



Dennis-Gábor-Tag 2014

Festakt im Lichthof der TU Berlin

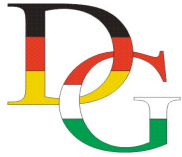
Workshop im Eugen-Wigner-Bau der Physik

am 6. und 7. November 2014

Inhaltsverzeichnis

Einladung für Festakt und Workshop*:	4
Grußworte:	
Präsident der TU Berlin, Prof. Dr. Christian Thomsen	5
S.E. der Botschafter von Ungarn, Dr. József Czukor	7
Vorträge beim Festakt am 6.11.2014:	
Dr. Jost Lemmerich: „ <i>Dennis Gábor in Berlin</i> “	9
Prof. Dr. Michael Lehmann: „ <i>Elektronenholografie heute</i> “	18
Prof. Dr. Stefan Eisebitt: „ <i>Holografie mit Röntgenstrahlen</i> “	26
Magda Czigány: „ <i>Scientist, visionary and poet: A man for all seasons</i> “	34
Kurzporträts der Referenten	40
Fotogalerie vom Festakt	41
Impressum, Bildnachweis, Danksagung	42

*Diese Broschüre enthält nur die Beiträge des Festaktes



Der Präsident der Technischen Universität Berlin
Prof. Dr. Christian Thomsen
und
S.E. der Botschafter der Republik Ungarn
Dr. József Czukor

laden Sie herzlich ein zum

Dennis – Gabor – Tag 2014
Festveranstaltung und Workshop

Die Technische Universität Berlin würdigt gemeinsam mit der Botschaft von Ungarn *Prof. Dr. Dennis Gabor*, den Vater der Holografie, Alumnus der damaligen TH Berlin (Promotion 1927), Nobelpreisträger für Physik (1971) und Gründungsmitglied des Club of Rome

Festveranstaltung

am Donnerstag, den 6. November 2014, 16-20 Uhr
im Lichthof des Hauptgebäudes der TU Berlin, Straße des 17. Juni 135

- 16:00 **Eröffnung**
Prof. Dr. Christian Thomsen, Präsident der TU Berlin
S.E. Dr. József Czukor, Botschafter von Ungarn
- 16:20 **Fachbeiträge** (Moderation: Prof.em. Dr. Jürgen Sahn, TU Berlin)
Dennis Gabor in Berlin: Dr. Jost Lemmerich, Berlin
Elektronenholografie heute: Prof. Dr. Michael Lehmann, TU Berlin
Holografie mit Röntgenstrahlen: Prof. Dr. Stefan Eisebitt, TU Berlin
Dennis Gabor: Scientist, visionary and poet: a man for all seasons:
Magda Czigány, PhD, former director of Library Services, Imperial College London
- 18:00 **Empfang**
Auf Einladung S.E. des Botschafters von Ungarn

Workshop zur Holografie

am Freitag, dem 7. November 2014, 9-13 Uhr
im Hörsaal EW 202 des Physikgebäudes der TU Berlin, Hardenbergstraße 36

- 09:00 **Eröffnung**: Prof. Dr. Michael Gradzielski, Dekan der Fakultät II
- 09:10 **Fachbeiträge** (Moderation: Prof. Dr. Ulrike Woggon, TU Berlin)
Inline holography with partially coherent electrons and photons:
Prof. Dr. Christoph Koch, Universität Ulm
Kaffeepause
X-ray holograms: How Gabor's principle is used today to produce high-resolution images: Prof. Dr. Henry Chapman, Center for Free-Electron Laser Science, Hamburg
Kaffeepause
Industrial research on holography: Dr. Jörg Petschulat, Carl Zeiss Jena
- 12:30 Kaffeepause und Abschlussdiskussion

Grußwort

des Präsidenten der TU Berlin,
Prof. Dr. Christian Thomsen

Sehr geehrte Damen und Herren,

ich begrüße Sie herzlich zum heutigen Auftakt des Dennis-Gábor-Tages 2014. Mit dieser Veranstaltung wollen wir Prof. Dennis Gábor würdigen, einen berühmt gewordenen Absolventen unserer Vorgängereinrichtung, der damaligen Technischen Hochschule zu Berlin.

Holografie ist das Stichwort der heutigen Veranstaltung. Dennis Gábor ist berühmt geworden durch die Erfindung der Holografie – ein Verfahren, mit dem man die Dreidimensionalität von Objekten registrieren und im Bild wiedergeben kann. Sie alle kennen solche Bilder, nicht zuletzt von Hologrammen, die der Sicherheit z.B. von Kreditkarten dienen. Welche Bedeutung die Holografie für uns heute hat, werden die anschließenden Fachbeiträge von zwei Physikkollegen aus unserem Hause zeigen sowie der Workshop morgen Vormittag. Für seine wissenschaftliche Leistung ist Dennis Gábor 1971 mit dem Nobelpreis für Physik geehrt worden.

Die Holografie war jedoch bei weitem nicht die einzige Entdeckung, die Dennis Gábor machte. Er war ein äußerst vielseitiger Wissenschaftler, der sowohl experimentell als auch in der Theorie sehr erfolgreich gearbeitet hat. Das begann schon während seiner Promotionsarbeit an der damaligen Technischen Hochschule zu Berlin - eine Arbeit im Übrigen, die er in Kooperation mit der Industrie angefertigt hat. Sein Partner damals war die Firma Siemens, in die er dann auch nach seinem Abschluss 1927 eintrat. Siemens ist bis heute ein wichtiger Kooperationspartner der TU Berlin geblieben.

1933 emigrierte Dennis Gábor nach England, wo er bis zu seinem Tode im Jahr 1979 blieb. Wie nun durch aktuelle Recherchen bekannt wurde, ist Dennis Gábor 1965 noch einmal an die TU Berlin zurückgekehrt. Im Rahmen seines Aufenthaltes an der TU Berlin hat er den Direktor des Instituts für Technische Optik in der Physik, Prof. Slevogt, besucht. Hauptgrund für Dennis Gábors damaligen Besuch war die 66. Konferenz der Deutschen Gesellschaft für Angewandte Optik, an der er mit einem eigenen Beitrag vertreten war.

Es ist faszinierend zu lesen, mit wie vielen unterschiedlichen Gebieten Dennis Gábor sich im Laufe seines Lebens beschäftigt hat. Was mich besonders beeindruckt hat, ist die Tatsache, dass er bei aller wissenschaftlichen Akribie stets den Anwendungsbezug im Auge hatte. So ist sein wissenschaftlicher Weg geradezu gesäumt von Patentanmeldungen - mir wurde gesagt, ihm seien insgesamt mehr als 400 Patente erteilt worden.

Unter diesem Gesichtspunkt möchte ich Dennis Gábor als einen Leuchtturm für eine Lehr- und Forschungsstätte wie die damalige Technische Hochschule und jetzige Technische Universität Berlin bezeichnen. Die bruchlose Verbindung von exzellenter wissenschaftlicher Arbeit in der Forschung und Umsetzung der Ergebnisse in die Praxis zum Wohle der Gesellschaft ist ein Ziel, das wir in unserer Arbeit mit allem Nachdruck verfolgen.

Ich habe soeben die Gesellschaft erwähnt. Dass der Blick auf die Menschen oder genauer: auf die Menschheit ein wichtiger Gesichtspunkt auch für Dennis Gábor war, zeigen seine späteren Veröffentlichungen, die ihn auch zum Promotor des Club of Rome werden ließen. Wir werden darüber in den nachfolgenden Fachbeiträgen noch einiges hören.

Ich bedanke mich bei Ihnen herzlich, sehr geehrte Teilnehmerinnen und Teilnehmer, verehrte Keynote Speaker, Referentinnen und Referenten für die Teilnahme und Ihr Engagement. Mein Dank gilt besonders der Botschaft von Ungarn, die die Idee zum Dennis-Gábor-Tag einbrachte. Namentlich begrüße ich die Gesandte Frau Dr. Karsai und Kulturattachée Frau Dr. Pászti-Márkus. Ebenfalls ein herzliches Dankeschön an Dr. Molnar als Generalsekretär der Dennis-Gábor-Gesellschaft, der ebenso maßgeblich an den Planungen und Vorbereitungen des heutigen Tages beteiligt war.

Ich wünsche uns eine anregende Veranstaltung und freue mich auf viele interessante Beiträge und Diskussionen.

Prof. Dr. Christian Thomsen
Präsident, Technische Universität Berlin

Grußwort

S.E. des Botschafters von Ungarn,
Dr. József Czukor

Sehr geehrte Damen und Herren,

die deutsch-ungarischen Wissenschaftskontakte haben eine lange Geschichte. Schon im vorigen Jahrhundert waren viele bedeutende ungarische Wissenschaftler in Deutschland tätig und haben mit ihrer Forschung hohe Anerkennung gefunden.

Einer dieser Wissenschaftler ist der ungarische Nobelpreisträger Dennis Gábor (ungarisch: Gábor Dénes), dessen Todestag sich 2014 zum 35. Mal jährte. Die Botschaft von Ungarn, die Technische Universität Berlin, an der Dennis Gábor zwischen 1920-1924 studierte und 1927 promovierte, und die Dennis-Gábor-Gesellschaft, die wissenschaftliche Förderorganisation bei der ungarischen Botschaft, haben diesen Jahrestag würdig mit einer Festveranstaltung begangen. Die Vorträge der Tagung finden Sie in dieser Broschüre.

Dennis Gábor war ein hervorragender Wissenschaftler. Für die Erfindung und die Entwicklung der holografischen Methode wurde er mit dem Nobelpreis ausgezeichnet. Bemerkenswert war auch sein soziales Engagement. So gehörte er zu den Gründungsmitgliedern des 1968 gegründeten Club of Rome, einer Vereinigung, die sich mit wissenschaftlichen Initiativen für eine lebenswerte und nachhaltige Zukunft der Menschheit einsetzt.

Erfindungen und Innovation spielten im wissenschaftlichen und gesellschaftlichen Lebenswerk Dennis Gábors eine zentrale Rolle. Ihm war daran gelegen, sein fachliches Wissen und seine Lebenserfahrung für den Wohlstand der Menschheit nutzbar zu machen. In den fünfziger Jahren war sein Schaffen geprägt vom Gedanken an Innovationen und die Natur von Innovationen, was sich auch in seinem Buch „Erfinden wir die Zukunft!“ widerspiegelte, ein Buch, das große Resonanz fand und ihm viel Anerkennung einbrachte. Über viele Jahre hinweg sicherten ihm seine herausragenden Leistungen die Bewunderung von Wissenschaftlern und Ingenieuren weltweit, und seine Genialität beflügelte noch über viele Jahre hinweg die Entwicklung neuer Technologien.

Dennis Gábor vertrat die Ansicht, unsere Fähigkeit, Dinge zu erfinden, habe die menschliche Gesellschaft hervorgebracht. Unser Drang zur Neuerung war in seinen Augen das zentrale Element all unserer Anstrengungen und einer der Hauptfaktoren einer nachhaltigen Entwicklung unserer Zivilisation. Von ihm stammen die Worte *Wir können die Zukunft gar nicht vorhersagen, wir können sie allenfalls erfinden*. Darüber lässt sich kaum streiten.

Unsere Tagung stand im Zeichen des Gedenkens an einen großartigen Menschen, der uns gezeigt hat, wie man mittels Wissenschaft und Forschung für die Zukunft der neuen Generationen wirken kann.

Auch aus anderen Anlässen war 2014 das Jahr der Erinnerung. 100 Jahre zuvor brach der erste Weltkrieg aus, 25 Jahre zuvor öffnete Ungarn seine Grenze zu Österreich, ein Akt, der letztendlich zum friedlichen Fall der Berliner Mauer führte.

Den Fall der Mauer hat Dennis Gábor nicht mehr erlebt, er starb 1979. Es wäre aber durchaus denkbar, dass er sehr glücklich gewesen wäre, dass Europa und damit auch sein Heimatland Ungarn die Möglichkeit bekamen, wieder in Frieden und in Freiheit zu leben.

Eines der wichtigsten Anliegen der Botschaft ist es, die bilateralen Beziehungen zwischen Ungarn und Deutschland zu fördern. Diese Beziehungen lassen sich mit Unterstützung von Wissenschaft, Forschung und Innovation ausbauen und vertiefen. Die Botschaft ist dabei eine wichtige Impulsgeberin für die europäische und internationale Integration der ungarischen Forschung und für Ungarns wirtschaftliche Entwicklung.

Auf die Zusammenarbeit, die unsere Beziehungen in den kommenden Jahren noch weiter festigen wird, freue ich mich ebenso wie auf gemeinsame Projekte und den interkulturellen Dialog, den wir führen werden – zumal das Interesse unserer Länder aneinander traditionell groß ist.

Dr. József CZUKOR
Botschafter von Ungarn

Dennis Gábor in Berlin

Dr. Jost Lemmerich, Berlin

In der Mitte des Jahres 1921 kam aus Budapest ein 21jähriger hochbegabter junger Mann nach Berlin, um an der Technischen Hochschule Elektrotechnik zu studieren: Es war Dennis Gábor. Trotz der Wirren während des Ersten Weltkrieges hatte er im damaligen Österreich-Ungarn eine frohe Jugend gehabt und eine gute Schulbildung erhalten. Der Vater, Direktor eines Kohlenbergwerks förderte großzügig die Interessen und die Begabung der drei Söhne, Dennis war der Älteste. Es gab Werkzeuge zum Basteln, Bücher zum Lesen und zum Lernen. So bauten die Brüder unter anderem ein Epiadioskop. Nach dem Abitur musste Dennis Gábor den Militärdienst ableisten. Er stand in Norditalien. Dann studierte er in Budapest an der Hochschule „Joseph“ von 1918 bis zum Sommer 1921 Maschinenbau.

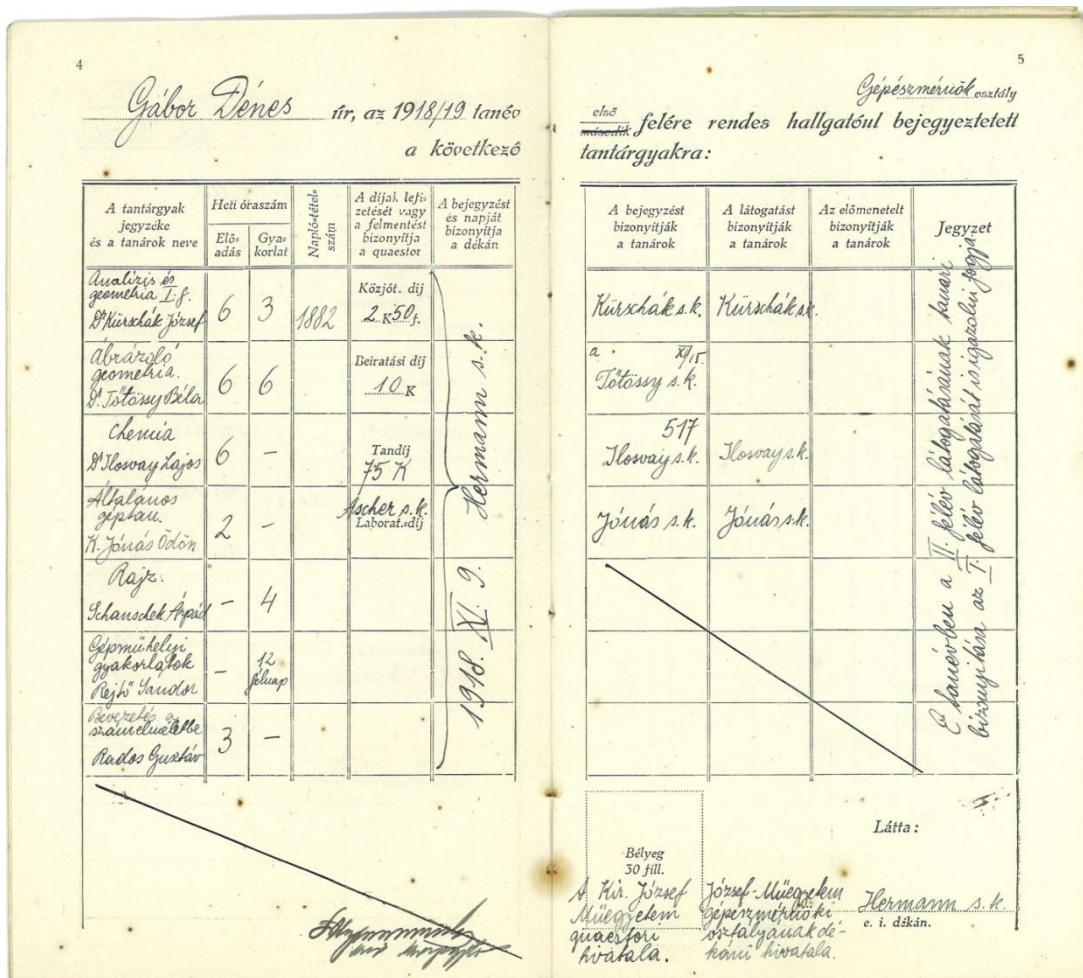


Abbildung 1: Eine Seite aus seinem Budapester Studienbuch mit dem Nachweis der Vorlesungen aus dem Gebiet der Höheren Mathematik.

Doch das Gelernte war ihm offenbar nicht ausreichend, er entschloss sich, in Berlin weiter zu studieren. Gábor fand in Berlin in der Mommsenstraße 70 als Untermieter

bei „Wolff“ eine Bleibe, die er viele Jahre lang behielt. Das hochherrschaftliche Haus existiert heute noch.

1923

Die Anmeldebogen sind **sorgfältig aufzubewahren** (vgl. § 12 der Vorschriften für die Studierenden).

Anmeldebogen

Technische Hochschule zu Berlin

Abteilung

für Masch.-Ing.-Wesen

Studierender: Dyonis Gábor

gebürtig aus: Budapest

(Provinz oder Staat) Ungarn

Staatsangehöriger von „-“

Lebensalter (Jahre): 22

Religion: ev.

Matrikel Nr. 30692

Studienhalbjahr von Mai bis Juli 1922

I akademisches Halbjahr an der Technischen Hochschule zu Berlin

VI „ „ „ „ überhaupt

Bestimmungen auf der **vierten** Seite zu beachten!

Wohnung: Charlottenburg, Nonnensen Str. Nr. 70
(Postamt) bei Wolff

In den „Zwanziger Jahren“ war Berlin ein besonderer Ort. Es war der Sitz der Regierung der ersten Deutschen Republik. In der Kunst feierte man die neue Freiheit ausgiebig und vielfältig. An der Berliner Universität lehrten bedeutende Forscher, in der Physik waren es Albert Einstein, Max Planck, Walter Nernst und Max v. Laue. Einstein arbeitete damals an seiner Allgemeinen Relativitätstheorie, er erhielt dafür 1921 den Nobelpreis für Physik. Im Jahr 1918 hatte ihn Planck und 1920 Nernst erhalten. An der Technischen Hochschule war Physik leider nur ein Nebenfach,

Abbildung 2: Anmeldebogen an der TH Berlin zum SS 1922

man konnte kein Diplom in dem Fach machen und nicht promovieren. Gábor ließ sich bei der *Fachabteilung für Elektrotechnik* der TH-Abteilung *Maschinenbau* einschreiben.

Er hatte ein intensives und vielfältiges Programm zu absolvieren, wie die Aufstellung in Bild 3 zeigt. Als Dritter ist darin Orlich aufgeführt, bei dem er später auch sein Diplom machte. Professor Ernst Orlich wurde 1867 geboren. Zuerst war er Lehrer,

dann studierte er Physik war dann in der Physikalisch-Technischen Reichanstalt tätig, wo er sich mit der Theorie der Wechselströme beschäftigte. An die TH berufen,

Nebenabgaben: Auditoriengehd. 60,- M. Bibliotheksgeld 60,- Beitrag zum Studentenfonds 24,- zur Krankenkasse 20,- zur Unfallversicherung 1,63		Anmerkung: Jeder Studierende ist verpflichtet, die Spalten 1 bis 3 sorgfältig auszufüllen. Es ist erwünscht, daß die Eintragungen in den Spalten 2 u. 3 in folgender Reihenfolge vorgenommen werden: 1. Professoren und Dozenten der Fachabteilung, 2. diejenigen anderer Abteilungen, 3. Privatdozenten.		Bemerkungen:				
Institutsgebühr 7,50 M. Kantion		Studierender: <i>Dyornis Gábor</i>		<div style="border: 1px solid black; padding: 2px; display: inline-block;"> Phys. Elektrotechn. Labor Technische Hochschule 1922 </div>				
zusammen 700 65,-								
Nr. der Einzulangefülde	Dozent	Unterrichtsgegenstand	Honorar		Quittung der Kasse	Platz im Saal	Gegenzeichnung des Dozenten bei Anmeldung	Datum
			M.	Pl.				
		<i>Just. Geh.</i> Nebenabgaben (f. oben)		100 - 700 65				
56	Josse	Üb. I im March. Lab.	30	135			<i>Josse</i>	24. 12.
57	Meyer	Mechanik IV.	60				<i>Eugen Meyer</i>	26. 5. 22
69	Ohrlich	Üb. III im Elektr. Lab.	40	180			<i>E. Ohrlich</i>	28. Mai 1922
71	W. Reichel	Elektr. Kraftanl. u. Bahnen	20				<i>W. Reichel</i>	31. 5. 22
73	Kloss	Elektromasch. bau I	50				<i>Kloss</i>	30. Ma 1922
74	Kloss	Entwurf v. elektr. Masch.	40				<i>Kloss</i>	30. Ma 1922
75	Wedding	Beleuchtungstechnik	20				<i>W. Wedding</i>	24/12
76	Wedding	Beleuchtungstechn. Labor.	30	135			<i>W. Wedding</i>	24/12
85	Stumpf	Dampf- u. Gasmaschinen	40				<i>Stumpf</i>	24/12
90	Frantz	Hoch- u. Tiefdruckmaschinen	60				<i>Frantz</i>	24/12
			390	1250 65				
			1560	1250 65				
			1250 65					
			32 00 65					
			1873					
			13. MA 1922					

Abbildung 3: Aufstellung der Übungen vom SS 1922

blieb er bei diesem Problemkreis. Als Rektor der TH begründete er ein Außeninstitut. Der Aufenthalt von Gábor in Deutschland fand unter der wirtschaftlichen Katastrophe der Inflation mit einer rasanten Geldentwertung von bis zu 10^{12} statt. Wahrscheinlich half der Vater ihm finanziell.

Nebenabgaben: Auditoriengehd. 60,- M. Bibliotheksgeld 60,- Beitrag zum Studentenfonds 24,- zur Krankenkasse 20,- zur Unfallversicherung 1,63		Anmerkung: Jeder Studierende ist verpflichtet, die Spalten 1 bis 3 sorgfältig auszufüllen. Es ist erwünscht, daß die Eintragungen in den Spalten 2 u. 3 in folgender Reihenfolge vorgenommen werden: 1. Professoren und Dozenten der Fachabteilung, 2. diejenigen anderer Abteilungen, 3. Privatdozenten.		Bemerkungen:				
Institutsgebühr 7,50 M. Kantion		Studierender: <i>Dyornis Gábor</i>		<div style="border: 1px solid black; padding: 2px; display: inline-block;"> Phys. Elektrotechn. Labor Technische Hochschule 1922 </div>				
zusammen M.								
Nr. der Einzulangefülde	Dozent	Unterrichtsgegenstand	Honorar		Quittung der Kasse	Platz im Saal	Gegenzeichnung des Dozenten bei Anmeldung	Datum
			M.	Pl.				
		<i>Just. Geh.</i> Nebenabgaben (f. oben)		60 - 164 65				
5	Quaschnick	Physikalische Messungen	40	108 -			<i>Quaschnick</i>	29/11
32	Harmsen	Maschinenbauübungen	80				<i>Harmsen</i>	9. 11. 1921
34	Meyer	Mechanik III	60	2250			<i>Eugen Meyer</i>	28. Nov. 1921
38	Julius Wolf	Grundr. d. Volkswirtschaft	30				<i>Julius Wolf</i>	30. 11.
68	Ohrlich	Theoret. Elektrotechnik II	30				<i>E. Ohrlich</i>	30. 11. 21
69	Ohrlich	Elektrolaboratorium II	40	108 -			<i>E. Ohrlich</i>	30. 11. 21
70	W. Reichel	Elektr. Kraftanl. u. Bahnen	20				<i>W. Reichel</i>	30. 11. 21
82	Josse	Wärmetechnik d. Maschinen	20				<i>Josse</i>	30. 11. 21
84	Stumpf	Dampfmotoren u. Maschinen	40		188, 15 M. bezahlt. 25. NOV. 1921		<i>Stumpf</i>	30. 11. 21
88	Draxl	Verbrennungsmotoren	20				<i>Draxl</i>	30. 11. 21
90	Frantz	Hoch- u. Tiefdruckmaschinen	60				<i>Frantz</i>	30. 11. 21
93	Wetzke	Höher techn. Mechanik	20				<i>Wetzke</i>	30. 11. 21
			460	463 15				
			760					
			463 15					
			13 83 15					

Abbildung 4: Vorlesung Prof. Ohrlich zur Theorie der Elektrotechnik (5. Zeile)

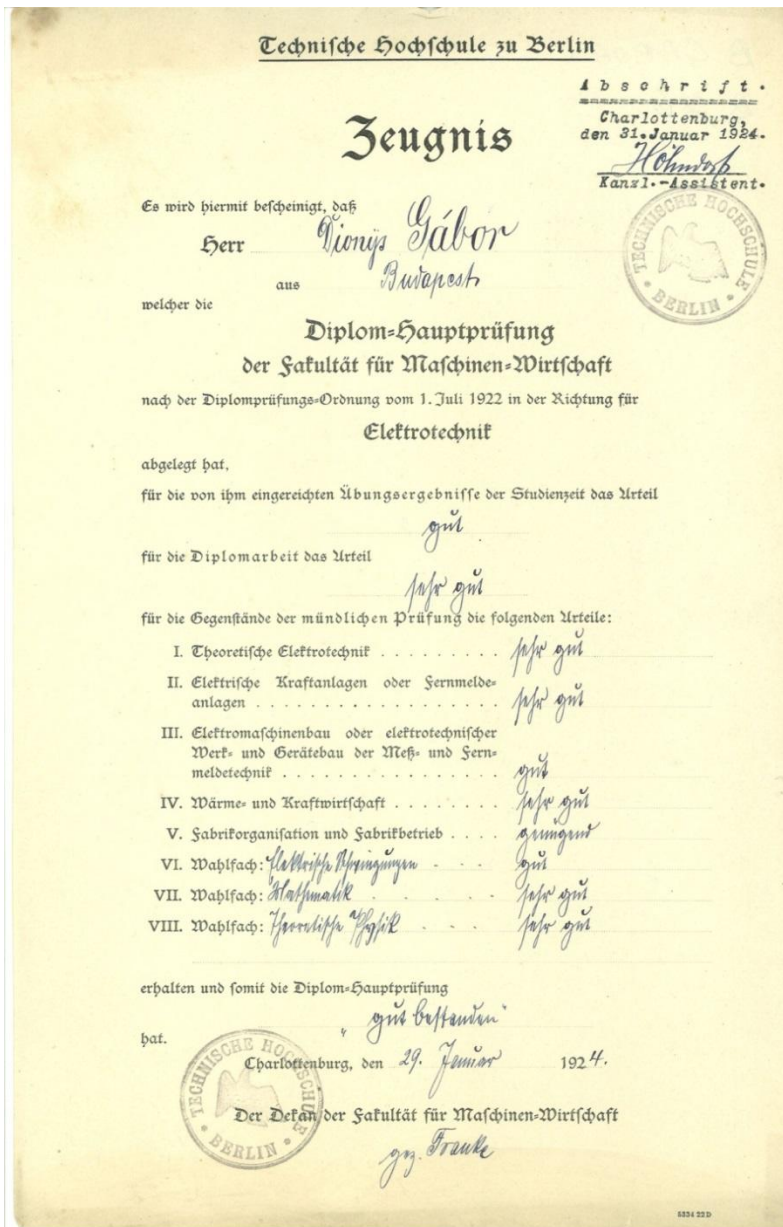


Abbildung 5: Diplomzeugnis von Dennis Gábor, TH Berlin 1924

Dennis Gábor legte 1924 die Diplomhauptprüfung mit vielen „Sehr gut“ ab. So nebenbei hatten er und seine Landsleute Leo Szilard und Eugene Wigner auch Einsteins Vorlesungen an der Friedrich-Wilhelms Universität besucht.

Nach dem bestandenen Diplom war es für Gábor wohl selbstverständlich zu promovieren. Zuerst war er besoldeter Assistent am Institut. Die messtechnische Lösung eines wichtigen Problems stand seit längerem an. Bei Blitzeinschlägen in Freileitungen entstehen für die Isolatoren und angeschlossenen Geräte gefährliche Überspannungen. Um Schutzmittel zu entwickeln, musste man die Höhe und den Verlauf dieser Überspannungen - man nannte sie Wanderwellen - kennen, sie also messen können. Der Kathodenstrahl - Oszillograph war durch Ferdinand Braun in Straßburg 1897 erfunden worden, aber für diese Art von Messungen war er nicht

Gábor erhielt von Orlich als Diplomarbeit die Berechnung der Kapazität von Sammelschienenanlagen. Sammelschienen wurden und werden in Kraftwerken und Umspannstationen zum - wie der Name andeutet - Zusammenschalten von Generatoren, Transformatoren und Verbrauchern verwendet. Es sind für jede Phase der Wechsellspannung massive rechteckige Stäbe, häufig aus Aluminium, an die die Generatoren, Transformatoren und Verbraucher angeschlossen werden können. Unter dem Einfluss von Schaltvorgängen können Spannungsschwingungen auf den Sammelschienen entstehen, die für die Anlage gefährlich sein können. Bei der Berechnung der Kapazitäten musste Gábor ein Näherungsverfahren anwenden, um zu einer brauchbaren Lösung zu kommen.



Abbildung 6: Foto Dennis Gábor ca. 1925

brauchbar. Diese Problemstellung lernte Gábor am Institut kennen. Die *Studiengesellschaft für Hochspannung* mit Professor Adolf Matthias ermöglichte ihm ab 1925, an der Lösung zu arbeiten, sie finanzierte diese Forschungsaufgabe.

Es ist fast nicht zu glauben, wie Gábor alle, wirklich alle Schwierigkeiten theoretischer, experimenteller, aber auch handwerklicher Art bis zum Erfolg überwand. Er entwickelte einen Kathodenstrahl-Oszillographen mit höchster Schreibgeschwindigkeit, eine Vakuum-Kassette für die Fotoplatte zur Registrierung, eine Einrichtung, damit der Nullpunkt stabil blieb, Spannungsteiler, um die Hochspannung auf eine

weit niedrigere Messspannung ohne Verzerrung herabzusetzen. Dazu kamen alle Probleme der Vakuumherzeugung für den Oszillographen. Auch noch manche glasbläserischen Probleme mussten gelöst werden. Zusätzlich entwickelte er einen elektronischen Schalter mit den damals üblichen Röhren aus Glas, ferner ein Kippgerät, das beim Auftreten der Überspannung den Einsatz der Registrierung und die zeitliche Auflösung steuerte.



Abbildung 7: Links: Gábor mit dem Oszillographen, oben die Erzeugung des Elektronenstrahls, in der Mitte die elektrostatische Ablenkung, unten die Kassette für die photographische Platte, ganz rechts die Hochvakuumpumpe.
Rechts: Oben Kippgerät, darunter die Spannungsversorgung mit Batterien

Um einen scharf begrenzten Elektronenstrahl zu erhalten, hatte Gábor erstmals eine „magnetische Linse“ mit *eisernen Polschuhen* gebaut. Die Idee einer magnetischen Linse war schon bald nach Ferdinand Brauns Veröffentlichung gekommen, es waren aber, wie die Veröffentlichungen - auch die von Busch - zeigen, stets Spulen ohne Polschuhe.

Gábor erinnerte sich rund dreißig Jahre später an eine Unterhaltung beim Kaffee mit seinem Landsmann Leo Szilard, der bei Max von Laue promovierte und der zu ihm sagte:

„Du weißt, Busch hat gezeigt, dass man Elektronenlinsen machen kann. Die Technik hast Du, warum machst Du nicht ein Mikroskop mit Elektronen? Man könnte damit bis zu der Broglie-Wellenlänge heruntergehen? Gábor antwortete ihm: „Ich weiß, aber man würde mehrere Jahre dazu brauchen, und was käme dabei heraus? Man kann keine lebende Substanz in ein Vakuum bringen.“

Gábor merkte im Übrigen an, dass ihm seine Arbeit an Kathodenstrahloszillographen auch eine vorübergehende „Allergie“ gegen Elektronen eingebracht hätte. Allerdings hat er wenig später über seinen Kathodenstrahloszillographen dann doch zwei Veröffentlichungen geschrieben.

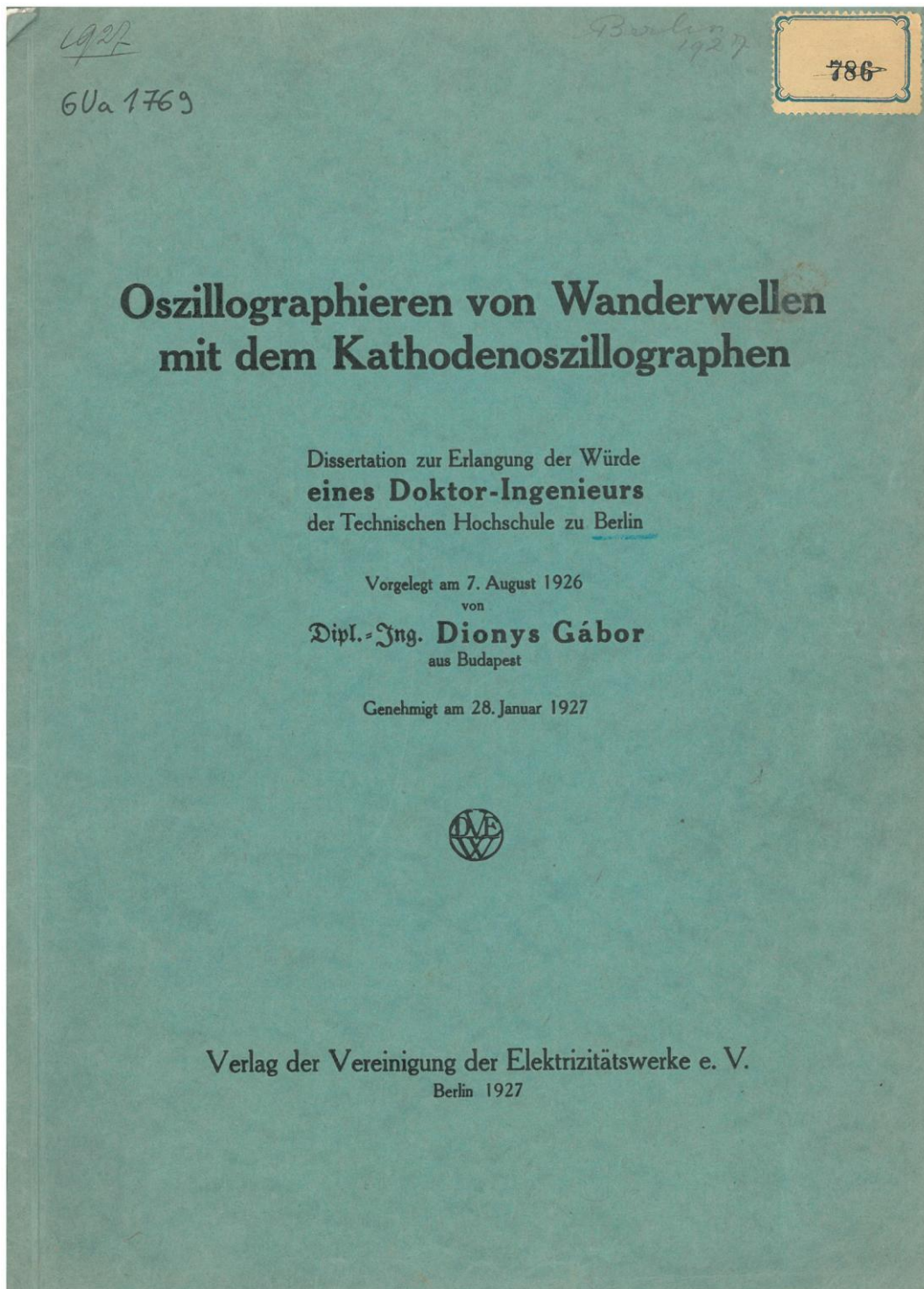


Abbildung 8: Titelseite der Dissertation von Dennis Gábor an der TH Berlin 1927

Der junge Doktor blieb nicht bei der Studiengesellschaft, er war ab 1927 in einer festen Anstellung bei Siemens im Forschungslaboratorium, hatte aber bereits vorher dort gearbeitet. Gábors erfinderischer Geist dokumentierte sich nun in Patent-

anmeldungen und erteilten Patenten – im Laufe seines Lebens wurden es über vierhundert!

Man kann Gábors Arbeiten und Erfindungen aus der Berliner Zeit 1927 – 1933 und auch für den weiteren Lebensweg grob einteilen:

- *Der kenntnisreiche Praktiker*
- *Der ideenreiche weitsichtige Erfinder*
- *Der tiefsinnige Theoretiker.*

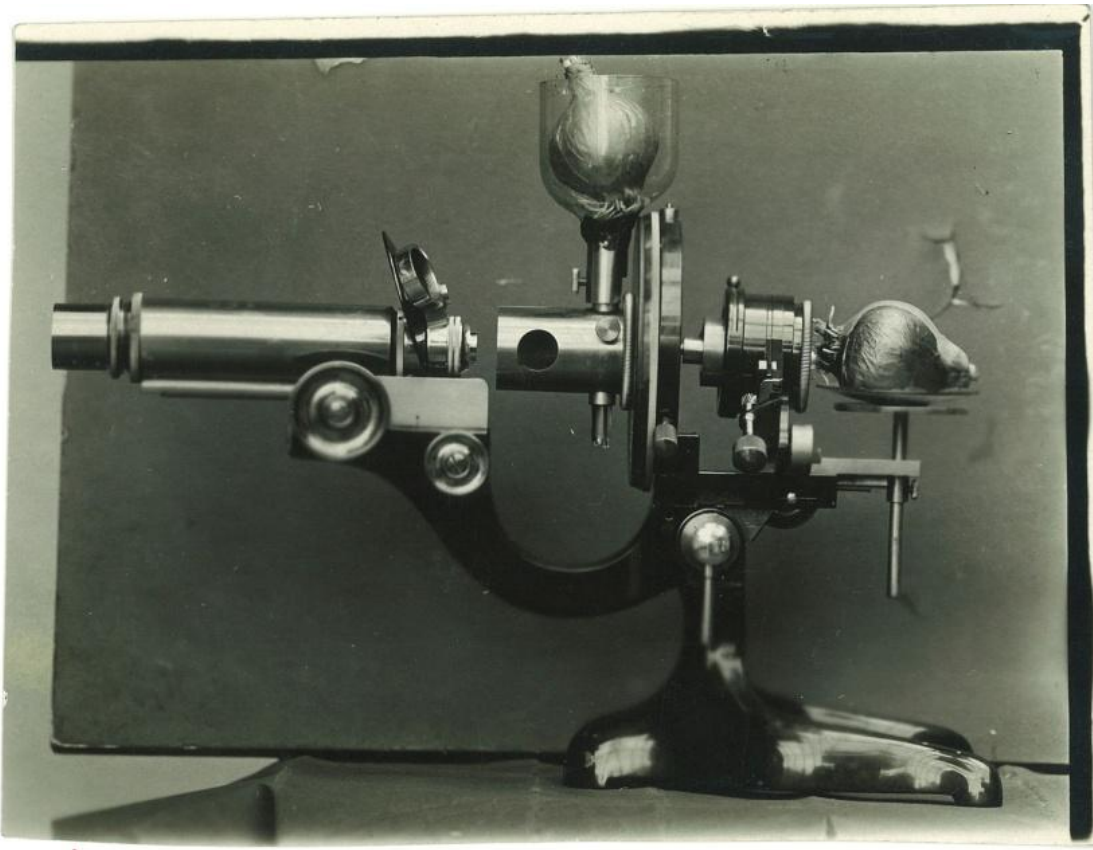


Abbildung 9: Mikroskopanordnung mit zwei Zwiebeln: Die Wurzeln einmal vertikal, das andere Mal horizontal

Eine Kuriosität: 2 frühe Patente, angemeldet 1927 zusammen mit seinem Freund, dem Mediziner Tiberius Reiter, hatten die Behandlung von lebenden Zellen mit Lichtstrahlen und Lichtquellen zum Inhalt. Warum? Der russische Wissenschaftler *Alexander Gurwitsch* hatte beobachtet, dass von keimenden Zwiebelwurzeln „Strahlen“ ausgingen, die bei anderen keimenden Zwiebelwurzeln das Wachstum fördern. Man nannte diese „Strahlen“ *mitogenetische* Strahlen, abgeleitet von der Zellteilung. Gábor und Reiter prüften das mit größter Sorgfalt, und konnten es im Rahmen der Messgenauigkeit sogar bestätigen. Eine umfangreiche Veröffentlichung erschien, auch über diese neue Anwendung von kurzweiliger Strahlung. Es gab eine kritische Stellungnahme des Biologen Karl Belár und eine von dem Physiker Fritz Houtermanns. Offenbar ist das Problem der mitogentischen Strahlen aber bis heute noch nicht geklärt.



Abbildung 10: Dennis Gábor mit seiner Mutter

Die Lage in Deutschland wurde ab 1929 immer beunruhigender; denn die wirtschaftliche Krise mit einer hohen Arbeitslosigkeit führte zu Unruhen und zur Radikalisierung des politischen Lebens. Gábor erhielt wahrscheinlich in diesen Jahren den Besuch von seiner Mutter.

Ein neues Arbeitsgebiet forderte Gábors Erfindungsgabe, die Entwicklung von Lichtquellen im UV. 11 Patente von ihm betrafen nun die Fertigung und den Aufbau von Gasentladungslampen mit verschiedenen Metallen. Was geschieht in einer solchen Gasentladungslampe mit Metaldampf bei der hohen Temperatur? Es sind sehr, sehr viele hochangeregte Atome, viele positive Ionen. Man nannte das nach dem Amerikaner Langmuir „Plasma“, der auch eine Theorie darüber angab.

Dieses Problem interessierte Gábor, und Ende 1932 veröffentlichte er eine erste Erweiterung der Theorie in der *Zeitschrift für technische Physik* und ein halbes Jahr später die „Elektrostatische Theorie des Plasmas“ in der *Zeitschrift für Physik*. Sie zeigte den Physiker mit umfassender Kenntnis auch des Umfelds der physikalischen Probleme. Wie üblich wurde das Datum des Eingangs des Manuskripts angegeben: 12. Juni 1933. Und als Ort war angegeben: Budapest.

Dennis Gábor war dem nationalsozialistischen Terror entkommen!

Elektronenholographie heute

Prof. Dr. Michael Lehmann

Institut für Optik und Atomare Physik der Technischen Universität Berlin

Die Erfindung der Holographie durch Dennis Gábor ist eng mit den Entwicklungen in der Elektronenmikroskopie und damit mit Ernst Ruska verknüpft. Ernst Ruska war um die 1930er Jahre Doktorand in der Arbeitsgruppe von Dr. Knoll an der damaligen Technischen Hochschule Berlin, der Vorläuferinstitution der heutigen Technischen Universität Berlin. Im Rahmen seiner Doktorarbeit hat er 1931 das erste Transmissionselektronenmikroskop (TEM) weltweit entwickelt ([Abbildung 1](#)), für welches er 1986 den Nobelpreis für Physik sehr spät erhielt. Das Prinzip ist ganz ähnlich dem eines Lichtmikroskops: Ein Objekt wird aber anstatt mit Licht jetzt mit Elektronen, kleinen elektrisch geladenen Elementarteilchen, durchstrahlt und das resultierende Bild wird durch Linsen, die nicht aus Glas bestehen, sondern durch inhomogene Magnetfelder gebildet werden, hochvergrößert abgebildet. Heutige TEMs sind so leistungsfähig, dass mit einer Gesamtvergrößerung von einer Million und mehr (zum Vergleich: das Bild eines 1 Millimeter großen Objektes wäre dann mindestens 1 Kilometer groß) die atomare Struktur von Festkörpern abgebildet werden kann.

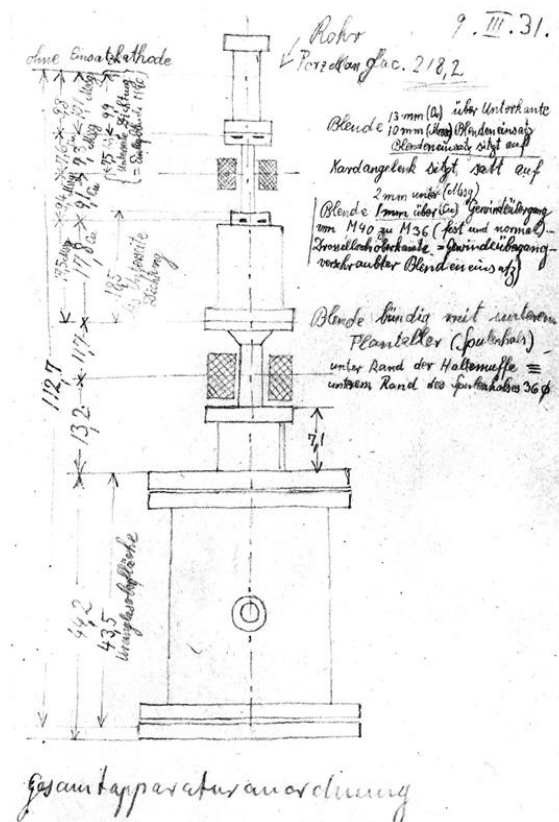


Abbildung 1: Links: Ausschnitt aus dem Laborbuch von Ernst Ruska, in welchem er den Aufbau des ersten Transmissionselektronenmikroskops (TEM) 1931 skizziert hat. Rechts: Foto des Nachbaus von Ruska's TEM, wie er im Deutschen Museum in München steht.

Ein grundsätzliches Problem elektromagnetischer Linsen wurde anhand theoretischer Überlegungen durch Otto Scherzer (Darmstadt) bereits 1936 erkannt: Bildfehler wie die sphärische Aberration und der Farbfehler können anders als in der Lichtoptik mit runden magnetischen Elektronenlinsen nicht korrigiert werden. Folglich begrenzen diese Bildfehler drastisch das Auflösungsvermögen eines TEMs. Otto Scherzer selber soll mal die Abbildungsqualität einer Elektronenlinse mit der Qualität des Bodens einer Sekfflasche als lichteoptische Linse verglichen haben; ein Beispiel, welches verdeutlicht, wie schlecht eigentlich Elektronenlinsen sind (und dennoch kann man heute Atome auflösen!).

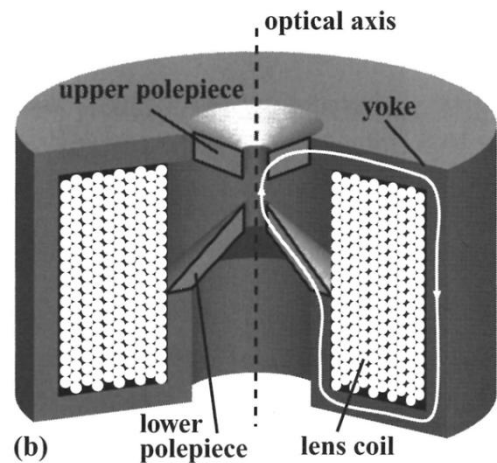


Abbildung 2: Schnitt durch eine magnetische Rundlinse. Der Elektronenstrahl wird von oben nach unten entlang der optischen Achse geführt. Das inhomogene Magnetfeld (weiße Linie) fokussiert die Elektronen. Folglich arbeitet die magnetische Rundlinse wie eine lichteoptische Sammellinse. Nach [1].

Um zu verstehen, wie dieses Problem gemeistert werden kann und damit auch die Ideen Gábors zu erfassen, soll hier kurz auf den Welle-Teilchen Dualismus eingegangen werden: Elektronen (und auch andere sich bewegende Teilchen) besitzen sowohl die Eigenschaften eines Teilchens als auch die einer Welle je nach experimenteller Beobachtungsweise. Wenn Elektronen durch eine Photoplatte oder eine Kamera detektiert werden, verhält sich das Elektron wie ein Teilchen, welches lokalisiert ist und in einem Stoßprozess seine Energie an die Photoplatte (der Film wird an dieser Stelle geschwärzt) oder Kamera (das Pixel wird um einen gewissen Wert nach oben gezählt) abgibt. Andererseits verhält es sich wie eine Welle, wenn beispielsweise Elektronen als Ensemble ein Interferenzmuster des atomaren Gitters ergeben. Auch Bildfehler können in diesem Wellenbild sehr gut verstanden werden. Wellen (Abbildung 3) werden durch ihre Wellenlänge (Lichtwellen: Farbe; Schallwellen: Tonhöhe) und ihre Amplitude (Lichtwellen: Beleuchtungsstärke; Schallwellen: Lautstärke) beschrieben. Eine dritte Eigenschaft, die Phase der Welle, also die relative Verschiebung zweier Wellenzüge zueinander, wird normalerweise nicht betrachtet, da diese bei der Aufzeichnung auf einer Photoplatte bzw. bei der Registrierung durch eine Kamera verloren geht. In der Phase ist aber die relative Lage des Wellenfeldes gespeichert. Da die Phase bei der Aufzeichnung verloren geht, kann das Wellenfeld nicht mehr rekonstruiert werden. Dies ist bekannt als das Phasenproblem der Abbildung. Folglich können beispielsweise photographische Portrait-Aufnahmen, die auf die falsche Ebene fokussiert wurden, nicht nachträglich korrigiert werden.

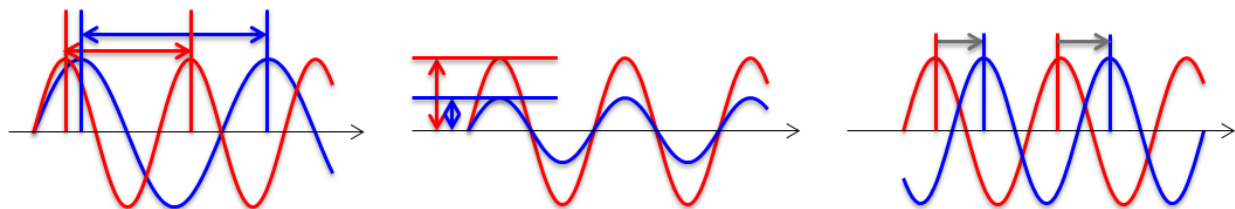


Abbildung 3: Links: Zwei Wellen (rot und blau) mit unterschiedlicher Wellenlänge. Mitte: Zwei Wellen mit unterschiedlicher Amplitude. Rechts: Zwei Wellen, die zueinander verschoben sind, gekennzeichnet durch die grauen Pfeile als Phasenschiebung. Nach rechts ist jeweils die örtliche Ausbreitungsrichtung der Wellen aufgetragen.

Dieses Phasenproblem der Abbildung beschäftigte auch Dennis Gábor. Er sagte sich, eigentlich ist die gesamte Information bis zur Aufzeichnung vorhanden, und wenn es ihm

also gelänge, Amplitude und Phase der Welle aufzuzeichnen, wäre das Phasenproblem gelöst und Bildfehler elektromagnetischer Linsen könnten nachträglich lichtoptisch korrigiert werden. Es wird berichtet, dass Dennis Gábor die richtige Idee 1947 zwischen zwei Tennisspielen hatte, und er wird mit den Worten zitiert "... and all of a sudden it came to me, without any effort on my side... ". Die Holographie (von altgriechisch holos "ganz, vollständig" und graphein "schreiben, zeichnen") war geboren und durch einen Trick das Phasenproblem der Abbildung gelöst (**Abbildung 4**): Im TEM wird zunächst das Hologramm als Interferenzmuster zweier Wellen auf einer Photoplatte aufgezeichnet, d.h. die durch das Objekt modulierte Welle (Objektswelle) wird mit einer unmodulierten Welle (Referenzwelle) kohärent überlagert. Die Phase ist als Verschiebung der Interferenzstreifen sozusagen zusätzlich zur Amplitude in der Fotoplatte kodiert. Die Photoplatte wird dann nach ihrer Entwicklung in einem zweiten Schritt mit Licht auf einer lichtoptischen Bank durchstrahlt. Dabei wird das Wellenfeld wieder rekonstruiert und es entstehen zwei Bilder, das virtuelle und das reelle Bild. Prinzipiell können dann mit Hilfe von speziellen lichtoptischen Linsensystemen Bildfehler wie die sphärische Aberration vergleichbar einer Brille korrigiert werden. Gábor erhielt für seine bahnbrechende Entdeckung 1971 den Nobelpreis für Physik.

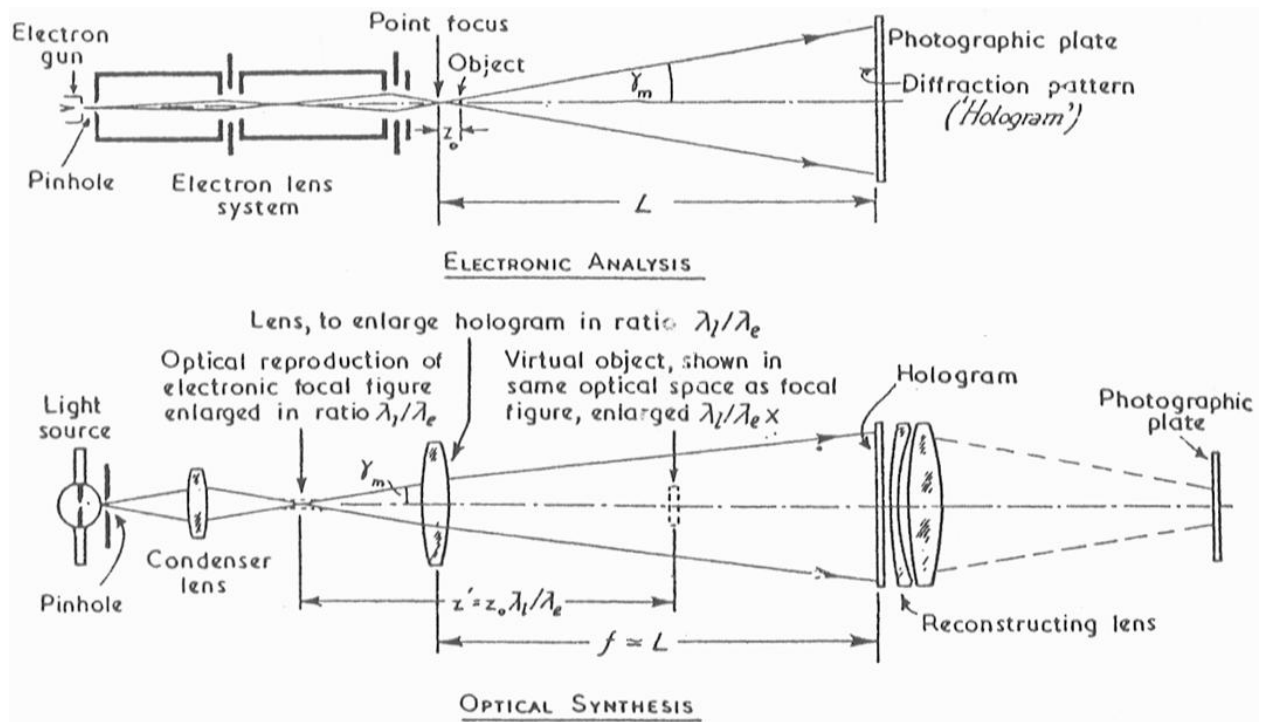


Abbildung 4: Gábors Veröffentlichung 1948/49 der Elektronenholographie als zweistufiger Prozess [2]. Oben (Electronic Analysis): Zunächst wird das Hologramm als kohärente Überlagerung von Objekt- und Referenzwelle der Elektronen aufgezeichnet. Unten (Optical Synthesis): Das Hologramm wird mit einer kohärenten Lampe beleuchtet. Es entstehen so ein virtuelles und ein reelles Bild, wobei letzteres auf einer photographischen Platte aufgezeichnet wird.

Für den Durchbruch der Holographie gab es aber noch zwei Herausforderungen zu bewältigen: (1) Das Licht bzw. die Elektronen müssen kohärent sein, d.h. ihre Phasen relativ zueinander muss zeitlich und räumlich konstant sein. Das Licht einer Glühlampe ist jedoch inkohärent, da die einzelnen Wellenzüge die Glühlampe "ungeordnet" verlassen. Ein Laser aber sendet intensives und hochkohärentes Licht aus, und folglich fand mit seiner Erfindung 1960 die Holographie zunächst einen verbreiteten Einzugs in die Lichtoptik. (2) Bei der Rekonstruktion des Hologramms liegen reelles und virtuelles Bild auf einer Achse, so dass beide Bilder nicht getrennt werden können und so fälschlicherweise sich überlagern. Leith und Upatnieks lösten 1961 das Problem mit ihrer sogenannten off-axis Anordnung

(Abbildung 5), wo mit Hilfe eines Strahlteilers (z.B. einem Spiegel, der zu 50% das Licht reflektiert und zu 50% das Licht transmittiert) der Lichtstrahl (oder im Wellenbild das Wellenfeld) in eine Referenzwelle und in eine Objektwelle aufgeteilt und später unter einem Winkel zur Überlagerung zum Hologramm gebracht wird. Bei Rekonstruktion dieses off-axis Hologramms sind jetzt beide Bilder abseits der optischen Achse, so dass sie einzeln beobachtet werden können. Da das gesamte Wellenfeld rekonstruiert wird, also Amplitude und Phase, erhält man bei Betrachtung eines Hologramms einen dreidimensionalen Eindruck (Abbildung 11).

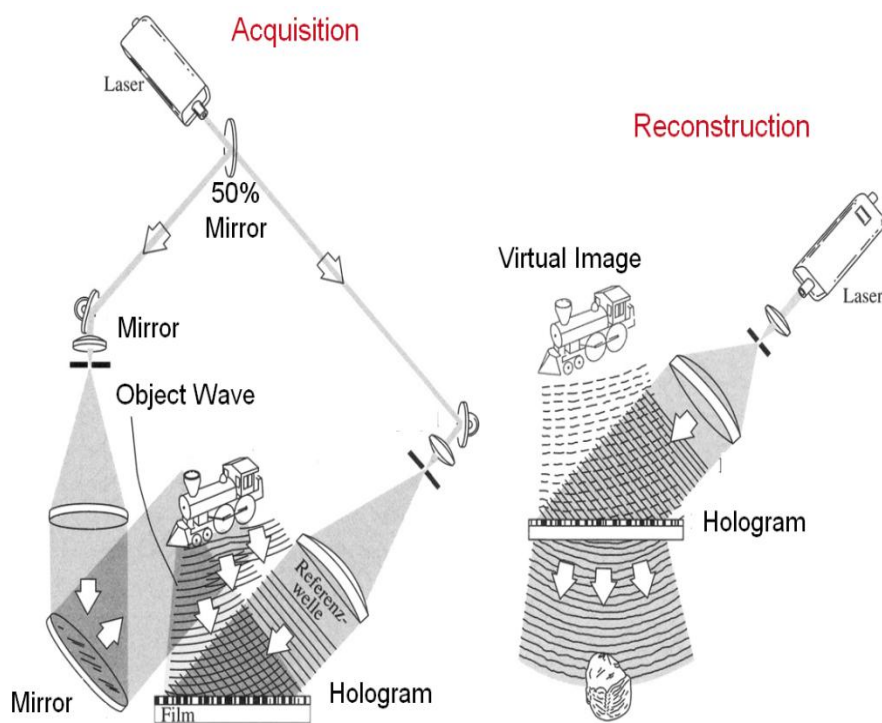


Abbildung 5: Aufzeichnung und Rekonstruktion von off-axis Hologrammen. Durch einen Strahlteiler (50% Mirror) wird der Laser-Lichtstrahl in eine Objekt- und in eine Referenzwelle aufgeteilt. Unter einem endlichen Winkel werden dann beide auf einem photographischen Film zur Interferenz gebracht, so dass sich daraus das Hologramm ergibt. Dieses Hologramm wird dann zur Rekonstruktion mit einem Laser beleuchtet. Es entsteht ein virtuelles Bild, welches einen dreidimensionalen Eindruck vermittelt, da Amplitude und Phase des Wellenfeldes entsprechend dem Original rekonstruiert wird. Nach [3].

Die Aufzeichnung von Elektronenhologrammen, Gábors ursprüngliche Idee, ist ungleich schwieriger als lichtoptische Hologramme, da lange Zeit keine Elektronenquellen mit ausreichender Kohärenz zur Verfügung standen. Der Durchbruch kam mit der Entwicklung von Feldemissions-Elektronenquellen etwa Mitte der 1980er Jahre, die einen ausreichend kohärenten Elektronenstrom zur Abbildung und damit zur Aufnahme von Elektronenhologrammen bieten. Der Strahlteiler (der 50% Spiegel der Lichtoptik) wird durch ein Möllenstedt'sches Biprisma realisiert (Abbildung 6): Das Biprisma besteht aus einem mit Gold bedampften Glasfaden mit einem Durchmesser von etwa 500 Nanometer, etwa 100 mal dünner als ein menschliches Haar. An diesen Faden wird eine positive Spannung angelegt, die Wellenfront in eine Objekt- und Referenzwelle geteilt, und unter einem Winkel zur Interferenz gebracht; das sogenannte Off-axis-Elektronenhologramm entsteht. Dabei ist die Phase wiederum in der Verbiegung der Interferenzstreifen kodiert, die Amplitude in deren Kontrast. Heute wird solch ein Elektronenhologramm mit einer sehr empfindlichen CCD-Kamera direkt am TEM aufgezeichnet und im Computer durch einfache Fourier-Transformationen in Amplitude und Phase innerhalb von Sekundenbruchteilen rekonstruiert. Gábors Idee eines zweistufigen Prozesses von Aufzeichnung und Rekonstruktion spiegelt sich darin exakt wieder.

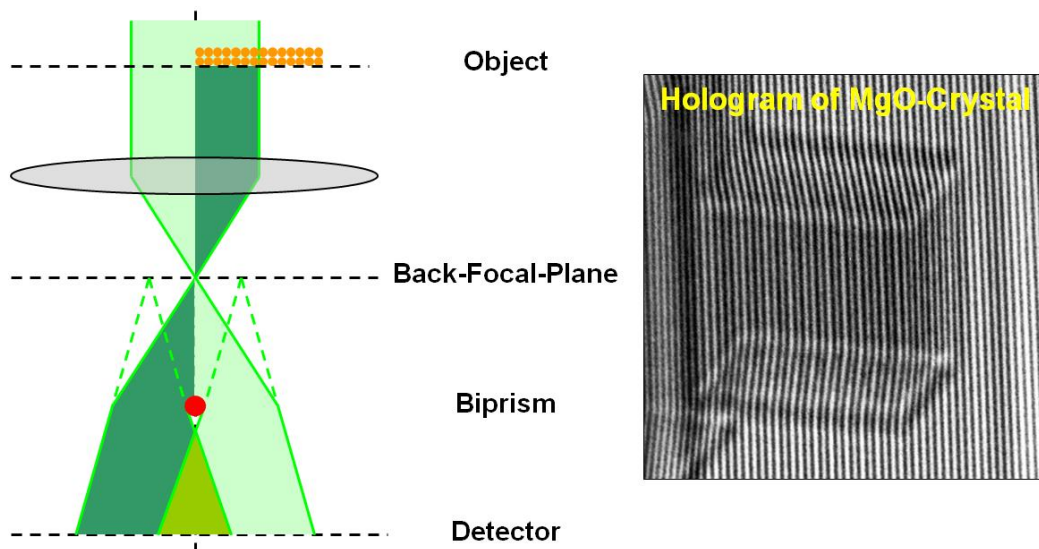


Abbildung 6: Links: Strahlengang zur Aufzeichnung eines Elektronenhologramms im TEM. Das Objekt wird mit Elektronen durchstrahlt und durch die Linse abgebildet. In der Nähe der interessierenden Objektstelle befindet sich ein Loch in der Probe, durch welches die Elektronen unverändert durchfliegen und auch von der Linse abgebildet werden. Die so entstandene Objekt- und Referenzwelle werden mit Hilfe des Möllenstedt'schen Biprismas (roter Punkt) zur Überlagerung auf dem Detektor (heute CCD-Kamera) gebracht. Im Überlappungsbereich beider Wellen entsteht so das Elektronenhologramm. Rechts: Elektronenhologramm eines kleinen Magnesiumoxid-Kristalls mit einer Kantenlänge von wenigen 100 Nanometer. Die senkrechten Linien sind die Interferenzstreifen durch Überlagerung von Objekt- und Referenzwelle. Die Phaseninformation der Elektronenwelle und damit des Objektes sind in der relativen Verschiebung der Interferenzstreifen kodiert, wogegen die Amplitudeninformation in den Kontraständerungen der Streifen zu finden ist.

Elektronenholographie wird heute in verschiedenen Elektronenmikroskopie-Laboratorien weltweit zur Abbildung (und Messung, aber da ist noch sehr viel Forschung zu leisten) von elektrischen Potentialen und magnetischen Feldern in Festkörpern eingesetzt. Hintergrund ist, dass elektrische Potentiale und magnetische Felder die Elektronenwelle beim Durchgang durch den Festkörper relativ zur Elektronenwelle, die nicht durch den Festkörper, sondern durch ein Loch in der Probe geführt wird, in ihrer Phase schieben, ihre Amplitude in erster Näherung jedoch nicht beeinflusst wird. Da ein konventionelles TEM nur die Intensität der Elektronenwelle, also das Betragsquadrat der Amplitude der Elektronenwelle aufzeichnen kann, werden Potentialänderungen und magnetische Felder im Nanometerbereich in einer normalen TEM-Aufnahme nicht registriert. Ein "normales" TEM ist sozusagen "blind" für solche Strukturen. Die Elektronenholographie ist damit die einzige Methode im TEM (Abbildung 7), welche es erlaubt, die Phasenschiebung sowohl großflächiger Strukturen als auch ganz kleiner Strukturen am Rande des Auflösungsvermögens des TEMs faktisch direkt aufzuzeichnen und nach Rekonstruktion Rückschlüsse auf die Potentialverteilung bzw. die magnetischen Felder zu erlauben. Dies sei an zwei Beispielen illustriert:

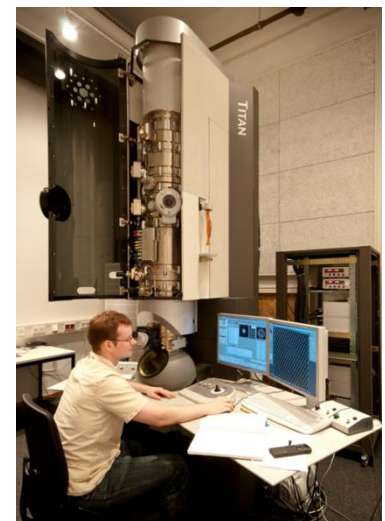


Abbildung 7: FEI Titan 80-300 Berlin Holography Special TEM an der TU Berlin zur Aufzeichnung von Elektronenhologrammen auch mit atomarer Auflösung.

Moderne Computer-Chips bestehen aus vielen Milliarden Transistoren, wo jeder einzelne kleiner als ein Virus ist. Mit guten TEMs kann im Querschnitt die Struktur solcher Transistoren analysiert werden, also die Elementverteilung, um beispielsweise Prozessierungsfehler aufzuklären (Abbildung 8). Die Potentialdifferenzen der unterschiedlich dotierten Gebiete, die das eigentliche elektrische Schaltverhalten des Transistors

bestimmen, bleiben in einer konventionellen TEM-Aufnahme verborgen, da die Potentiale nur die Phase der Elektronenwelle modulieren und diese beim Aufzeichnungsprozess verloren geht. Gabor ahnte damals nicht, welche Möglichkeiten sich durch seine Erfindung auftun, denn die Elektronenholographie erlaubt die Abbildung der Potentialverteilung über solch eine Transistorstruktur mit Auflösungen im Nanometerbereich, was den Entwicklern essentielle Informationen zur Prozessierung insbesondere neuartiger Halbleiterstrukturen liefert. Die verlässliche Messung der Potentialverteilung, d.h. welche Spannung liegt über einem p-n Übergang, ist Gegenstand aktueller Forschung.

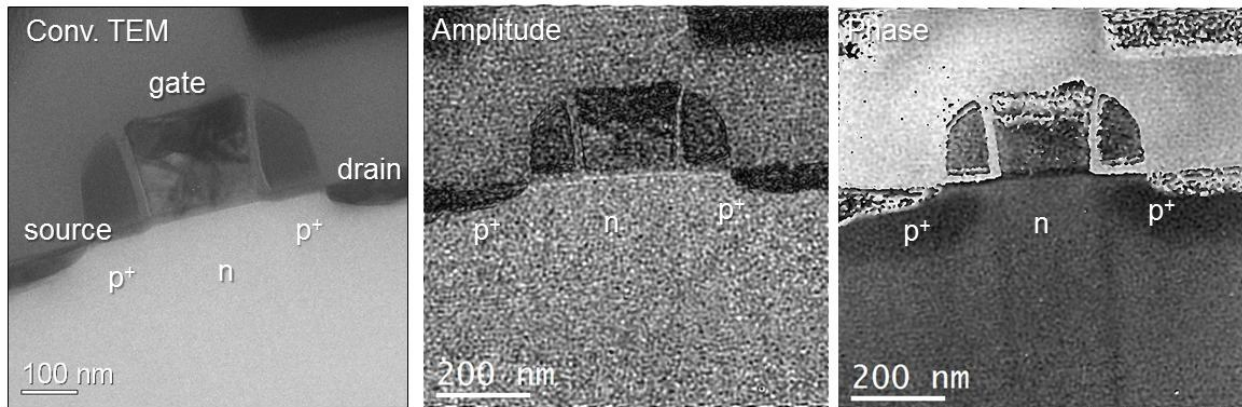


Abbildung 8: Links: Abbildung eines Feldeffekt-Transistors mit seinen drei Kontakten Source, Gate und Drain. Eine Spannung am Gate-Kontakt steuert bzw. schaltet den Stromfluss von Source nach Drain. Die stark p-dotierten Gebiete (gekennzeichnet mit p+) unterhalb von Source und Drain können nicht vom übrigen Substrat (gekennzeichnet mit n) unterschieden werden, obwohl sie ein unterschiedliches elektrisches Potential besitzen. Mitte und Rechts: Amplitude bzw. Phase des Transistors rekonstruiert aus einem Elektronenhogramm. Wo die Amplitude faktisch dem konventionellen Bild links entspricht, zeigt die Phase deutlich die Position der negativen Potentiale in den p+-Gebieten unterhalb von Source und Drain. Die exakte Lage dieser Potentiale ist entscheidend für das Schaltverhalten des Transistors.

Elektronenholographie kann, wie oben erwähnt, auch die magnetischen Felder von kleinsten Teilchen bestimmen, deren Durchmesser nur wenige 10 Nanometer betragen. Beispielsweise findet man in Gewässern magnetotaktische Bakterien, die in ihrem Inneren kleine Ketten von ferromagnetischen Eisenteilchen tragen. Im Gewässer richten sich diese Ketten entlang des Erdmagnetfeldes aus, so dass die Bakterien immer "wissen", wo oben und unten ist, und folglich in Richtung des sauerstoffreicheren Wassers schwimmen können. In einer konventionellen TEM-Aufnahme (Abbildung 9) können zwar die ferromagnetischen Ketten im Inneren der Bakterien leicht identifiziert werden, aber die daraus resultierenden Magnetfelder tragen nicht zur Abbildung bei, da diese Information wieder in der Phase der Elektronenwelle gespeichert ist. Holographische Aufnahmen ermöglichen auch die numerische Rekonstruktion der Magnetfeldverteilung in und um die ferromagnetischen Ketten herum und lassen so Rückschlüsse auf die Steuermechanismen innerhalb der magnetotaktischen Bakterien zu. Noch kleiner sind die magnetischen Strukturen, die heute auf Festplatten geschrieben werden und so Daten speichern. Auch hier wird die Elektronenholographie eingesetzt, um die magnetischen Strukturen und den Schreibprozess in Abhängigkeit von den eingesetzten Materialien besser zu verstehen.

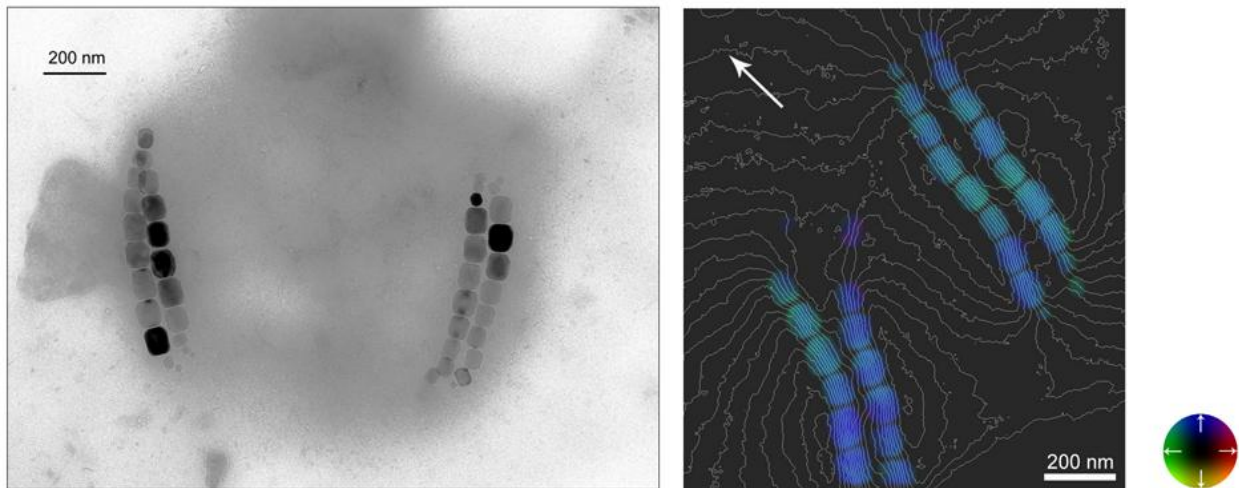


Abbildung 9: Links: Konventionelle TEM-Aufnahme eines magnetotaktischen Bakteriums. Deutlich sind zwei Paare an ferromagnetischen Ketten aus Nanopartikeln zu erkennen, mit Hilfe derer sich die Bakterien orientieren. Die Magnetfelder sind jedoch nicht zu sehen. Rechts: Rekonstruierte Phase aus einem Hologramm zweier ferromagnetischer Ketten aus Nanopartikeln. Entsprechend des Farbrades geben Farbe und Intensität die Richtung und Stärke des Magnetfeldes innerhalb der einzelnen Partikel an. Da das magnetische Streufeld außerhalb der Nanopartikel sehr klein ist, werden nur die aus dem Hologramm rekonstruierten magnetischen Feldlinien dargestellt. Nach [4].

Gábors Vision, unvermeidbare Abbildungsfehler eines TEMs nachträglich zu korrigieren, indem er Amplitude und Phase der Elektronenwelle in einem ersten Schritt vollständig in einem Elektronenhologramm aufzeichnet, um dann in einem zweiten Schritt die Welle wieder zu rekonstruieren und dann die Abbildungsfehler lichtoptisch zu korrigieren, ist mit den Arbeiten von Lichte (Tübingen) und wenig später Tonomura (Japan) etwa 1986 wahr geworden. Moderne hochauflösende TEMs sind heute mit einem Korrektur für die sphärische Aberration und anderer Bildfehler ausgestattet. Sie "umgehen" das Scherzer-Theorem durch Verwendung nichtrunder elektronenoptischer Elemente. In einer kleinen Nebenbemerkung sei notiert, dass diese Entwicklung des sogenannten Cs-Korrektors, die eine Revolution für die atomar auflösende TEM darstellt, über 50 Jahre an Entwicklungsarbeit mit vielen Rückschlägen benötigt hat. Auf den ersten Blick hin könnte man denken, dass damit Gábors Vision der nachträglichen Abbildungsverbesserung von TEMs obsolet ist. Da aber auch elektronenoptische Korrektoren das Phasenproblem der Abbildung nicht lösen, diese zudem auch zeitlich nicht so stabil sind, einen Korrekturzustand über Minuten bis Stunden zu halten, ist es heute aktueller denn je, Elektronenhologramme in Verbindung mit modernen Korrektoren aufzuzeichnen und nachträglich restliche Bildfehler aus dem Hologramm heraus zu korrigieren (Abbildung 10). Diese Forderung wird umso wichtiger, je höher die Auflösung ist. Heutige TEMs mit einem Stückpreis von mehreren Millionen Euro können 0.1 Nanometer und besser auflösen; sie können damit die Struktur von Festkörpern auf atomarer Ebene aufklären.

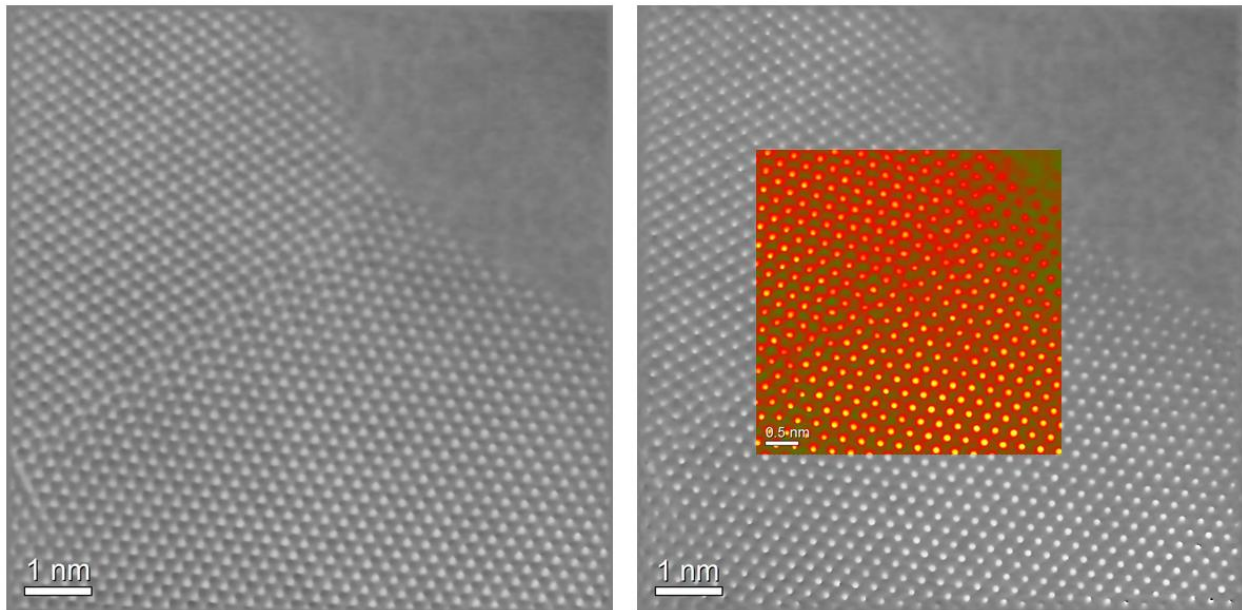


Abbildung 10: Links: Eine aus einem Elektronenhologramm rekonstruierte Phase einer Korngrenze in einem Goldkristall. Die Punkte entsprechen den Positionen der einzelnen Atomsäulen. Die Korngrenze ist der Übergangsbereich zwischen den beiden regelmäßigen Körnern links oben und rechts unten in der rekonstruierten Phase. Obwohl das Elektronenhologramm in einem bildfehlerkorrigierten TEM aufgenommen wurde, sieht die rekonstruierte Phase verschwommen aus und die Atomsäulen besitzen eine dreieckige Form. Rechts: Entsprechend Gábor's Vision wurde die links abgebildete Phase nachträglich auf ihre verbleibenden Bildfehler korrigiert, so dass jetzt an den Atompositionen runde scharfe Punkte zu erkennen sind. Folglich wurde die interpretierbare Auflösung des TEMs gesteigert, was beispielsweise die präzise Bestimmung der Positionen der einzelnen Atomsäulen jetzt erst ermöglicht. Nur zur Illustration ist der innere Bereich der rekonstruierten Phase farbig eingefärbt. Nach [5].

Dennis Gábors Arbeiten zur Elektronenholographie waren visionär und konnten mit Erfindung des Lasers zunächst lichtoptisch realisiert werden. In der Elektronenmikroskopie hat sich die Holographie heute einen festen Platz gesichert als eine Methode zum Studium grundlegender physikalischer Zusammenhänge und zur Abbildung elektrischer und magnetischer Strukturen. Gábors Visionen sind heute Realität.



Abbildung 11: Dennis Gábor als Hologramm. Nach [6].

Literatur:

- [1] Marc De Graef: Introduction to CTEM, Cambridge University Press.
- [2] D. Gábor: Microscopy by reconstructed wave-fronts, Proc. Roy. Soc. A 197 (1949) 454 - 487.
- [3] E. Hecht: Optik, Oldenbourg Verlag, 4. Auflage.
- [4] Simpson et al., Journal of Physics, Conference Series 17 (2005) 108.
- [5] M. Linck, B. Freitag, S. Kujawa, M. Lehmann, T. Niermann, Ultramicroscopy 116 (2012) 13.
- [6] Deutsche Gesellschaft für Holographie e.V.

Holografie mit Röntgenstrahlen

Prof. Dr. Stefan Eisebitt

Institut für Optik und Atomare Physik der Technischen Universität Berlin

Dennis Gábor wollte mit der von ihm entwickelten holografischen Methode die Abbildungsfehler im Elektronenmikroskop überwinden. Wie von Prof. Dr. Lehmann ausgeführt, waren es die Auflösungsbegrenzungen durch die Linsenfehler im Elektronenmikroskop, die Gábor nach einem alternativen Verfahren zur herkömmlichen mikroskopischen Abbildung suchen ließen. Ziel war und ist es also, möglichst kleine Objekte „sehen“ bzw. auflösen zu können. Wie aber sehen wir grundsätzlich Dinge - egal ob mit dem Auge oder in einem Mikroskop? Wir nehmen letztendlich die vom Objekt verursachten Veränderungen in der einfallenden Lichtwelle (oder im Elektronenmikroskop: der *Elektronenwelle*) wahr. Das Besondere am holografischen Verfahren ist es nun - wie von Prof. Lehmann erläutert -, dass es die Holografie erlaubt, über einen Interferenzprozess nicht nur die *Amplitude*, sondern auch die *Phase* des vom Untersuchungsobjekt veränderten Wellenfeldes zu messen. Dadurch steht dem Beobachter deutlich mehr an Information zu Verfügung als in der herkömmlichen Mikroskopie. Diese Information erlaubt es, wie von Gábor vorhergesehen, Bildfehler in abbildenden Systemen zu korrigieren und dadurch kleinere Objekte auflösen zu können. In der Tat eröffnet die Kenntnis des kompletten Wellenfeldes noch deutlich mehr Möglichkeiten - doch dazu später mehr.

Einer breiteren Öffentlichkeit bekannt ist die Holografie mit sichtbarem Licht - hier wird spontan meist auf die Möglichkeit abgehoben, mit Hologrammen ein Objekt *dreidimensional* darzustellen. Auch dies ist eine Konsequenz der Tatsache, dass ein Hologramm Amplitude und Phase des vom Objekt ausgehenden Wellenfeldes codiert. Nicht jedes Hologramm enthält 3D Information, stets jedoch liefert die zusätzlich zur Amplitude vorhandene Phase weitere Informationen über das Objekt.¹ So lässt diese sich z.B. auch dazu nutzen, statt verschiedener Blickwinkel die *zeitliche Veränderung* eines Objektes darzustellen.

¹ Es ist ein weit verbreiteter Irrtum, dass es die definierende Eigenschaft eines Hologramms sei, ein Objekt dreidimensional zu erfassen. Wesentlich ist, dass in einem Hologramm *Amplitude* und *Phase* des vom Objekt ausgehenden Wellenfeldes codiert sind.

Die Geschichte der Holografie ist eng verknüpft mit der Geschichte der Licht- (oder Elektronen-)quellen, die technisch realisierbar waren. Ihren Siegeszug trat sie mit der Erfindung des Lasers an. Mit dem Laser stand ab den 1960er Jahren eine brillante Lichtquelle zur Verfügung, die intensives und sehr *kohärentes* Licht produzierte, mit dem sich Gábors Ideen umsetzen ließen. In der Folge wurde die Holografie mit Lasern stark weiterentwickelt und in verschiedensten Bereichen angewandt - und Dennis Gábor erhielt 1971 für die Erfindung und Entwicklung der holografischen Methode den Nobelpreis in Physik.

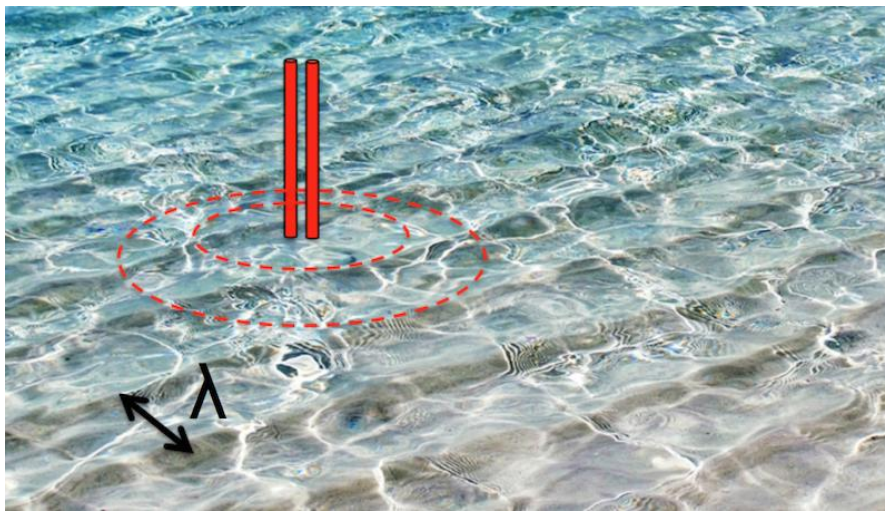


Abbildung 1. Objekte, die signifikant kleiner sind als die Wellenlänge des einfallenden Wellenfeldes, beeinflussen das Wellenfeld in derselben Weise. Die Stäbe mit einem Durchmesser kleiner als die Wellenlänge der Wasserwellen produzieren im Fernfeld eine kreisförmige Störung - es ist unerheblich, ob ein einzelner Stab oder zwei eng benachbarte Stäbe im Wasser stehen. Daher lässt sich umgekehrt aus der Beobachtung des Wellenfeldes auch kein Rückschluss darauf ziehen, ob nun ein oder zwei Stäbe im Wasser stehen, d.h. der Abstand der Stäbe ist so klein, dass er in einer Abbildung mit den Wasserwellen nicht aufgelöst werden kann. Mit kürzeren Wellenlängen kann also prinzipiell eine höhere Ortsauflösung erzielt werden.

Wenn wir uns als Wissenschaftler jedoch für Nanostrukturen oder kleinere Bausteine der Materie interessieren, dann hat Holografie (oder auch Mikroskopie) mit sichtbarem Licht einen entscheidenden Nachteil. Alle Objekte, die deutlich kleiner sind als die Wellenlänge des verwendeten Lichtes, beeinflussen das Wellenfeld des Lichtes auf sehr ähnliche Weise. Mit der Analogie von Wasserwellen ist dies schematisch in [Abb. 1](#) dargestellt: Jedes Objekt, das deutlich kleiner als die Wellenlänge ist, generiert gleichermaßen eine kreisförmige Sekundärwelle, daher ist aus diesem Wellenfeld auch kein Rückschluss mehr auf die Form des Objektes

möglich - wir können das Untersuchungsobjekt nicht mehr räumlich auflösen.² Dieses Erkenntnis macht klar, was erforderlich ist, um kleine Objekte mit Licht abbilden zu können: Die Verwendung deutlich kurzwelligerer elektromagnetischer Strahlung. Die Verwendung von Röntgenstrahlung erlaubt es in der Tat, mittels Röntgenmikroskopie Auflösungen von unter 20 nm zu erzielen. Begrenzt ist diese Auflösung durch unsere Fähigkeit, Linsen für Röntgenstrahlung herzustellen. Dies ist ein schwieriges Unterfangen, mit verschiedenen Lösungen für den weichen und harten Röntgenbereich.³ In jedem Falle jedoch ist die heute erreichbare Ortsauflösung durch Aberrationen der Röntgenlinsen begrenzt. Wir befinden uns daher in einer Situation ganz analog zu der Gábors, der mittels Holografie die Aberrationen der Elektronenlinsen im Elektronenmikroskop zu überwinden suchte.

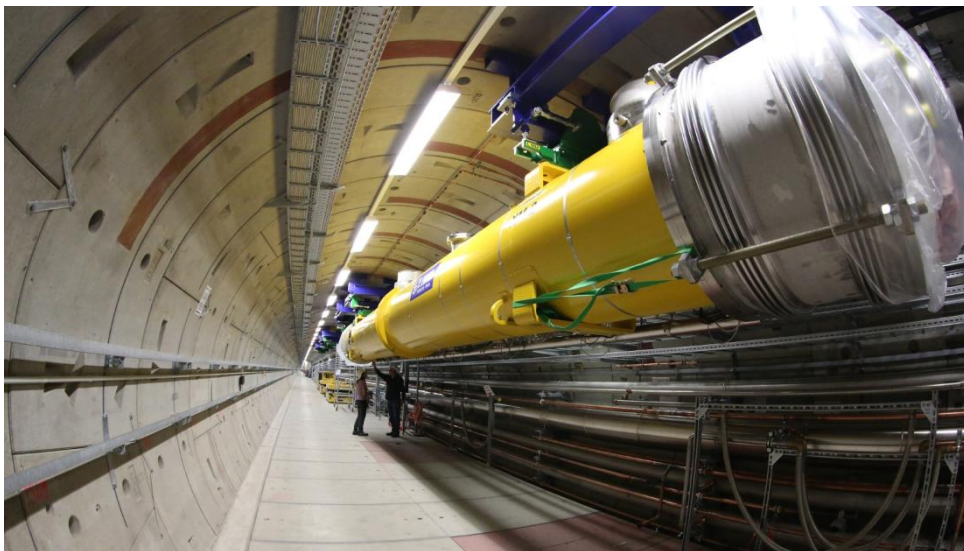


Abbildung 2. *Installation eines Elektronen-Beschleunigermoduls im Europäischen Röntgenlaser XFEL in Hamburg. Durch Beschleunigung von Elektronen auf nahezu Lichtgeschwindigkeit und deren Ablenkung in Magnetfeldern entsteht ein intensiver Strahl kohärenter Röntgenpulse mit bis zu 0,05 nm kurzer Wellenlänge, der ab voraussichtlich 2017 neuartige Experimente auch in Bereich der Holografie ermöglichen wird.*

Glücklicherweise findet derzeit im Bereich der Röntgenquellen ein Umbruch hin zu Quellen mit deutlich verbesserten Kohärenzeigenschaften statt. Synchrotronstrahlungsquellen, in denen Elektronen zur Erzeugung von Röntgenstrahlen auf relativistische Energien beschleunigt und dann kontrolliert abgelenkt werden, werden

² Dies trifft nur zu, wenn man das Wellenfeld weit vom Objekt entfernt beobachtet. Nähert man sich dem Objekt auf einen Abstand, der kleiner als die Wellenlänge ist, so kann man „aus der Nähe das Objekt abtasten“ und Rückschlüsse über Strukturen erhalten, die kleiner sind als die Wellenlänge.

³ Der „weiche“ Röntgenbereich umfasst etwa Wellenlängen von 50 nm bis 0,5 nm, der „harte“ Röntgenbereich solche unterhalb von 0,5 nm.

zunehmend brillanter und damit kohärenter. Zudem sind seit einigen Jahren die ersten sogenannten „Freie Elektronen Röntgenlaser“ in Betrieb gegangen. Deutschland hat mit der Anlage FLASH bei DESY in Hamburg hierbei Pionierarbeit geleistet; mittlerweile produzieren LCLS in den USA, FERMI in Italien und SACLA in Japan kohärente Röntgenstrahlung, und der Europäische Röntgenlaser XFEL wird voraussichtlich 2017 in Hamburg seinen Betrieb aufnehmen (Abb. 2.).

Die Nutzung des holografischen Prinzips für hochauflösende Abbildungen mit Röntgenstrahlung wird also zunehmend attraktiver. Hinzu kommt, dass durch die Verwendung von Röntgenstrahlen einzigartige Kontrastmechanismen für Abbildungen zu realisieren sind. So lässt sich Sensitivität für bestimmte Elemente oder gar für Elemente in bestimmter chemischer Verbindung (z.B. Si vs. SiO₂) ebenso realisieren wie die Darstellung der lokalen Magnetisierung eines Materials⁴ (anstatt der Topografie oder Elementverteilung). Ein Beispiel für die röntgenholografische Abbildung der lokalen Magnetisierung ist in Abb. 3 gezeigt. Aus dem Hologramm lässt sich durch einfache Fourier Transformation ein Bild der lokalen Verteilung der Magnetisierung erhalten - hier in einem Prototypmaterial für neuartige Festplatten. So konnte durch Serien von Bildern der Bit-Magnetisierung als Funktion eines äußeren Magnetfeldes wie in Abb. 3 verstanden werden, wie die Ausrichtung von Kristalliten in dem magnetischen Speichermedium die Schalteigenschaften der einzelnen Bits beeinflusst.[1, 2] Die Röntgenhologramme werden heutzutage nicht mehr auf Röntgenplatten aufgenommen, sondern auf zweidimensionalen Detektoren (wie z.B. CCD Detektoren) und anschließend numerisch per Computer rekonstruiert. Dies erlaubt es, sofort bei der Aufnahme „live“ ein Bild des Untersuchungsobjektes zu erhalten.

Wie aber lassen sich nun holografische Aufnahmen eines Objektes mit Röntgenstrahlen realisieren? Generell lässt sich sagen, dass dies - im Vergleich zur Holografie im sichtbaren Spektralbereich - recht aufwändig ist. Die wesentlichen Gründe dafür sind, dass Optik mit Röntgenstrahlung generell schwierig ist⁵ und sich

⁴ Dazu wird der sogenannte Röntgenzirkulardichroismus ausgenutzt. Hierbei hängt die Absorption von zirkular polarisierter Röntgenstrahlung von der relativen Ausrichtung der Magnetisierung der Probe zum Helizitätsvektor der Röntgenstrahlung ab.

⁵ Die wesentlichen Gründe hierfür sind, dass im Röntgenbereich der Brechungsindex von Materie sehr nahe an eins liegt, dass (speziell im weicheren Röntgenbereich) die Absorption im Materie sehr hoch ist und (speziell im härteren Röntgenbereich) die Reflektivität von Spiegeln sehr gering ist.

insbesondere effiziente Strahlteiler zur Erzeugung von Objekt- und Referenzstrahl kaum realisieren lassen.

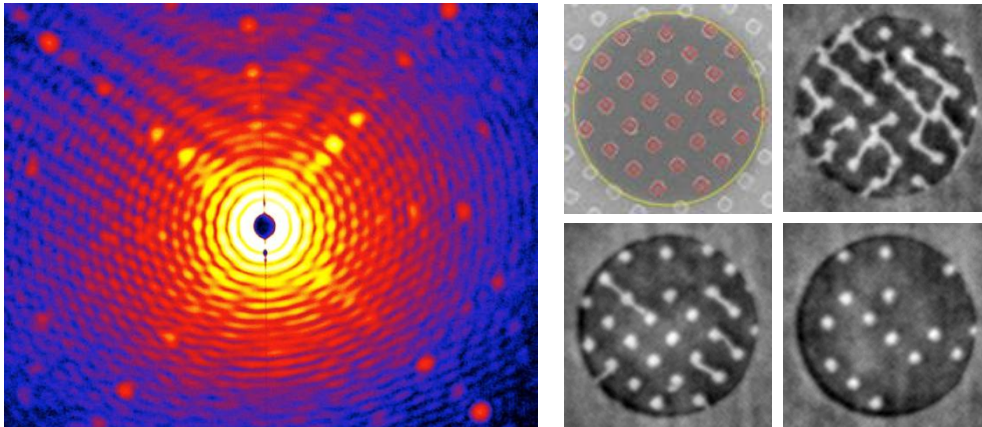


Abbildung 3. Röntgenhologramm und Bildrekonstruktion. Links ist ein Ausschnitt aus einem mit Röntgenstrahlung aufgenommenen Hologramm von magnetischen Bitstrukturen auf einem Prototyp für ein neuartiges Datenspeichermedium zu sehen. Rechts sind drei Bildrekonstruktionen der Magnetisierung bei verschiedenen angelegten Magnetfeldern gezeigt, sowie ein rasterelektronenmikroskopisches Bild der Topografie der Bitstrukturen (oben links). Der schwarz/weiß-Kontrast in den holografisch aufgenommenen Bildern zeigt an, dass die Magnetisierung nach oben/unten zeigt. Die Größe des kreisrunden Gesichtsfeldes beträgt $1,5 \mu\text{m}$. Nach [1].

Darüber hinaus ist die Wellenlänge der aufzuzeichnenden Interferenzstreifen in typischen Holografieanordnungen von der Größenordnung der Wellenlänge der benutzen Röntgenlichtes, was eine Herausforderung für die Detektion darstellt. Und schließlich sind Vibrationen oder andere Instabilitäten im Versuchsaufbau typischerweise ein großes Problem, da kleinste Verschiebungen wiederum von der Größenordnung der Wellenlänge des benutzen Röntgenlichtes die Interferenzstreifen im Zeitmittel auslöschen. Bereits 1965 erkannten Stroke [3] und Winthrop und Worthing [4], dass die sogenannte Fouriertransformationsholografie (FTH) diese Probleme lösen kann. Hierbei handelt es sich um eine spezielle Anordnung von Objekt (bzw. Objektstrahl) und Referenzstrahl, die schematisch in [Abb.4](#) skizziert ist. Als Quelle der Referenzwelle dient eine möglichst punktförmige Lichtquelle, die sich in der Ebene des Objektes in dessen unmittelbarer Nähe⁶ befindet. Je näher Objekt und Referenzquelle aneinander gebracht werden, umso größer werden die Abstände der resultierenden Interferenzstreifen, so dass diese durch Detektoren mit Pixelgrößen im Mikrometerbereich detektierbar werden. Dass es jedoch bis 1992 dauerte, bis dieses Konzept erstmals von McNulty et al. zur Erstellung eines

⁶ Ist das Objekt z.B. einen Mikrometer groß, so kann sich die Referenzlichtquelle beispielsweise zwei Mikrometer seitlich des Objektes befinden.

hochaufgelösten Hologramms genutzt werden konnte [5], illustriert die Schwierigkeiten der röntgenoptischen Realisierung. Während das Verfahren von McNulty noch anfällig für Drift und Vibrationen im experimentellen Aufbau war, stellten 2004 Eisebitt et al. eine Methodik vor, mit der hochauflösende Röntgenholografie einfach und stabil realisierbar wurde [6]. Hierbei wird mittels Lithografie eine Maske hergestellt, in der sowohl das zu untersuchende Objekt als auch eine Apertur zur Erzeugung eines Referenzstrahles in FTH Geometrie fest integriert sind. Durch diese feste Verbindung ändert sich das im Fernfeld aufgenommene Hologramm auch bei Vibrationen der Maske nicht, da der Objekt-Referenz Abstand konstant bleibt. Dieses Verfahren hat weltweit Verbreitung gefunden. Der derzeitige Rekord in der mit maskenbasierter FTH erzielten Ortsauflösung liegt bei 16 nm [7]. Während bei Verwendung weicher Röntgenstrahlung die erzielbaren Auflösungen von der Größenordnung der Wellenlänge der verwendeten elektromagnetischen Strahlung ist [8], klafft hier bei der Verwendung von harter Röntgenstrahlung noch eine große Lücke [9]. Limitierend wirkt hier sowohl unsere Fähigkeit, lithografisch kleine Referenzstrukturen zu erzeugen, als auch der im harten Röntgenbereich derzeit generierbare kohärente Photonenfluss. In beiden Bereichen sind technische Fortschritte zu erwarten, sodass zukünftige Verbesserungen der Ortsauflösung abzusehen sind.

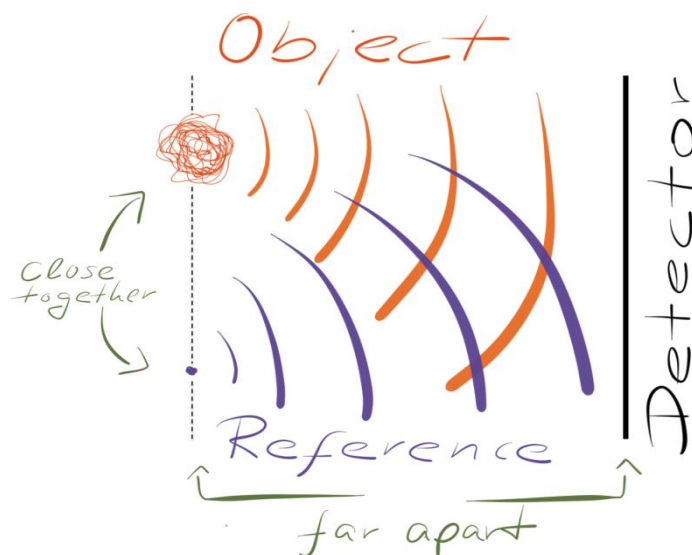


Abbildung 4. Geometrie in der Fouriertransformationsholografie (FTH). Der möglichst punktförmige Ausgangspunkt der Referenzlichtwelle (violett) befindet sich in der selben Ebene senkrecht zur optischen Achse wie das Objekt (rot). Das Interferenzmuster wird von einem Detektor im Fernfeld aufgezeichnet. Dort lassen sich auch für kurze Wellenlängen ausreichend weit getrennte Interferenzstreifen erzeugen, wenn Objekt und Referenz nah zusammen rücken.

Ortsauflösung allein ist jedoch nicht immer entscheidend, wenn wir die Welt um uns auf mikroskopischer Ebene zu verstehen suchen. Die Tatsache, dass sich mit dem von Gábor entwickelten holografischen Prinzip die vom Objekt ausgehende Wellenfront komplett mit Amplitude und Phase aufzeichnen lässt, führt unter anderem dazu, dass sich Objekte mit einer einzigen Aufnahme dreidimensional holografisch abbilden lassen [10] oder dass sich aus dem Wellenfeld Bilder des Objektes errechnen lassen, die mit realen optischen Instrumenten gar nicht realisierbar sind [11]. Die Erforschung solcher holografischer Methoden auch mit Röntgenstrahlung steckt noch in den Kinderschuhen, da die dazu nötigen Experimente mit der Weiterentwicklung der Röntgenquellen erst in den letzten Jahren möglich geworden sind. Besonders bemerkenswert ist hierbei die Möglichkeit, zusätzlich zu *räumlicher* Information auch *zeitliche* Information in einem Hologramm zu codieren. So ist es möglich geworden, die zeitliche Entwicklung eines Untersuchungsobjektes holografisch auch auf ultraschnellen Zeitskalen bis hinunter zu wenigen Femtosekunden zu untersuchen [12-14]. Bilder des Objektes, die durch Beleuchtung zu unterschiedlicher Zeit entstanden sind, können in einem einzigen Hologramm gespeichert und separat wieder rekonstruiert werden. Da die Eigenschaften von unbelebter und belebter Materie sehr häufig aus ihrer dynamischen Antwort auf einen Stimulus resultieren, eröffnet die zeitaufgelöste Holografie damit neue Zugänge zum Studium der Funktionalität von z.B. Nano- und Biomaterialien.

Nach der Verbreitung und Nutzung der Ideen Gábors im Bereich der Lichtoptik und der Elektronenoptik erlebt die Holografie derzeit eine weitere Renaissance im Bereich der Röntgenoptik, da nun auch hier kohärente Quellen und das benötigte röntgenoptische Instrumentarium zunehmend zur Verfügung stehen. Aufgrund der potentiell hohen Ortsauflösung und der speziellen Kontrastmechanismen wird die Röntgenholografie helfen, die statischen und dynamischen Eigenschaften von Materie auf Nanometerskala zu verstehen und technologisch nutzbar zu machen.

Referenzen

- [1] B. Pfau *et al.*, *Origin of magnetic switching field distribution in bit patterned media based on pre-patterned substrates*, Appl Phys Lett **99**, 062502 (2011).
- [2] B. Pfau *et al.*, *Influence of stray fields on the switching-field distribution for bit-patterned media based on pre-patterned substrates*, Appl Phys Lett **105**, 132407 (2014).
- [3] G. W. Stroke, *Lensless Fourier-Transform Method for Optical Holography*, Appl Phys Lett **6**, 201 (1965).
- [4] J. T. Winthrop, and C. R. Worthing, *X-Ray Microscopy by Successive Fourier Transformation*, Phys Lett **15**, 124 (1965).
- [5] I. McNulty *et al.*, *High-Resolution Imaging by Fourier-Transform X-Ray Holography*, Science **256**, 1009 (1992).
- [6] S. Eisebitt *et al.*, *Lensless imaging of magnetic nanostructures by X-ray spectro-holography*, Nature **432**, 885 (2004).
- [7] D. L. Zhu *et al.*, *High-Resolution X-Ray Lensless Imaging by Differential Holographic Encoding*, Phys Rev Lett **105**, 043901 (2010).
- [8] S. Schaffert *et al.*, *High-resolution magnetic-domain imaging by Fourier transform holography at 21 nm wavelength*, New J Phys **15**, 093042 (2013).
- [9] L. M. Stadler *et al.*, *Hard x ray holographic diffraction imaging*, Phys Rev Lett **100**, 245503 (2008).
- [10] J. Geilhufe *et al.*, *Extracting depth information of 3-dimensional structures from a single-view X-ray Fourier-transform hologram*, Opt Express **22**, 24959 (2014).
- [11] E. Guehrs *et al.*, *Holographic soft X-ray omni-microscopy of biological specimens*, Opt Express **17**, 6710 (2009).
- [12] W. F. Schlotter *et al.*, *Extended field of view soft x-ray Fourier transform holography: toward imaging ultrafast evolution in a single shot*, Opt Lett **32**, 3110 (2007).
- [13] H. N. Chapman *et al.*, *Femtosecond time-delay X-ray holography*, Nature **448**, 676 (2007).
- [14] C. M. Günther *et al.*, *Sequential femtosecond X-ray imaging*, Nature Photonics **5**, 99 (2011).

Scientist, visionary, and poet: “A man for all seasons “

Czigány, Magda, London

Ladies and gentlemen,

Captatio benevolentiae

I hope you will excuse me for starting this talk on a personal note and thus paying my own homage to Dennis Gábor. Regrettably I never met Gábor, who – as we remember today – died in 1979, while I joined Imperial College seven years later, in 1986. But being a fellow Hungarian at Imperial turned out to be very advantageous for me. Of course, no one expected me, the Librarian, to invent anything, or to publish books with startling ideas, but his reflected fame ensured that I never had to explain where I came from, or, where actually the country, called Hungary could be found on a map. On the first day of taking up my post the Rector, Sir Eric Ash, suggested that over lunch he would explain to me what he expected me to achieve, but we had barely touched on the first topic when reminiscences intruded: Eric Ash had been Dennis Gábor’s very first PhD student and had plenty of tales to tell about the Professor of Applied Electron Physics.

I decided to catch up with Dennis Gábor. First by getting acquainted with him through his papers in the College Archives and, when I discovered that he wished to be an inspiration to students, by creating a display of his medals, including the Nobel medal, in one of the Library’s reading rooms. Members of his family became friends. It was a sad journey carrying the legacy of his brother André from Nottingham University, where he was a professor of economics, to London, to be added to Dennis Gábor collection, and a rather anxious journey by car from London to Budapest, when my husband and I took his wonderful childhood sketchbook with us, not daring to post it: It was a gift to the Hungarian Academy of Sciences from the last remaining member of the Gábor family in England. Last but not least, it was a great pleasure to build and to maintain the links between Imperial College and many new academic developments in Hungary after 1989, which proudly bore the name of Dennis Gábor.

The crucial moment

While it may not be easy for most of us to pinpoint a particular date or day which has changed our life, the inaugural lecture by Dennis Gábor, entitled: *Electronic inventions and their impact on civilisation*, delivered following his appointment to the personal Chair of Applied Electron Physics at Imperial College on 3 March, 1959, was regarded as such a turning point, even by the man himself. In a letter, written a year later to Ottó Beöthy, Secretary of the World Association of Hungarians he admitted: „I can only say that my life had started in 1949, when I begun my university career, first as an occasional, then as an appointed reader. I enclose here with warm greetings a copy of my public inaugural lecture delivered a year ago. At last, I was

able to allow myself what engineers and even physicists cannot do, that is, digressing from everyday activities and to talk a little bit about my concept of the world". He regarded the lecture as a proud revelation of what had occupied his mind during the past few years. The talk consisted of two parts and it had an extraordinary effect. Part 1 summarised Gábor's recent research, his discoveries and inventions, as you would expect from an eminent scientist. Part 2, however, seemingly refuted all what was presented in Part 1. It even declared the futility of new research and new inventions. The need of human society to survive demanded that scientists roam well beyond the boundaries of science, contemplating how to respond to the threatening changes. An instant response for example, could have been to limit scientific research, and consequently, to reduce the number of scientists, an idea unlikely to be welcomed by the universities or research institutions. The very first task however, after circulating typed copies of the talk, was to make it available in a journal (*Encounter*, May 1960), then to expand it with more detail and publish it as a book. Dennis Gábor welcomed the offer of the publisher Secker & Warburg to handle the publication, including the choice of an eye-catching title: *Inventing the future*. The book came out in 1963. (The staccato of the title in the Hungarian imperative mood: *Fedezzük fel a jövőt!*, was preferred by Gábor, because it expressed what he aimed to do with the right amount of urgency: „It was more than a title, it guided my thoughts in the right direction.”)

The background

Gábor was interested simultaneously in a variety of things. He was a voracious reader and someone who was captivated by detail. He was able to grasp complex structures at a glance and often came up with the final solution before mapping out the steps leading to it. He was also defined by his family background, his childhood, his schools, and especially by his teachers whom he greatly admired. But above all, he was a genius. Geniuses are, of course, born, and not simply the product of education. However, education helps to enhance the innate gifts and a congenial family background creates the bedrock on which the young genius can flourish.

The Gábor family had several engineers among them. His father, for family reasons could not go to university, but became a successful industrialist and was overjoyed when his eldest son, Dennis, revealed a marked interest in technology. He, as a committed member of the emerging middle classes in pre-World War I. Hungary, encouraged him to follow and expand his studies and provided the means to do it: the Gábor family had moved to a larger flat to turn one of the bedrooms into a workshop, a home laboratory for his sons to play and experiment. The Gábor family also typified the attitude of this new middle class to culture: the appreciation of music, fine art and literature were part of everyday discussions around the dining table. In a letter to his friend, Paul Iqnotus, Dennis Gábor extolled this openness to embrace culture: “In Hungary, before the First World War, the middle classes loved culture with such an ardent devotion, for which there was no precedent. The world cannot be so aloof not to respond to such a declaration of love.”

The “balance of terror”

Soon after the publication of his talk in the journal *Encounter*, Dennis Gábor gave a long and detailed interview to his friend, Paul Ignatus, who was the editor of the Hungarian émigré newspaper, *Literary Gazette*. Against expectations, that he would talk exclusively about science, Gábor recalled in some detail his formative years, this time talking about his friends and contemporaries, whom he regarded as the greatest scientists of their age, especially the “brilliant quartet” of John Neumann, Leó Szilárd, Ede Teller and Jenő Wigner. All of them like Gábor, were born in Budapest, during the decade straddling the turn of the century. Although they attended different schools, they knew each other and kept in touch. The participation of the “quartet” in the atomic weapons program in the USA, eventually produced the atomic bomb, which was then tested on Hiroshima and Nagasaki. This deeply divided the team and shaped Gábor’s response to nuclear armament - the creation and then the unyielding retention of a bi-polar world. One senses that his conviction was built, at least partially, on his past, sharing with his childhood friends both the joy of discovery, the extension of the boundaries of science and the desperate acknowledgement that their invention could be used for the annihilation of mankind: “Science has invented the most fearful weapon of mass distraction. Will it be able to prevent mass murder?” – Gabor asked. Or, the same thought in a more cheerful mood: “Science has pushed aggression *ad absurdum* and thus created world peace.” This dichotomy was the underlying foundation of his vision. He desperately sought to justify the balance between the two opposing sides, East and West. He called it the “balance of terror” – dangerous, distasteful, degrading, but necessary for the survival of mankind. Its maintenance would require sacrifices, but what major change would not?

He felt liberated by revealing his philosophical side. In chapter 1 of his book he set out the main threats to humanity: the *Trilemma* (triple danger) of nuclear war, population explosion and a world without work. His main preoccupation was the prevention of a nuclear war and therefore, he welcomed the balancing act of East and West and the stability that the cold war had brought. He accepted the legitimacy of the Soviet Union and did not question the status of its involuntary satellites – an inexplicable attitude in the second half of the 1950ies, when the world was still trying to cope with the dramatic implications of the 1956 Hungarian uprising. There is no mention of it in the book, which was written almost simultaneously with the events and their aftermath. The compassion for Hungary’s plight moved masses in Britain and at the request of the rector, Gábor himself dealt with the reception of the Hungarian refugee students at Imperial College. (Therefore, one can only assume that he kept silent rather than to say publicly that according to his belief in the maintenance of the status quo, Hungary had to play the role of sacrificial lamb on the altar of world peace). He also played down the atrocities committed by the Bolsheviks in Russia and expressed admiration for the Soviet Union, which had so successfully had caught up with the Western world regarding industrialization. It was done, of course, at a price, which had to be accepted for the survival of mankind.

The second half of the book opens with a triumphal cry: “We have conquered poverty!” The adjoining explanation made it clear that the defeat of poverty was not yet world-wide, it was limited to the 1950ies USA, where the massive changes in manufacturing processes heralded another fundamental change, the marked reduction of working hours to produce the same goods. Consequently, the increase of “free time”, could be regarded as extended leisure time on the one hand, or, more likely, as unavoidable redundancies, first short, then long term mass unemployment on the other. In search of examples, Gábor hit upon the almost hilarious similarities of the “research results” arrived at both by the economist Ernst Morris in the 1950ies and Sir Thomas More some four centuries before, both of them advocating that the ideal number of working hours per week should be thirty.

Spreading of the word

Gábor always felt a desire to communicate: his books, especially the first one, *Inventing the future*, soon became popular. They were translated into several languages and received good reviews. He was keen to expand on his ideas, so a follow-up book, *The mature society*, was published in 1972. In the meantime his interest had shifted: he was upset about the Soviet Union crushing the Prague Spring and was willing to devote a line to it, together with the student revolts of 1968, which he deplored. He was upset by the hostile reception he occasionally encountered in London: these were the heady days of slogans like “Better red than dead.” In *The mature society* he contemplated the restructuring of society, which he felt was already overdue. He allocated chapters to the definition, selection and education of elites – who, why, when and how could join the finest and most authoritative group of people in the new age. Contradictions still abounded: talking about elites of the past, he may not approved the workshy attitude of “the gentlemen of independent means”, while in the new age, the masses without work had to be educated to enjoy their new “lazy” status. Education was now the key word, Gábor devoted several chapters outlining it from childhood to maturity. However, he was now convinced that society did not embrace change readily. The task ahead was formidable. Forever an optimist, he very rarely admitted to doubts. But reading *The mature society*, one is reminded a statement he made in the mid-sixties: “Because of their basic irrationality, humans do not fit into a happy, smiling world.”

A man of the world, Gábor was still a Hungarian, being proud to be elected an honorary member of the Hungarian Academy of Sciences in 1964. He nurtured a wish to have his books translated into Hungarian and published in Budapest. The newly re-established World Association of Hungarians seemingly took up his case, as it fitted into their then loudly advocated “opening to the West” programme, but like what normally happened in East Europe, they then dropped it, without giving the slightest hint of the underlying causes of their action. It is still upsetting to read Gábor’s letters to the Secretary of the World Association, requesting information about his books already sent to him – has he received them, formed an opinion about their potential publication in Hungary - maybe with some alteration of the text – questions, to which Gábor seemingly never received a reply. What Gábor received,

of course, was the Nobel prize in 1971. No correspondence could be found even after this event, on reopening the case of publishing his works in Hungary. This had to wait until 2000 and 2001 respectively for *The mature society* and for *Inventing the future*.

A man for all seasons

After his retirement however, he took on other, well deserving causes which kept him very busy. Most important among these was the Club of Rome. He was a founding member, joining Aurelio Peccei, an Italian industrialist, in setting up a group of similar minded people to investigate the most pressing issues the world was facing. The composition of the membership of the Club is similar to Gábor's wide range of interest: scientists, artists, economists, philosophers, engineers and information technology experts took part in the experiment. They carried out the investigations themselves, or commissioned it, producing a series of reports. These centre on the topics of population, natural energy resources, capital investment, agriculture and the environment. Dennis Gábor was willing to tackle the organization of events, especially the detailed analysis of issues picked for an overview. The Rome Club finally brought together what Dennis Gábor had aimed for: the realization that changes are due to come, sooner rather than later and mankind should be prepared for them. His role in the Rome Club was to combine his two distinct sides: the cool, non-committal precision of the scientist/engineer and the visionary explorer of the future and man's place in it. His report with co-author, Umberto Colombo, *Beyond the age of waste*, published in 1976, could be regarded as an outstanding example of this synthesis.

The most prominent characteristic of Dennis Gábor is his versatility. He admired Sir Thomas More, the "man for all seasons", but he himself was also a man interested in the many different aspects of existence. His towering achievement as a scientist and engineer is, and has been recognized. It is, however, his exploration of man and mankind in the present and future world which makes us admire him more than many other brilliant men. He shared his thoughts with us and stood by his convictions, even when the going had become rough. He was a visionary and a dreamer who used poetic language to express his views and concerns. Thomas Aczél, already quoted here, recognized this complex individuality of Dennis Gábor when reviewing his book, *Inventing the future* in the Hungarian émigré journal, the Literary Gazette. As an homage to Dennis Gábor I cannot do better, than to quote Aczél's brief, but to my mind more than fitting line: "Dennis Gábor explores the possibility of throwing a beam of light from the shadow of the atomic bomb."

Notes

1. For the correspondence between Dennis Gábor and Ottó Beöthy see: MTAK (Magyar Tudományos Akadémia Könyvtára) , Ms 5468.
2. Gábor, Dennis: *Inventing the future*. Encounter, May 14, 1960, pp.3 – 16.
3. Gábor, Dennis: *Inventing the future*. London, Secker and Warburg, 1963.
4. The Hungarian version of the book was published only in 2001: Gábor Dénes: *Találjuk fel a jövőt!* Budapest, Novofer Foundation, 2001.
5. Gábor, Dennis: Contribution to the New Hungarian Quarterly silver jubilee issue, 1967.
6. For the correspondence between Dennis Gábor and Tamás Aczél see: Imperial College London Archives, Dennis Gábor Collection.
7. Aczél Tamás: *A feltalált jövő*. (The invented future – review of Dennis Gábor's book), Irodalmi Ujság, 15 December 1963.

London, June 2014

Kurzporträts der Referenten

Mrs. Magda Czigány, London

Hungarian refugee (1956) to Great Britain.

Studies of languages and art history, followed by studies of library sciences.

Positions: University College of London, later Imperial College: Head of library services / head of humanities, lectures and training courses; after retirement fellow of the Imperial College.

From 1989 on consultant for restructuring higher education services in Hungary, esp. concerning libraries. Helping to set up the (private) Dennis Gábor College in Budapest.

Prof. Dr. Stefan Eisebitt, TU Berlin

Physikstudium in Köln und am Forschungszentrum (FZ) Jülich. Promotion in Köln nach drei Jahren in Vancouver. Postdoc-Zeit am FZ Jülich und in Stanford: Kohärente Röntgenstreuung, Habilitation in Köln.

Schon früh Forschungsaktivitäten am BESSY in Berlin (Gruppenleiter).

Berufung an die TU Berlin 2008: „Nanometeroptik und Röntgenoptik“. Seit 2012 zudem Forschungsprofessur an der Universität Lund. Leitende und beratende Funktionen in div. wissenschaftlichen Forschungseinrichtungen.

Prof. Dr. Michael Lehmann, TU Berlin

Physikstudium und Promotion in Tübingen (Prof. Lichte). Habilitation in Dresden.

Berufung an die TU Berlin 2006: „Elektronen- und Ionen-Nanooptik“; wissenschaftlicher Leiter des ZELMI an der TU Berlin (Zentralinstitut für Elektronenmikroskopie). Vizepräsident der Deutschen Gesellschaft für Elektronenmikroskopie DGE e.V.

Dr. Jost Lemmerich, Berlin

Physikstudium an der TU Berlin.

Berufliche Stationen: Fa. Siemens; Deutsches Patentamt, Europäisches Patentamt.

Physikhistoriker: Mehrere Bücher und herausragende Ausstellungen zur Geschichte der Physik.

Ehrendoktor der Fakultät für Mathematik und Naturwissenschaften der TU Berlin.



Von links: Dr. I. Molnar , M Czigány, Prof. C. Thomsen, Dr. K. Karsai



Festveranstaltung im Lichthof, Vortrag Dr. Lemmerich



*Von rechts: Dr. E. Pászti-Márkus, Prof. J. Sahn, Dr. I. Molnar, M. Czigány,
Prof. S. Eisebitt, Dr. J. Lemmerich, Prof. M. Lehmann, Prof. C. Thomsen*

Impressum

Herausgeber: Der Präsident der TU Berlin

Zusammenstellung, Layout: Jürgen Sahm, Sven-Uwe Urban

Druck: Universitätsdruckerei TU Berlin

Bildnachweis

Die Abbildungen auf den Seiten 9 bis 17 stammen aus dem Bibliotheksarchiv des Imperial College, London. Das Foto auf Seite 13 wurde im Atelier von F. Kolerutoda, Budapest aufgenommen (ca. 1925). Das Copyright der Bilder in der Fotogalerie auf der Seite 41 liegt bei der Pressestelle der TU Berlin (s.a. http://www.pressestelle.tu-berlin.de/medieninformationen/2014/oktober_2014/medieninformation_nr_2202014/).

Danksagung

Der Herausgeber dankt dem Bibliotheksarchiv des Imperial College in London für die freundliche Unterstützung bei der Beschaffung von Material über das Leben von Prof. Dennis Gábor sowie für die Überlassung von Bildmaterial.

Der Herausgeber dankt der Botschaft von Ungarn für ihre Unterstützung beim Festakt und beim Druck dieser Broschüre.