

Fachbereich Physik der Johann Wolfgang Goethe-Universität
und
Frankfurter Förderverein für Physikalische Grundlagenforschung

Festschrift
zur Akademischen Feier

am Freitag, 29. Juni 2001, um 15.00 Uhr
Max-Buchner-Hörsaal der DECHEMA Theodor-Heuss Allee 25 Frankfurt am Main

1. Verleihung des Gernot und Carin Frank-Preises
für die beste physikalische Dissertation des Jahres an

Dr. Ralph Hollinger
und
Dr. Steffen Runkel

2. Verleihung des Michael und Biserka Baum-Preises
für eine hervorragende physikalische Arbeit an

an
Prof. Dr. Hartmut Roskos

3. Verleihung der Stefan Lyson-Professur (Professor Laureatus)

an
Prof. Dr. Horst Schmidt-Böcking

4. Verleihung der Judah M. Eisenberg-Professur (Professor Laureatus)

an
Prof. Dr. Reinhard Stock

Inhalt

Begrüßung durch den Dekan des Fachbereichs Physik	<i>W. Mäntele</i>
Der Frankfurter Förderverein für Physikalische Grundlagenforschung	<i>W. Greiner</i>
Grußwort durch den Präsidenten der J. W. Goethe- Universität	<i>R. Steinberg</i>
Grußwort des Hessischen Ministeriums für Wissenschaft und Kunst	<i>H. Wolf</i>
Engagement der Bürger für ihre Universität	<i>N. Hensel</i>
Laudatio für Ralph Hollinger	<i>U. Ratzinger</i>
Laudatio für Steffen Runkel	<i>A. Schempp</i>
Teilchendynamik in EZR-Plasmen	<i>S. Runkel</i>
Laudatio für Hartmut Roskos	<i>R. Jelitto</i>
Laudatio für Horst Schmidt-Böcking	<i>R. Dreizler</i>
Dynamikmikroskop für die Atom- und Molekülphysik	<i>H. Schmidt-Böcking</i>
To the memory of Judah Eisenberg	<i>J. Lichtenstadt</i>
To the memory of Judah Eisenberg	<i>A. Landes</i>
Laudatio für Reinhard Stock	<i>H. Stöcker</i>
Eine Reise zum Urknall	<i>R. Stock</i>

Herausgegeben vom Institut für Theoretische Physik der Johann Wolfgang Goethe-Universität

Redaktion: Joachim Reinhardt

Begrüßung

durch den Dekan des Fachbereichs Physik

Prof. Dr. Werner Mäntele

Sehr geehrter Herr Präsident Prof. Steinberg,
sehr geehrte Frau Vizepräsidentin Prof. Rang,
sehr geehrter Herr Vizepräsident Stöcker,
liebe Kolleginnen und Kollegen,
meine sehr geehrten Damen und Herren!

Im Namen des Fachbereichs Physik der Goethe-Universität und des Fördervereins für Physikalische Grundlagenforschung möchte ich Sie zu unserer akademischen Feierstunde herzlich willkommen heißen.

Ganz besonders herzlich möchte ich begrüßen:

Herrn Ministerialdirigent Wolf vom Hessischen Ministerium für Wissenschaft und Kunst,
Herrn Dr. Nikolaus Hensel, den Mitbegründer des Fördervereins,
die anwesenden Stifter, Namensgeber der Ehrenprofessuren und deren Angehörige,
Monsieur le Professeur Daniel Ardouin, Dekan an der Université de Nantes,
Monsieur le Professeur Francis Jundt, Université Louis Pasteur de Strasbourg,
sowie Herrn Stadtkämmerer Ernst Gerhardt.

Eine Anekdote über Max Planck, für die ich keinen Beleg gefunden habe, ist die folgende: Man habe ihm im Jahre 1874 vom Studium der Physik abgeraten, mit dem Argument: *„In der Physik sei alles wesentliche erforscht und es gebe nur noch einige Lücken auszufüllen“*.

Die Argumente, die Jugendliche heute bei der Frage nach einem Physikstudium von Arbeitsämtern, Berufsberatern, von vielen Lehrern und oft auch von den Eltern zu hören bekommen, sind sicher andere: die oft noch schlecht eingeschätzten Berufschancen oder die möglicherweise zu hohen Anforderungen des Studiums. Tatsache ist: Physiker werden dringend gebraucht - das ist die Botschaft der Industrie, der Forschungszentren, und der Berufsverbände, oft mit dem Argument verbunden, eine technologisierte Welt sei ohne Physik unvorstellbar.

Ich bin mit dieser Begründung allein nicht zufrieden und möchte daran erinnern, daß mit einem Studium der Physik mehr als ein Beruf erlernt wird: es wird eine Bildung vermittelt, Konzepte und Beschreibungsweisen werden entwickelt, die das erfolgreiche Bearbeiten sehr komplexer und

vielfältiger Probleme ermöglicht - vom Verhalten elementarer Materie über die detaillierte Funktion biologischer Materie bis hin zu dynamischen Prozessen im Finanzwesen.

Also: Ein dringender Bedarf an Physikern einerseits - und eine nachlassende Wahrnehmung der Physik in der Öffentlichkeit und durch die Politik andererseits. Letzteres hat Konsequenzen, nicht zuletzt für uns - die „Physik in Frankfurt“.

Auf die Gefahr hin, als steter Mahner zu erscheinen (das ist leider auch eine der Aufgaben eines Dekans): es muss immer wieder gesagt werden: Seit etwa 10 Jahren sinken die Mittel für Forschung und Lehre stetig. Real stehen uns heute nur etwa 60 % der Mittel zur Verfügung, die dem Fachbereich vor 10 Jahren bereitgestellt wurden. Die Kürzungen an allen Ecken und Enden, bei Geräten Ausstattungen und in den Bibliotheken haben inzwischen die Schmerzgrenze nicht nur erreicht, sondern häufig überschritten.

Nun hilft alles Lamentieren über die nachlassende öffentliche Förderung nichts. Vielmehr sind wir gefordert, mit noch mehr Kraft uns um die Einwerbung von externen Forschungsmitteln zu bemühen – öffentliche Mittel über den Bund, Mittel aus der Europäischen Gemeinschaft, aus der Industrie, von Stiftungen und anderen Institutionen, um die wir in hartem Wettbewerb – und durchaus mit Erfolg – kämpfen.

Nicht alle Bereiche von Forschung und Lehre können jedoch durch diese sogenannten Drittmittel abgedeckt werden. Aus diesem Grund wird die Unterstützung durch private Förderer und Sponsoren zunehmend wichtiger, auch wenn diese Form der Forschungsförderung bei uns längst noch nicht die Intensität erreicht hat wie beispielsweise an Universitäten in den USA.

Der Frankfurter Förderverein für Physikalische Grundlagenförderung, vor drei Jahren auf Initiative von Herrn Professor Greiner, Herrn Dr. Nikolaus Hensel, und privaten Sponsoren gegründet, ist eine solche private Initiative. Durch die Einrichtung von Laureatus-Professuren, durch Preise und Auszeichnungen werden hier Akzente gesetzt, die zentrale Themen der wissenschaftlichen Arbeit fördern und spezielle, herausragende Projekte auszeichnen sollen.

Ich freue mich, daß heute in dieser Festsitzung der Zeitpunkt ist, an dem der Förderverein weitere seiner Vorhaben umsetzen kann und möchte als nächstes meinem Kollegen Walter Greiner das Wort erteilen, der Ihnen den Förderverein und seine Ziele näher vorstellen wird.

Der Frankfurter Förderverein für Physikalische Grundlagenforschung

Prof. Dr. Walter Greiner

Herr Präsident Steinberg, Herr Ministerialdirigent Wolf, Herr Dekan, sehr geehrte Stifterfamilien: Herr Andreas Lyson und Frau Tanja, Herr Dr. Nikolaus Hensel und Frau Katherin, Herr Michael Baum und Frau Biserka, Herr Gernot Frank und Frau Carin. Dear Nilly Eisenberg, dear Mr. and Mrs. Landes, dear Prof. Lichtenstadt, dear Prof. Avraham Gal, verehrte Kollegen, meine Damen und Herren.

An unserer Universität werden bedeutende, weltweit beachtete Leistungen in Forschung und Lehre erbracht. Nahezu 70 in unserem Fachbereich Physik während der letzten 30 Jahre ausgebildete Forscher wurden Professoren in Deutschland, in den Vereinigten Staaten und anderswo; allein 40 davon sind aus dem Institut für Theoretische Physik hervorgegangen. Zwei dieser Frankfurter Physiker, die Experimentalphysiker Gerd Binnig und Horst Störmer, bekamen sogar den Nobelpreis. Das alles zeigt, daß hier sowohl Forschung als auch Lehre stimmen müssen, sonst wäre solches nicht möglich.

Auch suchen wir erfolgreich die Verbindung zur Industrie: So ist der Leiter der Forschungsabteilung Neuroinformatik der Siemens AG, Herr Prof. Bernd Schürmann bei uns habilitiert und Honorarprofessor, ebenso der Leiter des Bereichs Informatik – mit 6000 Mitarbeitern weltweit – der Bayer AG, Herr Prof. Bernd Fink sowie der frühere Leiter der Abteilung Angewandte Physik der Hoechst AG (jetzt Aventis), Herr Prof. Hans Sixl. Diese Herren halten bei uns regelmäßig spezielle Vorlesungen und machen unsere Studenten frühzeitig mit den Aufgaben der Physiker in der Industrie vertraut. Mit der Schott AG (Mainz) arbeiten die Kollegen Rauch und Aßmus zusammen, der letztere unterhält auch gemeinsame Forschungsvorhaben mit den Firmen Siemens (Erlangen), Merck (Darmstadt) und Heraeus (Hanau). Im Institut für Kernphysik arbeiten Dr. Wiedemann und Prof. Bethge ebenfalls mit Heraeus zusammen, ebenso wie Herr Prof. Dörner mit der Firma Roentdeck. Prof. Schmidt-Böcking, ein vielseitig aktiver Kollege, unterhält Kollaborationen mit der Robert Bosch AG (Stuttgart), der Firma Roth und Rau (Chemnitz) und der Firma Apparatebau Rothenmühle/Olpe. Dieses Miteinander wird durch das BMBF und die Deutsche Bundesstiftung Umwelt gefördert.

Das hört sich alles gut an, doch unserer Universität geht es nicht besonders gut. Sehen Sie sich auf unserem Campus um: Schon rein äußerlich erkennen Sie, daß er mit amerikanischen (Yale, Berkeley, Caltech, ...) oder Israelischen (Tel Aviv, Jerusalem, Haifa, ...) Campen nicht konkurrieren kann. Dort parkähnliche Landschaft mit ästhetischen, modernen Gebäuden, zeitgemäß ausgestattet, und hier: Nun ja, sehen Sie sich um: Oft schäme ich mich, wenn mich meine ausländischen Kollegen besuchen.

Nicht nur das Äußere, auch das Innere, die Ausstattung mit modernem Gerät liegen im Argen: Moderne Verkabelung und Computer geben ein Beispiel; viele unserer ausländischen Gäste aus Indi-

en, Indonesien, Rußland, Polen, Rumänien, Ungarn, Israel oder Palästina haben z.Zt. bessere Computer als wir – und wir haben diesen Kollegen geholfen, diese Geräte mit deutscher Hilfe (DFG, Volkswagenstiftung, Graduiertenkolleg, DAAD, trilaterale Zusammenarbeit zwischen Deutschland, Israel und Palästina, ...) anzuschaffen.

Weiterhin: Wir, die hessischen Universitäten, haben die Gründung der Gesellschaft für Schwerionenforschung initiiert; die meisten tragenden Ideen, die die Forschung dort voranbringen, kamen und kommen ursprünglich aus unseren Universitäten. Wir binden die leitenden Wissenschaftler der GSI in unsere Fachbereiche ein, habilitieren viele dieser Wissenschaftler und geben ihnen damit das Recht auf Ausbildung von Diplomanden und Doktoranden. Doch wir, die echten hessischen Hochschullehrer, stehen, was die GSI angeht, als Bittsteller vor dem reich ausgestatteten Großforschungszentrum. Die Einbindung und Kollaboration sollte nicht einseitig sein. Gegenseitigkeit und Kollegialität sind gefordert. Es wird Zeit, hessische Landesregierung und Bundesministerium für Bildung und Forschung; Hier muß endlich etwas getan werden!

Auch die innere Struktur in unseren Hochschulen zeigt Mangelerscheinungen. Während in Amerika junge Wissenschaftler nach ihren 2-3 Postdoc-Jahren als Assistant Professoren „on the tenure track“, d.h. mit der Möglichkeit des Aufstiegs zum Associate Professor (nach 3-6 Jahren) und schließlich zum Full Professor mit tenure (nach weiteren 3-6 Jahren) von ihrer zukünftigen Universität angestellt werden können, ist ein Aufstieg unserer Assistenten bzw. Dozenten nicht möglich; ja selbst der Aufstieg eines Extraordinarius (Gehaltsstufe C3) zum Ordinarius (Gehaltsstufe C4) ist im allgemeinen an der eigenen Hochschule unmöglich, und das, obwohl es sich in einigen Fällen um weltweit geachtete, angesehene Forscher und Lehrer handelt. Enttäuschung und Frust oder Auswanderung sind oft die Konsequenz. Hier besteht wahrhaft Reformationsbedarf!

Ich will nicht weiter lamentieren, sondern sagen, wie wir hoffen, einigen dieser Unzulänglichkeiten in einer Art Selbsthilfe entgegenzuwirken.

Im Jahre 1999 wurde auf Initiative von Professoren des Fachbereichs Physik der Johann Wolfgang Goethe-Universität und von privaten Sponsoren – hier allen voran Herr Dr. Nikolaus Hensel – der Frankfurter Förderverein für Physikalische Grundlagenforschung gegründet, über dessen Zielsetzungen ich Ihnen kurz berichten möchte.

Unser Ziel ist es, die Frankfurter Physik attraktiv und für die Gemeinschaft sichtbar zu machen. Wir wollen dies erreichen, indem wir um private Stifter werben, indem wir unsere Bürger bitten, unserer Hochschule und jetzt hier vor allem unserem Fachbereich Physik zu helfen. Eine derartige Unterstützung durch private Initiativen ist in vielen westlichen Ländern – besonders seien hier etwa die USA und Israel erwähnt – aus dem kulturellen und wissenschaftlichen Leben nicht wegzudenken. Auch der Ursprung der Johann Wolfgang Goethe-Universität als Stiftungsuniversität und ihrer

Vorgänger-Institutionen belegt, daß gerade hier in Frankfurt der Bürgersinn sehr ausgeprägt war. Im Zuge der gesellschaftlichen Veränderungen des letzten Jahrhunderts kam es jedoch zu einer zunehmenden Verlagerung aller Verantwortlichkeiten für soziale wie kulturelle Aufgaben auf den Staat. Wir wollen mit unseren Aktivitäten an die gute Tradition des Stiftens und Spendens zum Nutzen von Forschung und Wissenschaft anknüpfen und gleichzeitig auch das Verbundenheitsgefühl der Bürger mit „ihrer“ Hochschule stärken.

Der Förderverein hat sich vorgenommen, die ihm zufließenden Mittel für eine ganze Reihe von Zwecken einzusetzen. Vieles davon wurde bereits auf den Weg gebracht.

1. Der „**Professor Laureatus**“ wurde eingerichtet

Zum ersten Mal in Deutschland wurde diese Auszeichnung im Jahre 1999 an *Reiner Dreizler* vergeben. Sie ist dem amerikanischen Distinguished Professor nachempfunden. Damit sollen hervorragende Professoren ausgezeichnet und ihre Verdienste in Forschung und Ausbildung gewürdigt werden. Im Gegensatz zu den Gepflogenheiten in USA wollen wir hier auch die Möglichkeit schaffen, Extraordinarien (gehaltsmäßig heißen diese C3-Professoren) damit auszuzeichnen und diese somit finanziell in den Rang von C4 (Ordinarien) zu heben oder diesen mindestens anzunähern. Im Gegensatz zu den Universitäten in USA ist nämlich der Aufstieg C3 → C4 an deutschen Universitäten praktisch unmöglich.

Der Professor Laureatus erhält zusätzlich zu seinem Gehalt und seiner Ausstattung an der Universität durch private Stifter ca. DM 25.000 pro Jahr für die Zeit seiner Zugehörigkeit zum Fachbereich. Der Professor Laureatus hat dieses Geld zur freien Verfügung - wie in Amerika oder Israel. Die Professur wird dort nach dem Stifter benannt, also z.B. „Henry Ford II Professor der Physik“ oder „J.B. Garland Professor der Physik“ oder „James B. Duke Professor der Physik“. Im nationalen und internationalen Schriftverkehr sowie im Fachbereichs- und Universitätsbetrieb wird auch der Professor Laureatus den Namen des Stifters im Titel seiner Professur führen. Damit wird dem Stifter der Professur ein Denkmal gesetzt, das auf Dauer angelegt sein kann, je nachdem wie die Stiftung angelegt wurde.

Der „Professor Laureatus“ wird vom Frankfurter Förderverein für Physikalische Grundlagenforschung zusammen mit dem Fachbereich Physik vergeben. Es ist unser Ziel, drei bis vier dieser Laureatus Professuren zu schaffen. Für die Professoren des Fachbereichs wird es Ansporn sein, eine solche Auszeichnung zu erhalten. Auch das ist ein wichtiger Punkt, weil Wettbewerb in Forschung und Lehre immer förderlich sind.

Am 8. Juli 1999 wurde erstmals eine Professur dieser Art vergeben: Der **Stefan Lyson Professor** der Physik. Dem Frankfurter Architektur- und Ingenieurbüro Lyson sind wir dafür außerordentlich dankbar! Herr Andreas Lyson hat mit diesem Schritt seinen Vater geehrt, eingebunden in eine

gesellschafts- und universitätspolitisch neue Struktur.

Im Jahr 2001 nun geht die Stefan Lyson-Professur über auf Herrn Prof. *Horst Schmidt-Böcking* vom Institut für Kernphysik. Besonders erfreulich ist, daß wir in diesem Jahr noch eine weitere Laureatus Professur vergeben können. Die von privaten Förderern gestiftete **Judah M. Eisenberg-Professur** wird an Herrn Prof. *Reinhard Stock* verliehen. Sie trägt den Namen unseres leider allzu früh verstorbenen Freundes, des Ehrendoktors des Fachbereichs Physik Judah Eisenberg von der Universität Tel Aviv. Ihm, der nicht nur ein hervorragender Physiker war, sondern sich auch nachdrücklich für die Förderung der deutsch-israelischen Beziehungen einsetzte, wird auf diese Weise ein ideelles Denkmal gesetzt. Die Jahrzehnte währende enge Verbindung der Frankfurter und Tel Aviver Physik soll damit dokumentiert werden.

2. Ein Preis für die beste Dissertation in Höhe von DM 5.000 soll in einjährigem Turnus vergeben werden. Die Doktoranden sollen damit zu größten Leistungen angespornt werden. Auch hierfür haben sich großzügige Sponsoren gefunden, und so kann der **Gernot und Carin Frank-Preis**, benannt nach dem Frankfurter Stifter-Ehepaar, jedes Jahr feierlich verliehen werden. Im Juni 2000 wurde dieser Preis zum ersten Mal an Herrn Dr. *Frank Linhard* für seine ausgezeichnete Dissertation „Historische Elemente einer Prinzipienphysik“ vergeben. Für das Jahr 2001 wird der Gernot und Carin Frank-Preis sogar verdoppelt und gleichzeitig an zwei junge Doktoren der Angewandten Physik für ihre exzellenten Dissertationen vergeben. Die Themen der Arbeiten von Herrn Dr. *Ralph Hollinger* und Herrn Dr. *Steffen Runkel* lauten „Entwicklung und Untersuchung einer Hochstrom-Ionenquelle zur Erzeugung intensiver, hochbrillanter Protonenstrahlen“ bzw. „Teilchendynamik in EZR-Plasmen – Untersuchungen von grundlegenden Prozessen in Elektron-Zyklotron-Resonanz-Ionenquellen“.

3. Der Frankfurter Förderverein hatte beabsichtigt, einen Preis für eine herausragende physikalische Arbeit der jeweils letzten zwei Jahre in Höhe von DM 10.000 schaffen. Im Jahr 2001 kann dieser Plan bereits realisiert werden: Wir ehren mit dem **Michael und Biserka Baum-Preis** Herrn Prof. *Hartmut Roskos* vom Physikalischen Institut und würdigen damit seine hervorragenden Forschungen über Bloch-Oszillationen in Halbleitern und ihre Anwendungen. Die von dem Frankfurter Stifter-Ehepaar Michael und Biserka Baum bereitgestellten Mittel ermöglichen diese Preisvergabe, die als willkommene Stimulanz für exzellente physikalische Grundlagenforschung dient.

4. Drei Preise für beste und zügigste Diplomarbeiten (weniger als 10 Semester) à DM 2.000 sollen - wenn möglich jährlich - verliehen werden. Wir erwarten, daß damit die jungen Physiker zu sehr gutem und zügigem Studium/Anfertigung ihrer Diplomarbeit angeregt werden.

5. Die Vergabe von Stipendien für hervorragende Doktoranden zur Präsentation ihrer Arbeiten auf internationalen Konferenzen und Arbeitstreffen wird angestrebt. Immer wieder mangelt es an der Unterstützung, die es jungen Forschern ermöglicht, ihre Forschungsergebnisse auf den wichtigen

internationalen Tagungen zu präsentieren.

6. Schließlich geht es um die Förderung der wissenschaftlicher Infrastruktur am Fachbereich Physik: Hier ist besonders an die Beseitigung von besonderen Notständen gedacht, z.B. durch konkrete Zuwendungen für Anschaffung von Büchern, Zeitschriften, speziellen Apparaten, etc. Insbesondere die Probleme unserer Fachbereichs-Bibliothek, der Max-Born-Bibliothek, bereiten uns große Sorgen. Die Kosten für wissenschaftliche Fachzeitschriften steigen seit Jahren rapide an, während die zur Verfügung stehenden Mittel begrenzt sind, oder sogar abnehmen. Während des letzten Jahrzehnts sind die unserem Fachbereich vom Land (über die Universität) zugeführten Mittel um 40% gesunken. Ich wiederhole: 40% – das ist eine enorme Kürzung, die uns sehr beeinträchtigt. Daher müssen Jahr für Jahr wichtige Zeitschriften abbestellt werden (allein in den letzten drei Jahren waren es über 20 Zeitschriftentitel!). Diese Erosion geht nunmehr an die Substanz und droht, die Qualität von Forschung und Lehre auszuhöhlen. Wir hoffen, daß wir dieser gefährlichen Entwicklung mit Hilfe von Sponsoren – wie dies in den letzten Jahren bereits vereinzelt geschehen ist – entgegenzutreten können.

Der Frankfurter Förderverein für Physikalische Grundlagenforschung hat sich also viel vorgenommen. Wir wollen neue Stimuli in unser Forscher- und akademisches Lehrer-Leben, in unser Universitätsleben einbringen. Es ist eine breite Palette der Auszeichnung und Förderung, die wir uns vorgenommen haben. Wir sind den schon gewonnenen Förderern und Stiftern zu großem Dank verpflichtet und hoffen, daß sich deren Kreis noch ausweiten wird.

Diese wiederum sollen sich wiederfinden in unserer Universität und sich mit uns freuen und sehen, wie ihr Name mit großartiger Forschung und ausgezeichnete Lehre verbunden und in die Welt hinausgetragen wird.

Für alle, die es angeht und die sich angesprochen fühlen: Werden Sie Mitglied in unserem Förderverein. Wir bitten um Ihre Hilfe!



Prof. Dr. Rudolf Steinberg, Präsident der Johann Wolfgang Goethe-Universität



Dr. Nikolaus Hensel, Mitbegründer des Frankfurter Fördervereins

Grußwort

des Präsidenten der Johann Wolfgang Goethe-Universität

Prof. Dr. Rudolf Steinberg

Meine sehr verehrten Damen und Herren,

als Präsident der Goethe-Universität darf ich Sie alle herzlich zu dieser Festveranstaltung begrüßen. Wenn ich recht informiert wurde, waren wir bei der ersten Verleihung der Lyson-Professur im Senckenberg-Museum zu Gast. Heute stellt uns die Dechema ihren Hörsaal zur Verfügung. Ich darf mich für diese wissenschaftliche Nachbarschaftshilfe bedanken und bin damit bereits beim Thema meines kleinen Grußworts am Anfang einer großen akademischen Feier.

Die Verbindung der Wissenschaft zu anderen Lebensbereichen, zu ihrer Umgebung unterliegt einem beständigen Wandel. Die wissenschaftlichen Gesellschaften des 19. Jahrhunderts, der die Stiftungsuniversität Frankfurt wichtige Gründungsimpulse verdankt, ließen es zu, daß honorige städtische Bürger in ihrer Freizeit auch wissenschaftlich tätig waren - und zwar teilweise auf beachtlichem Niveau. Freilich hat sich das moderne Wissenschaftssystem nur fortentwickeln können, indem es sich aus diesem bürgerlichen Umfeld löste und als eigenständige Organisationsform – eben als Hochschule – etablierte. An der Geschichte der Stiftungsuniversität Frankfurt ist ablesbar, daß diese Etablierung dauerhaft nicht ohne staatliche Alimentierung gelingen konnte – ein Umstand, der insbesondere Ihnen, lieber Herr Wolf, stets bewußt ist.

Eine schöne Dialektik der wissenschaftsgeschichtlichen Entwicklung will es, daß heute die staatlichen Hochschulen wieder allergrößte Anstrengungen unternehmen, jene gesellschaftliche Verankerung, jene Bürgernähe zurückzugewinnen, der sie – zumindest in Frankfurt – ihre Entwicklung verdanken.

Sie tun dies aus vielerlei guten Gründen: Sie streben einen zügigen Wissenstransfer an, sie wollen ihren Beitrag zur gesellschaftlichen Entwicklung leisten, sie wollen Förderer für die Wissenschaft gewinnen und sie wollen Dinge verwirklichen, die sie im staatlichen System des Hochschulwesens nicht oder noch nicht oder weniger gut erreichen können. Die besondere Auszeichnung herausragender wissenschaftlicher Leistungen ist hierfür ein Beispiel.

In diesem Sinne habe ich heute die schöne Aufgabe, Sie zur Verleihung von gleich zwei Stiftungsprofessuren und auch zweier Preise begrüßen zu dürfen.

Ich danke herzlich unseren Gönnern – übrigens alles gebürtige Frankfurter – Herrn Andreas Lyson und Frau Katrin Lyson, Herrn Dr. Hensel und Frau Hensel, unseren großzügigen Preissponsoren,

Herrn Gernot und Frau Carin Frank und dem Ehepaar Michael und Biserka Baum. Für Ihre Stiftungsbereitschaft möchte ich mich bei Ihnen allen auch im Namen der gesamten Goethe-Universität herzlich bedanken. Ihr schönes Werk ist von großer Bedeutung für uns alle.

Ihre Förderung verstärkt die Verbundenheit zwischen der Frankfurter Bürgerschaft und ihrer Universität. Damals wie heute sitzen die Wissenschaftler unserer Universität nicht weltfremd und manierlich in einem Elfenbeinturm. Das Verhältnis von Universität und Gesellschaft steht heut erneut – wie bei der Gründung der modernen deutschen Universität in Gestalt der Berliner Universität 1808 – in der Diskussion. So betonte Johann Gottlieb Fichte in seinem „Deduzierte(m) Plan einer zu Berlin zu errichtenden höheren Lehranstalt“, dem Gelehrten müsse die Wissenschaft nicht Mittel für irgendeinen Zweck, sondern sie müsse ihm Selbstzweck werden; gleichwohl betont er, daß die von ihm konzipierte Lehranstalt keineswegs etwa eine in sich selbst abgeschlossene Welt bilde, sondern daß sie eingreifen solle in die wirkliche vorhandene Welt. Der Hinweis des Universitätsgründers Wilhelm von Humboldt, die Universitäten erfüllten die Zwecke des Staates, „und zwar von einem viel höheren Gesichtspunkte aus“, wenn sie ihren Endzweck erreichten, bezog sich auf die „eigentliche“ Universität, deren Inbegriff damals die Philosophie-Fakultät darstellte.

Ich glaube, daß heute kaum eine andere Fakultät dem Humboldt'schen Konzept der „eigentlichen“ Universität so sehr nahe kommt wie die Physik, in der es um grundlegende Erkenntnisse geht, um Antworten auf die Frage, was die Welt im Innersten zusammenhält.

Dies kann man von den zahlreichen „Spezialschulen“ in der Universität nicht sagen – so der Begriff, den Schleiermacher für die alten „höheren Fakultäten“ der Theologie, Jurisprudenz und Medizin geprägt hat, den man heute etwa um die Ingenieur- und Wirtschaftswissenschaften ergänzen muß.

Gemeinsam ist allerdings allen Fakultäten der Anspruch wissenschaftlicher Arbeit, in den Worten Humboldts: „Die Wissenschaft als etwas noch nicht Gefundenes und nie ganz Aufzufindendes zu betrachten und unablässig sie als solche zu suchen.“ Ausgangspunkt für dieses wissenschaftliche Suchen kann nur eine vitale Grundlagenforschung sein, die ergebnisoffen sein muß, aber gerade deswegen Grundlage für viele anwendungsbezogene Ergebnisse ist. Dazu muß die Wissenschaft als Ganzes weiterhin wachsen, und ich halte es für die Aufgabe aller, dies zu gewährleisten und zu fördern.

Daß wir als Universität in der Erfüllung unserer Verantwortung nicht allein stehen, das wird uns durch die tatkräftige Hilfe und das großherzige Engagement unserer Stifter bewußt. Und auf Stifterinnen und Stifter wie Sie, die Sie uns heute diese besondere akademische Feierstunde ermöglicht haben, sind wir angesichts der knappen öffentlichen Mittel in hohem und zunehmendem Maße angewiesen.

Dekan Mäntele wie auch mein Vorredner, Herr Kollege Greiner, haben auf Unzulänglichkeiten der Ausstattung der Physik in Frankfurt hingewiesen. Diese Klagen sind selbstverständlich nicht ohne Grund. Allerdings möchte ich doch auch auf Perspektiven hinweisen, die die Zustände auch der

Naturwissenschaften im allgemeinen und der Physik im besonderen in hellerem Licht erscheinen lassen.

Wir werden in absehbarer Zeit mit dem Neubau der Physik auf dem Riedberg-Campus beginnen. Dieses 140 Mio DM-Projekt wird die äußeren Bedingungen für Forschung und Lehre spätestens ab 2005 drastisch verbessern.

Die innere Entwicklung der Universität wird durch eine Entwicklungsplanung vorangetrieben. Wesentliches Element dieser Planung, die im Oktober der Senat beschließen wird, ist eine ausgeprägte Schwerpunktbildung. Hierbei wird die Goethe-Universität ihr Profil dadurch schärfen, daß sie die Bereiche der Forschung definiert, in denen sie Spitze sein kann. Daraus werden sich in aller Regel Auswirkungen für die Lehre oder die Förderung des wissenschaftlichen Nachwuchses, z.B. durch die Einrichtung von Graduiertenkollegs, ergeben.

Die skizzierten Entwicklungen der Universität – Andeutungen müssen hier genügen – stellen eine große Herausforderung für uns dar.

Doch auch die Umsetzung der Projekte innerhalb der Universität bedarf eines persönlichen Engagements und Initiative. Dafür möchte ich Herrn Kollegen Greiner ausdrücklich danken.

Verehrte Kollegen, Herr Schmidt-Böcking, Herr Stock und Herr Roskos, verehrter Herr Hollinger und Herr Runkel, Ihnen allen darf ich zu der Ehrung, die Ihnen heute zuteil wird, ganz besonders gratulieren. Da die Erfahrungswissenschaften bekanntlich mit der Wiederholbarkeit von Ereignissen zu tun haben, bleibt mir im Sinne der Goethe-Universität nur zu wünschen, daß so schöne und erfreuliche Ereignisse wie dieses heutige sich wiederholen mögen.

Und damit darf ich das Wort weiterreichen an Herrn Wolf als Vertreter des Ministeriums, das diese Initiative verfolgt und unterstützt hat. Dafür darf ich mich bei dieser Gelegenheit auch bei Ihnen persönlich, lieber Herr Wolf, bedanken und Sie nun um Ihr Grußwort bitten.

Grußwort

des Hessischen Ministeriums für Wissenschaft und Kunst

Ministerialdirigent Herbert Wolf

Sehr geehrte Repräsentanten, Stifter und Preisträger des Frankfurter Fördervereins für Physikalische Grundlagenforschung,
sehr geehrte Mitglieder des Präsidiums der Goethe-Universität,
sehr geehrter Herr Dekan,
meine Damen und Herren,

vor zwei Jahren, bei der erstmaligen Verleihung der Stefan-Lyson-Laureatus-Professur, hatte ich bereits wohl begründeten Anlass, dem Frankfurter Förderverein für Physikalische Grundlagenforschung als Vertreter des Landes Hessen, des institutionellen Trägers der Universität, Dank, freudige Anerkennung und respektvolle Bewunderung für seine großzügige Initiative zur Unterstützung exzellenter Forschung und Lehre im Fachbereich Physik auszusprechen. Ich erinnere mich lebhaft an unsere damalige fröhliche Feier und bin deshalb gerne wieder gekommen, denn heute besteht um so mehr Grund dazu. Zur ersten ist eine zweite Laureatus-Professur hinzu gekommen, drei Preise für beste physikalische Dissertationen und für eine hervorragende physikalische Arbeit werden verliehen – der Förderverein hat sein mäzenatisches Engagement ausgeweitet und will das Spektrum seiner segensreichen Aktivitäten – das hat Herr Professor Greiner angedeutet – in den nächsten Jahren weiter ausdehnen. Da kann der Vertreter des Landes nur abermals applaudieren, sich bedanken, großen Respekt bekunden und Ihnen bestätigen: Oh ja, es gibt weiterhin viele gute Gründe zur an- und ausdauernden Förderung der Physik in der Frankfurter Goethe-Universität.

Während der beiden letzten Jahre haben sich in der wissenschaftspolitischen Diskussion die Akzente ein wenig weiter entwickelt. Herr Präsident Steinberg ist in seinem Grußwort darauf schon eingegangen. Ich möchte ebenfalls zwei neue Akzentsetzungen erwähnen. Die erste ist die immer stärker ins Bewusstsein vordringende Einsicht, dass die europäische Integration, dass die Globalisierung der Beziehungen, die inzwischen in der Wirtschaft, in der Kommunikation, auch in vielen Bereichen der Politik die Verhaltensmaßstäbe prägt – was gerade in Frankfurt offenkundig ist – künftig ebenfalls in der Wissenschaftspolitik die maßgeblichen Standards setzen wird. Der Wettbewerbsdruck, die Leistungsanforderungen werden sich verstärken. Nur wer in Forschung und Lehre, im internationalen Wettbewerb an der Spitze mithalten kann, wird auf Dauer bestehen können. Jeder Fachbereich, jede Universität, in Deutschland jedes Bundesland muss sich dieser Herausforderung stellen; und es ist klar, dass nicht an jedem Ort, nicht in jeder Region, nicht in jedem Bundesland alle wissenschaftli-

chen Fachgebiete zu den Gewinnern zählen werden, sondern dass es unausweichlich sein wird, stärker als bisher Schwerpunkte zu setzen, Leichtgewichte als solche zu identifizieren und die richtigen Konsequenzen zu ziehen.

Der Frankfurter Fachbereich Physik, das kann ich heute wie vor zwei Jahren bekräftigen, gehört in Forschung und Lehre zur internationalen Spitze. Frankfurter Physiker, die eine wissenschaftliche Laufbahn einschlagen, werden in Spitzeninstitute der ganzen Welt berufen, und umgekehrt ist es den Frankfurter Physikern auch immer gelungen, wenn sie Professuren neu zu besetzen hatten, herausragende Wissenschaftler – hoffentlich in Zukunft auch Wissenschaftlerinnen – als Professoren zu berufen. Ich bin gewiss, dass dies, wie in den letzten beiden Jahren, auch während der nächsten Zeit gelingen wird, in der im Zuge des Älterwerdens meiner Generation, dem Älterwerden, dem ich mich ebenfalls nicht entziehen kann, viele Neuberufungen anstehen. Es lohnt sich also, auch weiterhin in diese exzellenten Physiker zu investieren und sie, gerade in den nächsten Jahren, dabei zu unterstützen, ihre Exzellenz zu erhalten und mit dem leidenschaftlichen Tatendrang, der jeder jungen Generation zu eigen ist, Riesen auf den Schultern von Riesen stehend, zu neuen wissenschaftlichen Höchstleistungen aufzubrechen.

Daraus muss das Land Hessen – und damit sage ich das, was Sie vom Vertreter des Landes sicher auch erwarten -, natürlich erst einmal selbst die richtigen Konsequenzen ziehen. Ich habe die kritischen Anmerkungen der Universitätsvertreter, insbesondere von Herrn Professor Greiner und dem Herrn Dekan, zur Ausstattung des Fachbereichs nicht überhört, auch wenn sie nicht nur als Appell an das Land, sondern, in freundschaftlicher und konstruktiver Wendung, primär als Argument für Hilfe zur Selbsthilfe der Universität und für eine wünschenswerte Erweiterung des Mäzenatentums des Fördervereins eingesetzt wurden. Der Herr Präsident sprach von „Alimentation“ als Verpflichtung des institutionellen Garanten der Universität – ich nehme an, er meinte Vollkost, welche die vitalen Kräfte voll entwickelt und stärkt. Nun, die Einladung eines Vertreters des Landes zu dieser Festveranstaltung hatte offenbar auch einen gewissen Hintersinn, ich habe da so einen bestimmten Verdacht, und mich beschleichen ambivalente Gefühle – aber Sie haben Recht: Mein Grußwort ist nur legitim, wenn das Land auch selbst einen angemessenen Beitrag für eine international wettbewerbsfähige Grundausstattung des Fachbereichs leistet, mit dem es die notwendigen Voraussetzungen für Hilfe zur Selbsthilfe der Universität; für die Einwerbung von Drittmitteln und für eine Unterstützung der Universität durch Mäzene schafft, die diese als lohnenswertes Engagement betrachten.

Wir in Wiesbaden wollen unseren Beitrag vor allem auf zwei Feldern leisten, in denen wir auch künftig zuständig sein werden:

- Das sind erstens die anstehenden Berufungen, bei denen wir Sie nach Kräften unterstützen wollen, das Spitzenniveau des Fachbereichs in Forschung und Lehre zu halten. Ihr mit dem

Ministerium und dem Präsidium der Universität vereinbarter Strukturplan mit seinen Schwerpunkten bildet dafür die feste Basis. Soweit es den Schwerpunkt „Schwerionenphysik/Hochenergiephysik“ angeht, soll dies im engen Verbund mit dem Zukunftsprojekt der Gesellschaft für Schwerionenforschung in Darmstadt geschehen, dessen Verwirklichung das Land ebenfalls nach Kräften unterstützen will, um selbstverständlich auch die GSI als in der Welt führendes Labor der Schwerionenforschung in unserer Region langfristig abzusichern. Im Übrigen soll es bei allen Schwerpunkten im engen Verbund mit den fachlich benachbarten naturwissenschaftlichen Fachbereichen der Universität sowie Max-Planck-Instituten in Frankfurt geschehen, die fraglos ebenfalls beeindruckende wissenschaftliche Potenziale aufweisen.

- Zweitens wollen wir in einer großen Investitionsanstrengung, für die nach derzeitigem Stand rund 140 Mio. DM, genauer und mit Blick auf das Jahr 2002 gesagt: 70 Mio. Euro, vorgesehen sind, die Institute des Fachbereichs Physik in Neubauten auf dem Campus Niederursel unterbringen und mit einer für Spitzenforschung unter aktuellen wissenschaftlichen Gesichtspunkten geeigneten Ersteinrichtung ausstatten. Während der beiden letzten Jahre lag der Hauptakzent in Frankfurt darauf, zunächst das IG-Farben-Gebäude als Campus Westend der Goethe-Universität neu herzurichten, und dies ist in beeindruckender Weise gelungen. Nachdem das nun geschafft ist und wir auch gute Aussicht haben, die zur Begutachtung unseres Ausbaukonzepts in Niederursel vom Wissenschaftsrat eingesetzte Arbeitsgruppe von der Qualität unseres Konzepts und der Angemessenheit seiner quantitativen Rahmendaten zu überzeugen, hat während der kommenden Jahre der Ausbau der Physik in Niederursel für das Land erste Priorität. Es gibt dabei eine Vorgabe aus dem Kulturvertrag mit der Stadt Frankfurt, dass nämlich das Institut für Kernphysik seinen bisherigen Standort am Rebstock bis zum Ende des Jahres 2004 räumen muss. Diesen Termin einzuhalten, ist, wie Sie als fachkompetente Physiker, Herr Lyson und ich als erfahrungsgesättigte Beobachter der Abläufe im staatlichen Hochbau wissen, ein ehrgeiziges Ziel. Aber man muss sich ehrgeizige Ziele setzen, um überhaupt ans Ziel zu kommen. Wir in Wiesbaden, das Wissenschafts- und das Finanzministerium einschließlich der Staatsbauverwaltung, wollen dahin.

„Trotzdem ist es gut“, sagte Herr Lyson nach meiner lebhaften Erinnerung bei unserer Veranstaltung vor zwei Jahren, „wenn der Fachbereich Physik der Frankfurter Universität sich nicht ganz auf den Staat verlassen muss“. Ich teile diese Auffassung. Ich habe vorhin gesagt, dass Wiesbaden vor allen Dingen auf zwei Feldern helfen will, in denen es auch künftig zuständig ist, und komme damit zum zweiten neuen Akzent in der Wissenschaftspolitik der letzten beiden Jahre, den ich ansprechen wollte. Er besteht in der Änderung unseres Hochschulgesetzes, die den Universitäten sehr viel größere Zuständigkeits- und Autonomiespielräume gibt als vorher, verbunden mit der Absicht des Landes, sich aus der Detailsteuerung der Hochschulen zurückzuziehen und sich auf wissenschaftspolitische

Grundsatzentscheidungen sowie Rechtsaufsicht zu beschränken; verbunden weiterhin mit der allseits begrüßten Intention, das „operative Handeln“, wie man das so nennt, voll der Verantwortung der Hochschulen zu übertragen. An die Stelle der Erlasse sollen partnerschaftliche, mittelfristig angelegte „Zielvereinbarungen“ treten; an die Stelle der Mittelbewirtschaftung in einzelnen Haushaltstiteln soll ein der Universität global zugewiesenes „Programmbudget“ treten, über dessen Verwendung die Universität im Rahmen der geschlossenen Zielvereinbarungen sowie bestimmter, leistungsorientierter Verteilungsparameter allein entscheiden kann. Noch diskutieren Ministerium und Hochschulleitungen über die zu vereinbarenden Parameter und über erste Entwürfe von Zielvereinbarungen, aber in der festen Absicht, bis spätestens zum Frühjahr 2002 zu einem Ergebnis zu kommen. Das ist eine mindestens ebenso große Herausforderung für das Ministerium und die Hochschulen wie der Neubau der Physik auf dem Niederurseler Hang bis Ende 2004. Der Fachbereich Physik wird sich daher insoweit künftig noch stärker auf seine Universität stützen und verlassen können als bisher, und ich bin gewiss, dass er zu Recht auf sie bauen kann.

Ministerium, Universitäten und Fachbereich, alle zusammen, sind aber letztlich darauf angewiesen, dass die Bürger des Landes und der Stadt sie tragen, sich für die Aufgaben und die Leistungen der Wissenschaft begeistern, sie ideell und materiell unterstützen. Der Frankfurter Förderverein für Physikalische Grundlagenforschung ist ein Vorbild für derartiges Engagement – wie gut ist es, dass der Fachbereich Physik sich auf ihn verlassen kann. Ich beglückwünsche die Preisträger des Fördervereins zu ihren heutigen Auszeichnungen, ich beglückwünsche den Fachbereich zu diesem Förderverein, und ich danke, als Vertreter des wohlwollenden, aber nicht so wohlhabenden Trägers der Universität, um alle berechtigten Wünsche erfüllen zu können, nach einmal ganz besonders den Mitgliedern des Fördervereins für ihr vorbildliches persönliches Engagement zur ideellen und materiellen Förderung wissenschaftlicher Exzellenz in der physikalischen Grundlagenforschung der Frankfurter Universität.

Engagement der Bürger für ihre Universität

Grußwort von

Dr. Nikolaus Hensel

für den Frankfurter Förderverein für Physikalische Grundlagenforschung

Die besten Reden sollen die sein, die nicht gehalten worden sind. Deshalb möchte ich die Rede, die ich Ihnen eigentlich heute über die Tradition des Mäzenatentums in Frankfurt, vor allem hier an der Johann Wolfgang Goethe-Universität als Stiftungsuniversität vortragen wollte, nicht halten.

Statt dessen möchte ich einige ganz persönliche Worte an Sie richten.

Ich bin in Berlin geboren und dort aufgewachsen – in einer Stadt, die nach dem 2. Weltkrieg nicht nur schwer zerstört, sondern nach der Schreckensherrschaft der Nazizeit vollkommen ausgeblutet war. Berlin hatte tausende jüdischer Intellektueller verloren – letztlich die geistige Elite, die die Stadt geprägt und ihr ihre Bedeutung gegeben hatte. Sie waren emigriert oder ermordet worden. Daran sollten wir uns von Zeit zu Zeit erinnern.

Berlin leidet noch heute unter dem, was damals geschehen war und es wird noch länger dauern, bis alle Lücken geschlossen sind.

Frankfurt ist es ähnlich ergangen. Nur konnten hier durch die enorme Wirtschafts- und Finanzkraft dieser Stadt und ihren Bürgersinn schnellere Erfolge erzielt werden. So stellt sich Frankfurt heute als reiche Stadt, als Banken- und Dienstleistungszentrum, aber auch als wichtiger Industriestandort dar, als Stadt, die modern und zukunftsorientiert ausgerichtet ist.

Aber möglicherweise ist dies nur das oberflächliche Bild. Denn wir lesen fast in jeder Woche – jetzt schon als Schlagzeile auf der ersten Seite – über den Mangel an Wissenschaftlern. Wir lesen, daß es viele von ihnen ins Ausland zieht, wo sie die Bedingungen vorfinden, die sie erwarten können und die man ihnen dort im Bewußtsein von der Bedeutung der Forschung und Entwicklung für die Zukunft als selbstverständlich bietet. Es gibt also – wenn auch aus vollkommen anderen Gründen – wieder eine Emigration. Damit können und dürfen wir uns als verantwortungsvolle Bürger, die in diesem Land nicht nur eine Spaßgesellschaft haben wollen, nicht abfinden.

Die Entwicklung an den Börsen im letzten Jahr hat gezeigt, wie zerbrechlich manche vorgeblich großen Werte sein können. Der Neue Markt, die New Economy fielen in sich zusammen wie ein Kartenhaus. Viele traditionelle Unternehmen versilberten am Kapitalmarkt ihre über Jahrzehnte hinweg aufgebauten stillen Reserven und haben sie damit verbraucht. Also wird ihnen nichts anderes übrig bleiben, als neue stille Reserven zu bilden. Hierfür wird man sich auf die eigentlichen Grundlagen von

wirtschaftlichem Erfolg und zukunftsorientiertem, gesichertem Wohlstand besinnen müssen, nämlich auf Forschung und Entwicklung. Dies bedingt wiederum, daß man die Universitäten nicht als notwendiges Übel, das nur Geld kostet, behandelt und seine Forscher nicht in Scharen ins Ausland ziehen läßt. Forschung muß stark und frei sein. Sie muß im Mittelpunkt unserer Gesellschaft stehen. Es reicht nicht aus, reine Lehrinstitute im Sinne von Fachhochschulen zu unterhalten. Wir brauchen die Universität mit ihrer Forschung, wir brauchen unsere hochqualifizierten Wissenschaftler. Und wenn die Politik für unsere Universitäten – aus welchen Gründen auch immer, vielleicht weil es populärere Dinge gibt – nicht ausreichende Mittel zur Verfügung stellt und damit am falschen Platze spart, dann müssen wir die Universitäten selbst mit privaten Mitteln unterstützen und dafür ist kein Beitrag zu klein oder zu groß.

Um dies zu erreichen, dürfen die Universitäten und ihre Wissenschaftler nicht, wie es doch letztlich in der großen Wirtschaftsmetropole Frankfurt der Fall ist, ein Schattendasein hinter den Hochhäusern der Stadt mit ihren glänzenden Fassaden führen. Wir müssen sie sichtbarer in das Bild der Stadt eingliedern.

Vor wenigen Wochen hat hier in Frankfurt ein Corporate Challenge 40.000 Jogger mobilisiert – eine Welle der Begeisterung ging durch die Stadt. In gleicher Weise sollten wir diese Stadt für ein Challenge der Wissenschaft mobilisieren um Menschen für die Unterstützung der Forschung an der Johann Wolfgang Goethe-Universität – vor allem ihrer Physiker – zu gewinnen. Hierfür brauchen wir nicht nur die großen und bekannten Mäzene – im Gegenteil: Wir alle als Bürger dieser Stadt müssen uns im Rahmen eines neuen, eines intellektuellen Aufbruchs zusammenfinden.

Laudatio

zur Verleihung des

Gernot und Carin Frank-Preises

für die beste physikalische Dissertation des Jahres

an **Ralph Hollinger**

gehalten von

Prof. Dr. Ulrich Ratzinger

Das Thema der Dissertation von Ralph Hollinger lautet „Entwicklung und Untersuchung einer Hochstrom-Ionenquelle zur Erzeugung intensiver, hochbrillanter Protonenstrahlen“.

Was heißt in diesem Fall „intensiv“? Die Ionenquelle erreicht 200 mA Strahlstrom, das ist im Vergleich zu den typischen Werten aus einer Steckdose nicht viel. Wenn aber diese Teilchen anschließend eine Beschleunigungsspannung von 40 Millionen Volt durchlaufen, so steht eine Strahlleistung von 8 Megawatt zur Verfügung! Um derartige, für Dauerstrichbetrieb geeignete Anlagen aufbauen und betreiben zu können, müssen hohe Anforderungen an Strahlqualität und Strahlstabilität gestellt werden. Die in Herrn Hollingers Arbeit angestrebten und auch erreichten Strahlparameter ergaben sich aus dem internationalen IFMIF-Projekt, an dem das Institut für Angewandte Physik beteiligt ist. Zielsetzung ist dabei die Errichtung einer Beschleunigeranlage zur Untersuchung von Neutronenschäden, welche z.B. in den Reaktorkammern von DT-Fusionsreaktoren auftreten würden. Die für solche Reaktoren berechneten Neutronenstrahlungsdichten und das zugehörige Energiespektrum können in der Testanlage mittels beschleunigten Deuterium-Ionen erzeugt werden. Die Ionenquellenentwicklung am IAP konnte dabei ohne Einschränkung der Aussagekraft mit Protonenstrahlen durchgeführt werden.

Die Möglichkeit der Energiegewinnung aus der Verschmelzung leichter Kerne wird international – und in Deutschland auch unter der neuen Regierung – weiterhin experimentell und theoretisch untersucht. Man denke dabei zum Beispiel an das gerade eröffnete, hochmoderne Forschungszentrum in Greifswald. Andere Einsatzmöglichkeiten des von Ralph Hollinger entwickelten Ionenquellentyps sind Spallationsneutronenquellen. Solche Anlagen werden in Zukunft beste und schonendste Strukturanalysen an Makromolekülen in der biologischen Forschung erlauben, da man kleine de Broglie-Wellenlängen und damit gute Ortsauflösung schon bei niedrigen Neutronenenergien erreicht.

Eine weitere Anwendung für intensive, beschleunigte Protonenstrahlen kann die Umwandlung der langlebigen Bestandteile in radioaktiven Abfällen – vorwiegend ausgebrannten Kernbrennstäben

aus Spaltungsreaktoren – werden. All diese Anlagen benötigen als Antrieb intensive Protonenstrahlen mit bezüglich Herrn Hollingers Ergebnissen vergleichbaren Spezifikationen. Diese Arbeit ist ein gutes Beispiel dafür, daß Hochschulinstitute in internationalen Kooperationen mit Großforschungseinrichtungen durchaus interessante und zentrale Teilaspekte erfolgreich und termingerecht bearbeiten können.

Nun möchte ich kurz den wissenschaftlichen Werdegang von Ralph Hollinger skizzieren. Er hat 1991 das Studium der Physik und Mathematik an der Johann Wolfgang Goethe-Universität Frankfurt mit dem Ziel aufgenommen, einmal Gymnasiallehrer zu werden. Dann kam ihm das Fortgeschrittenenpraktikum an unserem Institut in die Quere. Das von Prof. A. Schempp gestellte Thema „Die CNC-gesteuerte Magnetfeldanalyse“ sowie die Atmosphäre im Institut gefielen Herrn Hollinger so gut, daß er nach seinem mit Auszeichnung bestandenen Examen eine Doktorarbeit in der Ionenquellengruppe von Dr. K. Volk begann. Die Früchte dieser Tätigkeit werden ja heute gewürdigt. Inzwischen ist Ralph Hollinger wissenschaftlicher Mitarbeiter der GSI Darmstadt, Hessens einzigem vom Bund betriebenen Großforschungsinstitut. Er ist in der Ionenquellengruppe tätig, und ich bin sicher, daß er so manche Methoden und Kniffe aus dem Frankfurter Labor dort einbringen können wird. Außerdem hoffen wir auf weiterhin gute Zusammenarbeit zwischen beiden Ionenquellengruppen. Seitens des IAP möchte ich Herrn Hollinger unseren Dank für die geleistete Aufbauarbeit aussprechen, auch im Namen von Prof. Horst Klein, meinem Amtsvorgänger, der heute leider nicht dabei sein kann.

Meine besten Wünsche gehen an alle Preisträger und Spender sowie deren Familien.



Verleihung des Gernot und Carin Frank- Preises an Dr. R. Runkel und Dr. St. Hollinger



Verleihung des Michael und Biserka Baum Preises an Prof. H. Roskos

Laudatio

zur Verleihung des

Gernot und Carin Frank-Preises

für die beste physikalische Dissertation des Jahres

an **Steffen Runkel**

gehalten von

Prof. Dr. Alwin Schempp

Herr Runkel, hat mit einer Dissertation mit dem Titel: „*Teilchendynamik in EZR-Plasmen - Untersuchungen von grundlegenden Prozessen in Elektron-Zyklotron-Resonanz-Ionenquellen*“ promoviert. Er hat im Wintersemester 1993 mit dem Studium der Physik an der J.W. Goethe-Universität begonnen, es nach nur 9 Semestern das Diplom mit Auszeichnung erworben und dafür den Heraeus-Förderpreis erhalten.

Ich lernte ihn während des FP-Praktikums kennen und wir konnten ihn für eine Diplomarbeit im gemeinsamen Projekt des Instituts für Kernphysik und des Instituts für Angewandte Physik der neuartigen EZR-RFQ Beschleunigeranlage interessieren. Er hat dort an der EZR-Quelle das Strahl-extraktionsystem aufgebaut und die Strahlemittanzen untersucht.

Auf dieser Arbeit aufbauend, konnte er dann im gleichen Projekt im Rahmen seiner Promotion weiterarbeiten. Herr Runkel war dabei Stipendiat des DFG-Graduiertenkollegs „Physik und Technik von Beschleunigern“, das von den Universitäten Frankfurt, Darmstadt, Mainz und der GSI getragen wird. Er hat dort mehrfach vorgetragen und unsere Gruppe sehr gut repräsentiert.

In diesen Wechselwirkungen kam es durch seine klare, physikalisch fundierte, zielgerichtete und offene Art zu Anerkennung der anderen Stipendiaten und Hochschullehrer im Kolleg, die unsere Einschätzung bestätigte, auch von den bezüglich Frankfurt manchmal etwas eifersüchtig kritischen Kollegen.

Herr Runkel hat in seiner Promotion verschiedene Effekte im Plasma seiner EZR-Quelle untersucht, die die Ladungszustände der Ionen und gleichzeitig die Ausbeute erhöhen sollten und Widersprüche zu in den in der Literatur akzeptierten Erklärungen gefunden.

Diese Widersprüche motivierten sichtbar, den Phänomenen auf den Grund zu gehen. Mit neuen Methoden, z.B. zeitaufgelöst mit Hilfe von Laserablation und Röntgendiagnostik und durch sorgfältige Analyse der Daten konnte er diese Effekte erklären, die natürlich sehr zufällig dem Wunsch der

Experimentatoren nach höheren Ladungszuständen und Ausbeuten folgen. Seine Ergebnisse haben in der Fachwelt eine starke Resonanz gefunden, die unsere Wertung voll bestätigte.

Herr Runkel ist ein hochbegabter junger Physiker, der es gewöhnt ist, im Team zu arbeiten und dabei großen Arbeitseinsatz und viele Ideen einbringt.

Die interessante Frage, was bei Herrn Runkel besonders zum Erfolg beigetragen hat, ist schwer zu beantworten. Sein Elternhaus, seine Familie und die Schule – das Grimmelshausen-Gymnasium in Gelnhausen – sind solide Grundpfeiler. Vielleicht haben die gute Physikausbildung in Frankfurt, die mit sehr vielen internationalen Verbindungen ausgerichtete Arbeitsgruppe, die ihm schon einige Auslandsaufenthalte ermöglichte, oder die Betreuung oder das Gruppenumfeld alle etwas zum Erfolg beigetragen.

Hier in Frankfurt wird bis zum Vordiplom eine breite Gundausbildung mit sehr starkem Gewicht der theoretische Grundlagen geboten. Trotzdem konnte wir ihn für die experimentelle Arbeit begeistern und früh für unsere Arbeitsgruppe gewinnen.

Er war immer aktiv, interessiert, mit dem Willen, den Dingen auf den Grund zu gehen, sich nicht mit schnellen Antworten zufrieden gebend und mit genügend Interessen auch außerhalb der Physik. Es war nicht zu schwer, mehr eine Freude, dies manchmal zu lenken, zu fördern und zu kanalisieren oder ihn anzuspornen.

Wir haben glücklicherweise einige sehr gute und sehr aktive Studenten und Doktoranden, Herr Runkel kann aber schon als „primus inter pares“ bezeichnet werden. Etwas Glück gehört natürlich auch dazu, nach 15 Semestern Studium seine Promotion mit ausgezeichneten Resultaten abzuschließen, dies hat offenbar der hier Ausgezeichnete auch.

Zur Auszeichnung mit dem Gernot und Carin Franck-Preis kann ich Steffen Runkel nur beglückwünschen und ich möchte dies gleichzeitig mit einem Dank an die Stifter verbinden.

Teilchendynamik in EZR-Plasmen

Untersuchungen von grundlegenden Prozessen in Elektron-Zyklotron-Resonanz-Ionenquellen

Steffen Runkel

Die „Physik und Technik von Teilchenbeschleunigern“ ist nicht nur der Name eines Graduiertenkollegs der Deutschen Forschungsgemeinschaft, sondern weist zugleich auf ein zukunftsträchtiges Arbeitsgebiet in den Naturwissenschaften hin. Insbesondere Schwerionenbeschleuniger haben neben den traditionellen Anwendungen in der physikalischen Grundlagenforschung heutzutage ein vielgrößeres und fachübergreifendes Anwendungsfeld erschlossen. Teilchenstrahlen in Form von hochgeladenen Schwerionen werden zum Beispiel in der Atom-, Kernphysik und Materialforschung, aber auch in der Medizin bei der Therapie von Krebstumoren eingesetzt.

An erster Stelle eines Schwerionenbeschleunigers steht immer eine Ionenquelle zur Erzeugung der hochgeladenen Schwerionen. Die Ionenquelle prägt dem Strahl bereits viele charakteristische Eigenschaften auf und wird daher in ihrer Bedeutung oft unterschätzt.

Bei der Erzeugung von hochgeladenen Schwerionen hat sich die Elektron-Zyklotron-Resonanz-(EZR)-Ionenquelle als das zur Zeit am besten geeignete Arbeitsgerät an Beschleunigeranlagen erwiesen. Dieser Ionenquellentyp wird bei allen Großbeschleunigeranlagen wie z. B. bei der Gesellschaft für Schwerionenforschung (GSI) in Darmstadt oder dem Europäischen Kernforschungszentrum (CERN) in Genf eingesetzt.

In EZR-Ionenquellen wird zur Erzeugung der hochgeladenen Ionen ein Plasma mit Hilfe von Mikrowellenstrahlung generiert (Abbildung 1). Dies ist ein quasineut-

rales, gasförmiges Gemisch aus freien Elektronen, Ionen und neutralen Atomen, welche ein kollektives Verhalten aufweisen. Das Plasma wird mit Hilfe von Magnetfeldern eingeschlossen.

Die zu ionisierenden Teilchen werden im gasförmigen Zustand in die Ionenquelle eingebracht. Die hochgeladenen Ionen entstehen durch sukzessive Ionisation durch Stöße von energiereichen Elektronen mit Ionen und Atomen im EZR-Plasma.

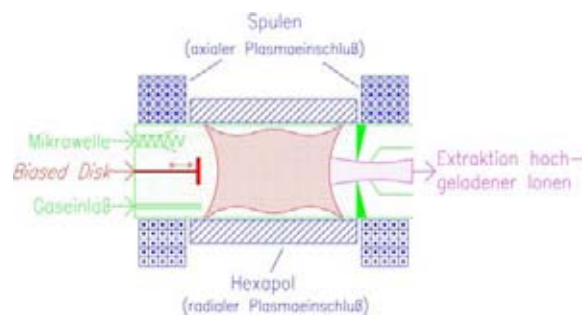


Abbildung 1: Schematischer Aufbau einer EZR-Ionenquelle.

Die Elektronen gewinnen die für die Ionisation benötigte Energie aus der eingestrahlten Mikrowellenleistung durch den Elektron-Zyklotron-Resonanz-Effekt. Hierbei wird den, um die Magnetfeldlinien kreisenden Elektronen resonant Energie aus der Mikrowellenstrahlung zugeführt. Dies geschieht in einigen Bereichen der Ionenquelle besonders effektiv, nämlich dort wo die Gyrationfrequenz der Elektronen um die Magnetfeldlinien gleich der eingestrahlten Mikrowellenfrequenz entspricht.

Die Schwerionenstrahlen entstehen, indem hochgeladene Ionen aus dem Plasma mit Hilfe von elektrischen Feldern beschleunigt und zu einem Teilchenstrahl formiert werden. Zu den charakteristischen Größen, welche die Leistungsfähigkeit einer EZR-Ionenquelle beschreiben, gehören die erreichbaren Ladungszustände, die extrahierten Ionenströme und die Strahlqualität.

Die Erzeugung und Extraktion der Schwerionen beruht auf einem komplexen Zusammenspiel von physikalischen Prozessen aus der Atom-, Oberflächen-, und Plasmaphysik sowie der Elektrodynamik. Dieses komplexe Zusammenspiel von vielen Parametern läßt bislang noch viele Fragen in der Physik und Technik der Ionenquelle unbeantwortet.

Insbesondere werden die häufig angewendeten Methoden zur Steigerung der Ausbeute an hochgeladenen Ionen nicht richtig verstanden. Hierzu zählen die Beschichtung der Plasmakammerwände mit Isolatoren, der Mischgas-Effekt (Beimischung eines leichteren Gases zum eigentlichen Quellengas) und die negativ vorgespannte Scheibe (eine Elektrode in axialer Nähe des Plasmas, *biased Disk*).

Durch herkömmliche Diagnosemethoden wie z. B. das Messen von Ladungsspektren (die von der Ionenquelle extrahierten Ionen werden gemäß ihrer Masse zu Ladungsverhältnissen analysiert) oder durch spektroskopische Methoden kann man nur indirekt Informationen über die Vorgänge im EZR-Plasma gewinnen. Hierbei bleibt vor allem die Dynamik der Prozesse unberücksichtigt.

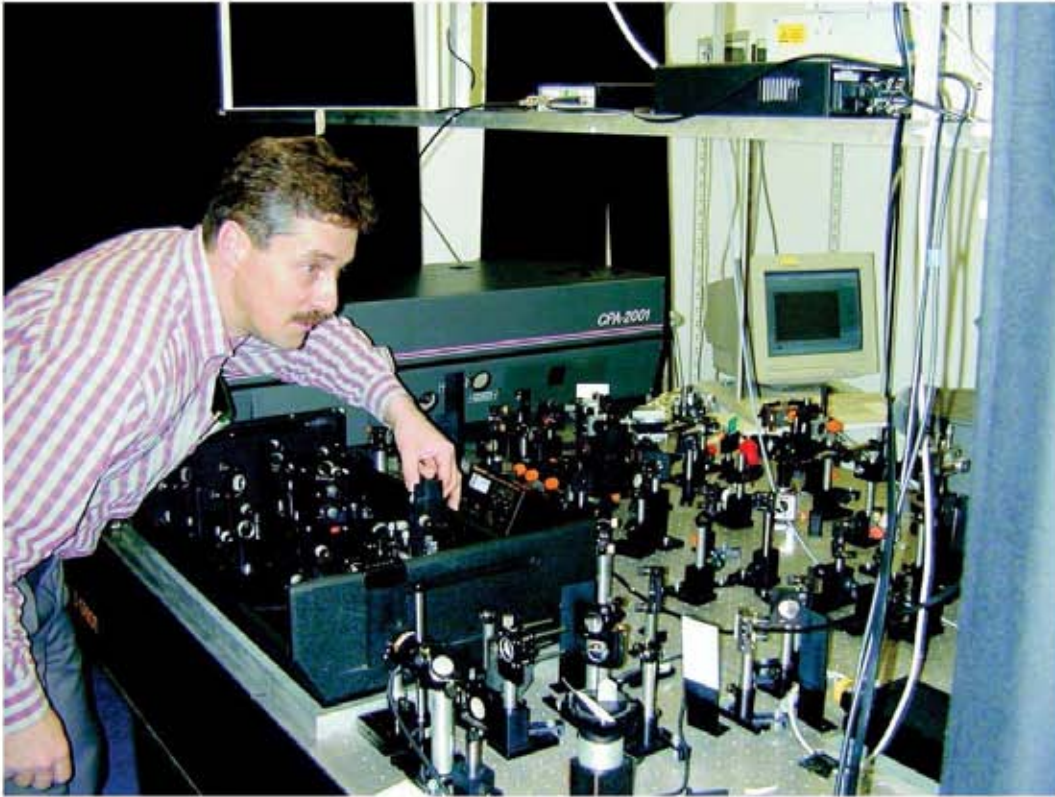
In meiner Doktorarbeit wurden durch die Anwendung von neuartigen Diagnosemethoden neue Erkenntnisse über das EZR-Plasma gewonnen. Als erstaunlichstes Ergebnis wird die bisher vermutete und in der Literatur dargestellte physikalische Wirkungsweise der *biased Disk* nämlich die Erhöhung der Plasmadichte und eine Ver-

besserung des Ionisationsprozesses, widerlegt. Zur Diagnose wurde hierzu erstmals die negativ vorgespannte Scheibe im gepulsten Betrieb eingesetzt, um die dynamische Auswirkung dieser Scheibe auf den Ionisationsprozeß und die Ionenextraktion zu untersuchen.

Als neue Hypothese für die physikalische Auswirkung der negativ vorgespannten Scheibe auf die Ausbeute an hochgeladenen Schwerionen wird eine axiale Elektronenverteilung angenommen. Diese entsteht aus axial oszillierenden Elektronen, welche in einem Potentialtopf zwischen der negativ vorgespannten Scheibe und dem Extraktionsbereich der Ionenquelle eingeschlossen sind. Radial werden diese Elektronen durch die Magnetfeldlinien der beiden Magnetspulen geführt. Diese Elektronenverteilung beeinflußt die Ionendiffusion aus dem EZR-Plasma und die Ionenstrahlformierung im Extraktionsbereich der Ionenquelle positiv.

Dieses Ergebnis wurde durch Messung der Quellenemittanz (Strahlqualität), des dynamischen Ionisationsverlaufes durch Injektionen von kurzen Neutralteilchenpulsen mittels Laserablation, der Spektroskopie der vom Plasma emittierten Röntgenbremsstrahlung und der optischen Spektroskopie des sichtbaren Lichtes bestätigt.

Diese neue Erkenntnis wurde zudem in eine Anwendung umgesetzt. Durch die gezielte Steuerung der Ionenextraktion mit Hilfe der vorgespannten Scheibe (*biased Disk*) kann man gepulste Ionenstrahlen mit bislang nicht erreichten Wiederholungsfrequenzen aus einer EZR-Ionenquelle extrahieren. Die Ionenpulse weisen zudem höhere Intensitäten im Vergleich zur kontinuierlichen Extraktion auf.



Prof. Dr. Hartmut Roskos

Laudatio

zur Verleihung des

Michael und Biserka Baum-Preises

für hervorragende physikalische Arbeit

an **Prof. Dr. Hartmut Roskos**

gehalten von

Prof. Dr. Rainer Jelitto

Der Öffentlichkeit vorgestellt and erstmals verliehen wird heute der neugeschaffene Preis für hervorragende physikalische Arbeit, der von der großzügigen Stiftung des Ehepaares Michael and Biserka Baum getragen wird.

Er geht an unseren Kollegen Hartmut Roskos, der am 14.05.1959 in Freiburg im Breisgau geboren und im März 1997 auf die eine der beiden C4-Professuren für Experimentalphysik am Physikalischen Institut des Fachbereichs Physik an der Johann Wolfgang Goethe-Universität berufen wurde.

Den Preis erhält er für seine herausragenden Arbeiten zum Themengebiet

„Experimenteller Nachweis von Bloch-Oszillationen in Halbleiter-Übergitter-Strukturen und ihre Anwendung in Physik und Technik“.

Felix Bloch hat die Energie-Impuls-Abhängigkeit von elektronischen Ladungsträgern in periodischen Potentialen (Elektronen in Kristallen) studiert. Auf der Grundlage der Blochschen Theorie hat Carl Zener im Jahre 1934 vorhergesagt, dass Elektronen in kristallinen Medien beim Anlegen eines äußeren elektrischen Feldes zu hochfrequenten Oszillationen (Bloch-Oszillationen) angeregt werden würden, wenn nicht Streu-Prozesse innerhalb des kristallinen Mediums die Ausbildung dieser Oszillationen verhinderten. Dies ist eine der natürlichen Anschauung krass widersprechende Aussage. Das Anlegen eines konstanten elektrischen Feldes beispielsweise an einen Kupferdraht führt nach aller Erfahrung zu einem Gleichstrom in dem Draht; nie ist früher beim Anlegen eines Gleichfeldes an den Leiter die Auslösung eines Wechselstromes wohldefinierter Frequenz beobachtet worden.

Die von Zener vorhergesagten Oszillationen beruhen darauf, dass die Elektronen im elektrischen Feld beschleunigt werden und dabei aus dem Feld Energie aufnehmen, so dass ihre deBroglie-Wellenlänge immer kürzer wird. Wird sie schließlich vergleichbar mit der Periode des periodischen Potentials, werden die Elektronen, wie Bloch gezeigt hat, reflektiert. Dadurch werden sie im Feld verzögert, bis ihre kinetische Energie ganz an das Feld zurückgegeben ist. Sodann beginnt der Pro-

zess der Beschleunigung im Feld von neuem, und so fort. Die Frequenz ν_B dieser Bloch-Oszillation ist außer von den Naturkonstanten e und h nur abhängig von der angelegten Feldstärke F und der Periode d der periodischen Struktur: $\nu_B = (e/h)Fd$.

Aus üblichen Laborfeldstärken und den Gitterkonstanten kristalliner Materialien ergeben sich Bloch-Frequenzen in der Größenordnung von Mhz bis 100 GHz. Diese Frequenzen sind deutlich zu niedrig, die entsprechenden Perioden deutlich zu lang, um die wichtigste Voraussetzung für die Ausbildung wirklicher Oszillationen erfüllen zu können: das Ausbleiben von Streuprozessen während der Periode der Oszillation. Dafür wäre es erforderlich, die Oszillationsfrequenz in den TeraHertz-Frequenzbereich zu verschieben.

Esaki und Tsu haben deshalb zu Beginn der 70er Jahre vorgeschlagen, zum experimentellen Nachweis der Bloch-Oszillation als periodische Struktur strukturierte Halbleiterschichten mit um den Faktor 10 bis 100 größeren Periodizitäts-Intervallen d als die kristalline Gitterkonstante heranzuziehen.

Erstmals im Jahre 1993 – und somit fast 60 Jahre nach ihrer theoretischen Vorhersage – ist es *H. Roskos und Mitarbeitern* gelungen, (Phys. Rev. Lett. 70, 3319-3322 (1993) und Nachfolge-Arbeiten) alle damit verbundenen Schwierigkeiten zu überwinden und die Bloch-Oszillation in einer Halbleiter-Übergitter-Struktur, bestehend insgesamt aus 35 Perioden von abwechselnd 6,7 nm dicken Schichten aus Gallium-Arsenid und 1,7 nm dicken Schichten aus Aluminium-Gallium-Arsenid direkt experimentell nachzuweisen. Darüberhinaus konnte Herr Roskos schon in den ersten Publikationen demonstrieren, dass Bloch-Oszillationen in Halbleiter-Übergitter-Strukturen als Quelle für abstimmbare elektromagnetische Submillimeterwellen-Strahlung benutzt werden können.

Anwendungen dieser Submillimeter- oder TeraHertz-Strahlung in der Physik und in der Technik stehen im Vordergrund von Herrn Roskos' Interesse. Ein Publikationsverzeichnis mit 110 Veröffentlichungen, davon 15 aus der Zeit seit seiner Berufung nach Frankfurt, legen davon Zeugnis ab. 4 Patent-Anmeldungen kommen hinzu.

Erwähnt seien:

- Untersuchung von Bloch-Oszillationen in Halbleiterschichten zum Studium von elektronischen Vielteilchen-Wechselwirkungen im festen Körper: Zusammenwirken von Coulomb-Wechselwirkung, Exciton-Wechselwirkung und Bloch-Wechselwirkung im elektrischen Feld (Phys. Rev. Lett. **78**, 2232-2235 (1997),
- Entwicklung ultraschneller optoelektronischer Bauelemente (IEEE Journal of Selected Topics in Quantum Electronics **2**, 586-604 (1996),
- Entwicklung kohärenter Phononen-Quellen (submitted to Phys. Rev. B, und Phys. Rev. Lett. **74**, 738-741) (1995)),

- Nachweis eines „kohärenten Hall-Effektes“ in Festkörpern (in Vorbereitung für Phys. Rev. Lett.),
- Untersuchungen zur Entwicklung eines TeraHertz-Lasers.

Durch profunde Sachkenntnis, hohe Experimentierkunst und unermüdliche Beharrlichkeit ist es Herrn Roskos gelungen, ein wichtiges und über 5 Jahrzehnte offenes Problem der Festkörperphysik, in dem Theorie und Experiment untrennbar verknüpft sind, nicht nur zu lösen, sondern auch der technischen Anwendung zuzuführen.

Sowohl in seinem Forschungsansatz als auch in dem Erfolg, den dieser zeitigte, sehen der Verein für physikalische Grundlagenforschung und der Fachbereich Physik der Universität Frankfurt hervorragende Leistungen auf dem Gebiet der Physik, die des zu verleihenden Preises in hohem Maße würdig sind.

(Manuskript unter Verwendung eines Entwurfs von W. Martienssen)



Verleihung der Stefan-Lyson-Professur an Prof. Dr. Horst Schmidt-Böcking



Verleihung der Judah M. Eisenberg-Professur an Prof. Reinhard Stock

Laudatio

zur Verleihung der

Stefan Lyson-Stiftungsprofessur

an **Prof. Dr. Horst Schmidt-Böcking**

gehalten von

Prof. Dr. Reiner Dreizler

Ich habe die Stefan Lyson-Professur für zwei Jahre inne gehabt. Mit meiner Emeritierung geht sie an den Frankfurter Förderverein für Physikalische Grundlagenforschung zurück. Es ist mir ein besonderes Anliegen, mich noch einmal bei den Stiftern der Stefan Lyson-Professur recht herzlich für die mir gewährte, äusserst großzügige Unterstützung während der letzten zwei Jahre zu bedanken.

Ich freue mich sehr, Ihnen meinen Nachfolger für diese Laureatus Professur vorzustellen: Es ist Professor Horst Schmidt-Böcking.

Horst Schmidt-Böcking hat in Würzburg und in Heidelberg studiert, ist 1974 nach Frankfurt gekommen und unserer Universität, bis auf einen anderthalbjährigen Gastaufenthalt in Berlin, treu geblieben. Verschiedene Universitäten in Deutschland, in Holland und in den Vereinigten Staaten haben versucht, ihn aus Frankfurt wegzulocken. Sein großes internationales Ansehen äussert sich in einer guten Anzahl von Ehrungen:

- dem Max-Planck Preis der Humboldt-Stiftung,
- der Ernennung zum Adjunct Professor an zwei amerikanischen Universitäten,
- der Wahl zum „Fellow“ der American Physical Society
- der Auszeichnung „Eminent Scientist“ in Japan.

Seine Forschungsaktivitäten hat er in fast 300 Veröffentlichungen und einer noch größeren Anzahl von Tagungsbeiträgen niedergelegt. Diese Aktivitäten umfassen fast alle Facetten der modernen, experimentellen Atomphysik, einer Disziplin, die in vielen Bereichen von der Materialforschung über die Fusionsplasmen bis in Physik des Kosmos eine grundlegende Rolle spielt. Von den vielen Bereichen, die er im Verlaufe seiner Tätigkeit bearbeitet hat, erwähne ich nur einige Beispiele

- Die Untersuchung der molekularen Röntgenstrahlung, einer Methode um atomare Stoßprozesse im Detail auszuloten.
- Zahlreiche Beiträge zu Ionisationsprozessen, dem Herausschlagen von Elektronen aus dem Atom- oder Molekülverband. Diese Prozesse spielen in der Natur eine entscheidende Rolle, zum Beispiel bei der Diskussion von Strahlenschäden und bei der Entwicklung von Fusionsreaktoren.
- Die Produktion von hochgeladenen Ionen. Diese werden bei der Untersuchung von grundlegenden Eigenschaften der Materie ebenso eingesetzt wie bei der Krebstherapie.

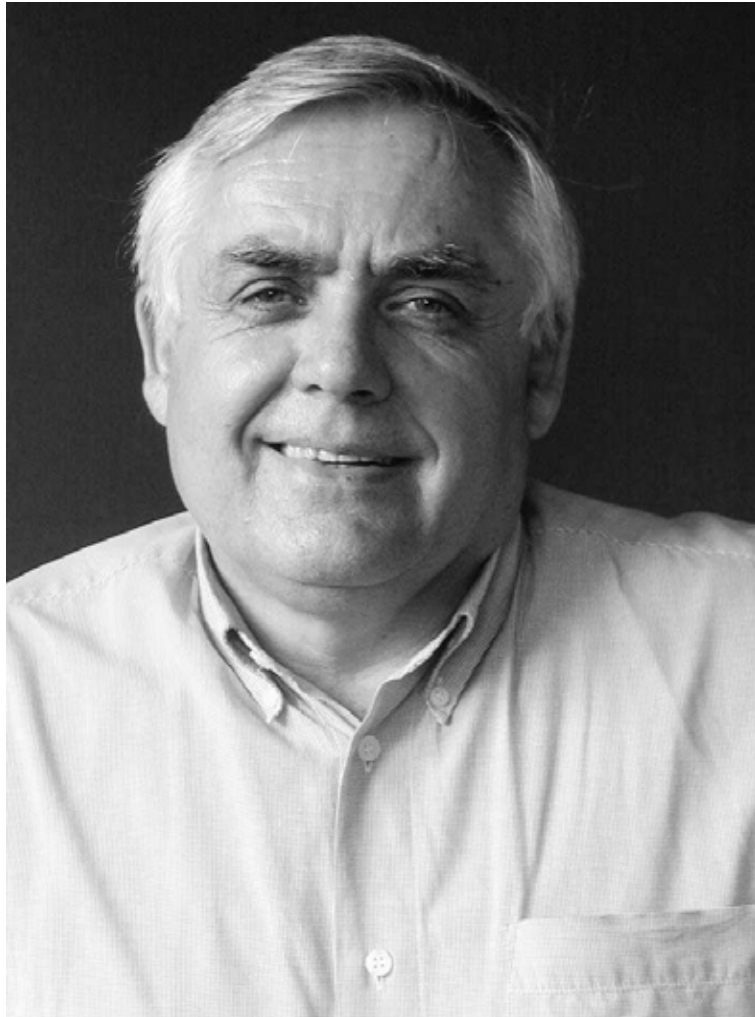
Etwas pauschaler kann man sagen, dass Horst Schmidt-Böcking durch eine Vielzahl von innovativen Experimenten mit Photonen, Elektronen und hochgeladenen Ionen wesentliche Beiträge zum Verständnis der atomaren Struktur der Materie geleistet hat.

In den letzten Jahren hat sich eine von ihm und seinen Mitarbeitern entwickelte Messtechnik, das COLTRIMS-Verfahren, weltweit durchgesetzt. COLTRIMS steht für cold target recoil ion momentum spectroscopy, frei übersetzt Rückstoßionenimpulsspektroskopie mit hoher Auflösung (da mit kaltem Target). Mit diesem Verfahren, einer modernen Variante der ehrwürdigen Nebelkammer, ist es möglich, atomare Prozesse in absolut effizienter Weise auszuloten. Das bedeutet auch, dass man damit Prozesse untersuchen kann, die man mit herkömmlichen Methoden gar nicht oder nur mit einem ungeheuren Zeitaufwand beleuchten könnten.

Ich möchte das Verfahren kurz andeuten. Die geladenen Teilchen (positiv geladene Ionen und negativ geladene Elektronen), die in der Reaktionszone entstehen, werden mittels genau bekannter elektrischer Felder auf positionssensitive Detektoren geleitet. Aus den Auftreffpunkten, der Flugzeit und der Kenntnis der Felder kann man die Information gewinnen, die letztlich interessiert. Es ist die Verteilung der Geschwindigkeiten und der Richtungen mit denen die Reaktionspartner die Reaktionszone verlassen. Aus solchen Wahrscheinlichkeitsverteilungen kann man lernen, wie derartige Elementarprozesse ablaufen.

Mein Bericht wäre unvollständig, wenn ich nicht die geschäftige und doch entspannte Atmosphäre in der Arbeitsgruppe von Horst Schmidt-Böcking erwähnen würde. Er versteht es, wie kein anderer, die jungen Leute zu begeistern, ihnen die komplexesten experimentellen Methoden wie nebenbei zu vermitteln. Diese Atmosphäre, die sich auch in unserem gemeinsamen langjährigen Seminar bei „Fragen aus der Atomphysik“ niedergeschlagen hat, habe ich sehr geschätzt.

Mit der Verleihung der Stefan Lyson-Professur ehren wir einen bedeutenden und renommierten Forscher und einen engagierten Hochschullehrer. Möge er noch viele Jahre in der Physik tätig sein.



Horst Schmidt-Böcking, Stefan Lyson Professor

Dynamikmikroskop für die Atom- und Molekülphysik oder wie bewegen sich Elektronen in Atomen und Molekülen

Im letzten Jahrhundert wurden in der Physik beeindruckende Mikroskopsysteme entwickelt, die alle Bereiche der Naturwissenschaften entscheidend beeinflusst haben. Hier sind vor allem die Elektronen- und Tunnelrastermikroskope zu nennen, für die 1986 an drei europäische Forscher Nobelpreise vergeben wurden. Mit diesen Mikroskopen kann man heute einzelne Atome an Oberflächen im Detail sichtbar machen und ihre statischen Eigenschaften untersuchen.

Die Bewegung der Elektronen oder der Kerne im Atom jedoch können damit nicht beobachtet werden, da diese Bewegungen auf Zeitskalen ablaufen, die noch ca. 1000 mal kürzer sind als die heute erreichbaren kürzesten Laserpulse im Femtosekundenbereich. Licht würde in dieser Zeit (wenige Attosekunden) nur den hunderttausendsten Teil eines Haares durchqueren können. Wäre die mikroskopische Welt nur stationär, würden keine physikalischen oder chemischen oder auch biologischen Prozesse ablaufen und es gäbe in dieser Welt kein Leben. Die mikroskopische Welt im Atom ist voller Bewegung und die Bewegung von Elektronen in Atomen oder Molekülen ist vermutlich hoch korreliert. Diese korrelierte Bewegung ist bisher unserer Beobachtung fast völlig verschlossen geblieben. Aus indirekten Beobachtungen haben wir uns jedoch mit Hilfe der Theorien Bilder über den Ablauf solcher Reaktionsprozesse gemacht und versucht, diese Korrelationen zu verstehen. Da außerdem uns die traditionelle Quantenmechanik lehrt, dass man prinzipiell diese Bewegung in Atomen nicht direkt beobachten kann, da erstens keine genügend orts- und zeitauflösende Mikroskopmethode existiert, und wenn ja, so würde man die Bewegung dabei so stark stören, dass man nur die Zerstörung sehen würde, haben sich die meisten Physiker damit abgefunden, dass die Geheimnisse solcher Korrelationen nur mittels der Theorie indirekten Daten zu entschlüsseln sind.

Solche Lehrsätze brauchen jedoch nicht immer richtig zu sein. Manchmal kann man Wege finden, diese Lehrsätze etwas außer Kraft zu setzen. Man kann heute mit den modernen Beschleunigerstrukturen (Ionenbeschleuniger bei der GSI-Darmstadt oder Synchrotronstrahlungsanlagen bei BESSY/Beilin) Atome oder Moleküle so störungsfrei in seine eigenen Bestandteile fragmentieren, dass dabei die innere korrelierte Bewegungsstruktur der Elektronen und Kerne kaum oder nur wenig gestört wird. Ferner muß man erreichen, dass die Beobachtungsgeräte (Messapparaturen) selbst in absoluter Ruhe sind. Diese trifft vor allem auf das Untersuchungsobjekt (Atom oder Molekül) als Ganzes zu. Dies kann man heute mit modernen Kühltechniken wie mit einem sogenannten Ultraschallgasstrahl oder mit Laserkühlung erreichen. Wenn man einen solchen Fragmentationsprozess eines Atoms oder Moleküls aber so durchführen kann, daß die korrelierte Bewegungsstruktur der Teilchen im Atom sich durch diese Störung des sehr schnellen Ionenstrahls kaum ändert, so halten die Elektronen und Kerne weitgehend ihre vor dem Stoß besitzende Geschwindigkeit bei und fliegen fast ungestört davon, wie ein PKW in einer Kurve, wenn der Fahrer das Steuern vergisst. Kann der Physiker nun alle wegfliegenden Teilchen koinzident detektieren und von allen Teilchen mit guter Auflösung deren Geschwindigkeit (Impuls) messen, dann kann er sich ein direktes Bild von der im Atom vorhandenen Bewegungskorrelation aller Teilchen machen. Er hätte damit ein Instrument, das ihm erlaubt, die korrelierte Bewegung in Atomen zu messen, d.h. er hätte ein Dynamikmikroskop erfunden. In der Hochenergiephysik gibt es mit der Nebelkammer oder der Blasenkammer experimentelle Geräte, die durch Vermessen aller Teilchenspuren solche Bewegungskorrelationen in einer Reaktion messen können und damit im Prinzip ein solches

Mikroskop darstellen. In der Hochenergiephysik geht dies, da die Teilchen auf Grund ihrer sehr hohen Energien in der Blaskammer sichtbare Spuren erzeugen. Für die sehr niederenergetischen Atom- oder Molekülfragmentierungen kann eine solche Blaskammer jedoch niemals zur Beobachtung verwendet werden.

Seit Beginn der 80-iger Jahre hat unsere Arbeitsgruppe an der Universität Frankfurt ein solches Dynamikmikroskop für atomare und molekulare Fragmentationsprozesse entwickelt und damit quasi eine neuartige Blaskammer für die Atomphysik geschaffen. Dieses Dynamikmikroskop wird **COLTRIMS** genannt. Dieses Synonym steht für *COLd Target Recoil Ion Momentum Spectroscopy*. Es kann gleichzeitig alle Fragmente (z. Zeit werden bis ca. 10 Teilchen in einer Reaktion nachgewiesen) mit sehr hoher Effizienz nachweisen und ermöglicht dabei eine so hohe Impulsauflösung, dass man auch die Zitterbewegungen der Kerne in den Atomen sehr präzise betrachten kann.

In Abbildung 1 ist schematisch ein solches Mikroskop dargestellt. Die niederenergetischen geladenen Fragmente (blaue und rote Kugeln) werden durch schwache elektrische oder magnetische Felder auf ortsauflösende Detektoren (blaue und rote Scheiben) projiziert und deren Auftreffort und Flugzeit seit der Fragmentierung sehr genau bestimmt.

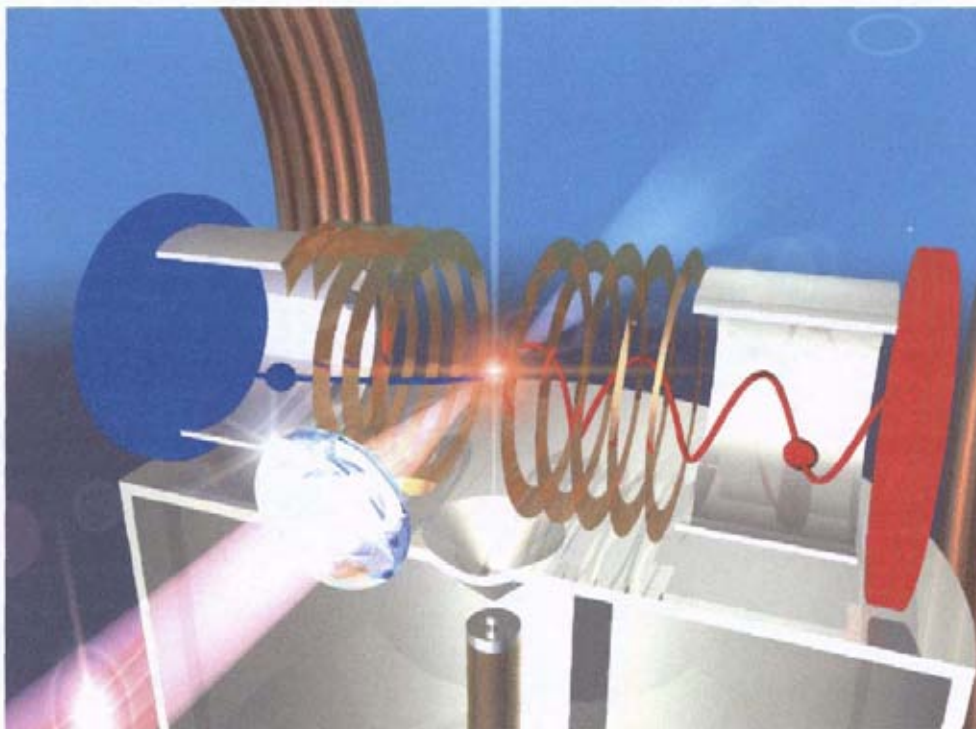


Abbildung 1: Schema des COLTRIMS-Mikroskops

Aus Ort und Flugzeit kann man den Anfangsimpuls jedes Teilchens sehr genau berechnen und damit mit Hilfe sehr schneller Elektronik und Computer gestützter Datenerfassung sich die korrelierten Bewegungsbilder erzeugen. Da die zu fragmentierenden Atome oder Moleküle im Atomstrahl unter 1 K° vorgekühlt wurden, werden sehr hohe Impulsaufösungen erzielt. Das neue COLTRIMS-Verfahren kann damit Bewegungsstrukturen erkennen, die im Attosekundenbereich ablaufen. Damit werden erstmals Einblicke in Bewegungs-Korrelationen möglich, von der die Atom- und Molekülphysiker lange nicht zu träumen wagten. Abb. 2 zeigt die weglafende Elektronen- oder He^{1+} -Rückstoßionenwelle (ca. 1 Million unabhängige Fragmentierungen wurden hier zu einem Bild addiert, die Farben geben die Intensitätsverteilungen

an) nach Absorption von einem UV-Photon (80eV Energie) durch ein He-Elektron im He-Grundzustand (Photoeffekt). Der Abstand vom Impulsmittelpunkt (0,0) gibt quasi die Elektronengeschwindigkeit an.

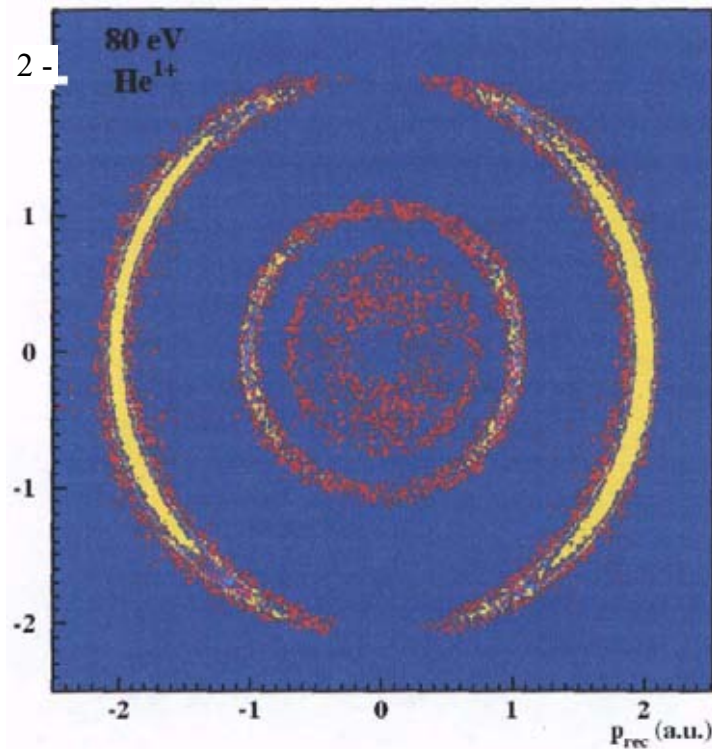
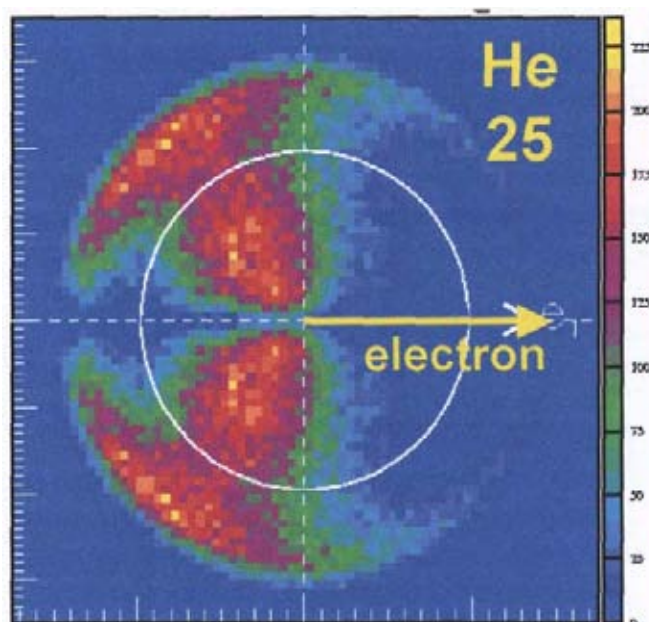


Abbildung 2: Elektronen-(Rückstoßionen)-Impulsverteilung (Ebene senkrecht zum einfallenden Photon)

Man sieht unterschiedliche Ringe, die zu unterschiedlichen Geschwindigkeiten gehören. In Abb. 3 werden Elektronenverteilungen (d.h. Geschwindigkeitsdarstellungen) für den Fall der Doppelionisation gezeigt, wo beide Elektronen durch ein Photon wegen der Elektronenkorrelation im He-Atom gleichzeitig emittiert werden. Die Emissionsrichtung des ersten Elektrons wird durch den Vektor dargestellt. Die Farbverteilung repräsentiert die dazu

Abbildung 3: siehe Text



Korrelierte Geschwindigkeitsverteilung des zweiten Elektrons (gelb=höchste Intensität). Die Photonenergie betrug 104eV.

In Abb. 4 wird die Elektronenintensitätsverteilung für die Emission eines K-Schalenelektrons aus einem in der z-Achse ausgerichteten CO-Moleküls gezeigt. Das Elektron wird durch ein zirkulär polarisiertes Photon ionisiert (Einfallrichtung und Photondrehimpuls in Richtung der Spirale). Mit dieser COLTRIMS-Messtechnik kann so die innere Potentialstruktur von Molekülen in bisher nicht erreichter Vollständigkeit gemessen werden. Da auch die nachfolgenden Augerelektronenimpulse koinzident dazu vermessen werden, kann die Moleküldynamik Subfemtosekundenbereich untersucht werden.



Abbildung 4: Elektronenintensitätsverteilung (der Abstand vom Reaktionszentrum gibt die Intensitätsstärke für die Elektronenverteilung an) für die Emission eines K-Schalenelektrons aus einem in der grünen Achse ausgerichteten CO-Moleküls

Die COLTRIMS-Technik hat derweil Einzug in viele **labs** in allen Kontinenten der Erde gehalten und es konnten damit von zahlreichen Gruppen weltweit neue fundamentale Experimente in der Atom- und Molekülphysik durchgeführt werden. In Frankfurt arbeiten zur Zeit ca. 25 junge Wissenschaftler an Untersuchungen, wo einige solcher COLTRIMS-Mikroskope zum Einsatz kommen. Zweimal in den letzten 5 Jahren wurden COLTRIMS Arbeiten unter den Highlights der American Physical Society aufgeführt. Ferner **wurde** für diese COLTRIMS-Entwicklung Joachim Ullrich (1987 mit der Entwicklung von COLTRIMS in Frankfurt promoviert und 1995 damit in Frankfurt habilitiert, seit 1.4. 2001 Direktor am MPI für Kernphysik in Heidelberg) 1999 mit dem Leibniz-Preis und 1991 C.L.Cocke und H.Schmidt-Böcking gemeinsam für diese Entwicklungsarbeit mit dem Max-Planck-Forschungspreis ausgezeichnet.

Diese Arbeit wurde durch die DFG, das BMBHje GSI-Darmstadt, Humboldt-Stiftung, sowie durch das Graduiertenprogramm der DFG und des Landes Hessen unterstützt.

Frankfurt, den 10.9.2001

Address

by

Prof. Dr. Jechiel Lichtenstadt

Chairman, School of Physics and Astronomy, Tel Aviv University

President Steinberg

Ministerialdirigent Wolf

Dean Maentele

Our host The VEREIN represented by Prof. Greiner

Ms. Nilly Amit-Eisenberg

Rabbi & Mrs. Landes

Ladies and Gentlemen,

It has been 3 years since the passing away of our friend and colleague Professor Judah Eisenberg. Judah was such a man that one cannot forget. He was not only an excellent physicist, but an intellectual giant and a university professor in the true sense of the word. His research covered a wide range of topics in nuclear physics, such as pion, skyrmion models, spin structure functions, just to mention a few, which nevertheless did not reduce the depth of his insight.

He was a superb teacher and lecturer, who would introduce the physics to this audience without getting them lost in mathematical formulae or derivations. This was further reflected, in his writing, and the 3 volume monograph he wrote with Prof Greiner, is probably his most outstanding legacy and testimony to his talents.

Judah's interests extended beyond physics, and he was erudite in many fields of science, history (Jewish history to be exact) and literature.

When talking about Judah, I cannot refrain from mentioning my personal feelings and experience. These go back to my early days as a graduate student, when I turned to him for advice where to continue my graduate studies and education. Then as a young faculty member, he was the person with whom to discuss new ideas, experiments and/or results, and of course, the curriculum of a new course one had to prepare.

Judah's sensitivity could always spot one in a difficult time, inquire and give advice or a word of encouragement. All these I can say from my own personal experience.

These virtues were well recognized at the university at large, where he was elected the Dean of

the Faculty of Exact Sciences and later to become the Vice Rector, as well as abroad, including this University which awarded him an honorary doctorate.

I would like to conclude with my sincere compliments and thanks to Dr. Nikolaus Hensel and his wife Katherine, for endowing the Judah Eisenberg Chair and to Prof Greiner for his tremendous efforts which he has put in setting it up. In my opinion, it is the most beautiful way to memorize Judah. Chairs, are normally endowed by and bear the names of philanthropists, whose care for high education and learning we all well appreciate. However, this Chair is special, since it bears the name of a great man, a model professor with whom we could all identify and whose leadership we wanted to follow. For this, Dr. Hensel, I would like to express on behalf of my colleagues and myself our special thanks and gratitude.

Last but not least, I would like to congratulate Prof. Reinhard Stock, the first incumbent of the Chair, and wish him many years of fruitful research and achievements.

Address

by

Rabbi Aaron Landes, D.H.L., D.D.

Rear Admiral, Chaplain Corps, U. S. Navy

Friends,

It is an honor for me as a rabbi and an Admiral, Chaplain Corps, United States Navy, to address you as you dedicate the Professor Judah Moshe Eisenberg Chair in Physics at this great, world-class university.

As Judah Eisenberg's brother-in-law, I speak for his wife, Nilly and his sister, Sora, who are present, his mother, Rose Eisenberg who, unable to travel, sends her greetings from New York City and his Israeli children, Deborah, Nomi and Daniel.

I want to express appreciation to you in behalf of Professor Judah Eisenberg, of blessed memory, and on behalf of his family.

We want to thank especially Professor Walter Greiner, who initiated this endowed chair and Dr. Nikolaus Hensel who helped to make it a reality and all those who contributed to this day.

Jewish tradition, which I represent, helps to define what happens here today. There is the religious

value called HESSED SHEL EMET, the ultimate act of loving kindness, which is the good that we do for the deceased because the beneficiary can never reciprocate. The Professor Judah Eisenberg Chair in Physics is an outstanding example of HESSED SHEL EMET, an act of ultimate loving-kindness.

This memorial to Dr. Judah Moshe Eisenberg, who was the Yuval Neeman Professor of Physics at Tel Aviv University and the Vice Rector of the university, at Johann Wolfgang Goethe University, Frankfurt am Main is a remarkable testimonial to the humanitarian vision of the leaders of this university and to the values and ideals of Professor Eisenberg.

Professor Eisenberg, a world-class theoretical physicist, believed that a scientist has the responsibility to improve both the physical world and the human society, which we all share. To that end, he built special relationships with scientists, world over, including physicists from Egypt and Palestine. He worked collaboratively with them and with his dear friend and colleague, Dr. Walter Greiner, of this university.

In all of this, I see the hand of God. When Professor Eisenberg began his academic career with an endowed chair at the University of Virginia, Professor Greiner spent a sabbatical at the University of Virginia. A remarkable friendship resulted. It led to the joint writing of three textbooks on theoretical physics that have become classics in the field. These volumes in both English and Russian adorn our library though neither my wife nor I understand them.

A second friendship must be noted. Dr. Nikolaus Hensel, when he came from Berlin to Frankfurt am Main, met a young Israeli, Daniel Melchet, who became his close friend. This friendship led to Dr. Hensel's interest in Israel and Tel Aviv University.

In my view, we see the hand of God in these special friendships and the dedication today that these friendships have brought about.

I pray that God bless all of you and this great university for your HESSED SHEL EMET, your act of ultimate loving-kindness that we celebrate today. May you continue with your academic excellence and your dedication to the welfare of humanity.



Laudatio

zur Erstverleihung der

Juda Moshe Eisenberg-Stiftungsprofessur

an **Prof. Reinhard Stock**

gehalten von

Prof. Dr. Horst Stöcker

Sehr geehrter Herr Präsident, Herr Dekan, Herr Ministerialdirigent, Herr Vorsitzender, liebe Stifterfamilien, dear Nilly Eisenberg, liebe Heide, lieber Reinhard, liebe Kollegen und Festgäste,

es ist mir eine grosse Ehre und ein besonderes Vergnügen heute zur erstmaligen Verleihung der Judah Moshe Eisenberg Stiftungsprofessur des Vereins für Physikalische Grundlagenforschung und des Fachbereichs Physik die Laudatio auf den ersten Preisträger, Herrn Kollegen Reinhard Stock halten zu dürfen.

Die großzügige Spende eines Frankfurter Freundes von Judah Eisenberg hat diese Auszeichnung hier und heute ermöglicht. Wir danken dem Spender ganz herzlich, denn er hat mit dieser Initiative unserem Freund und Ehrendoktor, Judah Eisenberg, ein bleibendes Denkmal hier an der Goethe-Universität gesetzt.

Lassen Sie mich zunächst einige Worte zu Leben und Werk Judah Eisenbergs sagen. Judah war ein umfassend gebildeter und belesener Gelehrter, vielseitig interessiert an philosophischen, philanthropischen und politischen Fragen, die Grundlagen dazu hat er wohl aus dem Elternhaus mitgebracht – sein Vater war Rabbi. Aber er liebte auch Trivia, war ein begeisterter James-Bond-Fan, er vermisste keine Neuerscheinung dieser Actionfilme! Er half seinen Mitmenschen wo er konnte, blieb immer freundlich und aufgeschlossen. Seinen letzten Auslandsaufenthalt verlebte er hier in Frankfurt, wo er als Humboldt-Preisträger eine intensive Forschungszusammenarbeit mit unserer Gruppe verbrachte. Insbesondere arbeitete er mit Stefan Schramm und graduierten Studenten aus unserem Institut an chiralen Modellen und an Abstrahlungsmodellen aus dem Quark-Gluon-Plasma, insbesondere für Pionen und Kaonen, sogenannten seltsamen Mesonen. Wir können es bis heute noch nicht fassen, dass er unmittelbar nach seiner Rückkehr aus Frankfurt in Tel Aviv innerhalb von Tagen einer heimtückischen Krankheit erlag.

Judah Eisenberg wurde 1938 in Cincinnati geboren und wuchs in Brooklyn (New York) auf. Er studierte an der Columbia University und am MIT, wo er 1962 bei Kerson Huang mit einer Arbeit

über den Zerfall von Σ_0 -Mesonen promovierte.

Er ging als junger Postdoc für Theoretische Kernphysik nach Los Alamos von wo aus er nach kurzer Zeit auf eine Assistenzprofessur an der University of Virginia berufen wurde. Seine Arbeiten zur Theorie der photonuklearen Physik und zur Pionenphysik trugen ihm in den folgenden Jahren höchste internationale Reputation ein. Auch sein dreibändiges Lehrbuch "Nuclear Theory" mit Walter Greiner wurde schnell ein international bekannter Klassiker. Judah wurde von etlichen Universitäten umworben, erhielt rasch Tenure in Virginia und wurde auch Chairman des Department of Physics. Während dieser Zeit veröffentlichte er zahlreiche Arbeiten zu kernphysikalischen Themen mit dem Schwerpunkt auf Pion-Kern-Reaktionen und Spin-Isospin-Anregungen in Kernen.

Judah ging dann für ein Jahr auf eine Gastprofessur an die Tel Aviv University. In dieser Zeit wurde er in Virginia zum Francis Henry Smith-Professor berufen. Nach einem weiteren Gastaufenthalt in Israel entschied er sich im Jahr 1975 trotz der herausgehobenen Stellung, die er in der US-amerikanischen Community innehatte, nach Israel auszuwandern. Er wurde zum Visiting Professor an der Hebrew University in Jerusalem berufen, wo ihn schon nach kurzer Zeit der Ruf an die Professur für Theoretische Kernphysik an die Universität von Tel Aviv ereilte. Schon im Jahre 1983 wurde Judah Eisenberg dort zum Yuval Ne'eman-Professor ernannt.

In Tel Aviv leitete er die Theoriegruppe und befasste sich insbesondere mit Quarkmodellen der Hadronen und mit chiraler Symmetrie. In seinen letzten Jahren arbeitete Judah über die Nukleon-Nukleon-Wechselwirkung im Skyrmion-Modell, über die Quark-Paarerzeugung im Quark-Gluon-Plasma und über Fragen der relativistischen Transporttheorie.

Neben seinen grundlegenden theoretischen Arbeiten legte Judah auch größten Wert auf die akademische Lehre, selten lernt man einen solch begnadeten Lehrer kennen. Der akademischen Selbstverwaltung hat er sich trotz all dieser Belastungen nicht entzogen, er war Chairman des Physics Departments, Dean of Science und schliesslich Vizerektor seiner Universität.

Judah war ein großer Gelehrter, aber noch viel mehr war er ein grossartiger Mensch. Wir danken dem Stifter der Professur aus ganzem Herzen, dass er sie zu Ehren von Judah Eisenberg eingerichtet hat.

Sie werden sich wundern, dass heute ein Experimentalphysiker mit der Judah-Eisenberg-Stiftungsprofessur ausgezeichnet wird. Wo sind die Parallelen in der experimentellen Arbeit von Reinhard Stock mit den theoretischen Arbeiten Judah Eisenbergs? Nun, genau wie durch das wissenschaftliche Leben Judahs zieht sich durch Reinhard Stocks Biografie die Forschung an und mit Pionen. Reinhard Stock hat in Heidelberg bei Rudolf Bock über Schwerionenreaktionen promoviert, ging für einige Jahre als Postdoc in die Biophysik nach USA (University of Pennsylvania) und kam dann zurück nach Deutschland auf die Vertretung der Professur von Rudolf Bock in Marburg.

Reinhard Stock gründete mit Rudolf Bock, Art Poskanzer und Hans Gutbrod die GSI-LBL-Kollaboration am BEVALAC Beschleuniger den unser Ehrendoktor Herrmann Grunder durch Kombination eines Schwerionenbeschleunigers (Superhilac) mit einem Protonenbeschleuniger (Bevatron) zum ersten dedizierten relativistischen Schwerionenbeschleuniger der Welt zusammengefügt hatte. Reinhard Stock war gemeinsam mit unserem Senior hier im Kreis, dem Kollegen Erwin Schopper, sowie mit Harry Heckman einer der Pioniere der relativistischen Schwerionenexperimente. Seine Arbeiten am Bevalac waren führend in der Welt. Nach anfänglichen einfachen Single-Arm-Experimenten, die nicht auf zentrale Stoßparameter triggern konnten, setzte Reinhard Stock bald auf 4π -Detektoren und entwickelte mit Howell Pugh zusammen die Streamertechnik für schwere Ionen entscheidend weiter.

Seine Arbeiten als Leiter der GSI-LBL-Kollaboration trugen maßgeblich zur Entdeckung der Pionisation der gestoppten, heißen und komprimierten hadronischen Ursuppe bei, wie sie von den Frankfurter Theoretikern um Walter Greiner und Werner Scheid schon in den frühen siebziger Jahren vorhergesagt worden waren. Basierend auf theoretischen Studien aus der Greinerschen Gruppe konnte Reinhard Stocks Team erstmals eine Abschätzung für die Kompressionsenergie der Kernmaterie bei 2...4-facher Dichte angeben. Die Idee war ganz einfach: durch die Kompressionsenergie werden dem System thermische Freiheitsgrade verwehrt, sodass es weniger Pionen produzieren kann als im Falle einer weichen Zustandsgleichung.

Mit dem Streamer-Chamber-Detektor wurden in Stocks Gruppe auch nahezu gleichzeitig mit den Plastikball-Experimenten von Hans Gutbrod Beweise für die Existenz des lange Zeit verleugneten kollektiven Flusses der explodierenden superdichten Kernmaterie in relativistischen Schwerionenstößen gefunden, für die Erwin Schopper zehn Jahre zuvor am Bevalac erste, statistisch aber nicht genügend untermauerte Hinweise beobachtet hatte.

Reinhard Stock wandte sich Mitte der achtziger Jahre den noch höheren Energien zu: er initiierte mit R. Bock und H. Gutbrod die ersten Beschleunigerbauten und Experimente für das ultrarelativistische Schwerionenprogramm am CERN. Hier, bei 100 mal höheren Strahlenergien als am Bevalac, wurden noch höhere Temperaturen (bis zu einer Million mal höhere Temperaturen als im Inneren der Sonne: zweitausend Milliarden Grad!) und Energiedichten bis zum Zehnfachen der Kernmateriedichte erzeugt – allerdings erst nachdem Reinhard in seiner unnachahmlichen Art nationale und internationale Komitees in zahlreichen endlosen Sitzungen von der Notwendigkeit dieser Experimente und der preiswerten Nutzung eines wohldefinierten existierenden Beschleunigerkomplexes für diese neue, aufregende Grundlagenforschung überzeugen konnte.

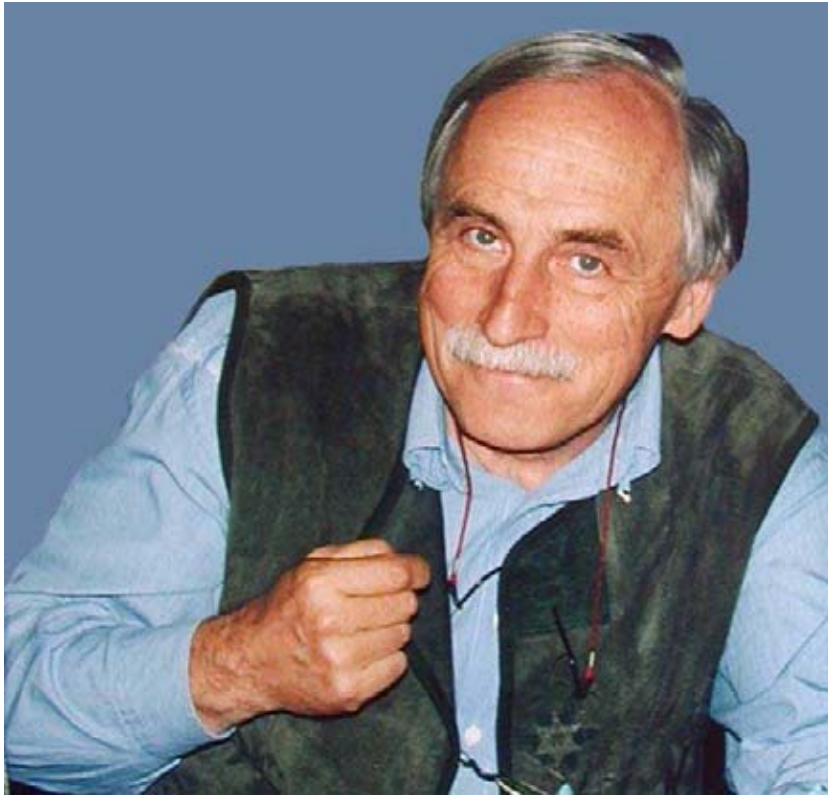
Nun ist das CERN-SPS-Programm mit dem NA49-Experiment, dessen wissenschaftlicher Vater und langjähriger Leiter und Spokesman Reinhard ist, zu einem gewissen Abschluss gekommen. Als besonders interessant hat sich wieder die Pionisation und die Verseltsamung der Materie herausge-

stellt. Dass man bei diesen hohen Energien wieder die als Barometer wichtigen Seitwärtsflüsse nun auch bei Pionen und bei seltsamen Teilchen, Kaonen und Lambdas, beobachten würde, hat sogar Reinhard überrascht.

Die von Reinhard's Gruppe beobachtete hohe Anreicherung der Materie mit Strangeness ist von Rafelski und Müller hier im Frankfurter Theorieinstitut als ein klares Signal für die Bildung des Quark-Gluon-Plasmas vorhergesagt worden. Inwieweit Reinhard selbst diese Interpretation heute noch teilt, wird er ihnen nun in seinem wissenschaftlichen Vortrag vielleicht selbst berichten.

Meine Damen und Herren, ich danke ihnen für Ihre Aufmerksamkeit.

Dir lieber Reinhard, die herzlichsten Glückwünsche zu diesem "Endowed Chair", trage Judahs Namen mit allem berechtigten Stolz in Deinem Ehrentitel!



Reinhard Stock, Judah M. Eisenberg Professor

EINE REISE ZUM URKNALL

Festansprache anlässlich der Verleihung der Judah Eisenberg Stiftungsprofessur

am 29. Juni 2001

R. Stock, Fachbereich Physik der Universität Frankfurt

1. Blick in den Weltraum

Jeder kennt den überwältigenden Eindruck von Stille und Kälte, den ein Aufblick zum Sternenzelt in einer klaren Nacht vermittelt. Seit Tausenden von Jahren bekannte Sternbilder, denen die frühen Seefahrer vertrauliche Namen aus Natur und Mythologie gegeben haben, und der Gürtel der Milchstraße - gleichsam Einrichtungsstücke einer vertrauten und stabilen Architektur unseres nahen Weltraums. Dahinter geht es hinaus in die Ferne: blinzelndes, zartes Sternflimmern - Sternstaub nannten wir das als Kinder, und als Erwachsene wissen wir, daß wir hier schon in Entfernungen von Millionen Lichtjahren schauen. In diesem unwandelbaren Himmel erscheinen uns Raum und Zeit intuitiv in einer unbegrenzten, ewig stabilen Architektur harmonisch verbunden. "Der gestirnte Himmel über mir, und das moralische Prinzip in mir" waren für Immanuel Kant in einem aufgeklärten Daseinsentwurf die beiden Hauptsäulen im Versuch einer Antwort auf die ewig andrängenden Menschenfragen nach Schöpfung und Schöpfer. Die uns heute so vertraute Frage, wie diese Schöpfung von Weltall und Menschen in einer dynamischen Evolution des Kosmos zustande gekommen sein könnte, wird hier zunächst einmal weggedrängt: Kant reflektiert den überwältigenden Eindruck von *harmodia mundi* (Sphärenharmonie)"-Entwurfes der Astronomie und Physik in der Spätrenaissance. Die Himmels-Mechanik des solaren Planetensystems deutet für ihn (1740) ein exaktes Verständnis stationärer Zustände an: die stabilen Planetenbahnen. Ist dies, in Übertragung dieser bahnbrechenden Erkenntnisse, nicht wahrscheinlich ebenso stationär und ewig? Eine für immer stationär eingestellte Raum-Zeit-Uhr (auch die Entwicklung präziser Uhren beginnt in Kants Lebenszeit) der kosmischen Umlaufs-Zyklen, eine Evolution im großen Weltzusammenhang, nicht weit entfernt vom hebräischen Diktum: **Im Anfang schuf Gott Himmel und Erde.**

Dieser scheinbar ewige, stationäre Kosmos mußte als Ganzes entworfen und geschaffen sein. Noch im Wort "Kosmos" tragen wir diese Uranschauung weiter, das "Schön-Geschmückte", göttliche Universum der emphatischen griechischen Naturphilosophie. Dieses schöne Nachtbild strahlt unser nahes Universum als überwältigenden Eindruck von Raum-Zeit-Tiefe und statischer Kühle in einer klaren Nacht auf uns nieder. Wir wissen, daß die Evolution des Lebens auf der Erde mehrere Milliarden Jahre dieser stabilen, statischen Kühle in einem quasi-stationären Nah-Universum zur unerläßlichen Voraussetzung hat. Wissen aber auch, daß Evolution eine Entwicklung ohne globales Gleichgewicht darstellt, unter anderem von der Energie-Einstrahlung der Sonne betrieben. Nacht-Kühle und Dunkelheit, Tag-Wärme und Licht (Photonenstrom) treiben die Evolution. Dabei liegen die Schwankungen der absoluten Temperatur nur im Bereich weniger Prozent, unerläßlich für die Genese komplexer Organismen. Die kosmologische Genauigkeit der Sonne über Milliarden Jahre ist die Voraussetzung für die Lebens-Evolution auf der Erde. Eine quasistationäre Veranstaltung des Nah-Kosmos ermöglicht also die evolutionär nichtstationären Prozesse des Biokosmos der Erde. Genauer gesagt: wir konstatieren eine Staffelung der charakteristischen Zeitkonstanten, in der die Lebensdauer einer stabilen Sonnentätigkeit weit größer ist als die Zeiteinheit der Einzelschritte in der irdischen Evolution. Die enorme Stabilitätszeit der Sonne (ein besonders langlebiger "Normalstern" im Spektrum aller möglichen Sterntypen) ist das implizite Primär-Ereignis der gesamten irdischen Lebensentwicklung. Rundum umgeben uns im Nahkosmos ähnlich langlebige Sterne und Galaxien: die Zeitkonstante des "gestirnten Himmels über uns" ist ca. 5 Milliarden Jahre. Dennoch haben wir mit der Lebensdauer der Sonne ein neues Territorium betreten: die Zeitskala des Universums, das aus Sternen in Galaxien, Galaxien-Haufen usw. und aus Licht, besteht. Alle diese Strukturen sind einmal entstanden, die Sterne leben nicht länger als ca. 10 Milliarden Jahre. Das Universum hat

eine Geschichte. Ihrem Beginn ist dieser Artikel gewidmet: der Entstehung des Weltalls.

2. Zurück zum Anfang

Es war die wesentlichste Erkenntnis der modernen Astrophysik und Kosmologie (Hubble 1930, Gamov 1955), daß nicht nur die Sterne, Galaxien usw. entstehen und vergehen, sondern, daß das Weltall selber in einer Expansionsmode lebt, die einmal einen Anfang gehabt haben muß. Der Blick in den Nachthimmel hat selbst eine implizite Voraussetzung: daß es nachts dunkel wird, ist selbst bereits Folge der kosmischen Expansion und dies gilt auch für die Kühle (die erst Evolution möglich macht) und Leere (die Sternkollisionen überaus selten macht). Die globale Expansion ist geradezu die Voraussetzung unserer Existenz. Das Universum hat ein Alter: ca. 12 bis 14 Milliarden Jahre. Sonne und Erde sind "erst" ca. 5 Milliarden Jahre alt - erste oder dritte Generation des kosmischen Inventars. Was können wir über die Entstehungsphase sagen? Über welche Dimensionen von Raum und Zeit wird da zu reden sein?

Die Expansionsmode des Weltalls in vier Dimensionen ist ein Problem der klassischen Mechanik und Feldtheorie - allerdings eins der schwierigsten. Die Grundgleichungen der Allgemeinen Relativitätstheorie ergeben Lösungen, die alle heute beobachteten Daten beschreiben. Diese Lösungen können wir nun auch zu früheren Zeiten inszenieren, und diese Rückwärts-Extrapolation geht auch keineswegs in die reine Spekulation: das meiste sogar, was wir an Daten über das ferne Weltall besitzen, gehört zu einem viel früheren Stadium, dessen Information nach Milliarden Jahren Flug durch Raum und Zeit eben jetzt bei uns ankommt. Der Blick in die Tiefe des Weltalls sieht dort Zustände der fernen Vergangenheit. Dies ist wichtige Triebfeder für die neuen Observatorien und Satelliten der Astrophysik; das Hubble "deep field"-Teleskop erreicht schon zehn Milliarden Lichtjahre entfernte Galaxien. Es sieht also das Universum von zehn Milliarden Jahren. Könnte die nächste Generation nicht wirklich direkt zum Ursprung zurückschauen? Aber Vorsicht: "direkt zurückschauen" kann man nur bis zu dem Stadium, in dem die freie Ausbreitung von elektromagnetischen Wellen möglich wird (davor ist das Weltall undurchsichtig). Dies ist dann der Fall, wenn alle freien Elektronen im Weltall verschwinden, d. h. in Atomhüllen gebunden werden. Dieser Phasenübergang von Plasma zu Gas erfolgt bei einigen tausend °K. Wir würden das Universum zu der Zeit sehen, zu der im Zuge der Expansions-Abkühlung der Phasenübergang eben vorbei ist. Es stellt sich heraus, daß das Weltalter dieses Vorganges ("es werde Licht") ungefähr eine Million Jahre ist. Eine Lichtkugel, deren Radius etwa ein Tausendstel der heutigen Größe betrug (aber dennoch immerhin schon 10^{20} km!) emittiert bei einigen tausend Grad Spektraltemperatur die Photonen, die heute auf 2.7 °K abgekühlt das ganze Weltall ausfüllen: die sogenannte "kosmische Hintergrundstrahlung". Hier gibt es sehr genaue, neue Daten. Die Astronomie stützt also die Rückwärts-Extrapolation bis zum Weltalter 10^6 Jahre. Die Expansionsgleichungen scheinen bis hier hin verlässlich zu sein: warum extrapolieren wir nicht zu den ersten Minuten, Sekunden... , jedenfalls so weit, wie wir die dann nötigen Stütz-Daten aus anderen Bereichen der modernen Grundlagenforschung bekommen können: aus der Kernphysik und Teilchenphysik. Die letztere tastet sich an die tiefsten Strukturen der Materie heran; in der gesuchten "theory of everything" (der Titel klingt noch ein wenig skeptisch!) muß auch die Physik des kosmischen Anfangs enthalten sein!

3. Kosmologische Zehnerpotenzen

Man kann den Schlußsatz des vorigen Abschnitts aber auch umdrehen: eine theory of everything hat möglicherweise nur noch eine Quelle von Daten, nämlich eben die Bedingungen im ganzen Urkosmos, weil kein denkbare irdisches Experiment in solche Dimensionen der Energiedichte und Temperatur vorstoßen wird, wie sie im "Urknall" vorliegen. Erst unter diesen Bedingungen zeigt die Materie ihr erstes Gesicht, ihre tiefsten Gründe des Zusammenhalts. Der Gedanke, daß die Ur-Kräfte erst bei ins Extrem steigender Temperatur sichtbar werden, ist uns schon zu einer Selbstverständlichkeit geworden. Ein hochdifferenzierter Schneekristall schmilzt zu einem schlichten Wassertröpfchen (273 °K), dieses verdampft (373 °K), die H₂O-Moleküle

dissoziieren zu Knallgas (einige 10^3 °K), die H- und O- Atome ionisieren ab $5 \cdot 10^4$ °K und sind bei ca. 10^7 °K ein perfektes Plasma aus Elektronen und Atomkernen (Protonen und Sauerstoffkerne). Jetzt ein großer Sprung der Zehnerpotenzen: die Sauerstoffkerne verdampfen vollständig zu Protonen, Elektronen und Neutrinos bei ca. 10 K. Und schließlich: die Protonen zerbrechen in Quarks bei ca. $2 \cdot 10^{12}$ °K. Also liegt ein Temperatursprung von 10^{10} zwischen dem Schneekristall und dem Quark-Gas, aber damit sind wir mitten in der heutigen Hochenergie- und Teilchenphysik angekommen. Innere tiefere Strukturen von Quarks, Elektronen oder Neutrinos hat man noch nicht beobachten können, bis zum Ende der jetzt erreichten Temperaturskala, d. h. bis ca. $2 \cdot 10^{15}$ °K).

Dies alles ist mittlerweile wohlbekannt. Wo springen wir nicht auch um so viele Zehnerpotenzen zurück in unserer kosmologischen Extrapolation? D. h. also von den 2.7 °K des heutigen Strahlenbades des Weltalls auf $2 \cdot 10^{15}$ °K. Was für ein Weltall finden wir hier vor? Die Grundgleichungen sagen, daß die Temperatur umgekehrt proportional zum Radius des Kosmos ist (heute ca. 10^{23} Kilometer), also landen wir bei 10^8 Kilometern: ungefähr 100 Sonnenradien. Das gesamte Universum ein undifferenzierter, unvorstellbar heißer Feuerball! Es ist schlimm mit den kosmologischen Zehnerpotenzen: von den drei Grundgrößen Alter, Radius und Temperatur liegen in jedem Stadium des Kosmos eine oder zwei zu weit jenseits unserer Anschauung. Heute: die 2.7 °K erreichen wir mühelos in der Labor-Kryotechnik, aber für 10^{23} km Radius haben wir keine Intuition. Am anderen Ende der Konfiguration, die noch mit halbwegs vertrauter Physik extrapoliert haben: 100 Sonnenradien - eben noch vorstellbar (ungefähr eine Lichtstunde). Dagegen $2 \cdot 10^{15}$ °K: völlig unfaßlich, was ist der Unterschied zwischen 10^{15} und $2 \cdot 10^{15}$ °K), das sagt uns gar nichts, aber den Unterschied zwischen 300 °K und 600 °K kennen wir ganz genau. Und schließlich: welches Weltalter sagen die Einstein-Gleichungen für diesen Feuerballzustand aus Quarks, Elektronen, Neutrinos, Photonen etc. voraus: es beträgt hier gerade 10^{-10} Sekunden. Ein Bruchteil von Nanosekunden "altes" Universum.

An dieser Stelle spätestens gibt es immer Protest: ist diese Zeitskala nicht widersinnig, ebenso die anderen Skalen? Wieso dürfen wir mit vertrauter Laborphysik aus dem heutigen Universum zurück extrapolieren zu derart extremen Frühstadien? Vielleicht ändern sich ja die Naturkonstanten und sogar die Grundgleichungen im Lauf der kosmischen Evolution. Ich kann diese Fragen nicht erschöpfend beantworten, sondern nur eine Beobachtung anführen: in der Tat reicht unser physikalisches und astrophysikalisches Wissen aus dem Jahr 2000 (also nach ca. $3 \cdot 10^{27}$ Nanosekunden an Weltalter) aus, um diesen hypothetischen Frühzustand des Kosmos recht genau numerisch zu erfassen und von diesem Augenblick die Evolutionsgleichungen mit heutiger Physik wieder vorwärts in der Zeit zu rechnen: kommt ungefähr der richtige Jetzt-Zustand heraus (jedenfalls in der Größenordnung). Für diese Rechnung brauchen wir natürlich das ganze Wissen der modernen atomaren und subatomaren Physik, ebenso wie die klassische Thermodynamik und Mechanik. Grundannahmen, die sich in allen anderen Zusammenhängen bewährt haben. Auf einige neue, relevante Erkenntnisse gehen die nächsten drei Abschnitte etwas näher ein.

4. Die erste Sekunde des Universums

Im Jahr 1977 erschien Steven Weinbergs berühmtes Buch "The first Three Minutes". Keine Zeile in diesem Meisterwerk, die heute nicht mehr gültig wäre. Aber in den vergangenen 23 Jahren ist sehr viel dazugelernt worden, insbesondere was die ersten Sekundenbruchteile betrifft (von ca. 10^{-10} s aufwärts). So ist es nicht verwunderlich, daß gerade in dieser Zeitspanne z. Zt. der Wendepunkt unserer Beschreibungsweise der kosmischen Anfangsgeschichte gesehen wird: von eher hypothetischen Vorstellungen, die von theoretischen Extrapolationen ausgehen (den sogenannten "großen Vereinigungen" der Naturkräfte) direkt datengestützten Expansionsmodellen. Natürlich gelten alle aktuellen Higgspläne dem Bemühen, diese Demarkationslinie noch um einige Zehnerpotenzen näher an den im Detail noch unbekanntem Urknall heranzurücken. Diese Ideen will ich im letzten Abschnitt kurz skizzieren.

Hier soll von Forschungsarbeiten berichtet werden, die in den letzten fünf Jahren einen in Weinbergs Buch noch vollständig hypothetischen Phasenübergang dingfest gemacht haben: von einem kosmologischen Feuerball aus den z. Zt. als "elementar" angesehenen Quarks, Gluonen, Elektronen, Photonen, hin zu einem kühleren Weltall aus Protonen, Neutronen, Elektronen und

Photonen. Wir wissen jetzt, daß dieser Phasenübergang scharf bei einer Temperatur von $2 \cdot 10^{12}$ °K einsetzt. Die zugehörige Weltall-Zeit ist 10^{-5} Sekunden (10 Mikrosekunden), und der Druck beträgt in diesem Augenblick ungefähr zwei Sonnenmassen pro Quadratcentimeter bei einer (unvorstellbar hohen) Dichte von ca. $2 \cdot 10^{12}$ kg pro Kubikcentimeter, in einer kosmischen Kugel von ca. 10^{11} km Radius. Dies sind in der Tat sehr konkrete Daten. Bevor wir die Experimente beschreiben, denen wir diese Einsicht verdanken, müssen skizzenhaft die physikalischen Termini erläutert werden, deren wir uns hier bedienen.

Als **Phasenübergang** bezeichnen wir den Wechsel des "Aggregatzustandes" und der effektiven Freiheitsgrade in einem physikalischen System bei Abkühlung. Wasser friert bei 273 °K ein zu Eis (bei Atmosphärendruck). Der Wechsel des Aggregatzustandes ist flüssig zu fest. Dabei werden die kinetische Energie tragenden, individuell beweglichen Moleküle in ein festes Kristallgitter eingefroren: die kollektiven Gitterschwingungen sind nun der - allerdings durch die Einsperrung eingeschränkte - Sitz der kinetischen Wärmeenergie. Analog: der Phasenübergang im Frühkosmos im Zuge der die Expansion begleitenden Abkühlung. Ein Gas freier beweglicher Quarks und Gluonen wird eingefroren in einem Kondensationsprozess, der zu einer Quantenflüssigkeit aus Protonen, Neutronen, Pionen (sowie ihrer Antiteilchen: Anti-Protonen usw.) gebundenen Quarks und Gluonen führt. Der Wechsel des Aggregatzustandes ist gasförmig zu flüssig, aber im Wechsel der effektiven Freiheitsgrade gibt es hier einen interessanten Effekt, der über das Beispiel Wasser zu Eis hinausgeht. Die Quark-Gluon-Gas-Freiheitsgrade der kinetischen Energie reduzieren sich zwar (drastisch) niedrigeren Freiheitsgradzahl der kinetischen Energie ihrer Kondensationsbläschen (Proton, Neutron, Pion etc.) in der Quantenflüssigkeit, aber im Inneren dieser neuen Bestandteile des kosmologischen Inventars rast der alte Satz von freien Quark-Gluon-Energien mit unverminderter Intensität weiter, als sogenannte innere Energie. Von außen, als Ganzes gesehen, hat das neugeborene Proton nun eine große "Ruhemasse". Diese hat nichts zu tun mit der geringen Gesamtmasse der in ihm eingeschlossenen Quarks, sondern sie ergibt sich gemäß $m_0 = E/c^2$ als äußerer Ausdruck der Energie E des im Inneren des Protons weiter rasenden Quark-Gluon-Aggregats.

Ein offenbar hoch interessanter Phasenübergang im Frühkosmos, in dem also nicht nur neue Teilchen entstehen, sondern zum ersten Mal ausgereifte gebundene Objekte auftreten: Protonen, Neutronen sind gebundene "Quark-Atome", in denen der evolutionär neue Begriff einer Architektur mit Innen und Außen geschaffen ist. Diese Objekte haben große "Ruhemassen", im Gegensatz zu den leichten Quarks und masselosen Gluonen, aus denen sie kondensiert sind. Die elementare Naturkraft, die diese Bindung zustande bringt, nennen wir die "starke" Kraft: sie erzeugt hochenergetische gebundene Zustände - eben die hohe Ruhemasse der Protonen und Neutronen. Ihre Kräfte bewirken insbesondere den oben beschriebenen Phasenübergang: fällt in einem Quark-Gluon-Gas die Temperatur (d. h. die mittlere kinetische Energie pro Teilchen) unter den "kritischen Wert", $T_c = 2 \cdot 10^{12}$ °K, so werden die frei herumrasenden Quarks und Gluonen in stark gebundene Quark-Atome eingefangen. Aus diesen Protonen und Neutronen besteht unsere materielle Welt seit dem Zeitpunkt 10^{-5} Sekunden des Weltalters: der masse-behaftete Anteil der kosmischen Gesamtenergie - wir nennen ihn "ponderable Materie": was die Waage wiegt, ist aber überwiegend die Urenergie der eingefrorenen Quarks und Gluonen im Kraftfeld der "starken Wechselwirkung"!

Der Zeiger der Waage wird von der mit weitem Abstand schwächsten elementaren Naturkraft bewegt: der Gravitation. In den gewaltigen Dimensionen des Kosmos hat sie aber einen ebenso intensiv gestalteten Einfluß auf die Gesamtexpansion, wie der Expansionsdruck eines stark wechselwirkenden Quark-Gluon-Plasmas, von einigen Solarmassen pro Quadratcentimeter. Der Phasenübergang von einem Quark-Gluon-Gas zu gebundenen Protonen und Neutronen ist für die treibenden Kräfte der Expansion von größter Wichtigkeit, weil der Expansionsdruck der Phasen in verschiedener Weise von der Dichte abhängt. Was der Astrophysiker vom Hochenergiephysiker wissen möchte, ist der Zusammenhang von Druck und Dichte (die "Zustandsgleichung") sowie die kritische Temperatur, die spezifische Wärme und das Teilchen-Inventar des Welt-Feuerballs, kurz vor und kurz nach dem Phasenübergang, in dem das Inventar ausgetauscht wird.

5. Mini-Urknall im Labor

Zwar kann man heute mit den Beschleunigern der Hochenergie-Physik Temperaturen bis ca. 10^{15} °K in Protonen- oder Elektronenstößen erzeugen. Aber hier treten so wenige Quarks aktiv in die Reaktion ein, daß die makroskopischen, quasi-stationären Zustände im Frühkosmos dabei nicht realisiert werden: ein Feuerkleck, kein Feuerball. Aber kollidierende schwere Atomkerne, die aus über 200 Protonen und Neutronen bestehen, offerieren ein ausreichendes Volumen mit genügend vielen inneren Freiheitsgraden, so daß wir dem Experiment solche typisch thermodynamischen Fragen wie die nach der Zustandsgleichung eines Quark-Gluon-Gases, oder nach der kritischen Temperatur des Phasenüberganges dieses Gases in Proton-Neutron-Pion-Flüssigkeit anvertrauen können. Man schießt also Atomkerne mit der höchstmöglichen Energie ineinander. Das Reaktionsvolumen wird extrem erhitzt und komprimiert: vielleicht werden die kosmologisch interessanten Bedingungen in diesem kleinen Feuerball für winzige Sekundenbruchteile erreicht, und vielleicht sind in den Explosionstrümmern scheinend wieder explodierender Feuerballs Signale enthalten, die diese Bedingungen festhalten. Mit diesen zwei "vielleicht" haben sich unsere Forschungsgruppen seit 25 Jahren mit wachsendem Geschick und Erfolg beschäftigt, und aus der Handvoll von Pionieren, die dieses Forschungsgebiet in den 70-er Jahren am schon zur Stilllegung verurteilten Synchrotron des Lawrence Berkeley Laboratory in Kalifornien begannen, sind inzwischen über tausend geworden! Bei den anfänglichen Arbeiten stand das Thema "Quark-Gluon-Plasma und Urknall" noch buchstäblich in den Sternen: uns interessierten damals die eben entdeckten Neutronensterne. Im Gravitationskollaps ausgebrannter schwerer Sterne (im Supernova-Prozess) entstehen diese dichtesten Materiekugeln, anderthalb Sonnenmassen auf ungefähr 10 km Radius zusammengepreßt. Die Dichte von Materie und Energie gleicht der im Urkosmos gegen Ende der ersten Sekunde, nur ist der Neutronenstern kalt und stationär. Im Inneren sind die Neutronen viel dichter zusammengepackt als im Innern der Atomkerne. Wie groß ist der Druck in der Stern-Kernmaterie bei solcher Dichte, fragten uns die Astrophysiker - dieser Druck muß ja den Gravitationsdruck im Neutronenstern genau kompensieren, sonst geht der Kollaps ungebremst weiter, ein schwarzes Loch bildet sich.

Schon in der Wiege der neuen Forschung lag aber für das Rätsel der Urkosmos-Dynamik relevante Frage nach der Form der Materie jenseits der Kerne und Neutronensterne. Steigt die Dichte im innersten Sektor solcher Sterne so weit, daß die Neutronen und Protonen zerdrückt werden: aber in was? Wir Physiker standen noch am Ende unserer Begriffe: das materielle Innere von Protonen kannten wir damals nicht! Was ist überhaupt der Grundstoff der Natur, in den die "starke" Naturkraft "eingehaftet" ist - analog zur elektrischen Ladung als Quelle der elektromagnetischen Kraftfelder. Im Jahre 1973, als wir Experimentalphysikern unsere anscheinenden starken Kraftfelder der Neutron/Proton-Materie bis an ihre Existenzgrenze zu verdichten, fanden drei Theoretiker eine Hypothese für die Urform der Materie. D. Politzer, D. Gross und F. Wilczek waren Postdoctoral Fellows in Harvard und Princeton, als sie die Quantenchromodynamik (QCD) entdeckten. **Quarks und Gluonen** erzeugen die Felder der "starken" Naturkraft, und sie unterliegen zugleich ihrer Wirkung. Und diese Wirkung ist derart stark, daß die Quarks und Gluonen des QCD-Kraftfeldes in kleine, scheinbar unauflösbare Kügelchen kondensieren: die Protonen und Neutronen! Also war die Antwort: Hadronen (dies ist der Sammelbegriff für die verschiedenen Sorten der Kügelchen) sind das Quark-Gluon-Kondensat der starken Naturkraft. Die innere Energie dieses Kondensats ist es, die uns nach $m_0 = E/c^2$ als die "Ruhemasse" des Protons erscheint!

Nun war der Weg in die Mikro- und Nanosekundenbruchteile der ersten Sekunde gezeigt: ein Quark-Gluon-Plasma, das bei einer bestimmten Dichte kondensiert in Protonen, Neutronen usw.. Wie, wann, bei welcher Energiedichte? Zwei Jahrzehnte genauer QCD-Theorie hatten später dazu viel zu sagen - aber uns schwebten neue hochinteressante Experimente vor. Die größten Synchrotrons der Welt waren nötig, um den kosmischen QCD-Phasenübergang vom Quark-Gas zu Protonen im Labor zu erforschen, und neue, hochkomplexe Experimente. Zu den größten Synchrotrons zählten in den frühen 80-er Jahren das "Super-Proton-Synchrotron" (SPS) des CERN (7 Kilometer Umfang) in Genf, und das "Alternating Gradient Synchrotron" (AGS) des US-Nationallabors in Brookhaven auf Long Island. Also wanderte die deutsche "Fremdenlegion" von

Berkeley nach Genf und unsere US-Gastgeber kamen zum Teil mit, die übrigen machten in Brookhaven den Anfang. Diese Synchrotrons waren nämlich für ganz andere Aufgaben ursprünglich entworfen. Der Zufall hat es gefügt, daß insbesondere die CERN-Maschine ideal für unsere Ideen sich eignete (dazu gleich). Natürlich waren spezielle Instrumente erforderlich, um in den Synchrotrons schwere Atomkerne zu beschleunigen, aber unser Enthusiasmus war der Welt der Forschung die nötigen Millionen wert. Der deutsche kam vor allem vom Grundlagenforschungsressort des Bundesministeriums für Forschung und Technologie (so hieß das BMBF 1985), und von den großen Forschungszentren: der GSI Darmstadt und dem MPI für Physik in München. Dazu traten große Beiträge vom Berkeley-Labor der US-Kollegen sowie aus Italien, Frankreich, Schweden, Indien usw.. Der CERN übernahm die Mutterrolle - zunächst mit einiger Skepsis gegenüber dem Forschungs-Frischling Die gewichtige Förderung des BMBF und der Zentren ermöglichte es auch unseren Universitäten (Frankfurt, Freiburg, Heidelberg und Marburg) mit großen Gruppen von Diplomanden, Doktoranden und Postdoctoral Fellows im CERN zu arbeiten: allein in den zwei Experimenten, an denen unsere Gruppe beteiligt war gab es 25 deutsche Promotionen, im Kreise von Kollegen aus Am, Berkeley, Birmingham, Warschau, Budapest, Moskau, Zagreb usw.: ein höchst anregende, internationales Wissenschaftsfluidum machte das große Forschungszentrum zu einem Bildungs-Erlebnis erster Güte! "Unsere" Zagreb-Gruppe merkte erst in der Jugoslawien-Krise, daß es aus Kroaten und Serben, aus früheren Kommunisten und Antikommunisten bestand: alle sind heute an einem Tisch geblieben. Vielfach ist der CERN ja schon halbstaatliche Institution zum Friedens-Nobelpreis vorgeschlagen worden - wegen zahlloser ähnlicher Episoden aus den kalten und heißen Kriegen.

6. Quark.Matter@CERN.ch

Die heutigen, schon sehr fest umrissenen Ergebnisse zum Phasenübergang der QCD zur Ur-Materie aus Quarks und Gluonen haben Gestalt angenommen, als sieben ziemlich große CERN-Experimente dank einer letzten großen Anstrengung in der Verbesserung der Leistung des Synchrotrons und mit teilweise instrumentell ganz neuartigen Lösungen für die verschiedenen, spezialisierten Detektoren ab 1996 mit wirklich schweren Atomkernen (Bleikerne der Masse 208: also aus 208 Neutronen und Protonen aufgebaut) zur Arbeit begannen. Nun stand die enorme Energie von fast 4 Terra-Elektronenvolt zur Verfügung, um die Atomkernmaterie in Quark-Gluon-Materie zu verwandeln. 4 TeV sind $4 \cdot 10^{12}$ Elektronenvolt (1 eV ist ungefähr die Energie der Quanten des sichtbaren Lichts). Sie entsprechen etwa zehnmal der Energie, die in der gesamten Proton-Neutron-Ruhemasse der zwei Bleikerne steckt, welche im Experiment ineinander geschossen werden. "Ultrarelativistisch" nennt man ein Reaktionssystem, in dem die Gesamtenergie viel höher ist als die Ruhemasse. Wird die Energie des SPS ausreichen, um den Phasenübergang zu erzwingen? Wir hatten Glück.

Die Gesamtenergie von 4 TeV, die am CERN SPS der Kerns-Feuerball komprimiert und heizt, ist aber noch nicht die entscheidende Größe. Im Frühkosmos ist die Gesamtenergie jenseits jedes Begriffvermögens. Für die Expansionsgeschichte sind die besonders interessanten Phasenübergänge, in denen das Inventar des Weltalls als thermodynamisch die Erscheinungsform wechselt, ist nicht die Gesamtenergie wichtig, sondern die Energie-Dichte: eine lokal definierte, innere Eigenschaft der jeweiligen Ur-Substanz - die Energie pro Kubikmeter im Ur-Feuerball. Kennen wir das Materie-Inventar zu einer bestimmten Zeit in der Expansionsevolution genau genug, so können wir die wirklich interessierenden Größen, Temperatur und Druck, aus der Energiedichte folgern. Die fundamentale Thermodynamik des späten 19. Jahrhunderts (Maxwell, Boltzmann) hatte das Ergebnis, daß alle Eigenschaften einer Materie-Konzentration sich aus der "Zustandsgleichung" ableiten lassen, in der Energiedichte und Druck verknüpft sind. Zu jedem der Phasenübergänge im Frühkosmos gehört eine bestimmte kritische Energiedichte. Nach dieser begrifflichen Vorbereitung lassen sich die Ergebnisse unserer CERN- Experimente leichter darstellen:

- Die fundamentale Theorie der starken Naturkraft (die Quanten-Chromodynamik, QCD) hatte für den kosmologischen Phasenübergang aus einem Quark-Gluon-Gas zu den uns vertrauten Protonen und Neutronen (aus denen noch heute unsere materielle Welt aufgebaut ist in

Gestalt der vielfältigen Atomkern-Sorten) eine Absetzung der kritischen Energiedichte ε_c erhalten - allerdings nur mit einer Verlässlichkeit ungefähr $\pm 50\%$: wirklich eine Herausforderung an die Experimentalphysiker, diese für die Kosmologie entscheidende Größe zu bestimmen.

- Die ersten CERN-Experimente zeigten, daß in Anfangsphase der Kollision von Blei-Kernen eine ungefähr dreimal höhere Energiedichte erreicht werden muß: $\varepsilon \approx 3 \varepsilon_c$ (QCD). Wir schienen also wirklich in unseren Mini-Big Bangs über die kritische Schwelle der Energiedichte hinauszukommen und im Quark-Gluon Plasmazustand zu landen.
- Zwei Experimente lieferten anschließend den Beweis dafür, daß in dieser hohen Energiedichte in der Tat alle vertrauten Protonen, Neutronen usw. kurz alle Hadronen, die gebundenen Kondensationströpfchen aus der Quark-Gluon-Ursubstanz der starken Naturkraft sind, sich aufgelöst zu haben schienen, und zwar eben in die Urmaterie-Phase aus frei beweglichen (nicht in die Kondensat-Kügelchen eingeschlossenen) Quarks und Gluonen, die von der QCD-Theorie vorhergesagt worden waren.
- Einem weiteren Experiment gelang es, erste Signale der thermischen Photonenstrahlung aus dem nur für unsäglich kleine Sekundenbruchteile (10^{-23} Sekunden: schon wieder kosmologische Zehnerpotenzen!) im Laborversuch registrierten Quark-Gluon-Feuerball zu identifizieren.
- Dieser so zum ersten Mal im Labor gesehene Natur-Feuerball expandiert natürlich sofort explosiv, weil ihn nicht die Gravitations-Anziehung des Urkosmos in eine viel gemächlichere Raum-Zeit-Expansion einzwängt. Für das Labor-Experiment ein glücklicher Unterschied: zwei weitere CERN-Experimente registrierten genau den Augenblick, in dem der kurzlebige Quark-Gluon-Feuerball bei rasch abfallender Energiedichte den Phasenübergang durchläuft, der auch bei 10^{-5} Sekunden Weltallzeit die kosmische Evolution bestimmt hat - die Kondensation vom freien Quark-Gluon-Gas in gebundene "Quark-Atome", Protonen, Neutronen, generell: Hadronen. Aus diesen Experimenten ergaben sich die konkreten Zahlenwerte für die "kritische" Temperatur am Phasenübergang: $T_c = 2 \cdot 10^{12}$ °K, für die "kritische" Energiedichte ε_c (die mit dem wahrscheinlichsten Wert der QCD-Theorie übereinstimmte!), und für den Druck im Kosmos kurz vor dem Phasenübergang: etwa zwei Solassen pressen auf die Fläche eines Fingernagels. Dieser unerhörte Druck treibt das Ur-Universum in die heute beobachtete universelle Expansionsmode.

In der Tat wird durch diese experimentellen Ergebnisse die Demarkationslinie zwischen dem noch weitgehend auf Extrapolation bekannter Physik und auf faszinierende Hypothesen gestützte Ur-Anfang des Universums, und seinen mehr aus Daten folgenden späteren Expansions-Phasen weit nach vorne geschoben: in die Nano- und Mikrosekunden-Ära der ersten Sekunde. Den weiteren Verlauf, in den "ersten drei Minuten", beschreibt auch schon S. Weinbergs Buch von 1977, für den heutigen Leser immer noch brilliant (obwohl hier auch viele neue Beobachtungsdaten die Details besser gestalten lassen - dies ist nicht mein Thema).

7. Die Reise zum Urknall

Unser Universum hat eine Geschichte, und ich habe versucht, Ihnen eine auf Beobachtungsdaten und fundamentale Theorie gestützte Brücke zu errichten, die von den Milliarden Jahre währenden Zeitkonstanten unseres nahen Kosmos zurück in die ersten Mikrosekunden dieser Geschichte. In ihr geht es zurück von Kühle, Weite und evolutionärer Differenzierung, zu einem auf ersten Anblick urprimitiven, homogenen Feuerball von unvorstellbarer Energiedichte und Temperatur. Alle differenzierten Architekturen sind hier noch abwesend: die Galaxien, Sterne, Planeten der kondensierenden Gravitationskraft. Die Moleküle, Schneekristalle und Proteine der unendlich einfallsreichen elektromagnetischen ("chemischen") Wechselwirkungen. Die Hundertschaften der verschiedenen stabilen und metastabilen Atomkerne der starken Naturkraft-Architektur, von den Protonen im Weltall bis zum kosmisch langsamen Kalium-Argon-Kernzerfall, der die Erdwärme erzeugt, und zum Gold unseres Schmucks.

Auch im viel späteren, uns vertrauten Universum ~~ble~~ die Sterne im Inneren eine gewisse Anschauung von undifferenzierten kosmologischen Urphänomenen. Denken Sie an die tobende, nukleare Fusionsmaschinerie der Sonne, in ~~der~~ ~~den~~ Evolutionsdifferenzierungen abwesend sind. Im Sonneninneren geht es in ~~den~~ ~~den~~ wieder zurück zu kosmologischen Zuständen am Ende der ersten drei ~~Minuten~~ - allerdings nur lokal, ist hier die kosmische Expansionsabkühlung handfest umgekehrt in einem Gravitations-Kondensat. Dennoch ist auch schon die Sonne eine hochkomplexe Architektur im Zusammenspiel aller vier "elementaren" Naturkräfte.

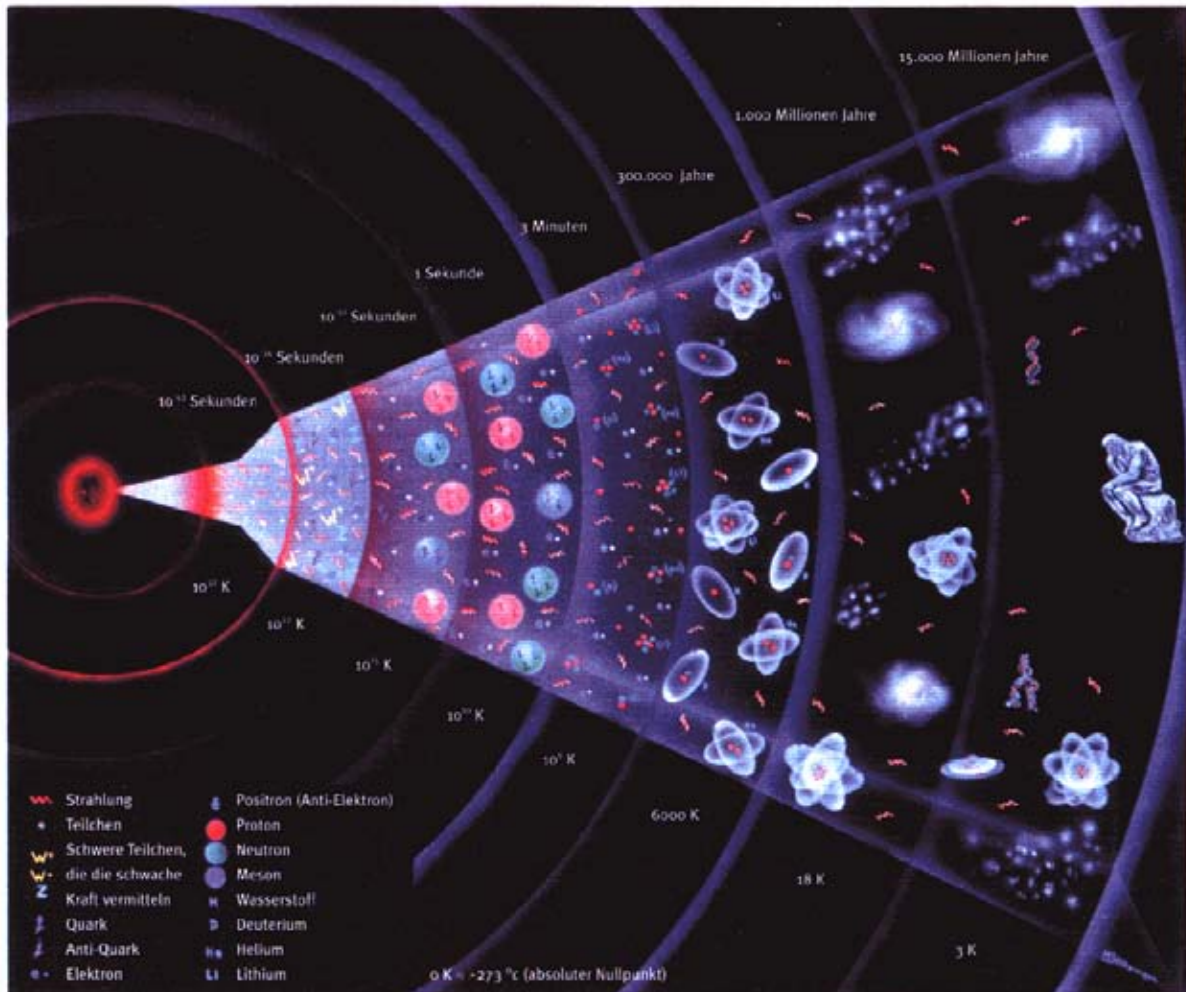
Unerhört gesteigert ist der Eindruck dieses Wegfalls der Differenzierung, deren vertrautere Skala die obigen Bemerkungen in Erinnerung rufen sollen, wenn wir uns auf die Reise rückwärts zum Urknall begeben. Ist die Natur am Anfang von einer radikalen, fundamentalen Einfachheit - die aber dennoch die ganze evolutionäre Differenzierung ~~ung~~ Potentialis bereithält? Die moderne Hochenergie-Astrophysik verfolgt die Hoffnung, in künftigen Beschleunigerexperimenten den Durchbruch zu einer Universalschau der Materie ~~inner~~ Kräfte zu schaffen: zur "großen vereinigten Naturkraft", die bei noch milliardenfach höherer Energiedichte drei elementare Kräfte zu einer einzigen, letzten Elementarkraft zusammenschmilzt. Noch eine Reihe kosmischer Zehnerpotenzen früher in der Zeitskala sollte ~~dann~~ die vierte Kraft, die Gravitation, ihre Selbständigkeit aufgeben. Hier sind wir nun ~~wirklich~~ ganz am Anfang, wo Raum und Zeit "entstehen". Aber wir sind selbstverständlich ~~zugleich~~ an die Grenzen unserer Auffassungsgabe, und unserer zur Theoriebildung ~~die~~ ~~den~~ Begriffen gekommen. Ist die Urknall-Natur aus dem sogenannten Nichts entstanden, so ~~ent~~ ~~steht~~ wir intuitiv eine Urphysik, die an Differenzierung "next to nothing" im wörtlichen Sinn wäre. Aber Vorsicht! Unser Begriff vom Nichts ist ganz sicher noch völlig naiv und uninformiert. Am Anfang gehören das Nichts und die "Schöpfung" aufs Engste zusammen - wir verstehen ~~gerade~~ ~~beide~~ noch nicht zureichend. Es kann also sein, daß unser Kosmos in einer ~~vielfältig~~ ~~differenzierten~~ Struktur und Umgebung entstanden ist, die wir (noch) nicht sehen können ~~die~~ ~~aber~~ im Hintergrund auch heute noch weiterlebt. Das würde seine Evolutionspotentialen ~~eine~~ ~~sogenannten~~ Naturkonstanten usw. plausibel machen als Struktur-Transformationen, nicht Struktur-Schöpfungen. Wie sollen Konstanten aus dem "Nichts" entstehen?

Sie sehen, daß der Autor an seine Grenzen kommt. ~~Der~~ ~~andere~~ ~~seits~~ ist es ja gerade die ganze Leidenschaft der Wissenschaft, diese Grenzen zu ~~er~~ ~~weitern~~. An der Grenze des Verstehens möchte man am liebsten alle Begriffe in ~~Anführungs~~ ~~zeichen~~ schreiben, "Natur", "Nichts", "Schöpfung", "entstehen" usw. Ich hoffe, Ihnen anhand unserer Arbeiten gezeigt zu haben, wie sich solche Grenzen doch verschieben. Vor 25 Jahren ~~begann~~ man zögernd, "eine Art Quark-Gluon-Plasma" vor der Proton-Neutron-Phase des Urkralls in Betracht zu ziehen. Jetzt haben wir diesen Phasenübergang im Laborversuch rekonstruiert, ~~die~~ ~~Anführungs~~ ~~striche~~ ~~fallen~~ ~~weg~~. Eine Quark-Gluon-Phase bestimmt die Anfangsexpansion, ~~bei~~ kürzeren Zeiten als 10^{-5} Sekunden, und bei Temperaturen oberhalb $2 \cdot 10^{12}$ °K. Dennoch ein relativ bescheidener Fortschritt, angesichts des Schwergewichts der nach vorne in Urknall ~~noch~~ ~~ein~~ ~~und~~ ~~dreißig~~ kosmologischen Zehnerpotenzen der Zeit-Skala, bis hin zum heute vermuteten "Anfang" von "Raum", "Zeit" und "Welt". Die hier wieder auflebenden ~~Anführungs~~ ~~striche~~ definieren die Forschungsziele des neuen Millenniums.

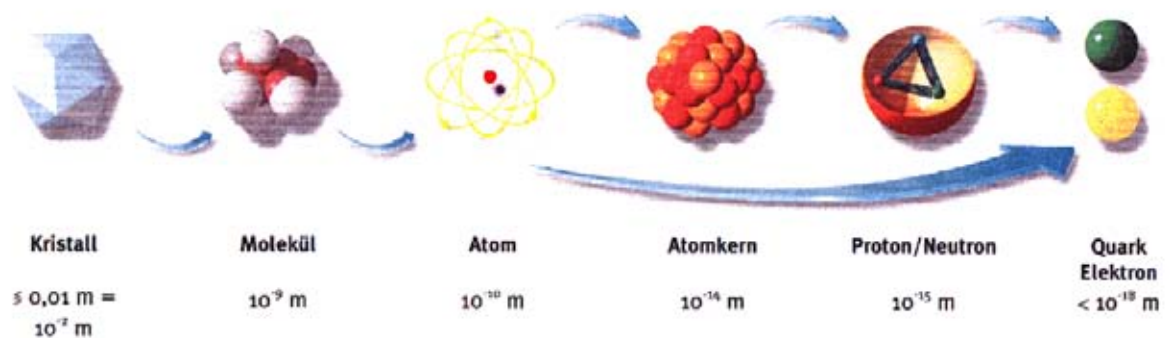
Abbildungen



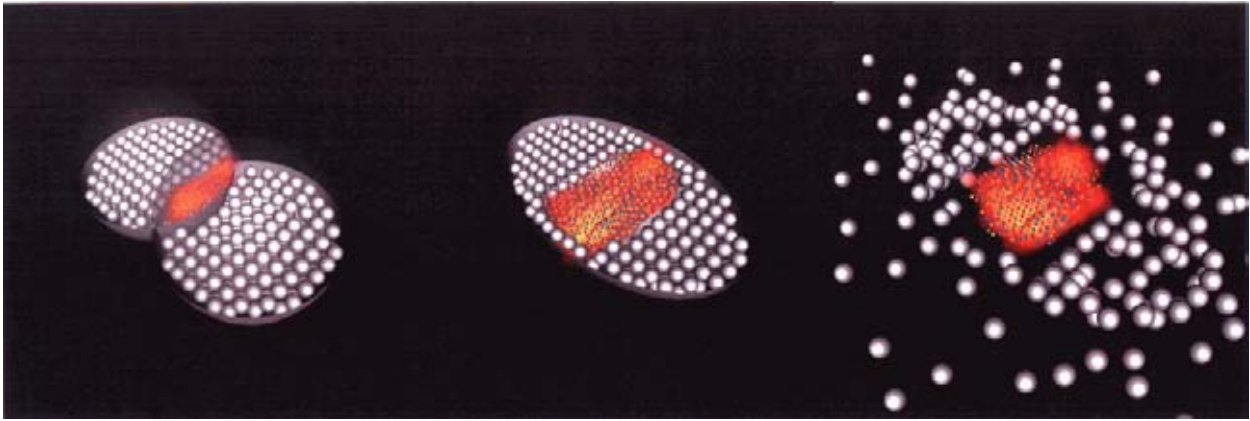
1. Eine perfekte Spiralgalaxie (NGC 1232), im Inneren aber vielleicht ein gewaltiges Schwarzes Loch, in dem die kosmologische Zeit ganz anders beschaffen ist.



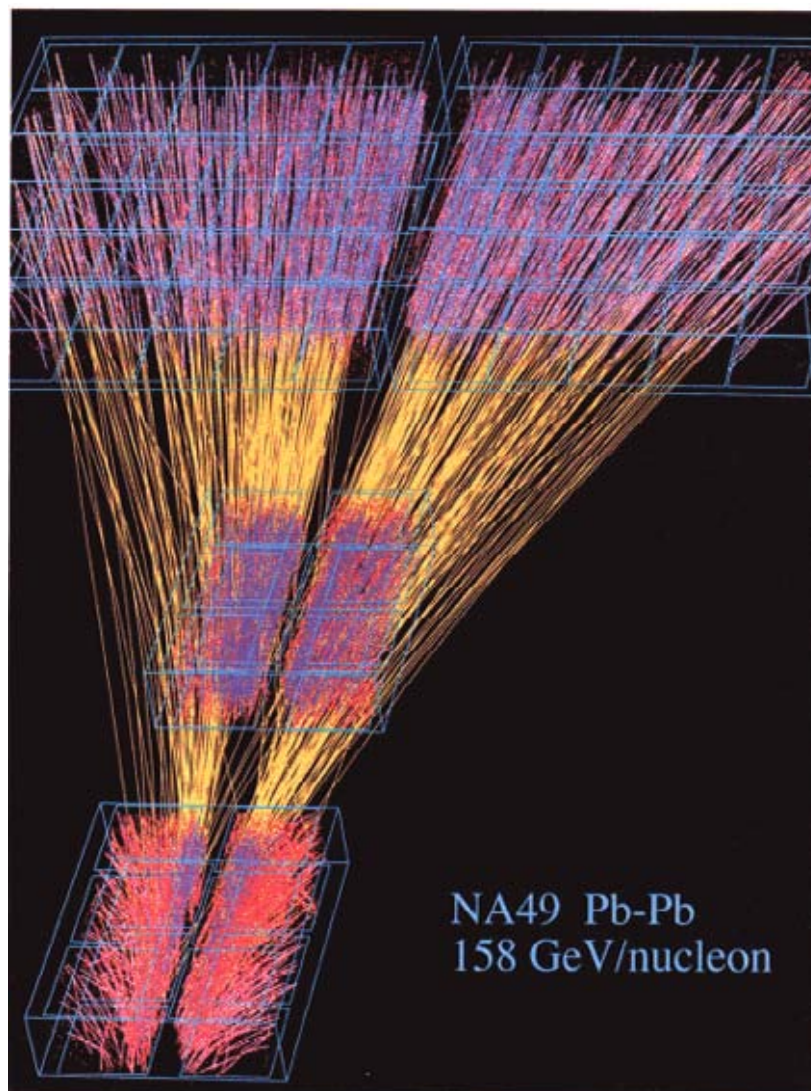
2. Das populäre Urknall-Modell. In seinen Zeitphasen herrschen jeweils charakteristische mittlere Temperaturen, und die Universumskugel hat jeweils typische "Einrichtungsgegenstände". Diese wechseln einander in Phasenübergängen ab; bei ca. 10⁻⁵ Sekunden z. B. entstehen aus der vorhergehenden Quark-Gluon-Phase die "Hadronen" (gebundene "Quark-Atome", hier als bunte Kügelchen illustriert), u. a. die noch jetzt in und um uns existierenden Protonen und Neutronen.



3. Phasenübergänge in der Materie: Vom Kristall bis zum Quark-Elektron-Plasma nehmen die relevanten Raumdimensionen um 16 Zehnerpotenzen ab, die typische Temperatur dagegen steigt um 12 Zehnerpotenzen.



4. Der "Mini-Bang" im Laborversuch am CERN in Genf. Zwei schwere Bleikerne werden mit (nahezu) Lichtgeschwindigkeit ineinander geschossen, ein Feuerball entsteht, im Inneren bildet sich für einen winzigen Sekundenbruchteil die gesuchte Ur-Materie aus Quarks und Gluonen. Sie kondensieren wieder aus in Hadronen, die im Detektor analysiert werden.



5. Das Experiment NA49 am CERN registriert in vier großen Gas-Driftkammern (Time Projection Chambers, TPCs) die Spuren von über tausend Hadronen aus der Explosion eines Feuerballs.