

7.

Das Geschehen in den einzelnen Instituten (1960–2000)

An der Spitze der Fakultät steht ein auf Zeit gewählter Dekan, der die Fakultät nach außen vertritt und der nach innen vornehmlich organisatorische Aufgaben wahrnimmt. In der Physik ist das dem Dekan zugeordnete kleine Büro hauptsächlich für Berufungen, Studienberatung und Prüfungen zuständig. Die eigentliche Arbeit in Lehre und Forschung wird in den Instituten geleistet. Die Gründung neuer Institute war die Antwort auf die personelle Expansion der Fakultät und auf die wachsende Spezialisierung innerhalb der Physik. Während es im Jahr 1950 nur das Physikalische Institut und das Institut für Theoretische Physik gab und die Kernphysik den einzigen Forschungsschwerpunkt bildete, bestand die Fakultät am Ende des Jahrhunderts aus sechs Instituten mit vielen ganz unterschiedlichen Schwerpunkten. Im Folgenden wird für jedes Institut über die wichtigsten organisatorischen, wissenschaftlichen und personellen Entwicklungen berichtet.

In dem betrachteten Zeitraum von 1960 bis 2000 waren es meist die Lehrstuhlinhaber, die die Institute leiteten und die Richtung der Forschung bestimmten, weswegen im Folgenden besonders von ihnen die Rede sein wird. Da ihre Zahl im Laufe der Zeit beträchtlich zugenommen hat, kann hier jeweils nur wenig über das Leben und die Forschungen

jedes einzelnen berichtet werden. Für ausführlichere Darstellungen empfehlen wir die inzwischen auf fünf Bände angewachsene Publikation der Vortragsreihe *Heidelberger Physiker berichten: Rückblicke auf Forschung in der Physik und Astronomie* (Appenzeller et al. 2017–2018). Darin erzählen fast alle Lehrstuhlinhaber, die in der Zeit von 1960 bis 2000 Mitglieder der Fakultät waren, als Zeitzeugen über ihre Forschungen und Erfahrungen. Für weitere Details über die Arbeiten in den einzelnen Instituten verweisen wir auf eine zum Universitätsjubiläum herausgegebene Übersicht (Krabusch 1986).

Auch wenn die Lehrstuhlinhaber die Ausrichtung der einzelnen Institute prägten, trugen zur Forschung auch viele andere Wissenschaftler und Nicht-Wissenschaftler bei: die Professoren anderer Besoldungsstufen, die habilitierten Gruppenleiter, die wissenschaftlichen Mitarbeiter, die Doktoranden und Diplomanden, die Verwaltungsangestellten und – in der Experimentalphysik sehr wichtig – die Angestellten der Werkstätten. Die Lehre wurde hauptsächlich von den Professoren getragen, die ein Deputat von acht Wochenstunden zu erfüllen hatten. Wegen ihrer besonderen Rolle werden am Ende jedes Abschnitts, der einem Institut gewidmet ist, alle dort tätigen Professoren einschließlich der persönlichen Ordinarien (aber ohne Honorarprofessoren und außerplanmäßigen Professoren) mit den Daten ihrer Zugehörigkeit an der Fakultät namentlich aufgeführt. Die Daten wurden den Personalverzeichnissen der Universität und dem von Dagmar Drüll herausgegebenen Heidelberger Gelehrtenlexikon (Drüll 1986–2009) entnommen.

Physikalisches Institut

Von 1950 bis 1975 bestand das Physikalisches Institut aus zwei Teilinstituten, wobei Bothe und nach ihm Kopfermann das Erste und Haxel das Zweite Physikalisches Institut leiteten. Erst nach Haxels Ausscheiden wurde die Teilung rückgängig gemacht, die Werkstätten und der Etat wurden zusammengeführt und aus dem Kreis der Professoren wurde ein Institutsdirektor auf Zeit gewählt.

Im betrachteten Zeitraum von 1960 bis 2000 gab es im Physikalisches Institut zwei Forschungsschwerpunkte: die Physik der Elementarteilchen und die der Atomkerne. Wir beginnen mit den Elementarteilchen.

Als Nachfolger für den 1963 verstorbenen Kopfermann war zunächst der damals 50-jährige Wolfgang Paul, Professor in Bonn, vorgesehen. Er hatte einige Jahre bei Kopfermann in Göttingen als Assistent gearbeitet und hätte in Heidelberg vermutlich dessen Physik weitergeführt. Paul stand allerdings auch auf anderen Berufungslisten, so dass sich die Heidelberger nicht viel Hoffnung machten. Deshalb entschieden sie sich im weiteren Verlauf des Berufungsverfahrens für eine Liste von Elementarteilchenphysikern: Joachim Heintze (37 Jahre) auf Platz 1 und Volker Soergel (32 Jahre) auf Platz 2. Damit wurde eine wichtige Weiche für die Heidelberger Physik gestellt: Die Elementarteilchenphysik wurde neben der Kernphysik zu einem zweiten Schwerpunkt im Physikalischen Institut.

Heintze, der 1953 bei Haxel promoviert hatte, war ein hervorragender Experimentalphysiker (◆ **ABBILDUNG 7.1**). Nach einigen Jahren als Assistent in Heidelberg wechselte er zum CERN. Dort plante er mit Soergel, der bei Gentner in Freiburg promoviert hatte, ein wichtiges, aber sehr schwieriges Experiment: die Messung des Verzweigungsverhältnisses der schwachen Zerfälle $(\pi^+ \rightarrow \pi^0 + e^+ + \nu) / (\pi^+ \rightarrow \mu^+ + \nu)$, für das Murray Gell-Mann den winzigen Wert von $1,2 \cdot 10^{-8}$ vorausgesagt hatte. Da im Komitee, das das Experiment zu genehmigen hatte, keiner glauben wollte, dass man einen so kleinen Wert genau messen könnte, erhielt das Experiment erst nach einer Intervention des damaligen Generaldirektors Viktor Weisskopf grünes Licht. Zu Recht, denn es gelang, die Voraussage im Rahmen der experimentellen Messgenauigkeit von 10% zu bestätigen. Für dieses Meisterstück wurden Heintze und Soergel mit dem Gustav-Hertz-Preis der Deutschen Physikalischen Gesellschaft des Jahres 1963 ausgezeichnet.

Heintze nahm 1964 den Ruf auf die Professur am Physikalischen Institut an (Heintze 2017). Drei Jahre später konnte auch Soergel für Heidelberg auf eine neu eingerichtete Professur gewonnen werden. Das bewährte Team Heintze/Soergel experimentierte weiter am CERN, wobei jetzt die Zerfälle der Hyperonen, d. h. Baryonen mit nicht-verschwindender Strangeness, im Zentrum ihres Interesses standen. Für den Spagat zwischen den Aufgaben in Heidelberg und in Genf hatten sie eine gute Lösung gefunden. Wenn einer in Heidelberg die Pflichten eines Professors in Lehre und Verwaltung erfüllte, kümmerte sich der andere um das Experiment in Genf. Der Wechsel fand zeitweise sogar im Wochentakt statt. Um keine Zeit zu verlieren, wurde häufig die direkte Verbindung

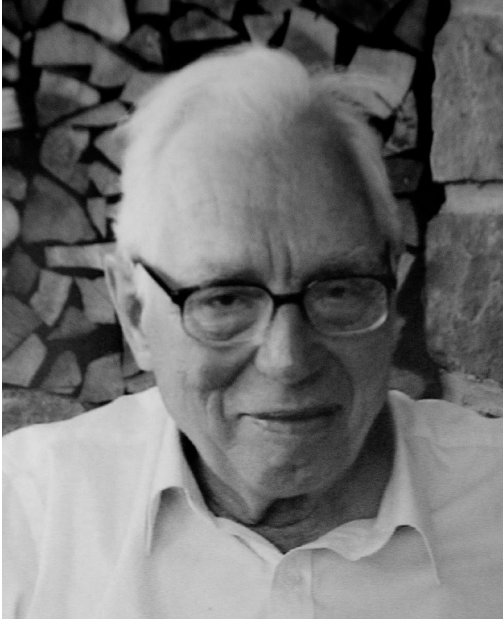


ABBILDUNG 7.1 Joachim Heintze, Professor für Experimentalphysik von 1964 bis 1991.

Heidelberg-Genf im Schlafwagen genutzt, wobei das CERN die Kosten für die Reisen und die Übernachtungen in Genf übernahm. Die enge Zusammenarbeit zwischen Heintze und Soergel führte auch zu einer lebenslangen Freundschaft, in die die beiden Familien einbezogen waren.

Das gemeinsame Experimentieren kam allerdings schon Anfang der 70er Jahre zu einem Ende, als Soergel im Jahr 1979 zum Mitglied des Direktoriums des CERN ernannt wurde. Er übernahm dort das Ressort des Forschungsdirektors, denn er war nicht nur ein hervorragender Physiker, sondern auch ein geschickter Manager. Solche Fähigkeiten waren für den Aufbau und das Funktionieren von Großforschungsanlagen gefragt. Deshalb erstaunt es auch nicht, dass Soergel schon zwei Jahre später zum Vorsitzenden des Direktoriums des DESY in Hamburg berufen wurde, wo er bis 1993 blieb. Seine Hauptaufgabe bestand darin, den Bau des Elektron-Proton-Speicherrings HERA, einer weltweit einzigartigen Anlage, zu leiten. Für die vielen auch nicht-physikalischen Probleme, die er dort

zu lösen hatte, soll hier nur ein Beispiel erwähnt werden: Bevor HERA gebaut werden konnte, musste Soergel die Bedingung der Bundesregierung erfüllen, dass die zukünftigen ausländischen Partner über 20% der Bausumme, d.h. einen Betrag von ca. 700 Mio. DM, übernehmen. Es war Soergels diplomatischem Geschick zu verdanken, dass die Summe zustande kam. HERA wurde unter seinem Direktorat ein großer Erfolg.

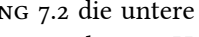
Die weitere Entwicklung der Elementarteilchenphysik am Physikalischen Institut wurde durch zwei Durchbrüche bestimmt. In der Theorie durch das von Gell-Mann und Zweig vorgeschlagene Quarkmodell und in der Experimentalphysik durch die Entwicklung von Spurenkammern, die elektronisch ausgelesen werden konnten. An der Entwicklung solcher Kammern war das Physikalische Institut maßgeblich beteiligt, wie Heintze mit berechtigtem Stolz erzählt:

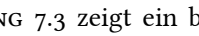
»Das schönste Ergebnis der apparativen Arbeiten in Heidelberg war sicher die 1968/69 von A. H. Walenta (damals Diplomand) erfundene Driftkammer, eine auf dem Zählrohrprinzip basierende Spurenkammer, die in den siebziger und achtziger Jahren die Funkenkammer und die Blaskammer aus der Experimentiertechnik verdrängte. Ich stand der Entwicklung erst sehr skeptisch gegenüber, weil ich nicht recht glaubte, dass die Driftzeitmessung an vielen Zähldrähten in unserem finanziellen und technischen Rahmen machbar war. Ich hatte dann aber großes Vergnügen daran, mit Herrn Walenta zusammen an der Vervollkommnung der Driftkammer zu arbeiten.« (Heintze 2017, S. 125)

Heintze und Soergel hatten seit ihrer Ankunft in Heidelberg die Werkstätten kontinuierlich ausgebaut mit dem Ziel, für zukünftige Entwicklungen der Detektoren, die immer komplexer und anspruchsvoller wurden, technologisch gerüstet zu sein, sowohl was die Auslese-Elektronik als auch die Präzisions-Mechanik anging. Jede Neuberufung hat sich dieser Strategie angeschlossen.

Zum Studium der Quarks war die Erzeugung eines Quark-Antiquark-Paars bei der Elektron-Positron-Vernichtung eine vom theoretischen Standpunkt besonders transparente Reaktion. Inspiriert von damals unerklärlichen Diskrepanzen zwischen Theorie und Experiment in der Messung des Wirkungsquerschnittes in Elektron-Positron-Stößen beschloss Heintze, ein Experiment am kurz vor der Fertigstellung stehenden

DORIS-Speicherring bei DESY aufzubauen, um unter anderem diesen Wirkungsquerschnitt zu messen. Die »Novemberrevolution von 1974«, wie die Entdeckung des J/ψ genannt wurde, zeigte, dass Heintzes Wahl korrekt war.

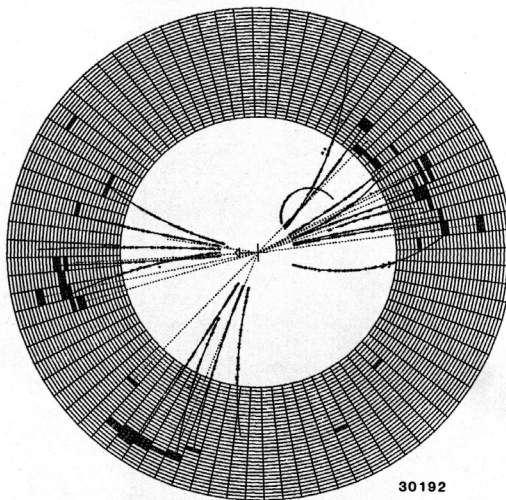
Zusammen mit Arbeitsgruppen aus Japan, England und Hamburg wurde der Universaldetektor JADE (»Japan-Deutschland-England«) gebaut, wozu Heidelberg mit der Spurenkammer samt Auslese-Elektronik beitrug. Bei dem Detektor handelt es sich um einen segmentierten Zylinder, von dem in  **ABBILDUNG 7.2** die untere Hälfte gezeigt ist. In jedem Segment sind Drähte gespannt, an die eine Hochspannung angelegt wird. Beim Durchgang eines geladenen Teilchens entsteht wie in einem Zählrohr eine Spur von Ionen, die zu den Drähten driften und nach Ort und Zeit registriert werden. Daraus lässt sich die Teilchenspur elektronisch rekonstruieren.

Der JADE-Detektor wurde am Elektron-Positron-Speicherring PETRA mit einer Schwerpunktsenergie von 40 GeV eingesetzt. Das vielleicht spektakulärste Ergebnis dieser Experimente war der direkte Nachweis der Existenz von Gluonen bei der Vernichtung eines Elektron-Positron-Paars.  **ABBILDUNG 7.3** zeigt ein besonders schönes Ereignis: Im Zentrum der ringförmigen Zähler stoßen Elektron und Positron aufeinander und wandeln sich in ein Quark, ein Antiquark und ein Gluon um. Auf ihrem Weg radial nach außen »hadronisieren« diese intermediären Teilchen jeweils in eine Kette von geladenen Teilchen (hauptsächlich Pionen), deren Spuren registriert werden.

Als am CERN ein Elektron-Positron-Speicherring, der Large Elektron-Positron Collider (LEP), mit einer höheren Schwerpunktsenergie (zunächst 90 GeV) als bei PETRA im DESY gebaut werden sollte, wechselten die Heidelberger Elementarteilchenphysiker wieder zum CERN. Dort schlossen sie sich der OPAL-Kollaboration an, einer Zusammenarbeit von etwa 200 Physikern aus 34 Laboratorien. Heintze war in der Aufbauphase der OPAL-Kollaboration sehr engagiert, übergab aber 1984 die Verantwortung an Albrecht Wagner unter anderem für den Bau des OPAL-Zentraldetektors. Wagner hatte bei Heintze mit einer Untersuchung des Zerfalls des Λ -Hyperons promoviert und danach lange mit ihm zusammengearbeitet: am CERN über die Zerfälle von Hyperonen und am DESY im DESY-Heidelberg- und im JADE-Experiment. Er habilitierte sich in Heidelberg und war Heisenberg-Stipendiat, bevor er 1984 auf einen Lehrstuhl am Physikalischen Institut berufen wurde. Im Jahr 1989 kam



ABBILDUNG 7.2 Konstruktionsarbeit an der Driftkammer des JADE-Detektors im Physikalischen Instiut.



30192

ABBILDUNG 7.3 Der Nachweis eines Gluons im JADE-Experiment.

der Strahl, und Wagner konnte noch die Auswertung der ersten Ergebnisse für die Masse und Breite des Z^0 koordinieren, bevor er 1991 einem Ruf auf einen Lehrstuhl an die Universität Hamburg, verbunden mit der Position eines Direktors am DESY, folgte. Aus der Breite des Z^0 konnte man schließen, dass mit den drei bereits bekannten Familien von Leptonen und Quarks tatsächlich ein Abschluss erreicht ist – ein sehr wichtiges Resultat.

Einen ganz anderen Zugang zur Elementarteilchenphysik verfolgte Gisbert zu Putlitz. Er hatte mit einem Experiment aus der Atomphysik bei Kopfermann promoviert. Bei einem Aufenthalt an der Universität Yale begann sich zu Putlitz für das Myonium zu interessieren, einem gebundenen Zustand aus einem positiven Myon und einem Elektron (Putlitz 2018). Da diese beiden Teilchen punktförmig sind und nur den elektromagnetischen und schwachen Wechselwirkungen unterliegen, ist das Myonium ein ideales System – sozusagen ein besseres Wasserstoffatom – um die Quantenelektrodynamik samt der elektroschwachen Theorie zu testen. Die hochpräzise Spektroskopie der Übergänge im Myonium und die genaue Messung des magnetischen Momentes des Myons waren Experimente, an denen zu Putlitz und seine Gruppe zwanzig Jahre beteiligt waren. Die Kollaboration entdeckte sogar eine Diskrepanz zwischen den gemessenen und berechneten Werten für das $g-2$ des Myons in der zehnten (!) signifikanten Stelle. Diese Diskrepanz stellt bis heute (2018) einen echten Hinweis auf Physik jenseits des Standard-Modells dar.

Bevor wir über die kernphysikalische Forschung am Physikalischen Institut berichten, schieben wir einen kurzen Abschnitt über die finanzielle Förderung der Forschung ein. Denn Forschung braucht Geld und Großforschung ganz besonders viel. Die Geräte sind groß und teuer, und das Experimentieren an auswärtigen Zentren erfordert Kosten für Reisen und Übernachtungen. Für alle Sachausgaben stellt die Universität dem Institut jährlich ein »Aversum« zur Verfügung, das durch von außen eingeworbene Drittmittel aufgestockt werden kann. Um einen Eindruck über die Größenordnungen zu geben, sollen hier die Höhe des Aversums und der Drittmittel des Physikalischen Instituts für den Zeitraum 1980 bis 1990 genannt werden. Das Aversum betrug 1,4 Mio. DM pro Jahr, unverändert in den 10 Jahren, während die Drittmittel von 2,4 Mio. DM für das Jahr 1980 auf 8,2 Mio. DM für 1990 anstiegen. Die Drittmittel wurden etwa hälftig für Sach- und Personalausgaben verwandt.

Die Kernphysik war der zweite Schwerpunkt der Forschungen im Physikalischen Institut. Unter Haxel standen zunächst Untersuchungen der atmosphärischen Radioaktivität im Vordergrund, Forschungen, die später zur Gründung des Instituts für Umweltphysik führten. Erst nachdem im Jahr 1962 der EN-Tandem-Beschleuniger des Max-Planck-Instituts für Kernphysik in Betrieb genommen worden war, wurden auch am Physikalischen Institut Kernreaktionen mit Protonen und schwereren Projektilen untersucht. Rasch entwickelte sich eine Art Symbiose zwischen beiden Instituten. Die praktische Zusammenarbeit ging soweit, dass über viele Jahre nicht nur mehrere Arbeitsgruppen, sondern auch ein Teil der Werkstätten des Physikalischen Instituts räumlich am MPI untergebracht waren. Umgekehrt bereiteten sich viele Wissenschaftler des MPI auf eine Laufbahn als Hochschullehrer vor, indem sie sich an der Fakultät habilitierten, Vorlesungen hielten und Diplomanden und Doktoranden betreuten. Oft wussten nur die Verwaltungsangestellten, welcher Doktorand zum MPI und welcher zum Physikalischen Institut gehörte. Von Universitätsseite wurde deshalb das MPI scherzhaft als »Drittes Physikalisches Institut« bezeichnet. Auch wenn im Laufe der Jahre die Personen und die Forschungsinteressen wechselten, blieb das Verhältnis zwischen der Fakultät und dem MPI unverändert eng und harmonisch. Ein solches für beide Seiten vorteilhaftes Verhältnis zwischen einem Universitätsinstitut und einem Max-Planck-Institut war in Deutschland eher die Ausnahme, jedenfalls damals.

Im Jahr 1972 wurde Peter Brix Gentners Nachfolger, allerdings nicht als *der* Direktor *des* Instituts, sondern als *einer* von mehreren Direktoren *am* MPI für Kernphysik. Gleichzeitig wurde er zum persönlichen Ordinarius an der Fakultät ernannt. Brix war kein Unbekannter in Heidelberg, denn er war mit seinem Lehrer Kopfermann von Göttingen nach Heidelberg gekommen, wo er sich habilitierte, bevor er eine Professur für technische Kernphysik an der Technischen Hochschule Darmstadt annahm (Brix 2017).

Der erste Beschleuniger des MPI, der EN-Tandem, ist in **◆ ABBILDUNG 7.4** gezeigt. Die Ionenquelle steht am hinteren Ende und ist nicht sichtbar. Die Ionen werden in der ersten Hälfte des Tanks über eine Spannung von 6 MV beschleunigt, in der Mitte umgeladen und noch einmal beschleunigt. Im Vordergrund stehen die Magnete, mit denen der Strahl in die Experimentierhalle umgelenkt wird. An dem EN-Tandem und seinem Nachfolger, dem Emperor-Beschleuniger, wurden Kerne mit

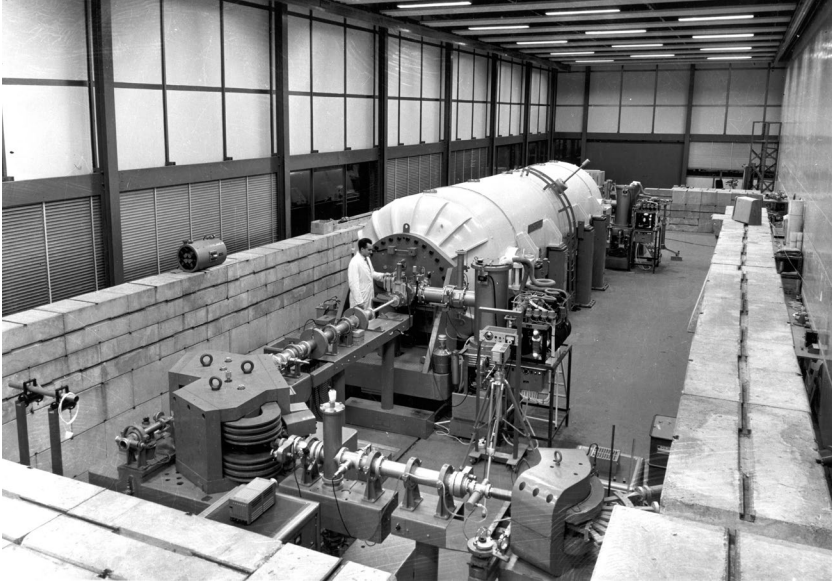


ABBILDUNG 7.4 Der EN-Tandem-Beschleuniger des MPI für Kernphysik

Protonen, Deuteronen und Alphateilchen mit Energien von einigen MeV bis zu einigen 10 MeV beschossen. Später, als am Kernforschungszentrum Karlsruhe (später Forschungszentrum Karlsruhe) ein Isochron-Zyklotron mit 100 MeV Alphateilchen verfügbar wurde, experimentierten Mitglieder der Gruppe Haxel auch dort.

Im Jahr 1965 wurde die experimentelle Kernphysik an der Fakultät durch eine weitere, im Ersten Physikalischen Institut angesiedelte Professur verstärkt. Der neue Lehrstuhlinhaber, Bogdan Povh, hatte in Ljubljana (damals Jugoslawien, heute Slowenien) studiert und als Postdoc am CALTECH und in Freiburg gearbeitet, bevor er nach Heidelberg berufen wurde. Povh experimentierte an den Beschleunigern des MPI und des CERN. Eine seiner wichtigsten Arbeiten entstand am Kaon-Strahl des CERN, wo er in einer (K^- , π^-)-Reaktion Kerne in Hyperkerne umwandelte. Dabei wird ein Neutron im Kern durch ein Λ -Hyperon ersetzt. Aus der Energieverteilung der Pionen konnte man schließen, dass sich das im Kern eingebaute Λ in einem mittleren Potential bewegt, das keine Spin-Bahn-Kopplung enthält. Das war eine Sensation, denn für Nukleonen im

Kern war gerade die Spin-Bahn-Kopplung für das Verständnis der magischen Zahlen der Atomkerne entscheidend. Für diese Experimente wurde Povh mit der Stern-Gerlach-Medaille des Jahres 2005 ausgezeichnet. Im Jahr 1975 wechselte Povh an das MPI für Kernphysik und blieb der Fakultät als persönlicher Ordinarius verbunden (Povh 2018).

Nachdem Rudolf Bock am MPI für Kernphysik schon in den sechziger Jahren die Physik der schweren Ionen begonnen hatte, wurde diese Physik mit den Berufungen von Hans Joachim Specht (1973) und von Dirk Schwalm (1981) auch an der Universität zu einem Schwerpunkt kernphysikalischer Forschung. Schwere Ionen sind Atome zwischen Kohlenstoff und Uran, denen ein Elektron, mehrere oder sogar alle Elektronen fehlen und die deshalb als geladene Teilchen beschleunigt werden können. Der erste dedizierte Schwerionen-Beschleuniger, der von Schmelzer in Heidelberg entwickelte UNILAC, ging 1975 an der GSI, der Gesellschaft für Schwerionenforschung, in Darmstadt in Betrieb. Weitere Beschleuniger und Speicherringe für schwere Ionen wurden dort und an dem MPI für Kernphysik gebaut. Bei niedrigen Energien lassen sich damit Experimente zur Physik der Atomhülle ausführen, unter anderem Präzisionstests der Quantenelektrodynamik. Stoßen schwere Ionen bei höheren Energien – einigen MeV bis einigen 10 MeV pro Nukleon – auf andere ruhende Atomkerne, dann reagieren die Kerne miteinander. Sie werden angeregt, Nukleonen werden übertragen werden, oder beide Kerne verschmelzen. Bei noch viel höheren Energien – einigen 100 GeV pro Nukleon – wie sie z. B. am SPS (Super-Proton-Synchrotron) des CERN verfügbar wurden, entsteht während des Stoßes ein Plasma aus Quarks und Gluonen.

Schwalm hatte bei Povh in Heidelberg promoviert. Vor seinem Ruf auf eine Professur in Heidelberg war er leitender Wissenschaftler an der GSI. Später, 1994, wechselte er auf eine Stelle am MPI als Direktor der Abteilung »Physik mit schweren Ionen« und blieb als persönlicher Ordinarius der Universität verbunden. Sein ungewöhnlich breites Arbeitsgebiet umgrenzte er selbst als »Struktur und Dynamik fundamentaler atomarer, molekularer und kernphysikalischer Systeme«. Für seine vielfältigen Experimente – seine Publikationsliste umfasst über 480 Einträge – nutzte er hauptsächlich die Geräte der GSI und des MPI für Kernphysik. Zum Beispiel untersuchte er mithilfe des sogenannten Kristallkugel-Spektrometers die hoch angeregten Rotationszustände von Atomkernen, die in einer Schwerionen-Reaktion gebildet werden. Für atomphysikalische Untersuchungen an Schwerionen-Speicherringen nutzte er die

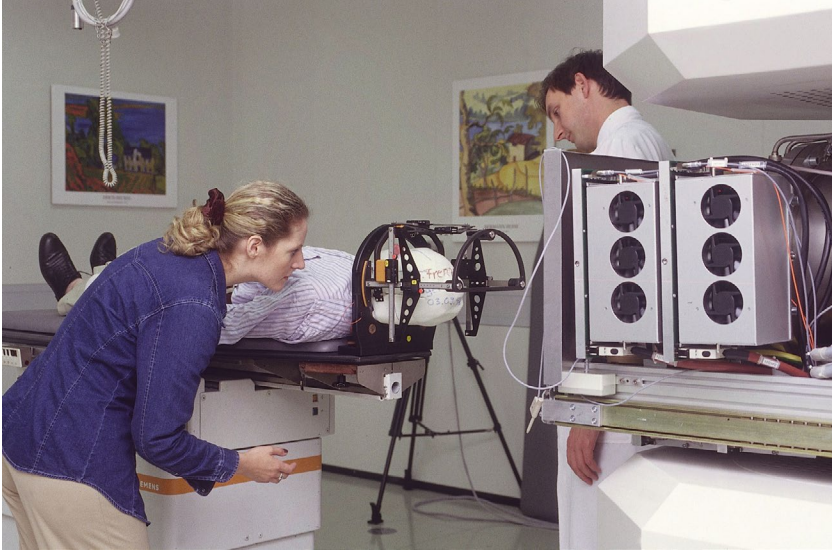


ABBILDUNG 7.5 Tumor-Therapie mit schweren Ionen an der GSI. Ein Patient wird für die Bestrahlung seines Hirntumors vorbereitet. Der Strahl kommt von rechts.

Präzisions-Laserspektroskopie, z. B. für fundamentale Tests der relativistischen Zeitdilatation (Bosch et al. 2016).

Haxels Nachfolger Hans Joachim Specht hatte in München bei Heinz Maier-Leibnitz promoviert und danach auf dem Gebiet der Kernspaltung gearbeitet (Specht 2017). Dabei war es ihm gelungen, das vorausgesagte zweite Minimum in der Spaltbarriere nachzuweisen und die zugehörige Deformation des sich spaltenden Kerns zu messen. Nach seiner Berufung nach Heidelberg setzte er diese Forschungen am MPI für Kernphysik fort und experimentierte außerdem an der GSI. Ab 1983 wechselte er in die Schwerionen-Physik bei ultrarelativistischen Energien bis zu 200 GeV pro Nukleon am SPS des CERN. Damals war es noch nicht klar, ob in den Stößen bei dieser Energie überhaupt ein Quark-Gluon-Plasma erzeugt werden könnte. Das Experiment NA45/CERES, eine Kollaboration des Physikalischen Instituts mit dem MPI für Kernphysik und dem Weizmann-Institut, war speziell für das Studium der produzierten Lepton-Paare $e^+ e^-$ ausgelegt. Damit ließ sich z. B. untersuchen, wie

sich die Eigenschaften gewisser Mesonen wie dem ρ -Meson in der Nähe des Phasenübergangs vom Quark-Gluon-Plasma zu einem hadronischen Medium verändern. Die Ergebnisse, kombiniert mit den Resultaten aus sechs weiteren großen Experimenten des CERN, lieferten die überzeugende Evidenz für die Existenz eines neuen Zustandes der Materie, des Quark-Gluon-Plasmas (CERN 2000). Mit dem abschließenden Experiment NA60 gelang der direkte Beweis für die Bildung dieses Plasmas bereits bei SPS-Energien durch direkte Messung von Temperaturen oberhalb der kritischen Temperatur.

Mitten im Aufbau des CERES-Experiments wurde Specht gefragt, ob er die wissenschaftlich-technische Leitung der GSI übernehmen wolle. Während Spechts Direktorat an der GSI (von 1992 bis 1999) und mit seiner besonderen Unterstützung wurden dort – in einer Zusammenarbeit mit der Radiologischen Klinik der Universität Heidelberg und dem Deutschen Krebsforschungszentrum – die Voraussetzungen für die Behandlung spezieller Tumore mit schweren Ionen geschaffen. Strahlen von schweren Ionen haben die besondere Eigenschaft, dass ihre Energiedeposition im Gewebe genau lokalisiert werden kann. 1997 wurden an der GSI die ersten von insgesamt 450 Patienten behandelt. ♦ **ABBILDUNG 7.5** zeigt ein Beispiel. Für die medizinische Seite war Jürgen Debus zuständig, der auf der Abbildung im Hintergrund zu sehen ist. Für die Schwerionen-Tumor-Therapie war er bestens vorbereitet, denn er hatte in Heidelberg parallel Medizin und Physik studiert und in beiden Fächern promoviert. Die Ergebnisse an der GSI waren so erfolgversprechend, dass ein dedizierter Schwerionen-Beschleuniger für die Heidelberger Universitätsklinik bewilligt wurde und seit 2009 im von Debus geleiteten Heidelberger Ionenstrahl-Therapiezentrum (HIT) läuft.

In den neunziger Jahren begann mit den Berufungen von Franz Eisele (1992), Dirk Dubbers (1993) und Johanna Stachel (1996) der Generationenwechsel im Physikalischen Institut. Dabei wurden die Forschungen auf den bisherigen Schwerpunkten des Instituts, Elementarteilchen- und Kernphysik, weitgehend weitergeführt: Eisele experimentierte am DESY mit Elektronen, Dubbers am Forschungsreaktor ILL in Grenoble mit kalten und ultrakalten Neutronen und Stachel mit ultrarelativistischen Schwerionen am LHC im CERN. Eine ausführliche Würdigung der Arbeiten der Neuberufenen ist einem später zu schreibenden Kapitel über die Geschichte der Heidelberger Fakultät nach 2000 vorbehalten (Dubbers 2018; Eisele 2018).

Professoren am Physikalischen Institut mit den Daten ihrer Tätigkeit: Otto Haxel (1950–1977), Hans Kopfermann (1953–1963), Wolfgang Gentner (1959–1974, persönlicher Ordinarius, hauptamtlich am MPI für Kernphysik), Joachim Heintze (1964–1991), Bogdan Povh (1965–2000, ab 1975 persönlicher Ordinarius, hauptamtlich am MPI für Kernphysik), Volker Soergel (1967–1996), Peter Brix (1976–1986, persönlicher Ordinarius, hauptamtlich am MPI für Kernphysik), Hans Joachim Specht (1973–2004), Gisbert zu Putlitz (1973–1999), Dietrich Pelte (1973–2003), Lars Lassen (1973–1994), Wolfgang Bühning (1975–1997), Albrecht Winnacker (1980–1986), Peter Bock (1980–2002), Heinz Wolfgang Siebert (1980–2004), Dirk Schwalm (1981–2005, ab 1994 persönlicher Ordinarius, hauptamtlich am MPI für Kernphysik), Albrecht Wagner (1984–1991), Reinhard Neumann (1985–1989), Frank Träger (1986–1990), Norbert Wermes (1989–1992), Franz Eisele (1992–2007), Dirk Dubbers (1993–2011), Heinz Jürgen Kluge (ab 1994, beurlaubt zur GSI), Johanna Stachel (ab 1996), Ulrich Straumann (1996–1999), Norbert Herrmann (ab 1998).

Institut für Theoretische Physik

Die theoretische Physik in Heidelberg begann mit Hans Jensen und wurde über viele Jahre von ihm geprägt, inhaltlich wie auch methodisch. Jensen setzte in Heidelberg zunächst seine in Hannover begonnenen Forschungen auf dem Gebiet der Kernphysik fort. Später, in den sechziger Jahren, wandte er sich auch Fragen der Elementarteilchenphysik zu. Beide Gebiete gehörten damals zur Front der Forschung und blieben bis zum Ende des Jahrhunderts auch Schwerpunkte der Heidelberger theoretischen Physik. In den siebziger Jahren wurde die theoretische Kernphysik personell zurückgefahren und zwei auf diesem Gebiet freiwerdende Lehrstühle mit Vertretern der statistischen Physik und der Festkörperphysik besetzt.

Jensen selbst arbeitete sehr experimentnah. Er suchte das Gespräch mit Kollegen der Experimentalphysik und analysierte die Daten, die er interpretieren wollte, sehr genau, bevor er ein Gesetz ableitete. Seine Art zu forschen wurde über viele Jahre das Markenzeichen der Heidelberger theoretischen Physik. Das fing schon in der Ausbildung an. Hans Günter Dosch, der seine Diplomarbeit bei Jensen machen wollte und eine Absage erhielt, schreibt darüber:

»Jensen war der Meinung, dass man wenigstens einmal in seinem Leben etwas Anständiges lernen solle und nahm deswegen keine Diplomanden in der Theorie an. Ich glaube, das war damals sehr berechtigt, denn außerhalb der Universität gab es damals praktisch kein Betätigungsfeld für theoretische Physiker. Das hat sich inzwischen sehr geändert, und heute würde ich jedem angehenden Theoretiker unbedingt raten, schon sein Diplom in theoretischer Physik zu machen.« (Dosch 2018, S. 31f)

Vermutlich wollte Jensen mit seiner Weigerung, Diplomanden anzunehmen, auch erreichen, dass angehende Theoretiker wenigstens einmal im Leben an einem Experiment mitarbeiten, um eine Ahnung davon zu bekommen, welche Probleme es dort zu lösen gibt und wie man experimentelle Ergebnisse zu verstehen hat. Theoretiker, die diesen Weg gegangen sind, haben bei ihren späteren Forschungen davon profitiert, insbesondere, wenn sie eng mit Experimentalphysikern zusammenarbeiteten. Allerdings wurde bei diesem »Umweg« die Ausbildung in Mathematik etwas vernachlässigt. Erst in den 1970er Jahren wurden Professoren nach Heidelberg berufen, die nicht aus Jensens Schule stammten und einen mehr mathematischen Zugang zur theoretischen Physik pflegten.

Als Jensen 1949 nach Heidelberg kam, musste das von ihm gegründete Institut für Theoretische Physik zunächst als »Untermieter« in das Gebäude des Physikalischen Instituts einziehen. Diese Situation änderte sich erst, als die theoretische Physik 1956 in die Villa Merton, Philosophenweg 16, einziehen konnte. Aber auch deren Räume reichten bald nicht mehr aus, und die Gruppe Kernphysik musste ein Gebäude im Neuenheimer Feld beziehen. Die Trennung von den anderen Kollegen der Theorie und der Experimentalphysik war jedoch schmerzhaft. Abhilfe kam erst 1973 als Folge der Filthuth-Affäre. Das zunächst für das Institut für Hochenergiephysik vorgesehene Gebäude Philosophenweg 19 wurde dem Institut für Theoretische Physik überlassen, allerdings erst, nachdem Heintze, Soergel und Stech im Kultusministerium vorstellig geworden waren. Mit diesem geräumigen und schön gelegenen Gebäude konnte den damals neu in die Theorie zu berufenden Theoretikern aus den Gebieten der Kernphysik, statistischen Physik und Festkörperphysik, Jörg Hüfner, Franz Wegner und Heinz Horner, ein attraktives Angebot gemacht werden. Alle drei nahmen den Ruf an und schlossen sich zur Abteilung Vielteilchenphysik im Institut für Theoretische Physik

zusammen. Die Abteilung Elementarteilchenphysik blieb weiter im Haus Philosophenweg 16.

Im Folgenden werden die wichtigsten Forschungsprojekte, die in der theoretischen Physik zwischen 1960 und 2000 bearbeitet wurden, kurz beschrieben, und zwar in der Reihenfolge: Elementarteilchenphysik, Kernphysik, statistische Physik/Festkörperphysik und Quantenmechanik. Auch wenn die Bereiche getrennt dargestellt werden, gab es doch viele wissenschaftliche und persönliche Verbindungen zwischen den Vertretern der unterschiedlichen Bereiche.

Elementarteilchenphysik: Die zweite Hälfte des 20. Jahrhunderts war für die Elementarteilchenphysiker eine aufregende Zeit. In der kosmischen Strahlung und an den Beschleunigern wurden immer neue Teilchen entdeckt, deren Natur und Wechselwirkungen verstanden werden mussten. Auch wenn Jensen schon erste Schritte in Richtung Elementarteilchenphysik gemacht hatte, so war es doch erst Berthold Stech, der die Abteilung Theoretische Elementarteilchenphysik aufbaute. Sie wuchs kontinuierlich und bestand ab 1980 aus acht Professoren. Unter dem Oberthema »Angewandte Quantenfeldtheorie« wurden konkrete Daten analysiert, aber auch abstrakte Modelle der Feldtheorie untersucht.

Berthold Stech hatte in Heidelberg studiert und bei Bothe 1951 mit einer experimentellen Arbeit promoviert (Stech 2017). Danach wechselte er – übrigens gegen den Rat seines Doktorvaters – in die theoretische Physik und wurde Assistent bei Jensen. Seit 1959 war er ordentlicher Professor im Institut für Theoretische Physik, eine Position, die er bis zu seiner Emeritierung im Jahr 1991 innehatte. ♦ **ABBILDUNG 7.6** zeigt ihn als jungen Professor von 36 Jahren. Nach einigen Arbeiten zum Betazerfall von Atomkernen schlugen Jensen und Stech 1955 für die schwache Wechselwirkung eine Symmetrie vor, die die möglichen Kopplungen von Fermionen einschränkte. Diese diskrete chirale Symmetrie respektierte noch die damals allgemein akzeptierte Erhaltung der Parität. Heute ist die chirale Symmetrie aller Wechselwirkungen ein Grundpfeiler des Standardmodells der Teilchenphysik. Neben zahlreichen Arbeiten zu Theorien für eine Große Vereinigung aller fundamentalen Kräfte bildeten die schwachen Zerfälle, auch die von Mesonen und Hadronen mit schweren Quarks, ein Hauptthema der Stech'schen Forschungen.

Die starke Wechselwirkung wurde besonders von den Professoren Hans Günter Dosch und Otto Nachtmann untersucht, die 1969 bzw. 1976



ABBILDUNG 7.6 Berthold Stech, Professor für Theoretische Physik von 1960 bis 1991.

berufen worden waren und häufig eng zusammenarbeiteten. Ebenso wie Stech hatte auch Dosch in Heidelberg studiert und mit einer experimentellen Arbeit diplomiert. Zur Promotion wechselte er dann zu Stech in die theoretische Physik. Doschs wissenschaftliches Interesse galt der starken Wechselwirkung, insbesondere der quantenfeldtheoretischen Behandlung zusammengesetzter Zustände. Da in der Quantenfeldtheorie die Störungstheorie der einzige strenge analytische Zugang ist, ist man für die Behandlung gebundener Zustände auf Modelle angewiesen. Angeregt durch einen Vortrag des Kollegen Wegner aus der statistischen Physik über dessen erstes Modell einer Eichtheorie auf dem Gitter entwickelte Dosch zusammen mit seinem russischen Kollegen Yu. Simonov ein feldtheoretisches Modell zur nichtstörungstheoretischen Behandlung komplexer Systeme. Dieses Modell konnte, in Verbindung mit einer von Otto Nachtmann entwickelten Rahmentheorie zur Streuung hochenergetischer Teilchen, auch zur quantitativen Berechnung solcher Prozesse benutzt werden (Dosch 2018).

Otto Nachtmann war kein »Heidelberger Gewächs«, wie so viele andere Heidelberger Professoren, sondern hatte in Wien studiert. Um 1970

waren die tief-inelastischen Elektron- und Neutrino-Nukleon-Streuexperimente hochaktuell. Nachtmann schlug Methoden vor, wie aus den Daten der Experimente die inneren Quantenzahlen der Konstituenten des Nukleons bestimmt werden konnten. Ein weiteres großes Forschungsfeld waren Phänomene der Quantenchromodynamik (QCD), die sich nicht mit störungstheoretischen Methoden berechnen lassen. Zu diesen gehören die sogenannten »weichen« hochenergetischen Streuprozesse wie die Hadron-Hadron-Streuung bei hohen Energien und kleinen Streuwinkeln. Zusammen mit P. V. Landshoff von der Universität Cambridge (UK) konnte Nachtmann einen ersten Zusammenhang zwischen nicht-perturbativer QCD und weichen Streuprozessen herstellen. Schließlich sei erwähnt, dass Nachtmann ein Lehrbuch über Elementarteilchenphysik veröffentlicht hat.


Gegen Ende des zwanzigsten Jahrhunderts begann eine interessante Entwicklung in der Physik: Zwei Forschungsgebiete, die lange Zeit nichts Gemeinsames hatten, nämlich die Elementarteilchenphysik und die Kosmologie, trafen sich beim Versuch, die Verhältnisse im Kosmos kurz nach dem Urknall zu verstehen. In Heidelberg wurde diese Brücke zur Kosmologie zuerst von Christof Wetterich geschlagen, der 1992 Stechs Nachfolger wurde und den Generationenwechsel in der theoretischen Elementarteilchenphysik einleitete. Er schlug vor, die Dunkle Energie nicht durch die Einsteinsche kosmologische Konstante, sondern durch ein zeitabhängiges Skalarfeld, die sogenannte Quintessenz, zu beschreiben. Über die Ergebnisse und weitere Arbeiten wird in einem Kapitel über die Geschichte der Heidelberger Physik nach dem Jahr 2000 zu berichten sein.

Kernphysik: Zu Beginn der sechziger Jahre war die Sturm- und Drangzeit der Kernphysik abgeschlossen. Wichtige Konzepte zum Verständnis der Kerneigenschaften, wie das Schalenmodell und das Kollektiv-Modell, waren entdeckt und mit Nobelpreisen gewürdigt worden. Weitere Fortschritte in der theoretischen Kernphysik wurden wesentlich durch die Analyse von Daten aus Kernreaktionen an den neu gebauten Beschleunigern bestimmt. Eine enge Zusammenarbeit der Theoretiker mit den Experimentatoren war deshalb wichtig und wurde praktiziert.

Hans-Arwed Weidenmüller, der bei Jensen promoviert hatte, erweiterte den Formalismus des Schalenmodells, der zunächst nur für gebundene Zustände des Kerns entwickelt worden war, auf die Beschreibung



ABBILDUNG 7.7 Hans-Arwed Weidenmüller, Professor für Theoretische Physik von 1963 bis 2001.

von Kernreaktionen, in denen sich ein oder mehrere Teilchen in einem Streuzustand befinden. In Zusammenarbeit mit dem Belgier Claude Mahaux, der von 1970 bis 1971 in Heidelberg einen Lehrstuhl für theoretische Physik innehatte, entstand das Buch *Shell Modell Approach to Nuclear Reactions*. Später, nachdem Weidenmüller als Direktor zum MPI für Kernphysik gewechselt war, der Fakultät aber als persönlicher Ordinarius erhalten blieb, wandte er sich verstärkt den Kernreaktionen zu, in denen zwischenzeitlich ein hochangeregter Compound-Kern von komplizierter Struktur gebildet wird. Die für dieses Problem entwickelte Mathematik der Zufallsmatrizen ließ sich auch auf andere chaotische Systeme übertragen. Aus seiner Zeit am MPI stammt die  ABBILDUNG 7.7. Für seine Arbeiten wurde Weidenmüller im Jahr 1982 mit der Max-Planck-Medaille geehrt, der höchsten Auszeichnung, die die Deutsche Physikalische Gesellschaft für Arbeiten auf dem Gebiet der theoretischen Physik zu vergeben hat (Weidenmüller 2015; 2018).

Während Weidenmüller hauptsächlich Kernreaktionen bei relativ niedrigen Energien untersuchte, analysierte Jörg Hüfner Daten

kernphysikalischer Experimente an Hochenergie-Beschleunigern. Hüfner hatte bei Weidenmüller promoviert und war 1973 von einer Professur an der Universität Freiburg nach Heidelberg berufen worden. In Heidelberg arbeitete er unter anderem mit Povh bei der Analyse der Daten aus der Produktion angeregter Hyperkerne zusammen. Als in Genf Kern-Kern-Stöße bei Energien bis zu 200 GeV pro Nukleon möglich wurden, beschäftigte er sich mit den Eigenschaften des Quark-Gluon-Plasmas, insbesondere mit der Frage, wie dessen Produktion in Schwerionen-Stößen nachgewiesen werden kann (Hüfner 2018).

Statistische Physik und Festkörperphysik: In Heidelberg gab es lange Zeit keine Professoren auf diesen beiden Gebieten, obwohl insbesondere die Festkörperphysik für die Ausbildung sehr wichtig und an anderen Universitäten auch in der Forschung stark vertreten war. Erst in den siebziger Jahren wurden beide Gebiete auch in Heidelberg etabliert, zunächst in der Theorie mit den Berufungen von Franz Wegner (1974) und Heinz Horner (1975), und später auch in der Experimentalphysik mit der Berufung Siegfried Hunklingers (1982).

»Die Thermodynamik und Statistische Physik habe ich dreimal gehört«, schreibt Franz Wegner (◆ ABBILDUNG 7.8) in seinem Rückblick auf seinen wissenschaftlichen Werdegang (Wegner 2018). Allerdings war er beim zweiten Mal schon einer der Korrektoren und leitete beim dritten Mal die Übungen selbst. Damals wusste er noch nicht, dass er diesem Teilgebiet der Physik bis zu seiner Emeritierung treu bleiben würde. Mit einer Arbeit über die Spindynamik des Ferromagneten am Übergang zum paramagnetischen Bereich promovierte er bei Wilhelm Brenig und Herbert Wagner in München. Kritische Phänomene, d. h. das Verhalten an Phasenübergängen, beschrieben durch die Renormierungsgruppe, beschäftigten ihn auch danach. Er erkannte, dass ein vier-dimensionales Ising-Modell mit Spins auf Plaketten im Hoch- und im Tieftemperatur-Bereich unterschiedliche Korrelationen von Produkten der Spins auf geschlossenen Schleifen zeigt. Die Ersetzung der Spins durch SU(3)-Matrizen führt zu Gittereichtheorien, die in der Quantenchromodynamik vielfache Anwendungen fanden. Damit ergaben sich fruchtbare Querverbindungen zu Dosch in der Abteilung Elementarteilchenphysik. Später wandte sich Wegner dem Verhalten von Elektronen in ungeordneten Gittern zu und entwickelte zur Beschreibung des Übergangs von Leiter zum Isolator ein Modell von Zufallsmatrizen auf einem Gitter. Für seine Entdeckungen



ABBILDUNG 7.8 Franz Wegner, Professor für Theoretische Physik von 1974 bis 2006.


wurde er schon im Alter von 46 Jahren mit der Max-Planck-Medaille ausgezeichnet.

Spingläser und Hirngespinnste lautet der Titel des Vortrages in der Reihe *Heidelberger Physiker berichten*, in dem Heinz Horner, der wie Wegner in München promoviert hatte, über die Arbeiten in seiner Gruppe sprach (Horner 2018). Spingläser sind ungeordnete Systeme, z.B. verdünnte magnetische Legierungen, die sich nicht im thermodynamischen Gleichgewicht befinden, weshalb sie eine große Herausforderung für die theoretische Behandlung darstellen. Horner untersuchte die Struktur und Dynamik der vielen energetisch möglichen Konfigurationen der miteinander wechselwirkenden Spins. Formal lassen sich die Spins und ihre magnetischen Wechselwirkungen aber auch als Neuronen des menschlichen Gehirns und ihre Wechselwirkungen durch Synapsen auffassen. Den Konfigurationen der Spins im Spinglas entsprechen dann Zustände eines neuronalen Netzes im Gehirn. Dieser formale Zusammenhang ermöglicht es, Prozesse im Gehirn, wie das Lernen oder Wiedererkennen, mathematisch zu behandeln. In der Gruppe Horner

wurden aber auch andere, mehr konventionelle Probleme wie z.B. das Tieftemperaturverhalten von Gläsern mit Methoden der statistischen Physik behandelt. Dabei kam es zu einer fruchtbaren Zusammenarbeit mit der experimentellen Gruppe um Hunklinger im Institut für Angewandte Physik.

Der Generationenwechsel in der theoretischen Festkörperphysik begann 1989 mit der Berufung von Dieter Heermann. Ähnlich wie schon Horner vor ihm wandte auch er Methoden der theoretischen Festkörperphysik auf Probleme der Lebenswissenschaften an, z.B. auf die Faltung von Chromosomen.

Quantenmechanik: Von Plancks Erklärung der Hohlraumstrahlung bis zur Schrödingergleichung, mit der viele Phänomene der Quantenphysik erklärt und berechnet werden können, dauerte es kaum dreißig Jahre. Aber selbst bis heute sind konzeptionelle Probleme der Quantenmechanik wie z.B. der Messprozess nur teilweise verstanden. Heinz-Dieter Zeh, der in Heidelberg bei Jörg Mang und Hans Jensen promoviert hatte, arbeitete zunächst über den Alpha-Zerfall von Atomkernen, wandte sich dann grundsätzlichen Fragen der Quantenphysik zu. Er gilt heute als einer der Begründer der Theorie der Dekohärenz: Ein Quantensystem, das mit der Umgebung wechselwirkt und sich dabei mit den Zuständen der Umwelt »verschränkt«, verliert seine Fähigkeit zur Interferenz und wird damit zu einem klassischen System (Päs 2018).

Im Jahr 2007 wäre Hans Jensen, der »Vater« der Heidelberger theoretischen Physik, hundert Jahre alt geworden. Aus diesem Anlass wurde seiner mit einem wissenschaftlichen Symposium gedacht. Gleichzeitig wurde neben dem Eingang zu dem Gebäude Philosophenweg 16 das in  **◆ ABBILDUNG 7.9** gezeigte, von dem Bildhauer Thomas Duttonhoefer gestaltete Flachrelief angebracht und das Gebäude selbst in »Jensen-Haus« umbenannt.

Professoren am Institut für Theoretische Physik mit den Daten ihrer Tätigkeit: Johannes Hans Daniel Jensen (1949–1973), Walter Wessel (1956–1968), Berthold Stech (1960–1991), Hans-Arwed Weidenmüller (1963–2001, ab 1971 persönlicher Ordinarius, hauptamtlich am MPI für Kernphysik), Klaus Dietrich (1968–1972), Hans Günter Dosch (1969–2002), Claude Mahaux (1970–1971), Karl-Heinz Mütter (1971–1975), Iring Bender (1973–2001), Heinz-Dieter Zeh (1973–1989), Jörg Hüfner (1973–2003), Franz Wegner (1974–2006), Heinz Horner (1975–2004), Otto

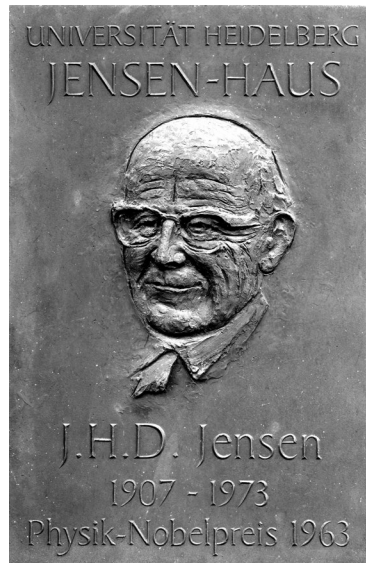


ABBILDUNG 7.9 Bronzetafel mit Jensens Halbre relief am Gebäude des Instituts für Theoretische Physik, Philosophenweg 16.

Nachtmann (1976–2007), Klaus Pohlmeier (1976–1978), Dieter Gromes (1980–2004), Heinz Rothe (1980–2004), Michael Schmidt (1980–2008), Klaus Rothe (1982–2004), Hans-Jürgen Pirner (1987–2010), Dieter Heermann (ab 1989), Christof Wetterich (ab 1992).

Institut für Angewandte Physik

Angewandte Physik hatte es in Heidelberg schon während des Zweiten Weltkriegs gegeben, nämlich von 1942 bis 1945 als wehrphysikalische Forschung in dem Institut für Weltpost- und Nachrichtenwesen unter der Leitung von Ludwig Wesch. Das einzig Gemeinsame zwischen diesem Institut und dem im Jahr 1959 gegründeten Universitätsinstitut für Angewandte Physik besteht darin, dass auch das neue Institut in der Villa Bergius untergebracht wurde.



ABBILDUNG 7.10 Villa Bergius, Albert-Ueberle-
Straße 3–5, seit 1960 Institut
für Angewandte Physik.

Das in ♦ ABBILDUNG 7.10 gezeigte Gebäude fällt schon durch seine Architektur im Stil der Neuen Sachlichkeit aus dem Rahmen der anderen Bauten am Philosophenweg. Zwei Jugendstilvillen, die vorher dort standen, wurden zum Teil abgerissen und in den neuen Bau integriert, der 1929 bezogen werden konnte. Der Bauherr war der Chemiker Friedrich Bergius (1884–1949), der zusammen mit Carl Bosch im Jahr 1931 den Nobelpreis für die Kohleverflüssigung, d. h. die Umwandlung von Kohle und Wasser in Öl, erhielt. Aus Geldnöten musste Bergius die Villa 1941 verkaufen, das Institut für Weltpost- und Nachrichtenwesen zog dort ein, und nach dem Krieg wurde es zunächst Sitz des amerikanischen Geheimdienstes, bevor es ein Institut der Universität wurde.

Der Bau war zwar architektonisch ansprechend, aber für die Anforderungen eines experimentellen Instituts ungeeignet. Deshalb hofften die neuen Nutzer auf einen baldigen Umzug, der aber noch über vierzig Jahre

auf sich warten ließ. Später, als der Platz in der Villa nicht mehr reichte, wurde das gegenüberliegende Gebäude in der Albert-Ueberle-Straße 2 hinzugenommen. Da gleich zwei Professoren für angewandte Physik berufen worden waren, Christoph Schmelzer (1960) und Konrad Tamm (1961), und jeder Professor »sein« Institut beanspruchte, wurde das Institut zunächst in Angewandte Physik I (Schmelzer) und II (Tamm) geteilt, wobei die Teilung später aufgehoben wurde.

Auf Schmelzer, einen Fachmann für die Physik von Mikrowellen, war Bothe schon bald nach dem Krieg aufmerksam geworden (Nachruf Schmelzer 2001). Er holte ihn 1948 als Assistenten nach Heidelberg und übertrug ihm den Umbau des Zyklotrons im MPI für medizinische Forschung. Sechs Jahre später wechselte Schmelzer zum CERN, wo er als stellvertretender Direktor der Proton-Synchrotron-Gruppe für das Hochfrequenzsystem, die magnetische Führung der Protonen und ihre phasenrichtige Beschleunigung verantwortlich war. Als der Beschleuniger erfolgreich in Betrieb genommen worden war, übernahm Schmelzer einen Lehrstuhl für angewandte Physik und arbeitete weiter auf dem Gebiet der Beschleunigerphysik. Er entwickelte einen Linearbeschleuniger, mit dem alle Ionen, von Protonen bis Uran, auf Energien zwischen 2 und 11,4 MeV pro Nukleon beschleunigt werden konnten. Zu dessen Bau und einem zugehörigen Laboratorium wurde im Jahr 1969 die Gesellschaft für Schwerionenforschung (GSI) in Darmstadt gegründet mit Christoph Schmelzer als erstem wissenschaftlich-technischem Geschäftsführer. ♦ ABBILDUNG 7.11 stammt aus dieser Zeit. Der Beschleuniger mit Namen UNILAC (Universal Linear Accelerator) ging im Jahr 1975 in Betrieb (♦ ABBILDUNG 7.12). Auch Heidelberger Kern- und Atomphysiker haben diesen und andere später dort gebaute Beschleuniger für ihre Experimente genutzt.

Bei seinen Überlegungen, wie man die Einzelresonatoren des UNILAC steuern könnte, verfolgte Schmelzer auch die Idee, dafür die erst 1960 erfundenen Laser zu nutzen. Zum Aufbau einer Laser-Gruppe holte Schmelzer Peter Toschek, der bei Wolfgang Paul in Bonn promoviert hatte, im Jahr 1963 auf eine Assistentenstelle. Auch wenn Schmelzers Idee damals nicht zum Erfolg geführt hatte, arbeitete man im Institut weiter mit Lasern und setzte sie erfolgreich in der Atomphysik, der Augenheilkunde und der Mikroskopie ein.

In Toscheks Arbeitsgruppe wurden Laser gebaut, um die Wechselwirkung von Licht mit Atomen – ein altes Thema aber mit neuen



ABBILDUNG 7.11 Christoph Schmelzer, Professor für Experimentalphysik am Institut für Angewandte Physik von 1960 bis 1977.

Methoden – zu studieren. Einer der Doktoranden war der spätere Nobelpreisträger Theodor Hänsch, der mit der Arbeit *Zur Wechselwirkung zweier Laser-Lichtfelder mit angeregten Neon-Atomen* im Jahr 1969 promovierte. Toschek und seiner Gruppe gelang es auch, Atome mit Laserlicht zu kühlen. In einer Zusammenarbeit mit Hans Georg Dehmelt konnte zum ersten Mal ein einzelnes Laser-gekühltes Barium-Ion in einer Paulschen Ionenfalle gespeichert werden.

Schmelzers Nachfolger wurde Josef Bille, der in Karlsruhe über Halbleiterlaser promoviert und dann bei der Hoechst AG in der Abteilung Regeltechnik gearbeitet hatte. Mit seinen Erfahrungen in der Laser- und der Regeltechnik wandte sich Bille der adaptiven Optik zu. Mithilfe dieser Technik werden Störungen der Wellenfront beim Durchgang eines Lichtbündels durch ein inhomogenes Medium durch instantane Korrektur der Wellenfront beseitigt und damit die Auflösung optischer Geräte



ABBILDUNG 7.12 Der von Schmelzer konzipierte UNILAC-Beschleuniger. Im Vordergrund steht die Quelle, an die sich der 115 m lange Linear-Beschleuniger anschließt.

verbessert. In einer Zusammenarbeit mit Immo Appenzeller von der Landessternwarte erprobte Bille Verfahren, um bei der Himmelsbeobachtung die Störungen durch die turbulente Erdatmosphäre zu unterdrücken. Billes großes Verdienst aber sind seine Anwendungen der adaptiven Optik in der Augenheilkunde. Er entwickelte ein Verfahren zur genaueren Bestimmung der Augenfehler und – in Zusammenarbeit mit Medizinern – eine

Methode der Laserchirurgie der Hornhaut. Damit können Sehfehler besser als mit Brillen oder Kontaktlinsen korrigiert werden. Dieser Methode, die heute weltweit angewandt wird, verdanken viele Millionen Menschen ein erheblich verbessertes Sehvermögen. Einer der ersten extrem kurzsichtigen Patienten, bei denen die Brechkraft des Auges – innerhalb von 20 Sekunden! – mithilfe von Laserstrahlen korrigiert wurde, war Bille selbst mit dem Resultat, dass er seitdem keine Brille braucht. Für seine vielfältigen Erfindungen wurde er im Jahr 2012 mit dem Erfinderprijs der Europäischen Patentorganisation ausgezeichnet (Bille 2018).

In der Entwicklung von neuen Lichtmikroskopen, einem weiteren Schwerpunkt in der angewandten Physik, ging es unter anderem darum, die Auflösung der Geräte unter die durch die Beugung bedingte Grenze, den Abbe-Limit, zu drücken. Auch hier kamen Laser zum Einsatz. Christoph Cremer (Cremer 2018), der in Freiburg in Genetik und Biophysik promoviert hatte und 1983 auf eine Professur für angewandte Optik und Informationsverarbeitung in Heidelberg berufen wurde, verfolgte die Idee, mithilfe eines fokussierten Laser-Mikrostrahls das Objekt punktweise in drei Dimensionen abzuscanen und die induzierte Fluoreszenzemission mit einem Detektor zu registrieren, wobei ein vergrößertes drei-dimensionales Bild des Objekts entsteht.

Auch in der Gruppe Hunklinger wurde an Mikroskopen gearbeitet. Im Jahr 1990 promovierte Stefan Hell mit der Arbeit *Abbildung transparenter Mikrostrukturen im konfokalen Mikroskop*. Der Mikroskopie blieb Hell bei seinen weiteren Forschungen treu, wobei es auch zu zahlreichen gemeinsamen Publikationen mit Cremer kam. Für die Entwicklung von Verfahren der supraauflösenden Fluoreszenzmikroskopie wurde Hell 2014 gemeinsam mit Eric Betzig und William Moerner mit dem Nobelpreis für Chemie ausgezeichnet.

Im zweiten Institut für Angewandte Physik wurde Konrad Tamm 1961 auf den Lehrstuhl für Elektronik und Schwingungsphysik berufen. Er hatte in Göttingen über die Absorption und Dispersion von Ultraschall in Flüssigkeiten und Gasen gearbeitet. Diese Forschungen wurden in Heidelberg weitergeführt und Untersuchungen auf dem Gebiet der Plasma-physik hinzugenommen (Weis 1987).

Mit der Berufung von Siegfried Hunklinger, der in München promoviert hatte und die Nachfolge Tamm antrat, wurde die experimentelle Festkörperphysik in Heidelberg etabliert (Hunklinger 2017). Hunklinger setzte seine in München begonnenen und in Grenoble und Stuttgart

weitergeführten Untersuchungen zum Tieftemperaturverhalten von amorphen Festkörpern, wie z.B. Quarzglas, in Heidelberg fort. Es war ein Glücksfall, dass gleichzeitig auch in der Gruppe Horner über diese Substanzklasse geforscht wurde und auf diese Weise ein reger Gedankenaustausch zwischen Theorie und Experiment möglich wurde. Zwei Stoffe gleicher chemischer Zusammensetzung, die sich durch ihre Struktur, kristallin bzw. amorph, unterscheiden, sollten sich – so war die allgemeine Erwartung – bei genügend tiefer Temperatur gleich verhalten. In Hunklingers Gruppe wurden deren dielektrische und akustische Eigenschaften bis zu Temperaturen von 5 mK hinab gemessen, ohne dass die Unterschiede verschwanden. Für diese Entdeckung wurde Hunklinger mit der Stern-Gerlach-Medaille der Deutschen Physikalischen Gesellschaft ausgezeichnet.

Am Institut für Angewandte Physik begann der Generationenwechsel 1995 mit der Berufung von Annemarie Pucci, der ersten Frau auf eine Professur an der Heidelberger Fakultät für Physik und Astronomie. Sie war auch die erste Professorin in der Fakultät, die in der ehemaligen DDR aufgewachsen war. In Heidelberg etablierte sie ein neues Forschungsgebiet: die Untersuchung von Oberflächen mithilfe unterschiedlicher experimenteller Verfahren, insbesondere mithilfe der Absorption von Infrarot-Strahlung.

Technologietransfer, d.h. die Ausgründung von Firmen, um Forschungsergebnisse in Produkte umzusetzen, gab es in der Heidelberger Fakultät für Physik und Astronomie relativ selten. Im Institut für Angewandte Physik versuchten es Bille und Hunklinger zusammen mit Siegfried Kalbitzer vom MPI für Kernphysik, Reinhard Männer vom Physikalischen Institut und Roel Wijnaendts vom EMBL. Hunklinger erinnert sich an die Schwierigkeiten:

»Wir mieteten uns im ›Technologie-Park‹ im Neuenheimer Feld ein und versuchten unsere Ideen in die Tat umzusetzen. Ein wesentlicher Mangel unserer Firma war, dass zu viele Projekte verfolgt wurden und die Führungsstruktur ungeeignet war. Die Investoren erwarteten aber, dass in kurzer Zeit markttaugliche Produkte entwickelt wurden, mit denen Gewinne erwirtschaftet werden können. Die Konsequenz war eine Aufspaltung der Firma: Leica übernahm die konfokale Mikroskopie, Heidelberg Instruments Mikrotechnik konzentrierte sich auf die direkt-schreibende

Lithographie und Heidelberg Instruments Engineering auf die Augenheilkunde.« (Hunklinger 2017, S. 70)

Die Firma *Heidelberg Instruments Mikrotechnik GmbH* existiert noch heute (2018) in Heidelberg und ist ein Marktführer auf dem Gebiet der Lithographie mithilfe von Lasern.

Wie schon erwähnt, war die räumliche Unterbringung des Instituts für Angewandte Physik lange Zeit unbefriedigend. Erst im Jahr 1999 wurde im Neuenheimer Feld ein Neubau begonnen, in den auch das Institut für Hochenergiephysik einziehen sollte. Um die Ressourcen der beiden Institute in der Verwaltung und den technischen Diensten effizienter nutzen zu können, beschlossen ihre damaligen Direktoren, Siegfried Hunklinger und Karlheinz Meier, beide Institute unter dem Namen Kirchhoff-Institut für Physik (KIP) zu vereinen. Schon im Jahr 2002 konnte der Neubau bezogen werden.

Professoren am Institut für Angewandte Physik mit den Daten ihrer Tätigkeit: Christoph Schmelzer (1960–1977), Konrad Tamm (1961–1981), Kurt Breitschwerdt (1973–1995), Klaus Hübner (1973–2000), Peter Toschek (1973–1981), Olaf Weis (1973–1975), Josef Bille (1978–2007), Siegfried Hunklinger (1982–2004), Christoph Cremer (1983–2009), Annemarie Pucci (ab 1995).

Institut für Hochenergiephysik

Unter den ersten jungen deutschen Wissenschaftlern, die am CERN ihre wissenschaftliche Laufbahn begannen, war Heinz Filthuth (Nachruf Filthuth 2016). Er hatte in Heidelberg bei Haxel promoviert, ging 1955 nach Genf und untersuchte, bevor es dort Beschleuniger gab, mit einer Nebelkammer kosmische Strahlung auf dem Jungfraujoch. Später arbeitete er am CERN beim Bau einer Blasenkammer mit und war führend an einem Experiment beteiligt, in dem K^- -Mesonen in einer Wasserstoff-Blasenkammer gestoppt wurden. Eines der wichtigen Ergebnisse war die Bestimmung der relativen Parität der Hyperonen Σ^0 und Λ , wofür es damals zwei Voraussagen gab: Aus Werner Heisenbergs Theorie folgte ein negativer Wert, während Murray Gell-Mann und Yuval Ne'eman aufgrund ihres $SU(3)$ -Modells einen positiven Wert voraussagten. Das Experiment ergab den Wert $+1$

und widerlegte damit Heisenbergs Voraussage, was dieser in einem Brief zugeben musste:

»Lieber Filthuth,

Haben Sie besten Dank für Ihr Telegramm aus Amerika mit dem interessanten Resultat über die $\Lambda\Sigma$ -Parität. (...) Für uns in München ist das Resultat, wenn es richtig ist, insofern betrüblich, als es zeigt, dass in den Voraussetzungen unserer Spurionentheorie, d. h. in den Annahmen über die Entartung des Vakuums, noch ein grundlegender Fehler steckt...« (Heisenberg 1963)

Ein Jahr nach der Veröffentlichung dieses Ergebnisses, wurde Filthuth 1964 in Heidelberg auf einen neugeschaffenen Lehrstuhl für Experimentalphysik mit Schwerpunkt Hochenergiephysik berufen. Er gründete ein Institut, in dem die am CERN aufgenommenen Blasenkammeraufnahmen ausgewertet werden konnten. Dazu wurden an der Albert-Ueberle-Straße und am Philosophenweg mehrere Gebäude angemietet, Computer, Scan- und Messtische gekauft und Personal eingestellt. Die Blasenkammer-Aufnahmen von K^- -Proton-Kollisionen bei verschiedenen Energien wurden ausgewertet, die Quantenzahlen angeregter Hyperonenzustände mithilfe einer Partialwellenanalyse bestimmt und mit Voraussagen des SU(3)-Modells verglichen. Aufgrund seines hohen Ansehens unter den europäischen Hochenergiephysikern gelang es Filthuth, die *Fourth Biannual European Conference on Elementary Particles* für 1967 nach Heidelberg zu holen.

Die Misswirtschaft in den Finanzen des Instituts führte – wie schon berichtet – zu Filthuths Verhaftung im Jahr 1972. Danach wurde das Institut zunächst von Volker Soergel und ab 1973 von dem neuberufenen Professor Klaus Tittel geleitet. Es war kein einfacher Neuanfang: Die Folgen der Misswirtschaft mussten finanziell und personell aufgearbeitet und die Physik neu ausgerichtet werden. Die nicht mehr zeitgemäße Blasenkammerphysik wurde aufgegeben und Experimente mit elektronischem Nachweis von Teilchenspuren begonnen, darunter am Neutrino-Experiment mit dem Kürzel CDHS (CERN-Dortmund-Heidelberg-Saclay-Kollaboration). An dessen Aufbau hatte Tittel als Senior Scientist des CERN schon vor seinem Ruf nach Heidelberg gearbeitet, ebenso der später nach Heidelberg berufene Franz Eisele. Sprecher des Experiments war Jack Steinberger, Honorarprofessor in Heidelberg und Nobelpreisträger des Jahres 1988. In dem Experiment,

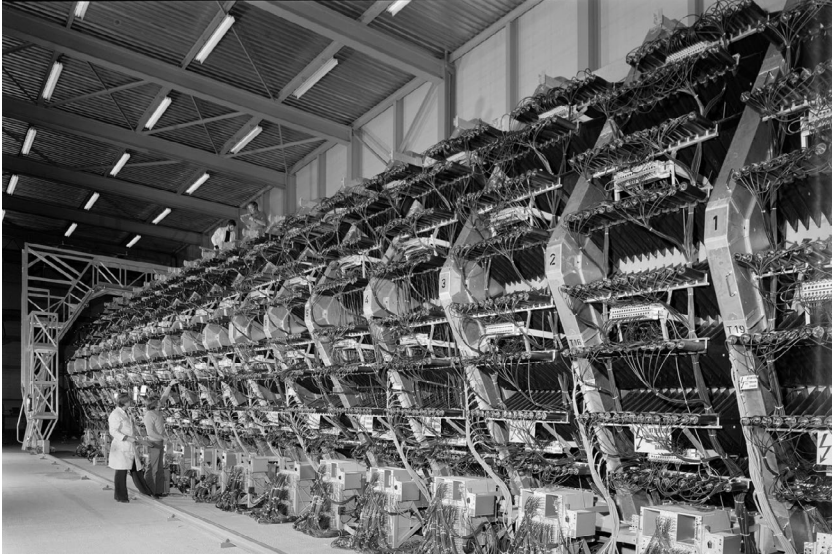


ABBILDUNG 7.13 Detektor des CDHS-Neutrino-Experiments am Super-Proton-Synchrotron des CERN.

das von 1976 bis 1984 lief, wurden unter anderem die Strukturfunktionen der Nukleonen aus der tief-inelastischen Streuung von Neutrinos bestimmt und der Weinbergwinkel, der Mischungswinkel der Schwachen Wechselwirkung, gemessen. ♦ ABBILDUNG 7.13 zeigt den Detektor. Die Neutrinos fallen von hinten ein und produzieren in einem der 19 Module ein Myon durch Streuung an einem Nukleon eines Eisenkerns. Jedes Modul besteht aus einer magnetisierten Eisenscheibe, aus Szintillator-Streifen und einer Driftkammer, mit denen die produzierte Energie bzw. die Spur des Myons gemessen werden. Die Masse des Detektors beträgt 1250 t.

Unter den Folgeexperimenten des Instituts für Hochenergiephysik ist besonders die Beteiligung an dem ALEPH-Experiment am LEP des CERN hervorzuheben, das von 1989 bis 1995 Daten nahm und dessen Sprecher wieder Jack Steinberger war. In $e^+ e^-$ Kollisionen wurden vor allem Präzisionsmessungen zur elektroschwachen Wechselwirkung durchgeführt. Insbesondere wurden die Masse und Breite der W- und Z-Bosonen genau bestimmt. Dieses Experiment lief am LEP parallel zu dem OPAL-Experiment, an dem das Physikalische Institut beteiligt war.

Im Jahr 1992 begann mit der Berufung von Karlheinz Meier der Generationenwechsel am Institut für Hochenergiephysik. Mit der Untersuchung des menschlichen Denkens mithilfe von Computern eröffnete er ein neues Forschungsfeld an der Fakultät. Interessant ist, wie es dazu kam. Meier hatte am CERN und dann am DESY an verschiedenen Experimenten der Hochenergiephysik mitgearbeitet, wobei sein besonderes Interesse der elektronischen Instrumentierung galt. In Heidelberg baute er Teile des Triggers für das ATLAS-Experiment am CERN. Hierfür wurde am Institut für Hochenergiephysik ein Laboratorium für Mikroelektronik (ASIC) eingerichtet. Als die Vorarbeiten für ATLAS beendet waren, stellte sich die Frage nach der Zukunft des vorzüglich aufgestellten Labors. Da Meier schon immer von der Informationsverarbeitung fasziniert war, war der Sprung zur Informationsverarbeitung im menschlichen Gehirn vielleicht nicht allzu groß. Elektronische Bauelemente, die die Funktionen der Neuronen und Synapsen simulieren, wurden entwickelt und daraus ein »neuromorpher« Computer gebaut, d.h. ein Computer, der nach den bekannten Prinzipien des menschlichen Gehirns arbeitet. Damit wurde in der Heidelberger Physik eine neue Forschungsrichtung etabliert. Über ihre Erfolge auch auf europäischem Niveau wird in einem Kapitel über die Zeit nach 2000 zu berichten sein.

Professoren am Institut für Hochenergiephysik mit den Daten ihrer Tätigkeit: Heinz Filthuth (1964–1972), Klaus Tittel (1973–1998), Hermann Schneider (1973–2001), Eike-Erik Kluge (1973–2003), Klaus Schubert (1975–1988), Volker Hepp (1978–2003), Karlheinz Meier (1992–2018), Volker Lindenstruth (1998–2009).

Institut für Umweltphysik

Untersuchungen mit radioaktivem ^{14}C standen am Anfang einer Entwicklung, die in den fünfziger Jahren im Physikalischen Institut begonnen hatte und im Jahr 1974 zur Gründung des Instituts für Umweltphysik führte. Otto Haxel, der schon früh das Potential der Radiokohlenstoff- oder ^{14}C -Methode gesehen hatte, beauftragte seinen Doktoranden Karl-Otto Münnich mit dem Aufbau eines ^{14}C -Labors. Die ^{14}C -Atome wurden durch ihren radioaktiven Zerfall nachgewiesen, wobei damals, wie auch heute noch, die niedrigen Zählraten das größte Problem darstellten. Münnich, der

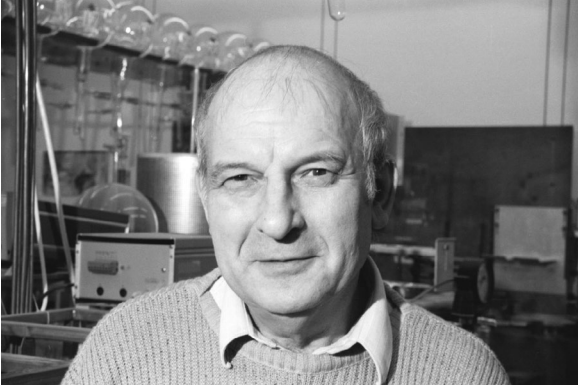


ABBILDUNG 7.14 Karl-Otto Münnich, Professor für Experimentalphysik am Institut für Umweltphysik von 1974 bis 1992.

im Jahr 1957 promoviert hatte, erkannte bald, dass sich die ^{14}C -Methode nicht nur zur Datierung in der Vorgeschichtsforschung, sondern auch zur Erforschung von Prozessen in der Umwelt eignet. ♦ ABBILDUNG 7.14 zeigt Münnich im Labor.

Gute wissenschaftliche Argumente sind zwar notwendig für die Gründung eines neuen Instituts, aber nicht hinreichend: ohne Geld und Stellen geht gar nichts. Um den materiellen Grundstock des Instituts zu sichern, gab jeder Lehrstuhlinhaber des Physikalischen Instituts eine seiner Assistentenstellen und einen Teil seines Aversums ab – ein Akt gelebter Kollegialität.

Aus dem ^{14}C -Labor entwickelte sich in Heidelberg die Umweltphysik in ihrer ganzen Breite. Haxel hatte nie Probleme mit »angewandter« Physik. Nach seiner Meinung können Physiker in ganz verschiedenen Bereichen Sinnvolles beitragen. Das bekannte Sprichwort laute ja nicht »Schuster bleib' bei deinen *Schuhen*« – so pflegte er zu sagen – sondern »Schuster bleib' bei deinen *Leisten*«. Die Leisten seien das Werkzeug des Schusters. Welche Schuhe er damit anfertige, das habe nicht immer er zu entscheiden. In diesem Sinne sah und sieht sich das Institut für Umweltphysik als eine Institution, die die physische Umwelt mit physikalischen Methoden verstehen will. Auch wenn die Gründung des Instituts in die Zeit fiel, als sich die »grüne« Bewegung zum Natur- und Umweltschutz

entwickelte, verstand sich das Heidelberger Institut immer als eines für Umweltphysik und nie für Umweltschutz.

In der hier behandelten Periode von 1974 bis 2000 wurden bei den Arbeiten des Instituts im Wesentlichen zwei unterschiedliche Untersuchungsmethoden genutzt:

- Die Verfolgung von Prozessen in der Umwelt anhand von Markierungstoffen (Tracern), die über den radioaktiven Zerfall oder mithilfe von Massenspektrometern nachgewiesen werden, und
- der Nachweis von Spurenbestandteilen in der Atmosphäre durch optische Absorptionsspektroskopie.

Von Beginn an war die Erforschung des globalen Kohlenstoffkreislaufs, der für die Zukunft unseres Klimas wichtig ist, ein Schwerpunkt. Dabei spielte die künstliche Erhöhung des atmosphärischen ^{14}C -Inventars durch die oberirdischen Kernwaffenversuche eine wichtige Rolle. ♦ **ABBILDUNG 7.15** zeigt die Abweichung des $^{14}\text{C}/^{12}\text{C}$ -Verhältnisses im Kohlendioxid vom Wert des natürlichen Gleichgewichts. Die Abnahme des zusätzlichen ^{14}C erklärt

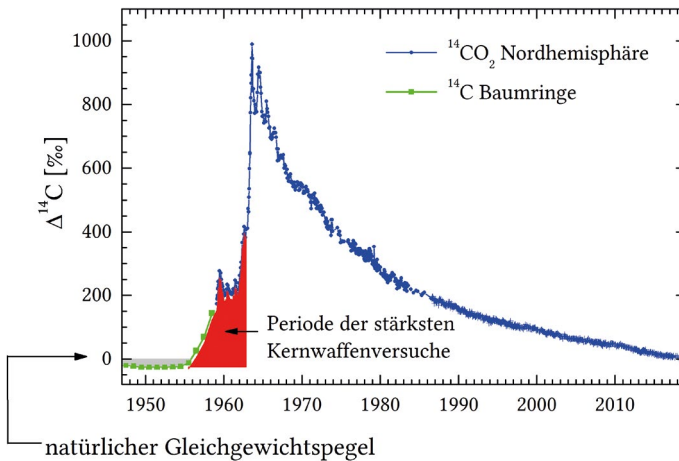


ABBILDUNG 7.15 Ein ungeplantes globales Tracerexperiment. Die zeitliche Entwicklung des durch die oberirdischen Kernwaffenversuche hervorgerufenen radioaktiven ^{14}C im Kohlendioxid der Atmosphäre.

sich nicht durch den radioaktiven Zerfall, dessen Halbwertszeit 5715 Jahre beträgt, sondern hauptsächlich durch den Austausch von atmosphärischem CO₂ mit den Ozeanen und der terrestrischen Biosphäre. Das zeitlich wohllokalisierte Signal durch oberirdische Atomwaffentests konnte in verschiedenen klimarelevanten Prozessen verfolgt werden.

Auch Quellen und Senken anderer Klimasystem-relevanter Spurenstoffe wie Methan oder Aerosole wurden im Institut untersucht. Daten zur Vergangenheit des Klimas gewann man aus Eisbohrkernen der Antarktis und der Alpen, sowie aus Ozeansedimenten und anderen Archiven.

Feldforschung spielte von Anfang an eine wichtige Rolle in der Arbeit des Instituts. Dazu nur einige Beispiele:

- Schon 1960 wandten Münnich und seine Mitarbeiter die Methode der Altersbestimmung mit ¹⁴C auf die riesigen Grundwasservorräte unter der Sahara an. Die Erkenntnis, dass diese fossilen Ursprungs sind und sich nicht erneuern, war wichtig für Bewässerungsprojekte in Libyen und Ägypten.
- Auf Fahrten mit dem Forschungsschiff Meteor wurden Tiefenprofile von ¹⁴C im gelösten anorganischen Kohlenstoff in den Weltmeeren aufgenommen. Die Werte aus oberen Schichten gaben Aufschluss über Austausch- und Mischungsprozesse, während die Daten aus der Tiefe für die Bestimmung der Erneuerungsraten des Tiefenwassers, ein essentieller Parameter im globalen Klimasystem, wichtig waren.
- An der Georg-von-Neumayer-Station in der Antarktis wurde auf Initiative des Instituts für Umwelphysik ein Spurenstoff-Observatorium gebaut und seit 1983 betrieben.

Die Methode der differentiellen optischen Absorptionsspektroskopie wurde von Ulrich Platt, der 1989 berufen wurde, eingeführt (Platt 2018). Dabei werden molekulare Spurenstoffe, wie Ozon oder Stickoxide, in der Atmosphäre durch die Schwächung eines Lichtstrahls bei bestimmten, für die Stoffe charakteristischen Frequenzen nachgewiesen. Da die Analysegeräte relativ kompakt sind, können sie auch auf Flugzeugen und Satelliten installiert werden, um die globale Verteilung atmosphärischer Spurengase zu kartieren. Diese Messungen sind vor allem auch wichtig, um die chemischen Prozesse in der Luft besser zu verstehen.

Einzigartig ist der ringförmige Wind-Wellenkanal mit 10 m Durchmesser (Heidelberger Aeolotron), mit dem die kleinskaligen

Austauschvorgänge, insbesondere der Gasaustausch zwischen Wasser und Atmosphäre, studiert werden. Windwellen, Wasseroberflächentemperatur, Strömung und Konzentrationsfelder werden mit geeigneten Aufnahmeverfahren sichtbar gemacht und mit Methoden der Bildverarbeitung analysiert. Diese Analysen hat besonders Bernd Jähne vorangetrieben, der 1994 als Professor an das Institut für Umweltphysik und gleichzeitig an das Interdisziplinäre Zentrum für Wissenschaftliches Rechnen (IWR) berufen wurde, und mit dem der Generationenwechsel am Institut für Umweltphysik begann. Seine »Brückenprofessur« zwischen Physik und wissenschaftlichem Rechnen zeigt – wieder einmal – wie wichtig die Computer für die Forschung in der Physik geworden sind. Mit der Berufung Kurt Roths im Jahr 1998 wurde eine neue Professur für Bodenphysik und Bodenhydrologie besetzt.

Bei seiner Gründung war das Institut für Umweltphysik das einzige seiner Art in Deutschland und wurde Vorbild für viele Neugründungen im In- und Ausland. Zum 25-jährigen Jubiläum im Jahr 1999 konnte es eine eindrucksvolle Bilanz vorweisen: ein jährliches Drittmittel-Budget von etwa 5 Millionen DM und etwa 150 Mitarbeiter, von denen ein Großteil Diplomanden und Doktoranden waren (Schwartz 1999). Zur schnellen finanziellen und personellen Entwicklung des Instituts hat sicherlich auch beigetragen, dass ab den siebziger Jahren Umwelt und Klima wichtige Themen der öffentlichen Diskussion waren. Für das Institut bedeutete das, dass Drittmittel leichter eingeworben werden konnten und gute Studierende ins Institut strömten, um dort ihre Abschlussarbeit zu machen. Eine nur teilweise erwünschte Folge war, dass die Forschung in dem Institut von der Öffentlichkeit viel aufmerksamer und zum Teil auch kritischer verfolgt wurde als die anderer Institute der Fakultät.

Professoren am Institut für Umweltphysik mit den Daten ihrer Tätigkeit: Karl-Otto Münnich (1974–1992), Wolfgang Roether (1975–1987), Walter Rödel (1980–1998), Ulrich Platt (1989–2015), Wolfgang Kinzelbach (1993–1996), Bernd Jähne (ab 1994), Ulrich Schurath (1995–2004, beurlaubt zum FZ Karlsruhe, später KIT), Kurt Roth (ab 1998).

Auf dem Weg zu einem Heidelberger Zentrum für Astronomie

Mit der Entdeckung der kosmischen Mikrowellen-Hintergrundstrahlung im Jahr 1964 begann für die astronomische Forschung eine besonders fruchtbare Periode, die oft als »Goldenes Zeitalter der Astronomie« bezeichnet wird. Auch für die Heidelberger Astronomen war diese Zeit besonders ertragreich. Zu den beiden schon bestehenden außeruniversitären Institutionen, der Landessternwarte und dem Astronomischen Rechen-Institut, kamen zwei neue hinzu: das Universitätsinstitut für Theoretische Astrophysik und das Max-Planck-Institut für Astronomie. Damit wurde Heidelberg zu einem wichtigen Zentrum astronomischer Forschung in Deutschland. Im Jahr 2005 wurden die Landessternwarte und das Astronomische Rechen-Institut in die Universität eingegliedert, und zusammen mit dem Institut für Theoretische Astrophysik entstand daraus das »Zentrum für Astronomie Heidelberg« (ZAH).

Institut für Theoretische Astrophysik: Von der personellen Expansion der Universität Heidelberg in den sechziger Jahren profitierte auch die Astronomie. Im Jahr 1964 wurde zunächst ein und fünf Jahre später ein zweiter Lehrstuhl für Theoretische Astrophysik bewilligt. Der erste Lehrstuhlinhaber Karl-Heinz Böhm wechselte allerdings schon nach vier Jahren nach Seattle, da er für seine rechenaufwendigen Arbeiten leistungsfähigere Computer benötigte, als ihm in Heidelberg zur Verfügung standen. In seiner Nachfolge wurden Gerhard Traving und Bodo Baschek berufen. Beide waren Schüler des angesehenen Astronomen Albrecht Unsöld in Kiel. Nach Travings Emeritierung 1985 übernahm Werner Tscharnuter, der aus Wien gekommen war, dessen Professur. Die räumliche Unterbringung des Instituts für Theoretische Astrophysik war lange Zeit unbefriedigend: Innerhalb von 40 Jahren musste das Institut fünfmal umziehen (Baschek 2018).

Schwerpunkte der Forschung im Universitätsinstitut für Theoretische Astrophysik waren zunächst die Theorie der Sternatmosphären, d.h. der äußeren Schichten eines Sterns, und eine quantitative Analyse der Sternspektren. Insbesondere wurden der Strahlungstransport in den Sternatmosphären und die Akkretion der Gasatmosphären zu dichteren Objekten theoretisch und numerisch untersucht. Die Forschungen wurden durch mehrere Sonderforschungsbereiche finanziell unterstützt.

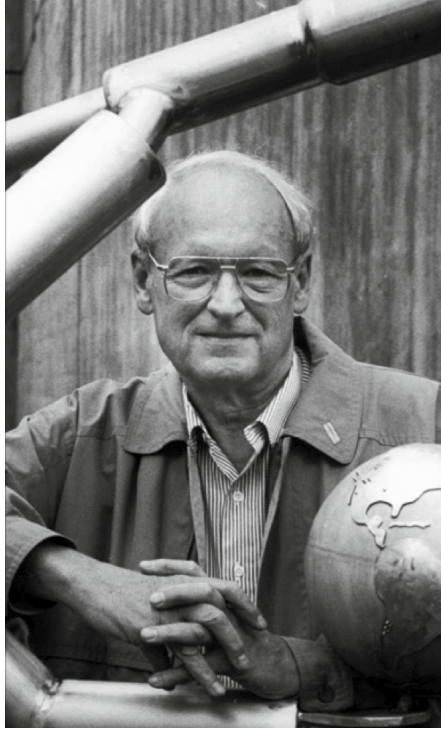


ABBILDUNG 7.16 Hans Elsässer, Professor für Astronomie von 1964 bis 1997. Das Gestänge und die Erdkugel auf dem Foto gehören zu der Skulptur »Der Sterngucker« auf dem Gelände des MPI für Astronomie.

Im Jahr 1967 erschien Unsölds Lehrbuch *Der Neue Kosmos*, in dem ein für alle Naturwissenschaftler verständlicher Überblick über das Gesamtgebiet der Astronomie gegeben wurde. Das Buch war so erfolgreich, dass bald weitere Auflagen nötig waren; ab der dritten Auflage übernahm Baschek die Überarbeitung und Herausgabe neuer Auflagen.

Max-Planck-Institut für Astronomie: Als im Jahr 1962 Hans Elsässer, der in Tübingen promoviert und sich dort auch habilitiert hatte, zum Professor für Astronomie an die Universität Heidelberg berufen wurde und gleichzeitig die Leitung der Landessternwarte übernahm, lag eine große

Aufgabe vor ihm. Denn in Heidelberg, ja in ganz Deutschland, waren die Astronomen für die vor ihnen liegenden Herausforderungen des Goldenen Zeitalters überhaupt nicht vorbereitet:

»Betrachtet man im Rückblick die astronomische Forschungslandschaft der Bundesrepublik Deutschland jener Zeit, so sticht die vollständige Abwesenheit leistungsfähiger, zeitgemäßer Beobachtungseinrichtungen ins Auge. Überall fehlten die elementarsten technischen Voraussetzungen. Bei der Übernahme der Leitung der Landessternwarte fand Elsässer auf dem Königstuhl nur ein 70-cm-Spiegelteleskop aus dem Jahre 1907 vor, damals das zweitgrößte (!) in der Bundesrepublik.« (Solf 2003)

Elsässer wollte nicht nur die Situation in Heidelberg verbessern, sondern sah es auch als seine Aufgabe, den desolaten Zustand der beobachtenden Astronomie in Deutschland grundlegend zu verbessern. Der erste Schritt dazu bestand in seiner Mitarbeit an einer Denkschrift »Zur Lage der Astronomie«, die 1962 im Auftrag der Deutschen Forschungsgemeinschaft erstellt wurde. Darin wurde unter anderem empfohlen, nationale Einrichtungen überregionaler Art zu gründen, die externe Beobachtungsstationen mit großen Teleskopen betreiben sollen.

Die Denkschrift fiel auf fruchtbaren Boden, und ihre Empfehlungen wurden erstaunlich schnell umgesetzt. Schon im Jahr 1967 beschloss die Max-Planck-Gesellschaft die Gründung eines Max-Planck-Instituts für Astronomie in Heidelberg und berief Elsässer zu seinem Gründungsdirektor (◆ **ABBILDUNG 7.16**). Das Institut sollte aus einem Heimatinstitut und zwei Beobachtungsstationen bestehen: einer im Mittelmeerraum und einer weiteren auf der Südhalbkugel.

Auf dem Königstuhl direkt neben der Landessternwarte wurde das Heimatinstitut gebaut und im Jahr 1975 eingeweiht. Das Observatorium im Mittelmeerraum, das in Zusammenarbeit mit spanischen Astronomen auf dem Calar Alto in Andalusien errichtet worden war, nahm im gleichen Jahr seinen Betrieb auf. Der ursprünglich ins Auge gefasste Standort Namibia für eine Beobachtungsstation auf der Südhalbkugel wurde aus politischen Gründen aufgegeben. Stattdessen wurde ein ursprünglich für Namibia gebautes 2,2-m-Teleskop für eine Periode von 25 Jahren leihweise der ESO übergeben. Die ESO, das European Southern Observatory, ist das »CERN der Astronomen«. ◆ **ABBILDUNG 7.17** zeigt



ABBILDUNG 7.17 Das Very Large Telescope (VLT) der Europäischen Südsternwarte (ESO).

das Very Large Telescope der Europäischen Südsternwarte. Es besteht aus vier ortsfesten Teleskopen mit dünnen, aktiv kontrollierten Spiegeln von jeweils 8,2 m Durchmesser, sowie vier beweglichen konventionellen Teleskopen mit jeweils 1,8 m Durchmesser. Die 8-m-Teleskope können einzeln oder zusammen mit einem gemeinsamen Fokus betrieben werden. Die kleinen können auf Schienen gefahren werden und entweder zusammen mit den großen Teleskopen oder auch nur untereinander als Interferometer betrieben werden.

Die ESO integrierte das Teleskop des MPI für Astronomie in das La Silla-Observatorium in Chile, wobei, quasi als Leihgebühr, 25% der Beobachtungszeit dem MPI für Astronomie zur Verfügung gestellt wurde. Wegen der guten Beobachtungsbedingungen war dies eine wichtige Ergänzung der Arbeitsmöglichkeiten für die Astronomen des MPI. Über deren Forschungen wird ausführlich in dem Jubiläumsband aus Anlass des 40-jährigen Bestehens des Instituts berichtet (Lemke 2011).

Elsässers eigene wissenschaftliche Interessen umfassten unter anderem die interplanetare und interstellare Materie, die Sternentstehung und die großräumigen Strukturen im Kosmos. Zeit seines wissenschaftlichen Lebens war sich Elsässer auch einer Bringschuld des Wissenschaftlers gegenüber der Öffentlichkeit bewusst. Durch populärwissenschaftliche Vorträge und durch die Gründung der Zeitschrift *Sterne und Weltraum* ließ er die Öffentlichkeit an den Fortschritten der Astronomie teilhaben.

Um sich ganz auf seine Aufgaben als Direktor des Max-Planck-Instituts konzentrieren zu können, gab Elsässer im Jahr 1975 seine Ämter als Professor und als Leiter der Landessternwarte ab. Der Universität blieb er aber weiter als persönlicher Ordinarius verbunden. Er und seine Mitarbeiter beteiligten sich – ähnlich wie die Mitarbeiter des MPI für Kernphysik – an der Ausbildung der Studierenden, insbesondere durch die Betreuung von Abschlussarbeiten.

Landessternwarte: Elsässers Nachfolger als Professor für Astronomie und Direktor der Landessternwarte wurde Immo Appenzeller. Er hatte in Göttingen promoviert und sich auch dort habilitiert. Über die Aufgabe, die ihn erwartete, berichtet er im Rückblick:

»Als ich nach Heidelberg kam, war die Sternwarte kein Museum mehr, Kienle und Elsässer hatten die Infrastruktur des Instituts wieder aufgebaut und hatten wieder wissenschaftliche Forschung etabliert. Ein »produktives Forschungsinstitut« war die Sternwarte aber immer noch nicht. Relativ zum Personalstand war der wissenschaftliche Ertrag nicht befriedigend. Hauptaufgabe war es daher zunächst, mit zeitgemäßen Hilfsmitteln (Computern, Bildverarbeitungssystemen und modernen Fokalinstrumenten), neuen Mitarbeitern mit zusätzlichem Fachwissen und einer Einbindung in internationale Kooperationen die Produktivität zu verbessern. Dass dies gelang, ist auch dem Heidelberger Umfeld mit der guten Zusammenarbeit der verschiedenen astronomischen Institute – unter anderem im Rahmen mehrerer gemeinschaftlicher Sonderforschungsbereiche – zuzuschreiben.« (Appenzeller 2017, S. 16)

Appenzellers wissenschaftliche Interessen umfassten unter anderem die Entstehung und Entwicklung der Sterne, die Physik der Quasare und der Radiogalaxien, die Identifikation der kosmischen Röntgenquellen, die Eigenschaften von Galaxien im fernen frühen Universum und die astronomische

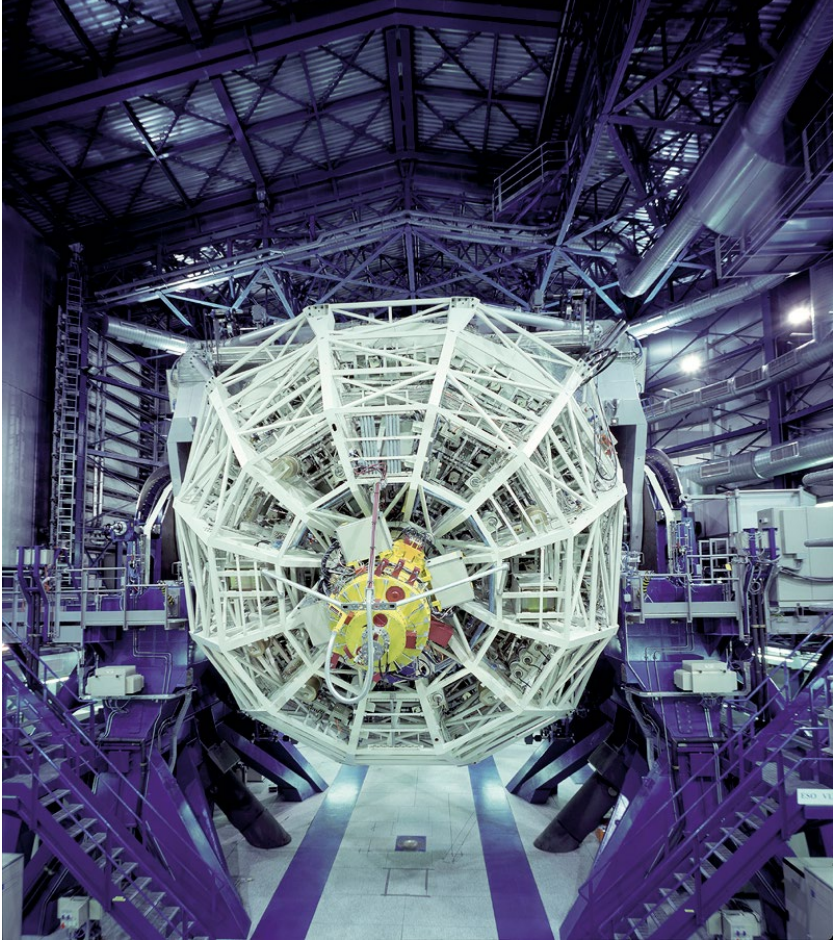


ABBILDUNG 7.18 Die Rückseite der Spiegelzelle eines der vier 8-m-Spiegel des Very Large Telescope der ESO.

Spektroskopie im fernen und extremen ultravioletten Spektralbereich. Daneben entwickelte die Sternwarte unter seiner Leitung innovative Fokalinstrumente, die an wichtigen auswärtigen Observatorien eingesetzt wurden. ♦ ABBILDUNG 7.18 zeigt ein Beispiel: In der Mitte (gelb) ist das »Focal Reducer Spectrometer« angeflanscht, das gleichzeitig als Kamera, Spektrometer und Polarimeter dient und speziell für die Beobachtung extrem

lichtschwacher Objekte ausgelegt war. Es wurde von den Sternwarten in Göttingen, Heidelberg und München entwickelt und gebaut.

Appenzeller hatte sich auch international ein gutes Ansehen erworben. Das äußerte sich z. B. darin, dass er während neun Jahren Mitglied im Exekutivkomitee der International Astronomical Union war und zeitweise als Generalsekretär diese Organisation auch leitete.

Astronomisches Rechen-Institut: Dieses außeruniversitäre Institut, eine weitere Säule der astronomischen Forschung in Heidelberg, konnte im Jahr 1961 einen Neubau in der Mönchhofstraße 12–14 beziehen, nachdem ein Teil des Instituts schon 1957 in die danebenliegende Villa umgezogen war. In dem Neubau fand auch das Rechenzentrum der Universität eine erste, vorläufige Unterkunft. Es wurde von 1963 bis 1969 von Roland Wielen geleitet. Die Rechenmaschine, eine SIEMENS 2002, war die erste in Deutschland produzierte Maschine, die vollständig mit Transistoren bestückt war. Die Programme und Daten wurden auf Lochstreifen gestanzt und in die Maschine eingelesen.

Walter Ernst Fricke übernahm im Jahr 1955 die Leitung des Instituts und wurde 1958 zunächst persönlicher und 1961 hauptamtlicher Professor der Universität. In seiner Forschung führte er die von seinem Vorgänger August Kopff begonnene Verbesserung des dritten Fundamental-katalogs der Sterne aus dem Jahr 1937 fort und gab den vierten Katalog heraus. Dieser bestand aus hochpräzisen Daten von 1535 Sternpositionen und ihren Eigenbewegungen, wodurch das international akzeptierte Bezugssystem für die Koordinaten Rektaszension und Deklination der beobachtenden Astronomie festgelegt wird.

Die Arbeitsabläufe und Arbeitsgebiete des Instituts änderten sich fast schlagartig mit der Einführung elektronischer Rechenmaschinen. In seiner Ansprache bei dem Festakt zum 300. Geburtstag des Astronomischen Rechen-Instituts im Jahr 2000 beschrieb Wielen, der das Institut von 1985 bis 2004 leitete, den Wandel mit folgenden Worten:

»Natürlich berechnen wir immer noch die astronomischen Grundlagen für den Kalender in Deutschland. Wenn Sie in Ihren Taschenkalender schauen, stammen die meisten Kalenderangaben, z. B. Sonnen- und Mond- Auf- und -Untergänge aus einer speziellen Publikation des Instituts, die die Kalenderverleger nutzen. Der Aufwand des Instituts für die Kalenderberechnung ist zwar heute vernachlässigbar klein, aber im Resultat immer noch wichtig und

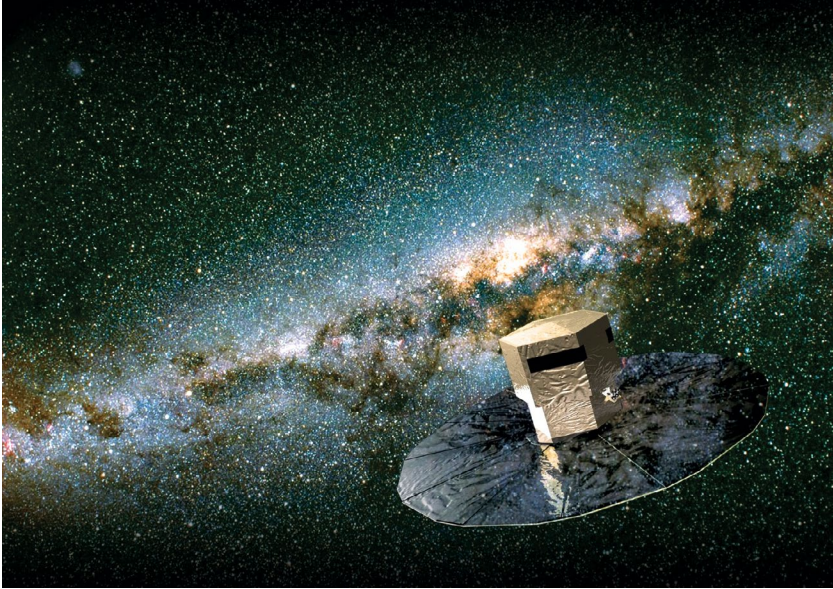


ABBILDUNG 7.19 Fotorealistische Darstellung des Astrometrie- Satelliten GAIA der europäischen Raumfahrtorganisation ESA. Im Hintergrund ein Ausschnitt der Milchstraße.

aus Tradition beibehalten. Heute ist aber die wichtigste Aufgabe des Instituts die Grundlagenforschung auf dem Gebiet der Astronomie. Dabei stehen zwei Forschungsgebiete im Mittelpunkt der Institutsarbeit: die Astrometrie und die Stelldynamik.« (Wielen 2000)

Unter Wielens Leitung beteiligte sich das Institut unter anderem an der Gewinnung und Auswertung der Daten des Satelliten HIPPARCOS der European Space Agency (ESA). In dessen Mission von 1989 bis 1993 wurden die Positionen vieler astronomischer Objekte mit hoher Präzision vermessen, woraus für diese Objekte tangentielle Eigenbewegungen und über die Parallaxe radiale Abstände bestimmt werden konnten (Wielen 2017). Seit 1992 hat das ARI sich an der Vorbereitung des noch wesentlich leistungsfähigeren HIPPARCOS-Nachfolgers GAIA der ESA beteiligt, der seit 2014 im Betrieb ist und in ♦ ABBILDUNG 7.19 in einer fotorealistischen Darstellung

gezeigt ist. Auf dem Bild erkennt man den rund 11 m großen ausklappbaren »Sonnenschirm« des Satelliten, der den Instrumenten die nötige Dunkelheit und Kälte verschafft, und der auf der hellen Seite die Sonnenzellen und Antenne für die Datentransmission trägt. Im Hintergrund ein Ausschnitt der Milchstraße, des Hauptforschungsgegenstands der Mission.

Max-Planck-Institut für Kernphysik: Auch die Abteilung Kosmochemie des MPIs für Kernphysik gehört zu den Heidelberger Institutionen, in denen der Weltraum erforscht wird. Allerdings geschah das zunächst nicht mithilfe von Teleskopen, sondern mit anderen physikalischen und auch chemischen Methoden (Festschrift MPI 2008). Zum Beispiel wurden Meteorite, Mondgestein oder kosmischer Staub auf ihre chemische und physikalische Zusammensetzung untersucht. In dem GALLEX-Experiment, das Till Kirsten vom MPI für Kernphysik leitete, konnten zum ersten Mal quantitativ die Neutrinos nachgewiesen werden, die in der Sonne bei der Fusion von Wasserstoff zu Helium in der Proton-Proton-Reaktion entstehen. Daneben leistete das Experiment auch einen Beitrag zum Nachweis der Neutrino-Oszillationen.

Die fünf beschriebenen Standorte astronomischer Forschung in Heidelberg waren zwar organisatorisch getrennt, aber die Wissenschaftler arbeiteten jeweils zusammen, wenn es die wissenschaftlichen Interessen erforderten. Erst im Jahr 2005 wurden die drei vom Land finanzierten Einrichtungen, die Landessternwarte, das Astronomische Rechen-Institut und das Universitätsinstitut für Theoretische Astrophysik, zu dem »Zentrum für Astronomie Heidelberg« (ZAH) zusammengeführt. Damit entstand an der Universität ein astronomisches Forschungsinstitut, das mit acht Professoren und etwa 100 Wissenschaftlern und Studenten in der Größe vergleichbar ist mit den astronomischen Max-Planck-Instituten in München, Garching, Bonn und Heidelberg.

Professoren der Astronomie und Astrophysik mit den Daten ihrer Tätigkeit an der Universität: Hans Kienle (1950–1962), Walter Ernst Fricke (1958–1983), Hans Elsässer (1964–1997, ab 1975 pers. Ordinarius, hauptamtlich am MPI für Astronomie), Karl-Heinz Böhm (1964–1968), Gerhard Traving (1969–1985), Bodo Baschek (1969–2001), Wilhelm Kegel (1970–1979), Immo Appenzeller (1975–2005), Michael Scholz (1979–2005), Peter Ulmschneider (1980–2003), Roland Wielen (1985–2004), Werner Tscharnuter (1987–2010).

Heintze hat das letzte Wort

Mit der in diesem Kapitel gegebenen Übersicht über das Geschehen in den Instituten der Fakultät für Physik und Astronomie ist die Darstellung der *Geschichte der Physik an der Universität Heidelberg* zu einem Ende gekommen – jedenfalls vorläufig. Joachim Heintze hatte begonnen, das Buch zu schreiben. Deshalb gebührt ihm auch das letzte Wort. Wir entnehmen es seinem Vortrag in der Reihe *Heidelberger Physiker berichten*, der mit dem folgenden Bekenntnis endet:

»Man sagt, dass Physik auch Spaß machen muss. Die Frage stellt sich: Hat sie mir Spaß gemacht? Ich muss sagen, beim Entstehen dieses herrlichen Gedankengebäudes – das Ganze kann man sich auch wie die Inszenierung und Aufführung eines Theaterstücks vorstellen – nicht nur als Zuschauer, sondern auch als Schauspieler auf der Bühne mitzuwirken, natürlich nicht in einer Hauptrolle, auch nicht gerade als Statist, sondern in einer hübschen Nebenrolle, das hat schon großen Spaß gemacht. Das kann ich Ihnen versichern.« (Heintze 2017, S. 135)

Viele Physiker und Astronomen, die an der Universität Heidelberg forschen und lehren durften, werden diesen Worten gerne zustimmen.