen soll“,²⁹ Es fand dann auch das „Meeting ‚Atmosphärischer Treibhauseffekt und Klimaentwicklung‘ am 30. 11. / 1. 12. 1984 in Halle“³⁰ statt.

4. Ein Hörsaal für die Akademie

Es war schon lange klar, dass die Raumsituation im alten Gebäude der Leopoldina für Vorträge völlig ungenügend war. Es gab immer wieder Pläne, in einem der Häuser in der Abderhalden-Straße umzubauen. 1984 war wieder einmal eine Studie fertiggestellt, mit der BETHGE zum Stadtbaudirektor ging, von dem er erfuhr: „Bedingung hierfür [für den

Bau] wäre, mindestens 1/3 der veranschlagten Bausumme in konvertierbarer Währung [...] aufzubringen“,³¹ d. h., da 900 000 M veranschlagt waren, ging es um 300 000 DM. Die wurden tatsächlich mit Hilfe der Krupp-Stiftung aufgebracht und als Devisen vom Ministerium eingenommen.

25 LeoA-M1-5248, I: Aktennotiz über die Reise vom 21. 5. – 2. 6. 87 nach Heidelberg und Schweinfurt.

26 LeoA 502/65/03: Brief Vizepräsident Klaus BETKE an BETHGE vom 19. 4. 1985.

27 Ebenda: Brief BETHGE an Minister BÖHME vom 3. 5. 1985.

28 LeoA 502/65/02: Brief BETHGE an Minister Prof. Dr. Hans-Joachim MEYER vom 31. 5. 1990.

29 LeoA 502/65/03: Brief BETHGE an Dieter MATTER, Min. Hoch- und Fachschulwesen, vom 29. 9. 1983.

30 LeoA 502/65/03: Notiz Sekretärin Maria MEHLIG „Zum Arbeitsplan 1984“ vom 3. 1. 1984.

31 LeoA 502/65/03: Anlage „Bemühungen um den Bau ...“ vom 2. 9. 1985 zu Brief an MATTER, MHF, vom 3. 9. 1985.



Abb. 2 Präsident Heinz BETHGE mit den Carus-Preis-Trägern 1989, Rainer F. STORB und Christiane NÜSLEIN-VOLHARD, und dem Oberbürgermeister von Schweinfurt Kurt PETZOLD (von links nach rechts). 1961 stiftete die Leopoldina-Gründerstadt den Carus-Preis, der den Empfängern der Carus-Medaille der Leopoldina in einer festlichen Sitzung in Schweinfurt überreicht wird, so die enge Verbindung der Akademie zu ihren Wurzeln dokumentierend.³²

Nach einigen Wirrungen war der Bau dann tatsächlich 1988 fertig. BETHGE sah den für DDR-Verhältnisse sehr prächtigen Hörsaal nun nicht als Renommierstück, sondern er sollte allein praktische Zwecke erfüllen. So schrieb er anlässlich der Eröffnung: „Das neue Hörsaalgebäude, das insgesamt doch sehr aus dem Rahmen des sonst Üblichen herausfällt, wollen wir nicht ‚feierlich‘ einweihen, wir würden nur Neid und Gerede

erzeugen“,³³ und so ging es am 20. September 1988 schlicht mit einem der üblichen Vorträge los. Allerdings entsprach das auch dem Bethgeschen Wesen, der nichts für feierliche Selbstdarstellung übrig hatte. Als Beispiel sei nur genannt, dass der Sekretär der Akademie anlässlich einer Auszeichnung dem Büro des Oberbürgermeisters mitteilt: „Er [BETHGE] bittet also, von öffentlichem Rummel abzusehen.“³⁴

32 PARTHIER 1994, S. 99, Foto: Renate WIENER, Stadtarchiv Schweinfurt.

33 LeoA-M1-5248, II: Brief BETHGE an Prof. Dr. Karlheinz SOMMER, Glienicke, vom 12. 8. 1988.

34 LeoA-M1-5248, I: Handschriftliche Notiz von Sekretär Axel NELLES vom 28. 5. 1995.

5. Charakterisierung des Präsidenten als Menschen

Zum Menschen BETHGE gehören auch einige typische Redewendungen, die häufig in Briefen und in Reden auftauchen, die ihn nicht zuletzt als Physiker ausweisen, wie die „Grenzbedingungen“, die immer zu beachten seien oder eben auch gelegentlich sträflicherweise nicht beachtet worden sind, z. B. wenn er anlässlich der Verleihung der Verdienstmedaille an Carl Friedrich VON WEIZSÄCKER leichthin bemerkt: „Den Streit um die Farbenlehre sollten wir vergessen, man hat sich einfach über die Randbedingungen nicht verständigt.“³⁵

Wenn er etwas nur zögerlich angehen wollte, dann hieß es, „das Pulver trocken halten“; und sehr häufig war bei Situationsbeschreibungen zu lesen – und sicher auch in Gesprächen zu hören –: „die Wellen schlagen hoch“ oder auch in anderer Zeitform: sie werden oder sie haben hochgeschlagen. Für einen Brief an Christa WOLF ist notiert: „Sie sollen und dürfen sich nicht beirren lassen! Wenn die Wellen hochschlagen, soll man nach einer stillen Bucht suchen und sich schnell wieder gerade hinstellen.“³⁶

Die Lieblingsvokabel, gemessen an der Häufigkeit, aber war „hart“ in sehr vielen Kombinationen: hart gearbeitet, hart mitgenommen, hart belastet usw., letzten Endes aber auch einmal wortwörtlich: dass es in Lauchstädt „doch eine etwas harte Sitzung war, hart im wahrsten Sinn des Wortes, denn wir sitzen ja auf Goetheschen Holzbänken“.³⁷

Und als Physiker analysierte er auch die Welt um sich herum, wenn er z. B. feststellt:

„Ich rede hier im Lande und rege mich hart auf, um die Anerkennung echter Forschung nicht ganz untergehen zu lassen. Sicher, es gibt wirtschaftliche Sachzwänge, aber es gibt eben auch den 4. Hauptsatz. Letzteren habe ich als *perpetuum mobile* III. Art formuliert: Es ist unmöglich, eine progressiv sich entwickelnde Volkswirtschaft betreiben zu wollen, indem man glaubt, man braucht dazu nur die Patentschriften der anderen zu lesen.“³⁸

Es möge eine Feststellung nicht fehlen, die sehr berührt, ein Zitat aus einem Brief an seinen Nachfolger PARTHIER, nachdem BETHGE seine Stasi-Akte angesehen hatte:

„Es ist tief deprimierend, nun feststellen zu müssen, daß der Graben zwischen uns, die den Staat zwar nicht mochten, aber mit harter Arbeit in unseren Instituten ihn doch auch stützten, und der Staatsmacht viel tiefer war, als wir je glaubten. Wir waren eben potentielle Staatsfeinde, und jeder freundlich gefärbte Händedruck, oder jeder manchmal sogar kollegial herzlich ausgedrückte Dank für eine offene Meinungsäußerung waren Seifenblasen. Die widerlichen Akten weisen es aus.“³⁹

Aber natürlich war das nicht das Fazit zu seiner Arbeit, das kommt eher in den folgenden Worten zum Ausdruck: „[...] an unseren Grundsätzen haben wir nie rütteln lassen. Hauptprämissen für Mothes und für mich waren das staatlich ja massiv geforderte Abnabeln wo nur irgend möglich zu unterlaufen, und der zweite Hauptpunkt war, jungen Wissenschaftlern, die sich nicht beugten, Mut zu machen und sie zu fördern.“⁴⁰ Zu dem ‚Unterlaufen‘ gehörten natürlich auch die bereits erwähnte Wahrung von Unabhängigkeit und Internationalität der Akademie. Man kann guten Gewissens sagen, dass auch Heinz BETHGE als Präsident das von unseren Vorvätern metaphorisch in Fahrt

35 LeoA 502/05/02: Rede-Manuskript für Lauchstädt-Tagung zur Verleihung der Verdienstmedaille an Carl Friedrich VON WEIZSÄCKER, Frühjahr 1982.

36 LeoA-M1–5248, II: Handschriftl. Notiz [Schrift nicht identifiziert] für Brief an Christa WOLF, 1988.

37 LeoA 502/07/03: Brief BETHGE an Eugen SEIBOLD vom 10. 8. 1989.

38 LeoA 502/07/03: Brief BETHGE an Prof. Dr. Herwig SCHOPPER vom 18. 8. 1989.

39 LeoA-M1–5248, II: Brief BETHGE an PARTHIER vom Jan. 1995.

40 LeoA-M1–5248, II: Brief BETHGE an Hans MOHR, Freiburg, vom 15. [?] 8. 1995.



Abb. 3 Heinz BETHGE wünschte zur Amtsübergabe an seinen Nachfolger Benno PARTHIER diesem: „[...] alles, alles Gute, viel Kraft für das Amt und allzeit eine glückliche Hand, die braucht man nämlich neben aller logisch eingesetzten Energie auch.“⁴¹ Die Amtsübergabe fand am 30. Juni 1990 wieder im Goethe-Theater zu Bad Lauchstädt statt.

gesetzte Schiff der Argonauten gut durch die Fährnisse einer schwierigen Zeit geführt hat. Er reiht sich würdig in die Reihe der für die Akademie bedeutenden Präsidenten ein, beginnend beim Gründer Johann Laurentius BAUSCH über Christian Gottfried NEES VON

ESENBECK, Emil ABDERHALDEN bis zu Kurt MOTHES. Ein sichtbares Zeichen dafür war, dass nach der friedlichen Revolution und im vereinten Deutschland die Leopoldina sofort eine wichtige Rolle bei der Neuformierung der Wissenschaftslandschaft gespielt hat.

41 KÖHLER 1990, hier S. 25.

Dank

Gedankt sei dem Leiter des Archivs der Leopoldina, Herrn Dr. Danny WEBER, sowie Herrn Toni KLISCH und Frau Karin PIETSCH, ebenda, die es durch pünktliche und zuverlässige Bereitstellung der archivalischen Unterla-

gen und Erfüllung vielfältiger weiterer Wünsche erst ermöglicht haben, in der zur Verfügung stehenden Zeit die erforderlichen Recherchen durchzuführen.

Literatur

- BETHGE, H.: Bericht des Präsidenten der Akademie. In: SCHARF, J.-H. (Hrsg.): Systeme und Systemgrenzen. Vorträge anlässlich der Jahresversammlung vom 9. bis 12. Oktober 1975 zu Halle. Nova Acta Leopoldina NF Bd. 47, Nr. 226, 15–27 (1978)
- KÖHLER, W.: Feierliche Übergabe des Präsidentenamtes von Heinz Bethge an Benno Parthier am 30. 06. 1990 im Goethe-Theater zu Bad Lauchstädt. Nova Acta Leopoldina NF Bd. 65, Nr. 278 (1990)
- PARTHIER, B.: Die Leopoldina. Bestand und Wandel der ältesten deutschen Akademie. Festschrift des Präsi-

- diums der Deutschen Akademie der Naturforscher Leopoldina zum 300. Jahrestag der Gründung der heutigen Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg 1994. Halle (Saale): Deutsche Akademie der Naturforscher Leopoldina 1994
- SCHARF, J.-H. (Hrsg.): Feierliche Übergabe des Präsidentenamtes von Herrn Kurt Mothes an Herrn Heinz Bethge am 16. 11. 1974 im Goethe-Theater zu Bad Lauchstädt. Nova Acta Leopoldina NF Bd. 43, Nr. 222 (1975)

Prof. Dr. Dr.-Ing. Gunnar BERG
Vizepräsident
Deutsche Akademie der Naturforscher Leopoldina –
Nationale Akademie der Wissenschaften
Jägerberg 1
06108 Halle (Saale)
Bundesrepublik Deutschland
E-Mail: gunnar.berg@physik.uni-halle.de



Im Jahr 1989 ehrte die Leopoldina ihren Präsidenten Heinz BETHGE mit der Verleihung der goldenen Cothenius-Medaille.

Atomare Elektronenmikroskopie

Knut URBAN (Jülich)

Dieser Vortrag ist Heinz Bethge gewidmet und, 30 Jahre nach dem Fall der Mauer, allen Mitgliedern des Akademie-Instituts für Festkörperphysik und Elektronenmikroskopie.

Ich möchte mich zunächst für die Einladung bedanken. Ich betrachte es als eine besondere Ehre, auf dieser Gedenkveranstaltung sprechen zu dürfen. Der Mann, den wir heute anlässlich seines 100. Geburtstages ehren, hat in meinem eigenen akademischen Leben eine wichtige, nicht hinwegzudenkende Rolle gespielt. Er war für mich ein Vorbild als Mensch und als Wissenschaftler. Die Gastfreundschaft, angeboten vor nunmehr 40 Jahren von ihm und seinen Kollegen und Mitarbeitern, im damaligen Institut der Akademie der Wissenschaften wirkt bis heute fort. Bis in die jüngste Zeit haben wir zusammengearbeitet und gemeinsam publiziert.

Heinz BETHGE. Ich traf ihn zum ersten Mal anlässlich des *Internationalen Symposiums über In-situ-Hochspannungselektronenmikroskopie*, das unter seiner und Johannes HEYDENREICH'S Leitung im April 1979 hier in Halle im Internationalen Zentrum am Weinberg stattgefunden hat. Das Akademieinstitut für Festkörperphysik und Elektronenmikroskopie war zu dieser Zeit nicht nur eines der weltweit führenden Institute auf dem Gebiet der Elektronenmikroskopie, es gehörte auch

zum kleinen, international exklusiven Kreis der Institute, die ein Hochspannungselektronenmikroskop ihr Eigen nennen konnten. Die Hochspannungselektronenmikroskope setzten zur Beschleunigung der zur Abbildung verwendeten Elektronen Spannungen ein, die mit typischerweise einer Million Volt zehnmal höher waren, als dies zu dieser Zeit in der Elektronenmikroskopie üblich war. Dies erlaubte die Durchstrahlung wesentlich dickerer und damit materialwissenschaftlich interessanterer Objekte. Und da man zu dieser Zeit über keine Möglichkeit verfügte, die sphärische Aberration der elektromagnetischen Elektronenlinsen zu korrigieren, war die Verkürzung der Wellenlänge der Elektronen eine Möglichkeit, das Auflösungsvermögen der Mikroskope zu verbessern. Weiterhin ermöglichten es deren vergleichsweise großen Dimensionen, dass man innerhalb der Objektivlinse miniaturisierte Experimentierapparaturen unterbringen konnte. Dies erlaubte – und das wurde eine der erfolgreichsten Anwendungen der Hochspannungselektronenmikroskopie – das Experimentieren *in situ* unter direkter mikroskopischer Beobachtung.

Das Akademieinstitut war eines der maßgebenden Institute auf dem Gebiet der *In-situ*-Elektronenmikroskopie, nicht zuletzt wegen der international unübertroffenen Leistung der im Institut selbst konstruierten und gebauten hochauflösenden *In-situ*-Goniometer. Die Konferenz wurde ein ausgezeichnete Erfolg. Alle, die auf diesem Gebiet international Rang und Namen hatten, aus 14 Nationen, kamen nach Halle. Die Teilnehmer waren beeindruckt von der wissenschaftlichen Qualität der Beiträge aus dem Institut. Und sie waren beeindruckt von der geräte-technischen Ausrüstung des Internationalen Zentrums. Vielen von uns wurde damals, vielleicht zum ersten Mal, so richtig klar, dass wir es hier mit einer ernstzunehmenden Konkurrenz zu tun hatten. Die Tatsache, dass die Arbeiten so gut wie nie in internationalen Journalen publiziert wurden, oder dass die AdW-Wissenschaftlerinnen und -Wissenschaftler nie oder nur selten auf internationalen Konferenzen erschienen, bedeutete eben nicht, dass sie nichts zu sagen gehabt hätten. Die verordnete Isolation entsprach der Vorgabe der Politik, das, was hier östlich des Eisernen Vorhangs an wissenschaftlichen Erkenntnissen erarbeitet wurde, nicht in Richtung Westen zu kommunizieren.

Die optischen Aberrationen

Das Jahr 1979. Niemand dachte damals daran, dass man jemals in der Lage sein würde, Atome in einem Elektronenmikroskop direkt abbilden zu können. Mit einem maximalen Auflösungsvermögen von ca. einem Nanometer war man ein bis zwei Größenordnungen von den atomaren Dimensionen entfernt. Generell galt allerdings weiterhin, was im selben Jahr Ernst RUSKA in seinen wissenschaftlichen Memoiren beschrieben hat (RUSKA 1979):

„[...] In unserer nächsten, am 16. 6. 1932 eingereichten Arbeit [...] schätzten wir [RUSKA und KNOLL] erstmals die

Vielen von uns wurde in dieser Woche vom 2. April 1979 aber auch zum ersten Mal so richtig klar, dass wir am allerwenigsten die Menschen kannten, die hinter diesen wissenschaftlichen Arbeiten standen. Der persönliche Austausch unter Kolleginnen und Kollegen über Grenzen hinweg, der ein elementarer Bestandteil des Fortschritts in der Wissenschaft ist, wurde diesen Menschen von der Politik vorenthalten. Die persönliche Begegnung, die uns Heinz BETHGE damals aufgrund seines großen internationalen Ansehens ermöglichte, war ein nachhaltiger Erfolg dieses Symposiums. Ein Erfolg, der, wenn ich in die Runde schaue, bis heute nachwirkt.

Das Bild, das in mir von dem Menschen BETHGE damals entstanden ist, war prägend, und es bleibt unvergesslich. Ich sehe ihn noch immer vor mir, im Strickpullover, an einem der Abende am Kamin im Gesellschaftsraum des Internationalen Zentrums, umgeben von jungen Menschen. Zuhörend, die Ellbogen auf den übergeschlagenen Beinen abstützend – nachdenklich die Pfeife rauchend. Heinz BETHGE gehörte zu den Menschen, die aus ihrem Erfolg im Leben Freundlichkeit und menschliche Wärme abzuleiten in der Lage sind.

Auflösungsgrenze des Durchstrahlungs-Elektronenmikroskops ab. [...] Als wir dabei auf die Größenordnung der Atomabstände kamen, zweifelten wir daran, ob insbesondere die Physiker uns ernst nehmen würden [...]“.

Ja, das Elektronenmikroskop war – im Prinzip – in der Lage, atomare Auflösung zu liefern. Aber in der Realität war es weit davon entfernt. Der Grund dafür war bereits 1936, also nur wenige Jahre nach Ernst RUSKAs Erfindung des Elektronenmikroskops, von Otto SCHERZER in Darmstadt in einer theoretischen Arbeit beschrieben worden (SCHERZER 1936): Ebenso wie das bei

lichtoptischen Linsen der Fall ist, weisen auch die in der Elektronenoptik verwendeten elektromagnetischen Linsen gravierende optische Abbildungsfehler auf. Dabei ist der wichtigste und alle anderen überragende Abbildungsfehler die sphärische Aberration. Dieser Fehler rührt davon her, dass die Brechkraft einer sphärischen Linse keine Konstante ist. Vielmehr wird sie vom Zentralbereich zum Randbereich immer stärker. Die Randstrahlen kommen daher viel früher zu einem Brennpunkt als die Strahlen, welche die Linse im Zentralbereich durchlaufen. Die Folge davon ist, vereinfacht gesprochen, dass man ein verschwommenes Bild erhält, das sich aus Anteilen zusammensetzt, die zu den unterschiedlichen Brennweiten gehören. Es liegt dann nahe zu sagen: Gut, wenn diese mit den Randstrahlen produzierten Bilder unscharf sind, dann setze ich einfach vor die Linse eine Blende, die dafür sorgt, dass diese Strahlen abgefangen werden und somit nicht zur Bildentstehung beitragen können. Dies hat man früher in der Tat auch so gemacht, zunächst in der Lichtoptik, und dann später auch in der Elektronenoptik. Allerdings, für diese Art der Reduzierung der Abbildungsfehler ist ein hoher Preis zu zahlen. Aufgrund des Abbeschen Beugungsgesetzes ist die Information über die kleinsten Objekteinheiten, die einen natürlich am meisten interessieren, in den Strahlen enthalten, welche große Winkel mit der optischen Achse einschließen. Das heißt, die zur Verbesserung der Bildqualität eingesetzte Blende hält genau diejenigen Strahlen ab, die uns am wichtigsten sind. Der Preis für die Reduzierung der sphärischen Aberration ist somit ein vermindertes Auflösungsvermögen des Mikroskops.

Einen Weg heraus aus diesem Dilemma hat Ernst ABBE in einem berühmten Vortrag beschrieben, den er 1879 vor der *Royal Microscopical Society* in London gehalten hat, die ihn soeben – durch die Aufnahme in ihre Reihen – geehrt hatte (ABBE 1879). Die sphä-

rische Aberration einer Sammellinse lässt sich kompensieren, wenn man sie mit einer zu ihr passenden Zerstreuungslinse kombiniert. Die Brennweite wird dann überall dieselbe. Ernst ABBES Ideen markieren den Beginn des unerhörten Siegeszuges der modernen Lichtoptik. Vom Höchstleistungsmikroskop bis zur Kamera des Mobiltelefons werden für die optischen Funktionen Systeme von Linsen verwendet, deren Aberrationen sich gegenseitig kompensieren.

Der von Ernst ABBE beschriebene Weg, die optischen Aberrationen zu korrigieren, um damit zu einem höheren Auflösungsvermögen zu gelangen, gilt, das hat Otto SCHERZER in seiner bereits erwähnten Arbeit 1936 gezeigt, grundsätzlich auch für die Elektronenoptik. Aber der Weg dorthin erwies sich als derart schwierig, dass noch über fünfzig Jahre später – trotz enormer Anstrengungen in der Forschung und in der Industrie – es niemandem gelungen war, aberrationskorrigierte Elektronenoptik zu realisieren. Letztlich war das auch nicht verwunderlich, denn der Stein im Weg war nichts Geringeres als ein Naturgesetz, das Gaußsche Gesetz des Magnetismus, eine der vier Maxwell-Gleichungen. Das Gaußsche Gesetz besagt, dass das magnetische Feld quellenfrei ist. Mit anderen Worten, die Feldlinien sind geschlossen. Und als Folge davon sind mit runden magnetischen Feldern nur konvergente Sammellinsen, aber keine Zerstreuungslinsen realisierbar.

Aufgrund der Tatsache, dass es bis dahin – trotz eines enormen Aufwandes – über mehr als ein halbes Jahrhundert international in Forschung und Industrie nicht gelungen war, eine Technik zu entwickeln, die es erlaubte, das Gaußsche Gesetz zu umgehen, wollte uns Anfang der 1990er Jahre niemand glauben, als wir, Maximilian HAIDER vom Europäischen Molekularbiologischen Laboratorium in Heidelberg, Harald ROSE von der Universität Darmstadt und ich am Forschungszentrum Jülich, unseren Projektvor-

schlag zum Bau eines aberrationskorrigierten Elektronenmikroskops bei den europäischen und den deutschen Finanzierungsträgern einreichten. Zudem hatten Ende der 1980er Jahre die großen amerikanischen Förderorganisationen den gemeinsamen Beschluss gefasst, Projekte, die eine optische Korrektur der Elektronenoptik zum Ziele hatten, nicht mehr zu finanzieren. Dies hatte zur Folge, dass weltweit die Finanzierung solcher Arbeiten eingestellt wurde. Unser Vorschlag bestand darin, die Zerstreungslinse mit Hilfe eines Systems von Multipolen, genauer von Hexapollinsen, zu realisieren. Die Basis dafür lieferte eine theoretische Arbeit, die ROSE 1990 publiziert hatte. Trotz der internationalen Finanzierungsblockade gelang es, die Volkswagenstiftung für dieses Projekt zu gewinnen, das dann von 1991 bis 1997 von ihr finanziert wurde. Dass man ausgerechnet über Multipollinsen zu einer korrigierten Elektronenoptik gelangen könnte, leuchtet nicht auf den ersten Blick ein. Hexapollinsen führen zu starken dreieckförmigen Verzerrungen. Schaltet man jedoch, vermittelt durch zwei runde Transferlinsen, zwei Hexapollinsen hintereinander und invertiert die Stromrichtung der zweiten relativ zur ersten, dann heben sich die dreieckförmigen Verzerrungen gerade auf. Bei realen, sogenannten langen Linsen, bleibt dann eine negative Sphärische Aberration übrig, mit deren Hilfe man, ganz so wie das bei einer Zerstreungslinse der Fall ist, die sphärische Aberration der Objektivlinse eines Mikroskops kompensieren kann (HAIDER et al. 1998a).

Unser im Rahmen des Projekts in Heidelberg gebautes Mikroskop, das erste aberrationskorrigierte Elektronenmikroskop der Welt (HAIDER et al. 1998b), wurde zur Mutter einer ganz neuen Generation von kommerziellen Geräten. Davon sind inzwischen (Stand Ende 2019) über 900 Geräte verkauft worden. Mit wenigen Ausnahmen, egal ob es sich dabei um *Conventional Transmission Electron Microscopes* (CTEMs) oder

Scanning Transmission Electron Microscopes (STEMs) handelt, sind diese Instrumente mit einem Korrektor nach ROSES Doppel-Hexapol-Prinzip korrigiert. Die elektronenoptische Industrie, die sich noch Ende der 1980er Jahre in einer wirtschaftlich kritischen Phase befunden hatte, erlebt seit Beginn der 2000er Jahre, als die ersten kommerziellen aberrationskorrigierten Geräte auf den Markt kamen, einen Höhenflug, den damals niemand für möglich gehalten hatte. Die Elektronenmikroskopie in atomaren Dimensionen ausführen zu können, entspricht dem Stand und den Anforderungen der modernen Materialforschung. Dies gilt namentlich für die Nanotechnologie. Aber auch in vielen anderen Bereichen, in denen Materialprobleme eine ausschlaggebende Rolle spielen, u. a. in der modernen Energietechnik, vom maßgeschneiderten Hochleistungsstahl über die Photovoltaik und die Lagertechnik bei Windturbinen bis hin zur Lithiumionenbatterie, bedient man sich heute der Vorteile der atomaufgelösten Elektronenmikroskopie.

Bevor wir weiter fortfahren, möchte ich kurz auf die beiden Formen des Transmissionselektronenmikroskops eingehen. Mit CTEM, konventionelles Durchstrahlungselektronenmikroskop, bezeichnet man das nach dem Prinzip der optischen Anordnung im Lichtmikroskop aufgebaute *direkt abbildende* Elektronenmikroskop, das 1932 von Ernst RUSKA und Max KNOLL an der Technischen Hochschule in Berlin-Charlottenburg erfunden wurde (RUSKA und KNOLL 1936a, b). Beim CTEM befindet sich die Objektivlinse mit dem Korrektor direkt hinter der Probe. Das Bild entsteht dann nach einer Nachvergrößerung durch weitere Linsen unten auf einem Leuchtschirm bzw. heute fast durchweg auf dem Target einer CCD- oder CMOS-Kamera (WILLIAMS und CARTER 2009). Mit STEM bezeichnet man das Rasterdurchstrahlungselektronenmikroskop, das nur wenige Jahre später, 1937, von Manfred

VON ARDENNE im Laboratorium für Elektronenphysik in Berlin-Lichterfelde erfunden wurde (VON ARDENNE 1938a, b). Beim STEM befindet sich die Objektivlinse mit dem Korrektor vor dem Präparat. Sie formt einen feinen Strahl von auf die Probe fokussierten Elektronen, mit dem die Probe abgerastert wird und der auch die Auflösung

bestimmt. Die das Präparat durchdringenden Elektronen werden unterhalb der Probe mit einer Reihe von auf bestimmte Streuprozesse der Elektronen abgestimmten Detektoren aufgefangen, elektronisch verarbeitet, und das elektronenmikroskopische Bild entsteht dann als Intensitätssignal auf einem Videoschirm (WILLIAMS und CARTER 2009).

Atome abbilden

Fangen wir einfach damit an, zu tun, was man vor der Aberrationskorrektur nicht tun konnte, nämlich uns Atome anzuschauen. Dazu orientieren wir die kristallinen Präparate so, dass wir parallel zu den Atomreihen blicken, andernfalls würde man buchstäblich „den Wald vor lauter Bäumen nicht sehen“. Ein

frühes, aber auch heute noch sehr eindrucksvolles Beispiel ist die atomare Abbildung von Strontiumtitanat (STO) (Abb. 1) (JIA et al. 2003, JIA und URBAN 2004). Das Bild ist im CTEM im NCSI-Kontrast aufgenommen (JIA und URBAN 2004, JIA et al. 2010). Die Atome erscheinen hell auf einem dunklen



Abb. 1 Abbildung der atomaren Struktur (entlang einer kristallographischen [011]-Richtung) von Strontiumtitanat, SrTiO_3 , im CTEM mithilfe des NCSI-Kontrastmodus. Die Atompositionen erscheinen hell auf dunklem Grund. Jede dieser Positionen bezeichnet das Bild einer Atomsäule, die so zum einfallenden Elektronenstrahl orientiert ist, dass man die Säule genau von oben sieht. Die Atome der Säule stehen daher genau hintereinander. Die chemische Natur der Atome lässt sich mithilfe der quantitativen Intensitätsberechnung bestimmen. Schema der Atomanordnung: Sr – rot, Ti – grün, O – blau. Horizontaler Abstand zweier Strontiumatome: 3,9 Å. [C. L. JIA]

Hintergrund. Wir sehen die Strontiumatome, die Titanatome, und zwischen den Titanatomen die Sauerstoffatome. Dieses Bild wurde von den Chemikern als eine Sensation empfunden (SPENCE 2003, THOMAS und ZHOU 2003). Noch nie zuvor war jemand in der Lage gewesen, Sauerstoff (Kernladungszahl $Z = 8$) elektronenmikroskopisch direkt abzubilden. Die Oxide bilden eine der größten Materialklassen, und entsprechend groß ist das Interesse daran, die Sauerstoffatome in chemischen Verbindungen sowie im Zusammenhang mit Kristallgitterinhomogenitäten untersuchen und messen zu können. Aber ohne aberrationskorrigierte Linsen war die Elektronenmikroskopie „blind“ mit Bezug auf Sauerstoff und andere Atomarten mit niedrigen Kernladungszahlen. Heutzutage werden in der Materialforschung die Elemente bis herunter zu Wasserstoff (ISHIKAWA

et al. 2011) routinemäßig mit Hilfe der aberrationskorrigierten Transmissionselektronenmikroskopie untersucht. Neben dem Sauerstoff nimmt dabei zur Zeit das für Elektrobatterien so wichtige Lithium ($Z = 3$) eine wichtige Stellung ein (FINDLEY et al. 2017).

Lag vor der Einführung der Aberrationskorrektur das Grenzauflösungsvermögen der Transmissionselektronenmikroskope bei etwa 1 nm (= 10 Å), so liegt es derzeit bei 0,48 Å beim CTEM (JIN et al. 2017) und bei 0,41 Å beim STEM (MORISHITA et al. 2018). Wie ich im Folgenden kurz darlegen werde, ist das Auflösungsvermögen nicht die allein ausschlaggebende Größe zur Charakterisierung des Leistungsvermögens moderner Elektronenmikroskope. Mindestens so wichtig ist die Präzision, mit der man atomare Abstände und Verschiebungen messen kann.

Genauer hinschauen

Nun muss man sich natürlich fragen, ob die Abbildung der atomaren Welt wirklich so einfach ist, wie es hier der Fall zu sein scheint. Viele denken dabei an eine Art von Projektion mit Elektronen, an einen Durchblick oder an so etwas wie einen Schattenwurf. Allerdings: Dies ist die atomare Welt, in der die Quantenmechanik regiert. Studierende der Physik lernen bereits in den ersten Semestern, dass die Quantenmechanik unserer an der makroskopischen Welt orientierten intuitiven Anschauung nicht zugänglich ist. Warum sollte es hier anders sein? Vergessen wir also diese inadäquaten, völlig unphysikalischen Sichtweisen. Projektion und Schattenwurf, nichts davon ist richtig. Beherzigen wir, was Richard FEYNMAN, einer der bedeutendsten Physiker unserer Zeit, gesagt hat (FEYNMAN 1992):

„Ich denke, dass ich mit Sicherheit sagen kann, dass niemand die Quantenmechanik versteht.“

Das Motto muss lauten: „Vertraue niemals einem Elektron.“ Elektronen sehen die Atome auf ihre eigene Weise, und auch die Elektronen „sehen“ die Atome selbst nicht. Sie sehen ihre elektrischen Felder. Diese Wechselwirkung, die Streuung der Elektronen an den Atomen, wird durch die Schrödinger-Gleichung beschrieben. Ist es nicht verwunderlich, dass selbst eingefleischte Physiker, sich dadurch, dass ein elektronenmikroskopisches Bild zuweilen wie ein Abbild eines Atommodells („ball and stick“) aussieht, verführen lassen und aufgrund der sie täuschenden Intuition, die an Abbildungen im Lichtmikroskop orientiert ist, annehmen, dass sie das mit Elektronen erzeugte Bild direkt verstehen würden? Können Sie die Schrödinger-Gleichung in Ihrem Kopf lösen? Natürlich nicht, dafür verwenden wir einen Computer! Der Computer ist das „Gehirn“, das mit der Quantenphysik – zumindest formal – umgehen kann.

Elektronenoptische Bildsimulation

Der Computer erlaubt es uns, das elektronenmikroskopische Bild zu berechnen. Man spricht auch von *elektronenoptischer Bildsimulation*. Für CTEM und STEM sind die elementaren Zutaten für eine adäquate Berechnung des elektronenmikroskopischen Bildes natürlich zunächst einmal die Illuminationsbedingungen, die Elektronenenergie und die Wellenlänge, die Elektroneneinstrahlrichtung mit Bezug auf die Atomreihen sowie die Präparatdicke. Dann muss man die Schrödinger-Gleichung für die Atomanordnung lösen. Das Ergebnis ist die quantenphysikalische Wellenfunktion an der Probenunterseite, wo die Elektronen das Präparat wieder verlassen. Es ist diese Elektronenwellenfunktion an der Austrittsseite des Präparats, und auf alle Fälle nicht das Präparat selbst, was von der Optik dann in der Folge abgebildet wird. Es muss also in der Berechnung die Auswirkung der Optik auf diese Wellenfunktion behandelt werden. Dies gibt schließlich die Intensitätsverteilung der Elektronen im Bild. Normalerweise stellt sich allerdings das Problem anders herum. Wir haben zunächst die Intensitätsverteilung im registrierten Bild. Dann müssen wir, um zu erfahren, welche atomare Struktur dahintersteckt, diese ganze Rechnung invertieren. Also von der Intensitätsverteilung im Bild zurück zur Austrittswellenfunktion. Dann geht es darum, von der Austrittswellenfunktion auf die Anordnung der Atome zurückzurechnen. Das geschieht durch Inversion der Schrödinger-Gleichung, und zwar numerisch iterativ auf dem Computer. Das kann zuweilen aufwändig werden. Dennoch ist diese Berechnung unabdingbare Voraussetzung für quantitative Resultate.

Das iterative Anpassen einer berechneten Intensitätsverteilung an die experimentell im Bild gemessene ist der Elementarprozess des eigentlichen Verstehens eines elektronenmikroskopischen Bildes

in atomaren Dimensionen. Nur auf dieser Basis lassen sich so elementare Fragen beantworten, wie: unter welchen Bedingungen eigentlich die Atome hell auf dunklem Grund oder, umgekehrt, dunkel auf hellem Grund erscheinen, und welche Information man daraus gewinnen kann, dass eine Atomposition heller (dunkler) als eine andere erscheint. Nur so kann man daraus quantitative Messungen ableiten. Und natürlich ist eine der ersten Fragen die, ob das Bild des Atoms überhaupt an der Position im Bild erscheint, wo man es entsprechend dem Strukturmodell erwartet. Erscheint das Intensitätsmaximum, das zu dem Atom gehört, im Bild gegenüber dem eines anderen Atoms verschoben, dann muss geklärt werden, ob es sich bei dieser Beobachtung um ein optisches Artefakt oder um interessante (vielleicht neue) physikalische Realität handelt.

Noch ein letzter Punkt zur Illustration: Die Bilder und auch die Ergebnisse der Lösung der Schrödinger-Gleichung hängen von der Dicke des Präparats ab, und dabei spielt bereits die Genauigkeit in der Größe eines Bruchteils eines Atomabstandes eine Rolle. Aber in atomaren Dimensionen gibt es keinen Meterstab, mit dem man die Dicke direkt messen könnte. Dickenmessungen in atomaren Dimensionen bedürfen unabdingbar eines Elektronenstreuexperimentes, und das ist hier der Abbildungsprozess selbst. Die Probendicke, und das ist nur einer von einer ganzen Reihe von Parametern, muss daher iterativ in der Anpassung der Rechnung zum Experiment bestimmt werden. Atome zu sehen ist schön, und das kann auch zum Weltbild beitragen. Doch wer sich Messzeit an einem zwischen 3 und 8 Millionen Euro teuren aberrationskorrigierten Elektronenmikroskop hat reservieren lassen, der muss verlässliche quantitative Messresultate dafür liefern.

Zuletzt noch zum Unterschied zwischen der *Auflösung* und der *Präzision*. Natürlich ist es ein zentrales Anliegen eines Elektronenmikroskops, enge Atompaaire optisch trennen, also auflösen, zu können. Sobald man aber die beiden Atome eines Paares nach dem Rayleigh-Kriterium (für überlappende atomare Einzelkontraste) aufgelöst hat, möchte man natürlich ihren Abstand quantitativ messen. Wie genau man das tun kann, das definiert die Präzision, mit der die Atome abgebildet werden. Die Präzision hängt in erster Linie vom Signal/Rausch-Verhältnis der Intensitätsverteilung im Bild ab, auf alle Fälle aber nicht mehr vom Rayleigh-Kriterium. Dies ist der Grund dafür, dass man die Positionen oder auch die Verschiebungen von Einzelatomen mit Bezug auf andere Atome, die optisch gut getrennt voneinander

sind, mit einer Präzision messen kann, die über eine Größenordnung besser ist als der Wert der Auflösung. Bei den modernen Geräten liegt die Präzision bei etwa 1 pm. Zur Orientierung, ein Pikometer entspricht dem hundertsten Teil des Bohrschen Durchmessers des kleinsten aller Atome, des Wasserstoffatoms.

Die folgenden Beispiele sollen, ohne auf die jeweiligen komplexen Einzelheiten der elektronenmikroskopischen Kontrastinterpretation einzugehen, illustrieren, von welcher Art die Ergebnisse der modernen Elektronenoptik sind. Eine einfache, wenn auch frühe Übersicht über das Gebiet der aberrationskorrigierten Elektronenmikroskopie, CTEM und STEM, bieten die Referenzen (URBAN 2008, 2009).

Die 3D-Struktur der Oberfläche eines Nanopartikels

Abbildung 2 zeigt im CTEM die Atome, hell auf dunklem Hintergrund, in einem Magnesiumoxid-Kristall, der so orientiert ist, dass der Elektronenstrahl und damit auch die Blickrichtung entlang einer kristallographischen [001]-Richtung verläuft (JIA et al. 2014). Ich erinnere noch einmal daran, dass der Kristall mit Hilfe des Kippgoniometers präzise so orientiert ist, dass wir von oben auf die Atomsäulen schauen; jede dieser Säulen erscheint also im Bild als ein heller Punkt. Sie können nun einwenden, dass man also doch, im Gegensatz zu dem, was wir oben mit Bezug auf die Quantenphysik festgestellt haben, die Atome und ihre Anordnung gewissermaßen „in Projektion“ direkt sehen kann. Diese Sichtweise ist nur bedingt richtig. Die für diese Abbildung verwendeten Abbildungsbedingungen wurden, wie oben beschrieben, durch iterative Lösung der Schrödinger-Gleichung unter Einbezug der numerisch ermittelten Probendicke und der Linsenparameter so ausgerechnet, dass

das Bild unseren unwillkürlichen intuitiven Vorstellungen entgegenkommt. Es würde ja nicht sehr sinnvoll sein, Ihnen Bilder zu zeigen, die zwar physikalisch informativ sind (was für jedes unter quantitativen Bedingungen aufgenommene Bild der Fall ist), aber dem Betrachter nichts bieten können. Schon die Zuordnung der hellen Kontraste zu den Atomsäulen wäre ohne quantitative Bildberechnung ohne Grundlage. Da die Atompositionen ohne weiteres, je nach den Abbildungsbedingungen, hell oder dunkel erscheinen können, wäre es auch ohne weiteres möglich, dass die hellen Bereiche den Zwischenräumen zwischen den Atomsäulen entsprechen. Abhängig von den Abbildungsbedingungen können sogar zusätzliche Intensitätsmaxima zwischen den jeweiligen Helligkeitsmaxima auftreten. Solche Scheinrepräsentationen der atomaren Struktur von Bildern zu unterscheiden, die der wirklichen Struktur entsprechen, ist nur über die quantitative Bildberechnung möglich.

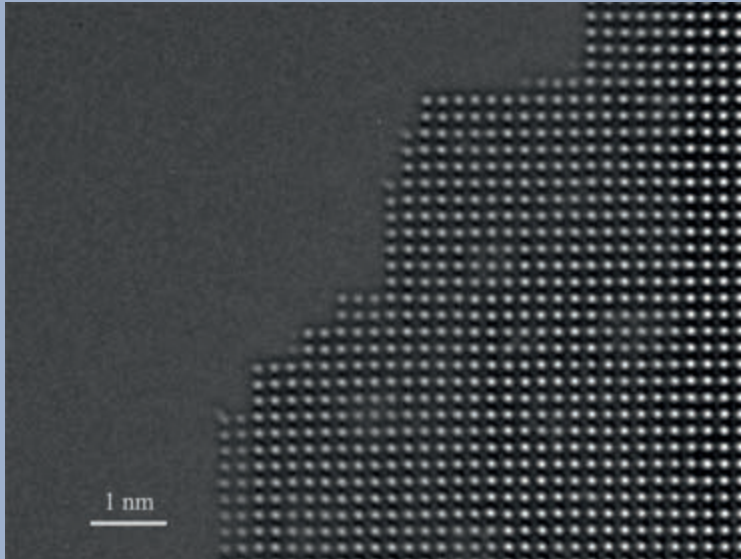


Abb. 2 Abbildung der atomaren Struktur (entlang einer kristallographischen [001]-Richtung) von Magnesiumoxid, MgO, im CTEM mithilfe des NCSI-Kontrastmodus. Die Atompositionen erscheinen hell auf dunklem Grund. Die unterschiedliche Intensität der atomaren Maxima zeigt atomar aufgelöst unterschiedliche lokale Probendicken an. Daraus lässt sich durch quantitative Rechnung das atomar aufgelöste Profil der Probe, eines Nanokristalls, an der Ober- und der Unterseite (gleichzeitig) ermitteln. [C. L. JIA]

Bezüglich der Abbildung 2 möchte ich auf zwei Punkte hinweisen. Zum einen erkennen Sie, dass die verschiedenen Atompositionen mit unterschiedlichen Intensitäten erscheinen. Mit Hilfe quantitativer Intensitätsmessungen und eines ebenso quantitativen Vergleichs mit den Bildberechnungen lässt sich daraus die Länge der jeweiligen Atomsäulen ermitteln. Und das ist nicht alles: Durch Vergleich der Intensitäten benachbarter Atomsäulen lässt sich das Profil des Nanoteilchens (jeweils getrennt unterscheidbar) an der Ober- und Unterseite, atomar aufgelöst in drei Dimensionen (3D), ermitteln. Das Ergebnis zeigt die Abbildung 3. Die braun eingefärbten Atome bezeichnen Kohlenstoffatome, die an der Partikeloberfläche auf Magnesiumatompositionen sitzen. Da in die quantitative Bildberechnung die Kernladungszahl der Einzelatome eingeht,

kann man auf diese Weise die adsorbierten Kohlenstoffatome von den an dieser Position eigentlich erwarteten Magnesiumatomen unterscheiden. Die grün bezeichneten Kugeln auf Sauerstoffpositionen bezeichnen Sauerstoffatome, die während der Belichtungszeit der Aufnahme in Abbildung 2 aufgrund von Oberflächendiffusionsvorgängen ihren Platz verlassen haben.

In der Tat, es lohnt sich, im Rahmen der quantitativen Elektronenmikroskopie genau hinzuschauen. Messungen dieser Art und von solcher Präzision lassen sich mit keiner anderen Methode durchführen. Allerdings setzt dies voraus, dass auf der Basis von quantitativen Intensitätsmessungen und Bildberechnungen, Pixel für Pixel, „in tandem“ gearbeitet wird. Die Aberrationskorrektur hat aus dem Elektronenmikroskop ein ultrapräzises Messinstrument gemacht.

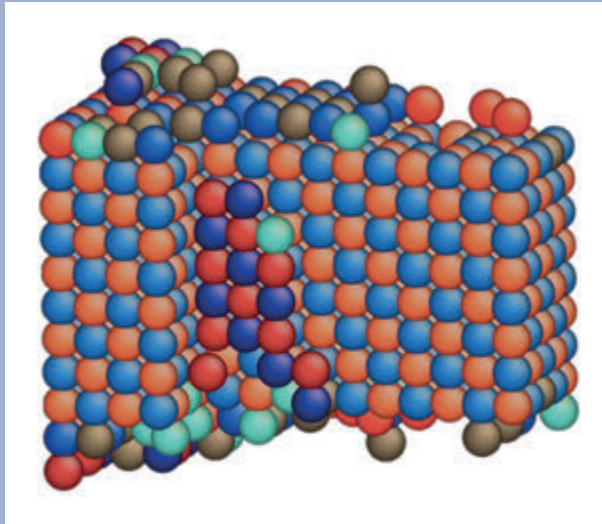


Abb. 3 Die gemessene 3D-Atomordnung eines Teils des in Abb. 2 gezeigten MgO-Nanokristalls. Die präzisen Atomorte wurden mithilfe der im Text beschriebenen quantitativen Verfahren der Kontrastberechnung im Computer ermittelt. Mg-Atome – blau, O-Atome – rot. Die braun eingefärbten Atome bezeichnen Kohlenstoffatome, die an der Partikeloberfläche auf Magnesiumatompositionen sitzen. Die grün bezeichneten Kugeln auf Sauerstoffpositionen bezeichnen Sauerstoffatome, die während der Belichtungszeit der Aufnahme in Abb. 2 aufgrund von Oberflächendiffusionsvorgängen ihren Platz verlassen haben. Dies lässt sich aus der gegenüber den anderen Atompositionen verringerten Intensität der Atomposition schließen. [C. L. JIA]

Eine Grenzfläche

Auf einem Substrat aus SrTiO_3 wurde durch Laserdeposition eine Schicht von nominell einer Einheitszelle Lanthanaluminat (LaAlO_3) abgeschieden (JIA et al. 2013). Diese Schicht wurde mit einer zweiten Schicht von SrTiO_3 abgedeckt. Die Frage ist: Ist diese LaAlO_3 -Schicht in Bezug auf die atomaren Konzentrationen wirklich so ideal scharf begrenzt, wie das beabsichtigt war? Oder ist sie infolge der Tatsache, dass bei der Laserdeposition die Atome mit recht hohem Impuls auf die Oberfläche treffen, oder auch durch Diffusion bei der Depositionstemperatur von 700°C verbreitert?

Die elektronenmikroskopische Aufnahme (CTEM im NCSI-Kontrast, entlang einer kristallographischen $[011]$ -Richtung) der Abbildung 4 zeigt eine Querschnittspräparation

der Heterostruktur. *Links* das experimentelle Bild, *rechts* die mittels Computersimulation (ohne anzupassende Parameter) berechnete Intensitätsverteilung (Übereinstimmung der jeweiligen Intensitäten ist besser als 5%). Diese quantitative Übereinstimmung erlaubt es, aus den Intensitäten, lokale Konzentrationen abzuleiten. Diese sind in Abbildung 5 gezeigt. Man erkennt, dass weiter weg von der La-Atomlage beim Abszissenwert 0 (für Werte ≤ -2 im Substrat und für Werte ≥ 3 in der Deckschicht) die Besetzung der Stöchiometrie des Strontiumtitanats entspricht. Dagegen gibt es große Abweichungen von dieser Stöchiometrie über einen Bereich der Dicke einer Einheitszelle im Substrat und einer Dicke von drei Einheitszellen in der Deckschicht.

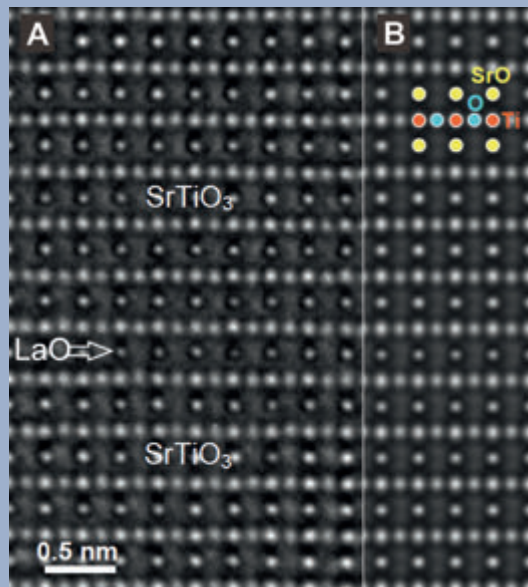


Abb. 4 Elektronenmikroskopische Aufnahme (CTEM im NCSI-Kontrast, entlang einer kristallographischen [011]-Richtung) des Querschnitts durch eine Heterostruktur. Depositionsrichtung vertikal von unten nach oben. Auf das Strontiumtitanat-Substrat wurde durch Laserablation bei 700 °C eine nominell eine Einheitszelle dicke Lanthanaluminat (LaAlO_3)-Schicht epitaktisch abgeschieden. Darauf wurde eine nach oben abschließende zweite Strontiumtitanat-Schicht als Deckschicht deponiert. Links (A) das experimentelle Bild, rechts (B) die mittels Computersimulation (ohne anzupassende Parameter) berechnete Intensitätsverteilung (Übereinstimmung der beiden Intensitäten besser als 5%). Diese quantitative Übereinstimmung erlaubt es, aus den Intensitäten, lokale Konzentrationen abzuleiten. Diese sind in Abb. 5 gezeigt. [C. L. JIA]

Es gibt keine andere Methode, die das so genau zu messen gestatten würde. Allerdings ist es dazu notwendig, die Intensitäten im Bild, Pixel für Pixel, quantitativ zu messen, und anschließend mit Hilfe der Computer-

simulation eine quantitative Anpassung der berechneten an die experimentell bestimmten Intensitäten durchzuführen. Dies gilt sowohl (wie hier demonstriert) für CTEM als auch für STEM.

Ti-Atom-Valenz in einer Versetzung

Versetzungen sind Baufehler der Atomanordnung im Kristallgitter. Bewegliche Versetzungen vermitteln die Kristallplastizität. Versetzungen bilden sich aber auch, wenn man zwei zueinander um einen kleinen Winkel verkippte Kristalle (z. B. durch Sintern unter Druck oder durch Bikristallwachstum) zusammenbringt. In diesem Fall bekommen

wir eine Kleinwinkelkippkorn Grenze, die aus einer statischen Anordnung von Versetzungen besteht. Abbildung 6 zeigt ein in einem STEM aufgenommenes Bild (DU et al. 2015) der atomaren Struktur einer Kleinwinkelkorn Grenze in SrTiO_3 . Die hier gewählte Abbildungsmodus ist HAADF (*high-angle annular dark field*) (PENNYCOOK und NEL-

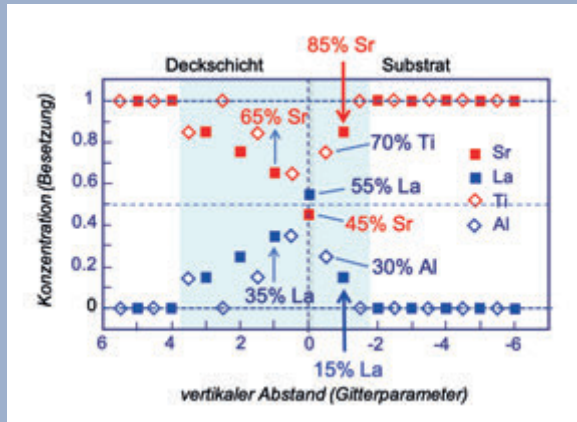


Abb. 5 Die lokalen Konzentrationen in der Umgebung der Lanthanatomlage (Abszissenwert 0). Man beachte die gegenüber Abb. 4 um 90° gedrehte Depositionsrichtung. Der Wert der Konzentration bezieht sich auf die jeweilige Atomsäule, weshalb man auch von der Besetzung spricht (Besetzungszahl 1 bedeutet, dass die entsprechende Atomart in der Atomsäule 100% der Atome ausmacht). Man erkennt, dass weiter weg von der La-Atomlage (für Werte ≤ -2 im Substrat und für Werte ≥ 3 in der Deckschicht) die Besetzung der Stöchiometrie des Strontiumtitanats entspricht. Dagegen gibt es große Abweichungen von dieser Stöchiometrie über einen Bereich der Dicke einer Einheitszelle im Substrat und einer Dicke von drei Einheitszellen in der Deckschicht. Die nominell aus La bestehende Atomlage ist z. B. in Wirklichkeit aus 55% La und 45% Sr. [C. L. JIA]



LIST 2011). Das Intensitätssignal stammt von Elektronen, die um besonders große Winkel gestreut worden sind. Es ist etwa proportional zu Z^2 . Damit lassen sich die Strontiumatome ($Z = 38$) durch ihre höhere Intensität direkt von den Titanatomen ($Z = 22$) unterscheiden. Da die Sauerstoffatome aufgrund ihrer niedrigen Kernladungszahl nur wenig in den Großwinkelbereich streuen, sind sie im HAADF-Bild nicht sichtbar. Die dunk-

Abb. 6 Eine Kleinwinkelkippkorngrenze in Strontiumtitanat, aufgenommen (entlang einer kristallographischen [001]-Richtung) im STEM im HAADF-Kontrast. Das Intensitätssignal stammt von Elektronen, die um besonders große Winkel gestreut worden sind. Es ist etwa proportional zum Quadrat der Kernladungszahl Z . Damit lassen sich die Strontiumatome ($Z = 38$) durch ihre höhere Intensität direkt von den Titanatomen ($Z = 22$) unterscheiden. Die Sauerstoffatome sind nicht sichtbar. Die dunklen Zonen um die Versetzungen (Pfeile) zeigen das elastische Verzerrungsfeld an. [H. DU]

len Zonen um die Versetzungen zeigen das elastische Verzerrungsfeld an. Abbildung 7 zeigt einen Ausschnitt der Kleinwinkelkippkorngrenze, aufgenommen im STEM mithilfe der Röntgenstrahlspektroskopie (EDX), (A) rot – „im Licht“ der Strontium *L*-Linie und (B) grün – der Ti-*K*-Linie; (C) zeigt eine Überlagerung der beiden Signale.

Abbildung 8 (A) zeigt eine der Versetzungen bei höherer Vergrößerung. Man erkennt an den durch Pfeile bezeichneten Stellen zusätzliche Intensität im Kern der Versetzung, die es weiter weg nicht gibt. Dabei handelt es sich um zusätzliche Titanatome, die eine Rekonstruktion des Versetzungskerns anzeigen, die das Verzerrungsfeld der Versetzung unter Berücksichtigung der Valenz minimiert. Gleichzeitig ist der Versetzungskern sauerstoffdefizient. Dies weiß man aus CTEM-Untersuchungen, wo man in der NC-SI-Mode den Sauerstoff direkt abbilden kann (JIA et al. 2005). Abbildung 8 (B) zeigt im STEM aufgenommene Elektronen-Energieverlust-Spektren (Ti $L_{2,3}$), aufgenommen an einer Titanatomposition im Versetzungskern

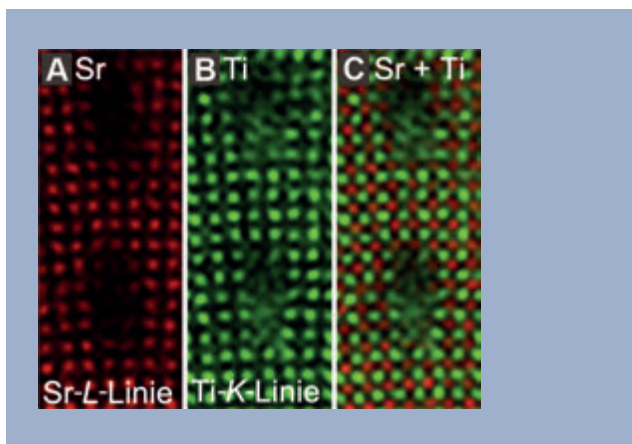


Abb. 7 Mit energiedispersiver Röntgenstrahlspektroskopie (EDX) im STEM aufgenommene Abbildung von SrTiO_3 . (A) rot – Sr *L*-Linie; (B) grün – Ti-*K*-Linie; (C) Überlagerung der beiden Signale. [H. Du]

(„core“ – blau) und in größerer Entfernung davon im ungestörten Strontiumtitanatgitter („bulk“ – rot). Die unterschiedliche Kurvenform und insbesondere die Verschiebungen der Maxima zeigen eine Verminderung der Ti-Valenz im Kern an.

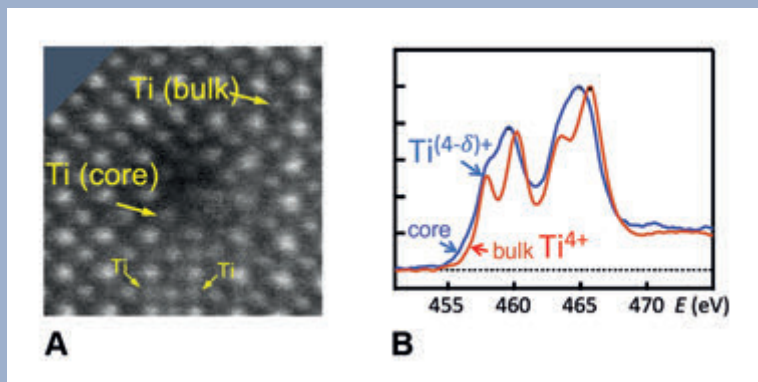


Abb. 8 (A) Höher vergrößertes STEM-HAADF-Bild des Versetzungskerns. An den mit einem Pfeil markierten Stellen findet man zusätzliche Intensität, die man weiter weg vom Kern nicht sieht. Dabei handelt es sich um zusätzliche Titanatome, die eine Rekonstruktion des Versetzungskerns anzeigen. (B) Elektronen-Energieverlust-Spektren (Ti $L_{2,3}$), aufgenommen an einer Titanatomposition im Versetzungskern („core“ – blau) und in größerer Entfernung davon im ungestörten Strontiumtitanatgitter („bulk“ – rot). Die unterschiedliche Kurvenform und insbesondere die Verschiebungen der Maxima zeigen eine Verminderung der Ti-Valenz im Kern an. [H. Du]

Zusammenfassung

Die Transmissionselektronenmikroskopie hat durch die Einführung der Aberrationskorrektur in den 1990er Jahren genuines atomares Auflösungsvermögen erreicht. Die Welt der Atome ist die Welt der Quantenmechanik. Die Bilder und die Resultate der Messungen im Elektronenmikroskop, CTEM und STEM, lassen sich daher nicht einfach intuitiv verstehen. Dazu ist es notwendig, die experimentelle Arbeit mit quantenmecha-

nisch-optischen Bildberechnungen „in tandem“ durchzuführen. Zusätzlich zur elektronenmikroskopischen Abbildung kann man im STEM, mit Hilfe geeigneter integrierter Spektrometer, atomar aufgelöste Elektron-Energieverlust-Spektroskopie (EELS) und energiedispersive Röntgenstrahlanalytik (EDX) betreiben. Damit lässt sich die Natur der abgebildeten Atome sowie deren Valenz direkt bestimmen.

Dank

Der Autor dankt Prof. Dr. Chun-Lin JIA und Dr. Hongchu DU, Ernst Ruska-Centrum, Jülich, für die Bereitstellung von Abbildungen.

Literatur

- ABBE, E.: Über neue Methoden zur Verbesserung der sphärischen Korrektur, angewandt auf die Konstruktion von Objektiven grosser Apertur. *Journal Royal Microscopical Society (Great Britain) I/II*, 812–824 (1879)
- ARDENNE, M. VON: Das Elektronen-Rasterelektronenmikroskop. Theoretische Grundlagen. *Zeitschrift für Physik 109*, 553–572 (1938a)
- ARDENNE, M. VON: Das Elektronen-Rasterelektronenmikroskop. Praktische Ausführung. *Zeitschrift für technische Physik 19*, 407–416 (1938b)
- DU, H., JIA, C. L., HOUBEN, L., METLENKO, V., SOUZA, R. A. DE, WASER, R., and MAYER, J.: Atomic structure and chemistry of dislocation cores at low-angle tilt grain boundary in SrTiO₃ bicrystals. *Acta Materialia 89*, 344–351 (2015)
- FEYNMAN, R. P.: *The Character of Physical Law*. London: Penguin Books 1992
- FINDLEY, S. D., HUANG, R., ISHIKAWA, R., SHIBATA, N., and IKUHARA, Y.: Direct visualization of lithium via annular bright field scanning transmission electron microscopy: a review. *Microscopy 66/1*, 3–14 (2017)
- HAIDER, M., ROSE, H., UHLEMANN, S., SCHWAN, E., KABUS, B., and URBAN, K.: A spherical-aberration-corrected 200 kV transmission electron microscope. *Ultramicroscopy 75*, 53–60 (1998a)
- HAIDER, M., UHLEMANN, S., SCHWAN, E., ROSE, H., KABUS, B., and URBAN, K.: Electron microscopy image enhanced. *Nature 392*, 768–769 (1998b)
- ISHIKAWA, R., OKUNISHI, E., SAWADA, H., KONDO, Y., HOSOKAWA, F., and ABE, W.: Direct imaging of hydrogen-atom columns in a crystal by annular bright-field electron microscopy. *Nature Materials 10*, 278–281 (2011)
- JIA, C. L., BARTHEL, J., GUNKEL, F., DITTMANN, R., HOFFMANN-EIFERT, S., HOUBEN, L., LENTZEN, M., and THUST, A.: Atomic-scale measurement of structure and chemistry of a single-unit-cell layer of LaAlO₃ embedded in SrTiO₃. *Microscopy and Microanalysis 19/2*, 310–318 (2013)
- JIA, C. L., HOUBEN, L., THUST, A., and BARTHEL, J.: On the benefit of the negative-spherical-aberration imaging technique for quantitative HRTEM. *Ultramicroscopy 110/5*, 500–505 (2010)
- JIA, C. L., LENTZEN, M., and URBAN, K.: Atomic-resolution imaging of oxygen in perovskite ceramics. *Science 299/5608*, 870–873 (2003)
- JIA, C. L., MI, S. B., BARTHEL, J., WANG, D. W., DUNIN-BORKOWSKI, R. E., URBAN, K. W., and THUST, A.: Determination of the 3D shape of a nanoscale crystal with atomic resolution from a single image. *Nature Materials 13*, 1044–1049 (2014)
- JIA, C. L., THUST, A., and URBAN, K.: Atomic-scale analysis of the oxygen configuration at a SrTiO₃ dislocation core. *Physical Review Letters 95*, 225506 (2005)
- JIA, C. L., and URBAN, K.: Atomic-resolution measurement of oxygen concentration in oxide materials. *Science 303/5666*, 2001–2004 (2004)
- JIN, L., BARTHEL, J., JIA, C. L., and URBAN, K.: Atomic resolution imaging of YAlO₃:Ce in the chromatic and spherical aberration corrected PICO electron microscope. *Ultramicroscopy 176*, 99–104 (2017)

- KNOLL, M., und RUSKA, E.: Beitrag zur geometrischen Elektronenoptik I und II. *Annalen der Physik* 12, 607–640 und 641–661 (1932a)
- KNOLL, M., und RUSKA, E.: Das Elektronenmikroskop. *Zeitschrift für Physik* 78, 318–339 (1932b)
- MORISHITA, S., ISHIKAWA, R., KONDO, Y., SAWADA, H., SHIBATA, N., and IKUHARA, Y.: Resolution achievement of 40.5 pm in Scanning Transmission Electron Microscopy using 300 kV microscope with delta corrector. *Microscopy and Microanalysis* 24 (Suppl. 1), 120–121 (2018)
- PENNYCOOK, S., and NELLIST, P. (Eds.): *Scanning Transmission Electron Microscopy, Imaging and Analysis*. New York, Dordrecht, Heidelberg, London: Springer 2011
- ROSE, H.: Outline of a spherically corrected semiaplanatic medium-voltage transmission electron microscope. *Optik* 85, 19–24 (1990)
- RUSKA, E.: Die frühe Entwicklung der Elektronenlinsen und der Elektronenmikroskopie. *Acta Historica Leopoldina* Nr. 12 (1979)
- SCHERZER, O.: Über einige Fehler von Elektronenlinsen. *Zeitschrift für Physik* 101, 593–603 (1936)
- SPENCE, J. C. H.: Oxygen in crystals – seeing is believing. *Science* 299/5608, 839–841 (2003)
- THOMAS, J. M., and ZHOU, W.: Atomic resolution of oxygen in solid oxides by electron microscopy: What next? *ChemPhysChem* 4/9, 927–929 (2003)
- URBAN, K.: Studying atomic structures by aberration-corrected transmission electron microscopy. *Science* 321, 506–510 (2008)
- URBAN, K.: Is science prepared for atomic-resolution electron microscopy? *Nature Materials* 8, 260–262 (2009)
- WILLIAMS, D. B., and CARTER, C. B.: *Transmission Electron Microscopy. A Textbook for Materials Science*. New York: Springer 2009

Prof. Dr. Dr. h. c. Knut URBAN
 Ernst Ruska-Centrum für Mikroskopie und
 Spektroskopie mit Elektronen
 Forschungszentrum Jülich GmbH
 Peter-Gruenberg-Institut PGI-5
 52428 Jülich
 Bundesrepublik Deutschland
 Tel.: +49 2461 613153
 Fax: +49 2461 619270
 E-Mail: k.urban@fz-juelich.de



Festversammlung während des Gedenkkolloquiums für Heinz BETHGE.



Der XXIII. Leopoldina-Präsident Heinz BETHGE und sein Nachfolger im Amt Benno PARTHIER im Gespräch.

Heinz Bethge und die Elektronenmikroskope am halleschen Institut

Jürgen KIRSCHNER ML (Halle/Saale)

Heinz BETHGE gilt als Pionier der „Abbildenden Oberflächenanalytik“. Dieser Begriff bezog sich ursprünglich auf die Visualisierung im Realraum, ist aber mittlerweile auf den Impulsraum oder Reziproken Raum erweitert.

BETHGE studierte an der Technischen Hochschule in Berlin-Charlottenburg und an der Universität Halle, wo er auch promoviert wurde. In den 1950er Jahren war man in der DDR interessiert, die Intelligenz im Lande zu halten, und eine sich abzeichnende Be-

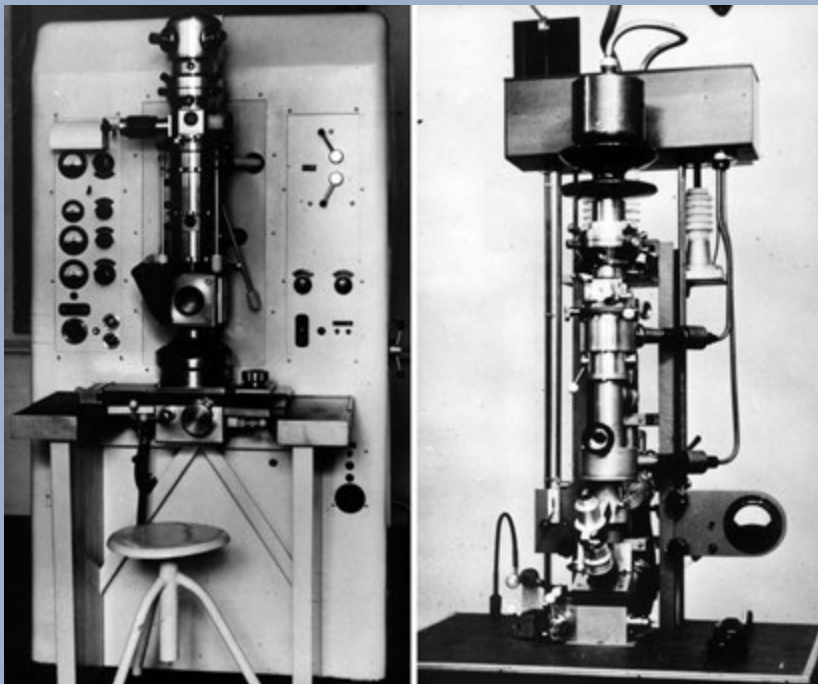


Abb. 1 Zwei konsekutive Eigenbau-Durchstrahlungs-Elektronenmikroskope aus den 1950er Jahren (HEYDENREICH 2000, S. 258).

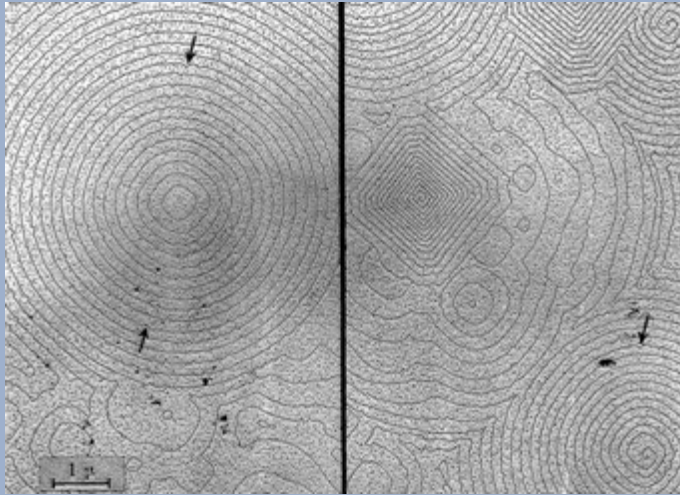


Abb. 2 Spirale Versetzungsstrukturen auf Steinsalz. Hergestellt durch Abdampfen bei ca. 500 °C, dekoriert durch Bedampfen mit Gold (Au), stabilisiert in dickem Kohlenstoff (C)-Film. Visualisiert mit Durchstrahlung im Elektronenmikroskop nach Auflösen des Steinsalzes (HEYDENREICH 2000, S. 262).

rufung nach Westdeutschland mag von Einfluss gewesen sein. Jedenfalls bot ihm die Universität in Halle die Einrichtung einer Arbeitsstätte in einem Teil des enteigneten Ausflugslokals am Weinberg an.

Dort entstanden im Eigenbau erste Elektronenmikroskope (siehe Abb. 1), die z. B. zur Abbildung von monoatomaren Stufen auf abgedampften Steinkristalloberflächen eingesetzt wurden (siehe Abb. 2). Um die Analyse oberflächenempfindlich zu machen, wurden zur Beleuchtung der Probe vorzugsweise niederenergetische Elektronen aus einer Thermischen Kathode eingesetzt. Alternativ wurden Photonen aus einer Edelgas-Gasentladung eingesetzt, um einerseits noch empfindlicher zu werden und andererseits durch Wahl verschiedener Gase eine gewisse spektrale Empfindlichkeit im VUV-Bereich zu erzielen.

In Abbildung 3 ist der typisch Bethgesehe Ansatz illustriert, für eine bestimmte wissenschaftliche Fragestellung ein spezielles Experiment zu entwickeln, das diese und

weitere Fragen behandelt. Photoelektronen aus der Probe werden mit einem elektrischen Feld abgesaugt und mit wassergekühlten magnetischen Elektronenlinsen in mehreren Stufen auf einem Leuchtschirm abgebildet. Hier handelt es sich um eine Abbildung im Realraum; wir werden weiter unten sehen, dass mit denselben Linsen auch eine Abbildung im Reziproken Raum erzielt werden kann.

Dank der wissenschaftlichen Qualität seiner Arbeit und der seiner Mitarbeiter, des internationalen Bekanntheitsgrades und seines wissenschaftspolitischen Geschicks wurde bald aus der Arbeitsgruppe am Weinberg das Institut für Festkörperphysik und Elektronenmikroskopie der Akademie der Wissenschaften der DDR (IFE).

Die Elektronenmikroskopie wurde ab den 1960er Jahren ein Hauptwerkzeug der Materialforschung, weg von den Oberflächen, hinein ins Volumen, durch immer höhere Beschleunigungsspannungen und damit dickeren durchstrahlbaren Schichten. Diese

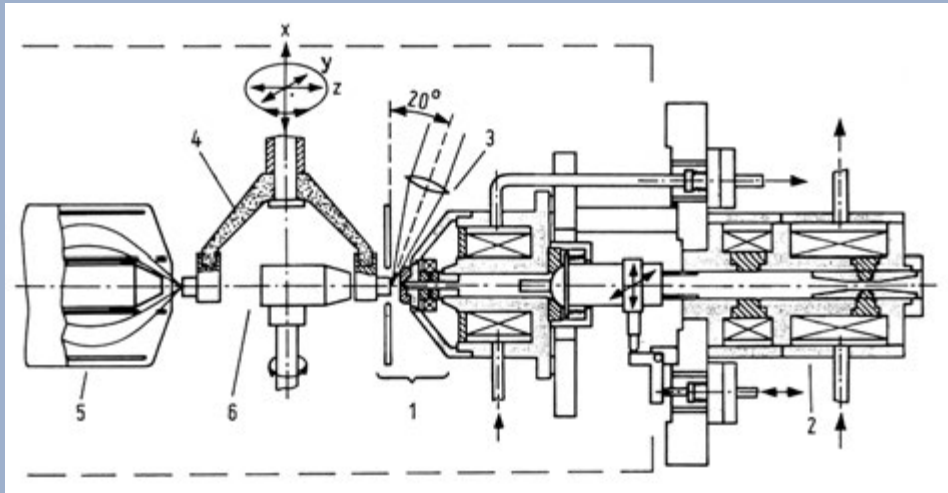


Abb. 3 Links: Ein Auger-Analysator zur Bestimmung der Elementzusammensetzung der obersten Atomlagen. Rechts: Schnittzeichnung durch ein Photoemissionsmikroskop, Probe auf drehbarem Probenhalter, beleuchtet durch UV-Photonen aus einer Helium (He)-Gasentladung (HEYDENREICH 2000, S. 265).

Entwicklung war längst die Domäne einiger internationaler Industriefirmen geworden, mit Spannungen bis 1 MV und mehr sowie hohen Preisen. Es erscheint mir erwähnenswert, dass das erste MeV-Mikroskop in Deutschland in Halle am IFE arbeitete, importiert aus Japan gegen Devisen.¹

Gleichzeitig trieb BETHGE die abbildende Photoemissionsmikroskopie durch die Entwicklung eines Geräts voran, das niederenergetische Photoelektronen im Realraum abbildete, zusammen mit globaler Augeranalyse der Oberfläche (siehe Abb. 3). Dieser Forschungsrichtung sagte er, völlig zurecht, eine große Zukunft voraus.

Mit dem Einigungsvertrag der DDR mit der BRD wurde die Akademie der Wissenschaften aufgelöst und mit ihr das IFE. Alle Institute wurden evaluiert. Das ehemalige IFE wurde zur Keimzelle des ersten Max-Planck-Instituts in den Neuen Bundesländern, mit dem Namen *Max-Planck-Institut (MPI)* für Mikrostrukturphysik. Dazu haben sicher der gute Ruf des IFE und seines vormaligen Direktors Heinz BETHGE sowie das Faktum beigetragen, dass Professor Johannes HEYDENREICH bereits seit einigen Jahren Auswärtiges Wissenschaftliches Mitglied des *MPI für Metallforschung* in Stuttgart war. Es

1 Als Standort für das MeV-Elektronenmikroskop wurde eine Gruppe von verwitterten, ehemals vulkanischen, Porphyr-Domen gewählt, die über Millionen Jahre zur Ruhe gekommen waren und starke innere Dämpfung entwickelt hatten. In wenigen Metern Tiefe wurde eine große Betonwanne auf die Porphyr-Dome gesetzt, die mit trockenem Bausand gefüllt wurde. In dieser Wanne schwimmt ein $4\text{ m} \times 4\text{ m} \times 2\text{ m}$ Betonklotz, der als Basis für das MeV-Mikroskop diente. Am Ende seiner wissenschaftlichen Lebensdauer wurde es durch ein kommerzielles Spinpolarisiertes Rastertunnelmikroskop höchster Auflösung am gleichen Ort ersetzt, ohne dass die Bodenkonstruktion hätte geändert werden müssen. (Sondagebohrungen ergaben, dass das Sandbett auch nach 20 Jahren noch trocken war.) Nach Auskunft des Tunnelmikroskop-Herstellers, der einige 100 STM installiert hat, ist der Weinberg in Halle bezüglich der Bodenschwingungen um einen Faktor 50 besser als der Durchschnitt weltweit. Hier wurde eine gnädige Natur durch kluge Baumaßnahmen bewahrt.

folgten der Autor, Professor Ulrich GÖSELE und Professor Patrick BRUNO.

BETHGE selbst hatte keine offizielle Funktion am Institut, setzte aber seinen Einfluss in mannigfacher Weise zum Wohl des Instituts ein. Eine eher harmlose, aber bezeichnende Begebenheit sei hier erzählt: Wenn es überhaupt eine Farbe in der DDR gab, so war dies „altgrau“, wegen Luftverschmutzung, Geldmangel und Desinteresse am „volkseigenen Besitz“. So auch am IFE, innen und außen. Um ein Zeichen eines Neuanfangs zu setzen, wollte ich wenigstens innen die Korridore weiß streichen lassen. Zu meiner nicht geringen Verblüffung erntete ich aber deutlichen Widerspruch: „Das grelle Weiß tut uns ja in den Augen weh...“ Als ich merkte, dass sich die Diskussion festzufahren drohte, bat ich Heinz BETHGE um ein privates Gespräch. Ich erklärte ihm meine Sorge, dass die jungen, zukunftsorientierten und ehrgeizigen Wissenschaftler nicht zu uns kommen würden, wenn das Institut ein Jahr nach der Wende immer noch so aussähe wie ein Jahr vor der Wende. BETHGE verstand das Argument sofort und bat mich, zwei Wochen abzuwarten. Nach zwei Wochen war die Diskussion im Konsens beendet. ...

Die Grundidee von Heinz BETHGE, die Abbildende Oberflächenanalytik, wurde am *MPI für Mikrostrukturphysik* aufgegriffen, mit neuer physikalischer Zielrichtung und neuen Experimenten. Die Betonung lag auf Oberflächen und Dünnen Schichten von magnetischen Materialien, die bei geringer Schichtdicke zum Teil ganz überraschende Eigenschaften zeigen. So ist z. B. bei Schichtdicken im atomaren Bereich die Curietemperatur keine Materialkonstante mehr, sondern nimmt ab mit abnehmender Dicke. Die magnetische Anisotropie, d. h. die spontane Orientierung der Magnetisierung, kann sich mit abnehmender Dicke von In-der-Ebene zu Senkrecht-zur-Ebene aufrichten (oder auch umgekehrt). Auch magnetische Solitonen (Skyrmionen) wer-

den beobachtet. Diese Phänomene resultieren aus dem mikroskopischen Wettbewerb zwischen Austausch-Wechselwirkung, magnetischer Dipol-Wechselwirkung und Spin-Bahn-Wechselwirkung. Letztere sorgt für die Kopplung der magnetischen Momente an das kristalline Gitter und damit letztlich für die anisotrope, spinpolarisierte elektronische Bandstruktur und die Aufhebung von symmetrieinduzierten energetischen Entartungen.

Wenn man also das Bethgesche Programm an magnetischen Oberflächen umsetzen will, braucht man gute Auflösung im Ortsraum und im Reziproken Raum (in diesem Raum regiert die elektronische Bandstruktur), eine ausreichende Energieauflösung und die Analyse des Elektronenspins als Vermittler und Träger des Magnetismus.

Es ist wohlbekannt, seit Beginn der Optik, dass eine abbildende Linse ein Bild des Gegenstandes im Realraum oder, mit anderer Entfernung, im Impulsraum, entwerfen kann. Man kann das eine oder andere durch Wahl der Betriebsspannung auswählen oder durch eine Zusatzlinse verschieben. In Abbildung 4 ist schematisch die Elektronenoptik eines Photoemissionsmikroskops dargestellt, in dem eine Probe energiewahlweise im Ortsraum abgebildet wird. Die Eingangslinse fokussiert auf den Energiewahlweise (einen Halbkugel-Kondensator), während eine gleiche Halbkugel für den ausgewählten Energieausschnitt die sphärische Aberration korrigiert. Das Bild wird auf einen *Channelplate*-Bildverstärker projiziert. Die Eingangslinse ist entscheidend für die chromatische und sphärische Aberration. In einer Zwangspause – wegen eines Beinbruchs bei Glatteis – entschloss ich mich, die Eingangslinse durch numerische Berechnung der Trajektorien zu optimieren. Der aufwändigste Schritt, die Berechnung der Potentialverteilung, geschah über Nacht, gefolgt von der der Flugbahnen und der Aberrationen. Ausgehend von sehr allgemeinen Vorgaben (nur

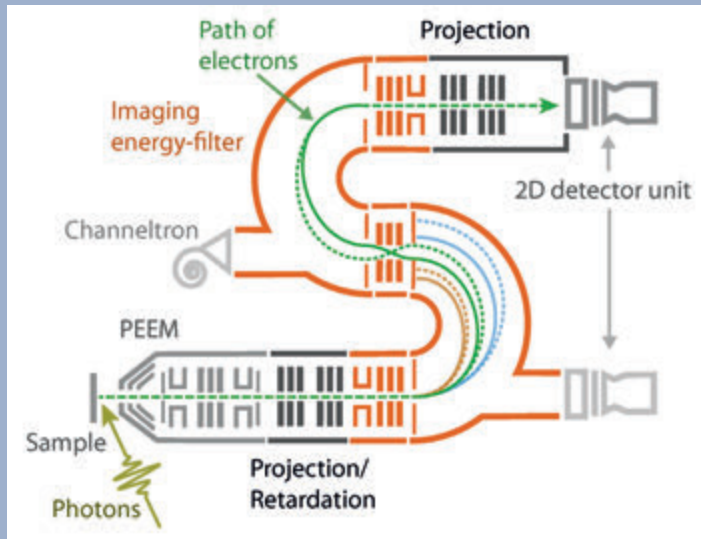


Abb. 4 Schematische Abbildung einer Probe (*links*) in einem Energie-filternden Doppelkugel-Spektrometer: die Eingangslinse („PEEM“) projiziert die Photoelektronen aus der Probe auf den Eingang der 1. Halbkugel. Das energie-selektierte Strahlenbündel wird in der 2. Halbkugel bezüglich der Aberrationen korrigiert und auf einen ortsauflösenden Detektor abgebildet. Mit den grau markierten Zwischenlinsen können die Abbildungsebenen für die Bilder im Ortsraum und im Impulsraum verschoben werden, sodass das Instrument sowohl als ortsabbildendes „NanoEsca“ als auch als „Impulsmikroskop“ betrieben werden kann. (Mit freundlicher Genehmigung von: PATT, M. C.: Bulk and surface sensitive energy-filtered photoemission microscopy using synchrotron radiation for the study of resistive switching memories. Forschungszentrum Jülich: Schlüsseltechnologien/Key Technologies Band/Volume 122 [2016, ISBN: 978-3-95806-130-9])

Zahl der zylindrischen Elektroden) wurden schrittweise deren Profile und Potentiale mit dem Ziel minimaler Aberrationen festgelegt. (Einige ältere Mitarbeiter fühlten sich an BETHGE in seinem Konstruktionsbüro vor 50 Jahren erinnert.) Mit fortschreitendem Heilungsprozess näherten sich die Eingangslinse und ihre Aberrationen einem annähernd stationären Zustand. Diese waren deutlich verschieden von allen analytischen Lösungen in der Literatur. Damit trat jedoch sofort eine ernste Frage auf: „Ist die Lösung tatsächlich nahe der optimalen, oder ist sie nur eine Teiloptimierung, begrenzt durch den Mangel an Kreativität des Operators?“ Diese Frage kann grundsätzlich nicht gültig beantwortet werden, und so behelfen wir uns mit

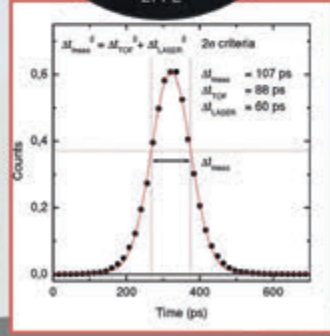
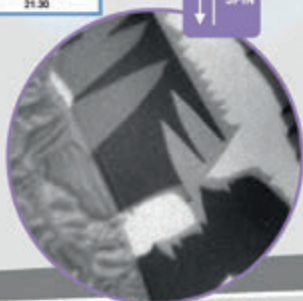
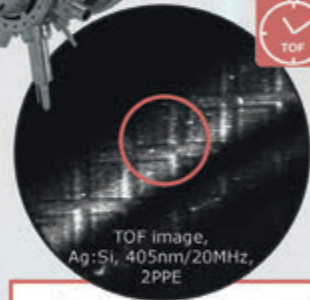
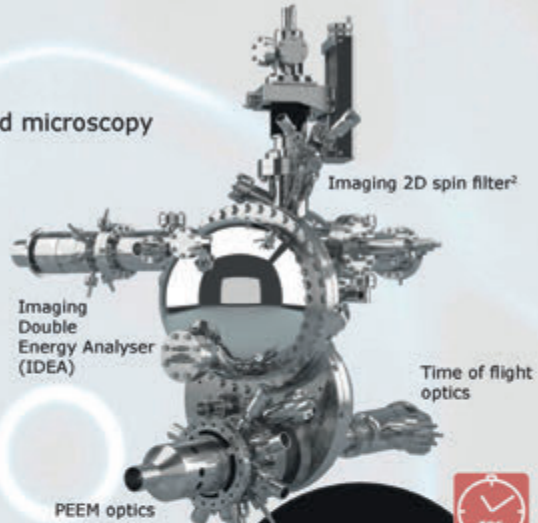
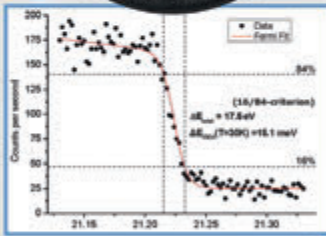
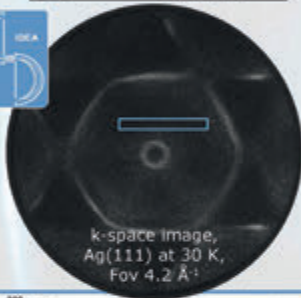
einem „Proxy“: Ich bat meinen Mitarbeiter Dr. Christian TUSCHE, der mir programmier-technisch überlegen ist, eine Eingangslinse entlang den oben erwähnten Vorgaben zu entwerfen und durchzurechnen, ohne ihm die bisherigen Resultate offenzulegen. Nach wenigen Wochen erreichte TUSCHE auch einen „stationären Zustand“, und wir legten die beiden Resultate aufeinander: zur beiderseitigen Befriedigung stimmten sie innerhalb weniger 0,1% überein, sowohl hinsichtlich der Elektrodengeometrie und der Fokussierungsspannungen als auch der Aberrationen (mit einem leichten „Vorteil Tusche“). Mir ist aus der Literatur kein Beispiel einer in ähnlichem „Doppelblindversuch“ entwickelten Elektronenoptik bekannt.

ELI-ALPS¹ receives NanoESCA III NEXT GENERATION PHOTOEMISSION TOOL

All in one:

- Energy-filtered real-space & momentum microscopy
- Time-of-flight / time resolved microscopy
- 2D spin resolved imaging²

Δr	30 nm
ΔE_{IDEA}	15 meV
Δt_{TOF}	88 ps
Δk	8.6 m\AA^{-1}



¹ ELI-ALPS: www.eli-stps.hu

² Protecting German Patents: DE102009045622B4, DE102010010981B4, legal and technical rights secured by sublicensing from The Surface Concept GmbH

Our partner and sales contact for system integrated solutions is **scientaomicron**

For further details please visit: www.scientaomicron.com | www.focus-gmbh.com



Aus historischen Gründen wird dieser Betriebsmodus „ESCA“ genannt, während sich für den Betrieb im Impulsraum die Bezeichnung „Impulsmikroskop“ eingebürgert hat. Es handelt sich hier um ein kommerzielles Gerät, das in Zusammenarbeit mit den Firmen Focus und ScientaOmicron entwickelt wurde.²

Die Analyse der elektronischen Bandstruktur mit Hilfe des Impulsmikroskops fand ihre Ergänzung für magnetische Materialien durch den „Vielkanal-Spindetektor“, erfunden im Labor des Autors am *MPI für Mikrostrukturphysik*. Das Arbeitsprinzip ist die Spin-Bahn-Wechselwirkung bei der elastischen Beugung niederenergetischer Elektronen (etwa 10 eV) an einem Iridium(100) [Ir(100)]-Kristall mit einer Gold (Au)-Bedeckung von einer atomaren Monolage. Im Spiegelstrahl bleibt der Impuls des einfallenden Strahls nach Größe und Richtung *modulo* Spiegelung erhalten. Die Intensität hängt von der Orientierung des Spinpolarisationsvektors des Strahls zur Oberflächennormalen des Kristalls ab. Weil der Polarisationsvektor ein axialer Vektor ist, dreht sich das Vorzeichen der Intensitätsdifferenz bei Polarisationsumkehr exakt um 180°. Wegen der Impulserhaltung kann ein aus Teilstrahlen

zusammengesetztes Strahlenbündel selektiv nach dem jeweiligen Spinzustand analysiert werden, wenn jedes Bündel einzeln erfasst wird. In einem Impulsmikroskop mit Spinanalyse wird das Bild aus dem Rücklenk-Kugelkondensator auf das Gold/Iridium (Au/Ir)-Kristall projiziert und das entstehende Beugungsbild auf einem *Channelplate*-Detektor aufgefangen. Die Zahl der Kanäle hängt vom Impulsaufhebungsvermögen des Instruments ab. Das in Abbildung 5 gezeigte Gerät besitzt einen Vielkanal-Spindetektor mit etwa 10000 Bildpunkten.

Die Analyse der Spinpolarisation bringt einen erheblichen Informationsgewinn mit sich (einen Vektor mit drei Komponenten im Bereich von -1 bis +1). Abbildung 6 zeigt ein Beispiel für zwei gemessene Schnitte durch die dreidimensionale Fermi-Oberfläche von 18 Atomlagen Kobalt (Co) auf Kupfer(100) [Cu(100)] für zwei verschiedene Photonenenergien. Die Spinpolarisationsrichtung ist in Farbe codiert (rot für positiv, blau für negativ), und der Grad der Spinpolarisation entspricht der Farbsättigung. Jeder Bildpunkt im Impulsraum (k_x, k_y) gibt Vorzeichen und Länge des Polarisationsvektors an. Die Intensität ist enthalten, wird aber hier nicht dargestellt.

2 Die *Kaiser-Wilhelm-Gesellschaft* (KWG) und ihre Institute hatten den Auftrag, mit wissenschaftlicher Forschung die „Heimische Industrie“ zu unterstützen. Dieser Auftrag wurde in stringenterer Weise der neu gegründeten *Fraunhofer-Gesellschaft* erteilt, aber auch für die *Max-Planck-Gesellschaft* (MPG) in Nachfolge der KWG aufrechterhalten. Die MPG gründete eigens eine Verwertungsgesellschaft, die die Institute bei der Kommerzialisierung, der Vermarktung und der Patentierung, nicht aber der Herstellung und dem Vertrieb von Geräten und Verfahren unterstützt. Jedes MPI bemüht sich daher, deutsche industrielle Partner zur Entwicklung von Geräten für den Weltmarkt zu finden.

der Photoelektronen bei 100 meV, angeregt mit 4,9 eV Photonen. Der Bildausschnitt beträgt 66 Micrometer, die Messzeit 400 s. Der Spindetektor befindet sich rechts oben am Ausgang der 2. Halbkugel. Das runde Bild links in der Mitte zeigt einen Schnitt durch den Impulsraum im Bereich des Oberflächenzustandes von Ag(111). Bildausschnitt 4.2 inverse Å, aufgenommen bei einer Temperatur von 30 K. Das Spektrum darunter zeigt die Fermi-Kante bei derselben Temperatur, angeregt mit der Linienstrahlung HeI aus einer He-Gasentladung, Energieauflösung 15 meV. Auf der rechten Seite unten befindet sich in Verlängerung der Eingangslinsen-Achse das Flugzeit-Spektrometer, das bei gepulsten Photonenquellen wie ELI-ALPS eingesetzt wird. Das runde Bild rechts zeigt die räumliche Verteilung der 2-Photonen-Photoelektronen (Wellenlänge der Photonen 405 nm) aus einer künstlichen Struktur von Silber auf Silizium. Die spektrale Verteilung der Elektronenflugzeit darunter zeigt eine Halbwertsbreite von 88 ps (mit freundlicher Genehmigung der Focus GmbH).

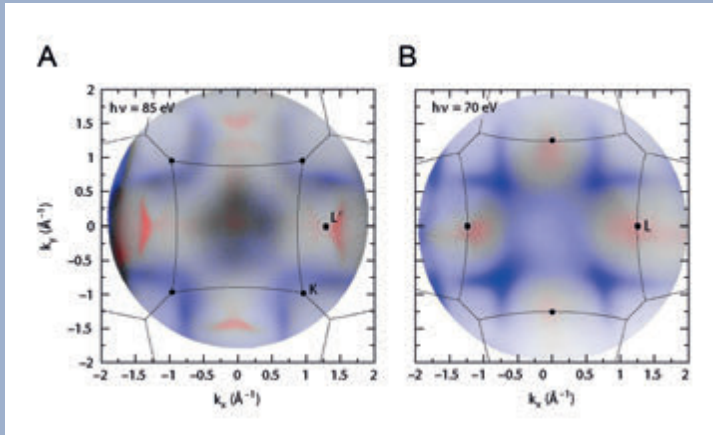


Abb. 6 Zwei experimentelle Schnitte durch die spinpolarisierte Fermi-Fläche von 18 Monolagen fcc Co auf Cu(100). Für jeden Bildpunkt im Impulsraum (k_x, k_y) gibt die Farbe das Vorzeichen an (rot für positiv, blau für negativ) und die Farbsättigung die Stärke der Spinpolarisation (normiert auf +1, -1). Die Intensität des Photoelektronenflusses ist implizit enthalten. Die verschiedenen Verteilungen für die Photonenergie von 85 eV (A) und 70 eV (B) beweisen den dreidimensionalen Charakter der Fermi-Fläche. Sie können unmittelbar mit Theorie-Ergebnissen verglichen werden (mit freundlicher Genehmigung der Focus GmbH).

Der derzeitige Entwicklungsstand der „Abbildenden Oberflächenanalytik“ mit dem Photoemissionsmikroskop kann in Abbildung 5 abgelesen werden (Stand 2019). Es wird ein Gerät gezeigt, das für ein EU-Projekt mit einer Femtosekunden-Photonenquelle gebaut wurde (ELI-ALPS in Szeged, Ungarn). Es bietet energieaufgelöste Mikroskopie im Realraum und im Impulsraum, Mikroskopie mit Flugzeitmessung der Elektronen und orts- und impulsaufgelöste Spinanalyse. Einige derzeitige Leistungsdaten sind: Ortsauflösung $dr = 30$ nm, Energieauflösung des Doppelkugelanalysators $dE = 15$ meV, Zeitauflösung im Flugzeitmodus $dt = 88$ ps und Impulsaufauflösung $dk = 8,6$ reziproke Milli-angström ($\text{m}\text{\AA}$).

Prof. em. Dr. rer. nat. Jürgen KIRSCHNER
Wissenschaftliches Mitglied der Max-Planck-Gesellschaft
Direktor emeritus des MPI für Mikrostrukturphysik Halle
Professor emeritus der Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg

Man könnte dieses Flaggschiff als Votivgabe zum 100. Geburtstag ansehen!

Dank

Bei den im Folgenden genannten Personen möchte ich mich sehr herzlich für ihre Unterstützung und Hilfe bedanken: G. BERG, M. ESCHER, M. KAASCH, M. MERKEL, G. MICHLER, M. PATT, D. POHLENZ, D. SANDER und C. TUSCHE.

Literatur

HEYDENREICH, J.: Elektronenmikroskopie in Halle. Jahrbuch 1999. Leopoldina (R. 3) 45, 227–282 (2000) (Vortrag auf dem Festkolloquium zu Ehren des 80. Geburtstages von Herrn Prof. Dr. Dr. h. c. Heinz Bethge, veranstaltet von der Deutschen Akademie der Naturforscher Leopoldina und dem MPI für Mikrostrukturphysik am 18. November 1999)

Max-Planck-Institut für Mikrostrukturphysik
Weinberg 2
06120 Halle (Saale)
Bundesrepublik Deutschland
E-Mail: kirschner@mpi-halle.mpg.de

Die Heinz-Bethge-Stiftung für angewandte Elektronenmikroskopie

Goerg H. MICHLER, Vorstandsvorsitzender der Stiftung, und
Dieter KATZER, stellvertretender Vorstandsvorsitzender der Stiftung,
Halle (Saale)

1. Gründungsaspekte der Stiftung

Ausgangspunkt für die Tätigkeiten von Heinz BETHGE an der Universität in Halle waren die Arbeiten des Physikers Adolf SMEKAL, der von 1928 bis 1945 als Ordinarius für Theoretische und Technische Physik an der halleischen Universität wirkte und in den 1930er Jahren die Begriffe des Realkristalls und von Lockerstellen in die Festkörperphysik eingeführt hatte. BETHGE hatte die Idee, dass man diese hypothetischen Smekalschen Lockerstellen doch mikroskopisch abbilden könne. So hat er in den schwierigen Nachkriegsjahren begonnen, ein Elektronenmikroskop zu konstruieren und mit Hilfe der Institutswerkstatt zu bauen. Das Erste lief bereits 1952 im Physikalischen Institut in Halle, und Ende der 1950er Jahre war dann ein Gerät im Betrieb, das schon recht leistungsfähig war. Technisch unterstützt wurde der Bau durch die in der Nähe gelegenen Leuna-Werke, für die ein weiteres Gerät gebaut wurde, das dort dann lange im Einsatz war. Die gewonnenen Erfahrungen gingen auch in die Entwicklungsarbeiten von Carl Zeiss Jena zur Produktion der „Elektronenoptischen Anlage EF“ ein.

Der Bau der Mikroskope war für Heinz BETHGE stets Mittel zum Zweck. Er war der Meinung, dass die Elektronenmikroskopie besonders interessante Ergebnisse für die

Festkörperphysik erbringen würde – das ist heute selbstverständlich, war aber in der damaligen Zeit noch optimistisches Hoffen. So wollte er die Elektronenmikroskopie und ausgewählte Gebiete der Festkörperphysik unter einem Dach vereinigen, was ihm mit der Gründung zunächst einer Arbeitsstelle am Weinberg in Halle gelang, aus der dann das Institut für Festkörperphysik und Elektronenmikroskopie (IFE) der Akademie der Wissenschaften der DDR hervorging. Die Erstnennung der Festkörperphysik vor der Elektronenmikroskopie im Institutsnamen verdeutlicht die Zielrichtung der Arbeiten des Institutes, elektronenmikroskopische Methoden zu nutzen, um Erkenntnisse in der Physik und Materialwissenschaft zu erlangen. Professor BETHGE legte auch großen Wert auf die gleichberechtigte Stärkung der drei Säulen Grundlagenforschung, angewandte Forschung und direkte Industriekooperation, da – wie er öfter sagte – ein auf drei Beinen stehender Körper die stabilste Lage besitzt. Die enge Verknüpfung von Grundlagenforschung und angewandter Forschung wurde auch personell praktiziert, indem Institutsmitarbeiter direkt in Projekte z. B. der Mikroelektronik-Industrie eingebunden waren. Ein weiterer und damals beispielgebender Schritt in einer Industrie-Forschungskooperation

war die Etablierung einer Gruppe Polymerphysik im Institut mit Angehörigen der Chemiekombinate Buna und Leuna, die an den modernen Geräten des Institutes und insbesondere an dem 1000 kV-Höchstspannungselektronenmikroskop an Forschungsprojekten beider Kombinate tätig waren.

Diese Leistungen von Heinz BETHGE in der Wissenschaft und der Wissenschaftspolitik würdigten im Jahre 2011 einige halesche Elektronenmikroskopiker aus dem Fraunhofer-Institut für Werkstoffmechanik, dem

Max-Planck-Institut für Mikrostrukturphysik und dem Physik-Institut der Universität Halle mit der Gründung der „Heinz-Bethge-Stiftung zur Förderung der angewandten Elektronenmikroskopie“. Ein Ziel war es, den Einsatz der Methoden der Elektronenmikroskopie bei der Mikrostrukturaufklärung in den Materialwissenschaften, in Medizin und Biologie zu stärken und bei diesen Arbeiten Nachwuchswissenschaftler zu unterstützen.

2. Stifter und Unterstützer der Stiftung

Die Gründung erfolgte durch mehrere Firmen und durch Privatpersonen im Jahre 2011. Aktuell besteht die Stiftung aus 14 Firmen, darunter weltweit führende Hersteller von Elektronenmikroskopen und zugehöriger Präparationstechnik (siehe Abb. 1) und 29 Privatpersonen.

- Jeol (Germany) GmbH,
- Carl Zeiss NTS GmbH,
- Leica,
- LOT-Quantum Design GmbH,

- Science Services GmbH,
- Fei Deutschland GmbH,
- Specs Surface Nano Analyses GmbH,
- EO Elektronen-Optik-Service GmbH,
- PVA Tepla Analytical Systems GmbH,
- Point Electronic GmbH,
- Polymer Services GmbH Merseburg,
- IPW e. V.,
- Deutsche Bank PGK AG,
- Science2Public e. V.



Abb. 1 Stifterfirmen der Heinz-Bethge-Stiftung

Die Stiftung wird auch tatkräftig durch folgende Organisationen und Einrichtungen aus dem haleschen Umfeld unterstützt (Abb. 2).

- Fraunhofer-Institut für Mikrostruktur von Werkstoffen und Systemen (IMWS) Halle,
- Stadt Halle (Saale),
- Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg,

- Nationale Akademie der Wissenschaften Leopoldina,
- Weinberg Campus e. V.,
- Commerzbank AG Halle (Saale),
- VDI Hallescher Bezirksverein,
- Hochschule Merseburg,
- IHK Halle-Dessau.



Abb. 2 Unterstützende Einrichtungen der Heinz-Bethge-Stiftung

Außerdem hat die Stiftung zwei Ehrenmitglieder ernannt: Prof. Dr. Johannes HEYDENREICH aus Halle, der langjährige Mitstreiter und stellvertretende Institutsdirektor des IFE, sowie Prof. Dr. Hannes LICHT, ein Weggefährte von Heinz BETHGE und Begründer der hochauflösenden Elektronenmikroskopie an der Technischen Universität (TU) Dresden.

Geleitet wird die Stiftung durch einen Vorstand, bestehend aus dem Vorsitzenden Prof. em. Dr. Goerg H. MICHLER, dem stellvertretenden Vorsitzenden Prof. Dr. Dieter KATZER und Dr. Stephan GROSSER vom Fraunhofer IMWS. Begleitet wird der Vorstand durch ein Kuratorium aus Angehörigen von Forschung und Industrie:

- Prof. Dr. Ralf B. WEHRSPHOHN
Fraunhofer-Vorstand (Vorsitzender),
- Prof. Dr. Dr. Gunnar BERG
Leopoldina,
- Prof. Dr. Wolf WIDDRA
Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg,
- Dr. Petra SACHSE
Stadt Halle (Saale),
- Dr. Sandra HOFMANN
Trinseo Deutschland GmbH,
- Christoph SICHTING
Point Electronic GmbH,
- Dr. Marianne SPINDLER.

Die Unterstützung des Einsatzes der Elektronenmikroskopie bei der Mikrostrukturdiagnostik erfolgt durch Vorträge von Fach-

leuten zu verschiedenen Themen und durch Workshops, wie dem traditionellen Workshop „Ultramikrotomie und ergänzende Verfahren

in der Materialwissenschaft“ gemeinsam mit dem Fraunhofer-IMWS und den Firmen Leica, Science Laboratories und RMC.

3. Förderpreise der Stiftung

An junge Nachwuchswissenschaftler werden durch die Stiftung jährlich zwei Preise verliehen: der Heinz-Bethge-Preis für Materialwissenschaften für herausragende Promotionen und der Heinz-Bethge-Nachwuchspreis für besonders zu würdigende Master- bzw. Diplomarbeiten und gegebenenfalls auch Promotionsarbeiten. Dieses Jahr wurden die Preise durch eine Jury folgenden Nachwuchswissenschaftlern zuerkannt:

- Dr. Marcus MÜLLER für die an der Universität Magdeburg angefertigte Promotionsarbeit „Nanocharakterisierung optischer und struktureller Eigenschaften von GaN-basierten Nano- und Mikrosäulen“, wobei das Preisgeld von 1000 € durch Ralf BENDICKS und Mirko POTTHAST von der Commerzbank Halle übergeben wurde,
- DP Klemens ILSE für die an der Universität Halle eingereichte Arbeit „Mi-



Abb. 3 Dr. Marcus MÜLLER (zweiter von rechts) wurde mit dem Bethge-Preis für Materialwissenschaften geehrt. Es gratulierten (von links): Goerg H. MICHLER (Vorstandsvorsitzender Bethge-Stiftung), Ralf BENDICKS (Niederlassungsleiter der Commerzbank Sachsen-Anhalt Süd), Dr. Marianne SPINDLER (Tochter von Heinz BETHGE) und Mirko POTTHAST (Filialleiter der Commerzbank Halle) © Bethge-Stiftung

crostructural Investigation and Simulation of Natural Processes on PV Modules“ mit einem Preisgeld in Höhe von 300 € vom VDI, Bezirksverein Halle, und überreicht durch Prof. Dr. Thomas HAHN.

Beiden Sponsoren wird für ihr schon traditionelles Engagement besonders gedankt (siehe Abb. 2 und 3).

4. Das Schülerlabor „Elektronenmikroskopie“

Nachdem sich die Nachwuchsförderung der Stiftung zunächst auf den akademischen Bereich konzentriert hatte, wurde begonnen, mit einer Förderung bereits in den oberen gymnasialen Klassenstufen einzusetzen, um dadurch mitzuhelfen, das Interesse von Schülern an den MINT-Fächern zu stärken. Hierzu wurde durch die Bethge-Stiftung gemeinsam mit

dem Fraunhofer-IMWS, der Stadt Halle, der Universität Halle und dem Saline-Technikum ein Schülerlabor „Elektronenmikroskopie“ eingerichtet, das sich auf der Saline-Halbinsel neben dem Saline- und Technikmuseum befindet. Im Schülerlabor sind Stereo-, Auflicht- und Durchlichtmikroskope, zwei Raster-Elektronenmikroskope und die entspre-



Abb. 4 Klemens ILSE (zweiter von links) erhielt den Bethge-Nachwuchspreis. Es gratulierten (von links): Prof. Thomas HAHN (Vorsitzender des VDI-Bezirksvereins Halle), Dr. Marianne SPINDLER (Tochter von Heinz BETHGE) und Georg H. MICHLER (Vorstandsvorsitzender Bethge-Stiftung). © Bethge-Stiftung

chende Präparationstechnik vorhanden, die durch unsere Stifter, insbesondere die Firmen JEOL Deutschland, Carl Zeiss-Microscopy, Point Electronics GmbH und Science Services GmbH, gespendet wurden. Insgesamt sind Mikroskope und Zubehörtechnik im Wert von etwa 200 000 € installiert. Zur Darstellung der

Transmissions-Elektronenmikroskopie ist ein ehemaliges 100 kV Hochauflösungs-TEM entlang der Längsachse aufgeschnitten worden, wodurch eindrucksvoll der Innenaufbau erkennbar wird. Einen Einblick in die Inneneinrichtung des Schülerlabors erlauben die Abbildungen 5, 6 und 7.



Abb. 5 Schülerlabor mit JEOL REM und digitalem Zeiss-Mikroskop (*hinten*)



Abb. 6 TEM, entlang der Längsachse aufgeschnitten



Abb. 7 Blick in das Schülerlabor

Das Schülerlabor ist ein außerschulischer Lernort für Elektronenmikroskopie, in dem die Schülerarbeit in Form von Experimentier-Tageskursen für bis zu 12 Schüler der Klassen 10 bis 12 erfolgt. Es stehen Themen aus der Materialwissenschaft und Biologie zur Auswahl, die an besonders bei Schülern bekannte Erscheinungen und Sachverhalte anknüpfen. Besonders das „Sehen“ als intensivster Sinnesindruck sollte es Schülern erleichtern, sich mit den MINT-Themen zu befassen, nach dem Motto „Ein Bild sagt mehr als 1000 Worte“ oder wie es Elias CANETTI, der Nobelpreisträger für Literatur 1981, formulierte: „Der Weg zur Wirklichkeit geht

über Bilder.“ Die Kurse werden durch ehrenamtliche Mitarbeiter der Stiftung geleitet und sind für die Schüler kostenlos. Unterstützt wird das Schülerlabor außer durch die oben

genannten Firmen und Einrichtungen auch durch das Landesschulamt Sachsen-Anhalt und den Fonds der Chemischen Industrie in Deutschland.

5. Publikationen der Stiftung

Durch die Bethge-Stiftung wurden einige Publikationen zur Elektronenmikroskopie verfasst. Bereits in der zweiten Auflage erschien die Broschüre *Elektronenmikroskopie in Halle (Saale) – Stand, Perspektiven, Anwendungen* – siehe Abbildung 8.

Die ersten Arbeiten zur Kristallphysik hat die Gruppe um Professor BETHGE im IFE an Steinsalzkristallen als Modellmaterial durchgeführt. Diese Kristalle lassen sich leicht mit atomar glatten Oberflächen spalten und ermöglichen mittels einer speziellen Dekorationstechnik mit Goldpartikelchen atomare Defekte mit einer Auflösung sichtbar zu machen, die besser als die Auflösung der damaligen Transmissions-Elektronenmikroskopie war. Auf diese Präparationstechnik

und weitere Leistungen von Heinz BETHGE ist in dem Artikel *Pionier der Elektronenmikroskopie: Heinz Bethge* von Dieter KATZER im Heft 6 der Reihe „Hallesche Erfindungen, Rekorde und Entdeckungen“ vom November 2019 hingewiesen.

Die Querverbindung zwischen Steinsalz als wissenschaftlichem Untersuchungsobjekt und Halle als Salzstadt mit der Elektronenmikroskopie ist Inhalt eines Artikels im Jahrbuch für hallesche Stadtgeschichte 2016 – Abbildung 9.

Zu den Techniken der Elektronenmikroskopie und ihren Anwendungen ist eine kompakte Übersicht verfasst worden, die auch als Begleitmaterial für Physiklehrer geeignet ist – Abbildung 10.



Elektronenmikroskopie in Halle (Saale)
Erste Auflage 2015, zweite Auflage Oktober 2017

Inhalt:

- Kapitel 1: Überblick über die Entwicklung der Techniken und Verfahren der ELMI von den Anfängen bis heute
- Kapitel 2: Bethge und Halle
- Kapitel 3: Aktuelle Forschungsergebnisse von Instituten auf dem Weinberg Campus
- Kapitel 4: Darstellung Schülerlabor und Heinz-Bethge-Stiftung

Abb. 8 Broschüre der Bethge-Stiftung zur Elektronenmikroskopie



Abb. 9 Artikel im *Jahrbuch für hallische Stadtgeschichte* 2016



Abb. 10 Heft in der Springer-Essentials-Reihe

Speziell zu den Kursen im Schülerlabor wurde ein Lehrheft erstellt, das in einfacher Weise den Schülern die Prinzipien der Licht- und

Elektronenmikroskopie erklärt und das in den Kursen Gehörte und Gesehene vertiefen soll – Abbildung 11.

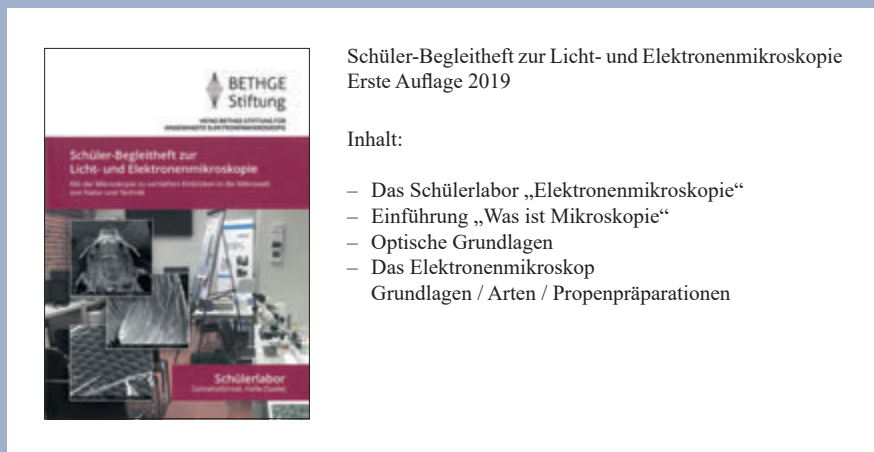


Abb. 11 Schüler-Begleitheft zu den Kursen im Schülerlabor

6. Perspektive

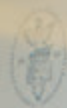
All diese Arbeiten und Aktivitäten der Heinz-Bethge-Stiftung sollen in Zukunft weitergeführt werden. Sie hängen aber vom Engagement der Mitarbeiter der Stiftung und wesentlich auch von finanziellen Unterstützungen unserer Stifter ab. Weitere Informationen und Möglichkeiten zu Unterstützungen finden sich unter: info@bethge-stiftung.de bzw. www.bethge-stiftung.de.

In den nächsten beiden Jahren werden umfangreiche Sanierungsarbeiten in

der Saline erfolgen. Nach deren Abschluss im Jahre 2022 ist als eine Ergänzung zum Schülerlabor ein außerschulisches Technikum zur Physik geplant, in das ein Bereich „Mikroskopie/Elektronenmikroskopie“ eingebunden werden soll. Dieser Bereich zur Mikrostrukturcharakterisierung könnte in gewisser Weise ein Pendant zu dem auf der gegenüberliegenden Seite zur Saline einzurichtenden Planetarium sein, das Einblicke in die Makrowelt ermöglichen wird.

Prof. Dr. Goerg H. MICHLER
Heinz-Bethge-Stiftung für
angewandte Elektronenmikroskopie
Blücherstraße 24
06120 Halle (Saale)
Bundesrepublik Deutschland
Tel.: 0172 8471186
Fax: +49 345 5589101
E-Mail: michler@bethge-stiftung.de

Prof. Dr. Dieter KATZER
Heinz-Bethge-Stiftung für
angewandte Elektronenmikroskopie
Blücher-Straße 24
06120 Halle (Saale)
Bundesrepublik Deutschland
Tel.: 0173 2000750
Fax: +49 345 5589101
E-Mail: dieter.katzer@imws.fraunhofer.de




Leopoldina
Nationale Akademie
der Wissenschaften

Festkolloquium zu Ehren von Prof. Heinz Bethge

Gemeinsame Veranstaltung der Heinz-Bethge-Stiftung für angewandte
Elektronenmikroskopie und der Leopoldina

Freitag, 22. November 2019 14:00 bis 22:00 Uhr

Vortragssaal der Leopoldina, Jägerberg 1, 06108 Halle (Saale)



ISSN: 0369-4771

ISBN: 978-3-8047-4108-9