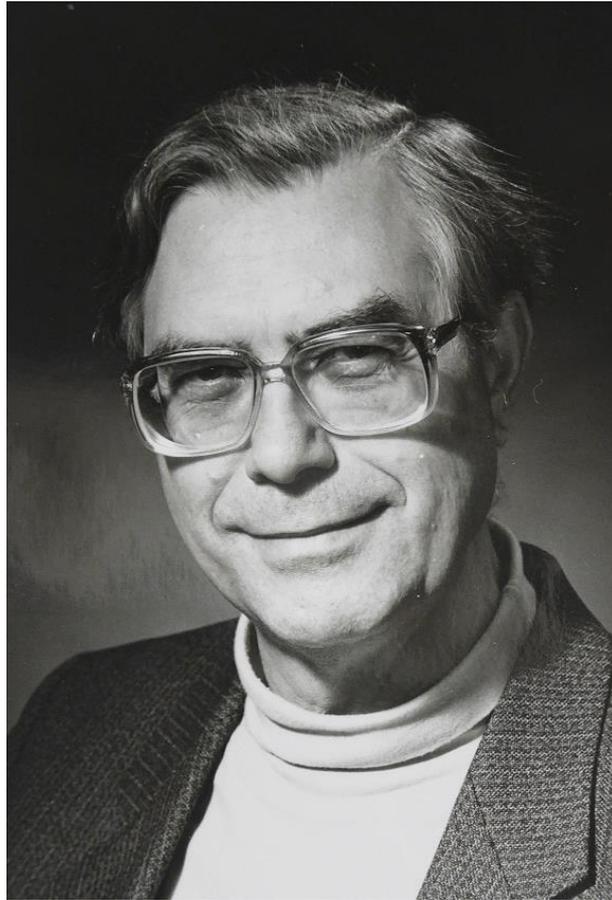


**HEIDELBERGER PHYSIKER
BERICHTEN ...**

Rückblicke auf die Lehre und Forschung
in Heidelberg

Gerd Schatz



Gerd Schatz

Gerd Schatz, Jahrgang 1934, studierte von 1954 bis 1959 Physik an der Technischen Hochschule Hannover und an der Universität Heidelberg. Dort promovierte er 1963 mit einer Arbeit zum Einfluss der Kernstruktur auf die schwache Wechselwirkung. 1965 wechselte er in das Kernforschungszentrum Karlsruhe, um dort das Zyklotronlabor zu leiten. Mit seinen dortigen Arbeiten zu Themen aus der Beschleunigerphysik habilitierte er sich 1971 an der Fakultät für Physik und Astronomie in Heidelberg. 1974 wurde er Institutsleiter am Institut für Angewandte Kernphysik des Kernforschungszentrums (später Institut für Kernphysik). 1975 folgte die Ernennung zum außerplanmäßigen Professor in Heidelberg. Ab Mitte der achtziger Jahre betrieb er die Neuausrichtung seiner großen Arbeitsgruppe auf das Gebiet der Teilchen-Astrophysik. Er baute und betrieb das Höhenstrahlungsexperiment KASKADE zur Vermessung des Energie- und Masse-Spektrums der kosmischen Strahlen im Bereich allerhöchster Energien. Hierzu war die genaue Rekonstruktion der Teilchenschauer wichtig, insbesondere die Kenntnis der Hadron-Photoproduktion. 1991 wurde Gerd Schatz zum Vorsitzenden des Wissenschaftlich-Technischen Rates des Kernforschungszentrums Karlsruhe gewählt. Seit seinem Eintritt in den Ruhestand 1999 hat sich Herr Schatz weiter intensiv mit den Ergebnissen der Höhenstrahlungsexperimente befasst.

Zwischen Kernphysik und Kerntechnik

Ich möchte mich zunächst sehr herzlich für die Ehre bedanken, im Rahmen dieser Reihe vortragen zu dürfen. Als Herr Appenzeller mit dem Vorschlag an mich herantrat, wusste ich nur von den Vorträgen *Emeriti erinnern sich*, und daher habe ich gleich gesagt, ich bin doch gar kein Emeritus. Dann erfuhr ich, dass es jetzt heißt *Heidelberger Physiker erinnern sich*, und damit ist mir natürlich eine Ausrede verloren gegangen. Aber ich bin wohl der erste Nicht-Emeritus, der in diesem Rahmen vortragen darf, und das ehrt mich natürlich ganz besonders. Auf der Internet-Seite der Fakultät habe ich festgestellt, dass es zur Zeit Leute meines Status, *außerplanmäßige Professoren, die nicht an der Universität beschäftigt sind*, etwa so viele gibt wie hauptamtliche Professoren, die entpflichteten nicht mitgerechnet, und deshalb ist es wohl nicht schlecht, wenn auch mal einer von denen im kollektiven Gedächtnis der Fakultät auftaucht.

Ich möchte anfangen im Jahre des Heils 1954, als ich frisch nach dem Abitur mit dem Physikstudium anfang, an der Technischen Hochschule meiner Heimatstadt Hannover. Heute heißt sie natürlich Leibniz-Universität, obwohl Leibniz, anders als Kurfürst Ruprecht oder Markgraf Karl Friedrich von Baden mit der nach ihm benannten Universität nie etwas zu tun hatte. Aber er war ja nicht nur Philosoph, sondern auch Mathematiker und hat sogar mechanische Rechenmaschinen entworfen, die wahrscheinlich zu seinen Lebzeiten nie gebaut wurden, aber moderne Nachbauten zeigen, dass sie durchaus funktioniert hätten. Aber der Hauptgrund für die Benennung ist wohl, dass Leibniz eine der wenigen Geistesgrößen ist, die es längere Zeit in Hannover ausgehalten haben.

Die Studienbedingungen waren damals geradezu idyllisch verglichen mit den heutigen. Wir waren fünf Physikstudenten im Semester, dazu kamen noch ein oder zwei angehende Studienräte mit Physik im Haupt- oder Nebenfach. Erwähnenswert ist vielleicht, dass einer von uns Fünfen fast zehn Jahre älter war als wir anderen, weil er erst vor kurzem aus russische Kriegsgefangenschaft zurückgekommen war. Für die paar Männeken lohnten sich natürlich keine gesonderten Grundvorlesungen in Physik oder Mathematik, die hörten wir zusammen mit 200 oder 300 angehenden Ingenieuren jeglicher Couleur. Natürlich mussten wir noch einiges Zusätzliches lernen, im Anfängerpraktikum, das jeden Samstagvormittag von 8 bis 12 Uhr stattfand, hieß das, dass wir bis zum Vordiplom 60 Versuche absolvieren mussten, den Ingenieuren genügten 15, und es war nicht ungewöhnlich, dass der zuständige Ordinarius auftauchte, sich bei der Laborantin, die die Listen führte, erkundigte, wo denn seine Physiker saßen unter den vielen andern, und denen dann persönlich auf den Zahn fühlte. Die Mathematikvorlesungen waren völlig auf die Bedürfnisse der Ingenieure abgestellt. Zwar wurde gelegentlich erwähnt, dass es auch

Existenzsätze für Lösungen gibt, wichtiger aber war, wie man Lösungen findet. Zum Vorexamen mussten wir zwei Klausuren schreiben, eine in reiner und eine in praktischer Mathematik, wieder zusammen mit ein paar hundert Ingenieuren, und ein interessanter Zug dabei war, dass man so viele Bücher mitbringen konnte, wie man zu tragen bereit oder imstande war, weil sich die Prüfer sagten, wenn die später ein mathematisches Problem haben, gucken sie ja auch in einem Lehrbuch nach. Als ich dann später in Heidelberg war, merkte ich, dass mich das auf die Bedürfnisse des Physikstudiums besser vorbereitet hatte als es meinen Kollegen erging, die von Anfang an in Heidelberg studiert hatten. Das betraf nicht nur die Theorie, sondern auch Fehlerrechnung, die über Mittelwert und Streuung hinausging.

Nach dem Vordiplom kam ich dann nach Heidelberg, und da waren die Verhältnisse nicht drastisch anders. Wir waren vielleicht ein Dutzend Studenten im Semester, der Lehrkörper bestand aus drei ordentlichen Professoren, den Herren Haxel, Jensen und Kopfermann, sowie drei Privatdozenten, Herrn Brix, der ja in der ersten Reihe dieser Vorträge selbst vorgetragen hat, Herrn Krüger, später Professor in Tübingen, und in der Theorie Herr Koppe, später Professor in Kiel. Ein Fortgeschrittenenpraktikum gab es noch nicht, stattdessen machte man eine sogenannte Großpraktikumsarbeit, die dauerte ein Semester, wurde im Rahmen einer Arbeitsgruppe angefertigt und musste zum Schluss schriftlich ausgearbeitet werden. So ähnlich stelle ich mir eine heutige Bachelor-Arbeit vor. Dazu versammelten sich die interessierten Studenten am Semesteranfang mit Vertretern der drei beteiligten Institute - neben dem ersten und zweiten physikalischen Institut die Physikabteilung des MPI für Medizinische Forschung - und wurden irgendwie verteilt, eine Veranstaltung, die bei uns Studenten den farbigen Namen *Sklavenmarkt* hatte. Gelegentlich hörte ich auch Astronomie-Vorlesungen, und bei den Astronomen waren die Verhältnisse noch idyllischer. Ich erinnere mich an eine Vorlesung über interstellare Materie bei Herrn Bohrmann, Oberobservator an der Landessternwarte. Da saßen wir zu viert im kleinen Hörsaal des Physikalischen Institutes in Erwartung der ersten Stunde, Herr Bohrmann kam herein, stutzte an der Tür und fragte freudig erregt „Wollen Sie alle meine Vorlesung hören?“

In die Zeit zwischen Vordiplom und Diplom fielen zwei wichtige physikalische Entdeckungen mit besonderem Bezug zu Heidelberg. Die erste war der Mößbauereffekt, der ja hier entdeckt wurde, in den Räumen des MPI für Medizinische Forschung, dessen Physikabteilung etwa zu derselben Zeit als MPI für Kernphysik verselbständigt wurde. Ich weiß nicht, ob irgendetwas an dem Gebäude heute darauf hinweist, würde das aber für angemessen halten. In Karlsruhe befindet sich an dem Bau, in dem Heinrich Hertz erstmals die Existenz elektromagnetischer Wellen nachgewiesen hat, sogar eine Büste von ihm. Ich habe das nicht aus der Nähe beobachten können, ich war im Zweiten Physikalischen Institut gelandet, aber es wurde natürlich eine Menge herumerzählt von Leuten, die näher dran waren. Danach war es ja zunächst eine Zufallsentdeckung. Herr Mößbauer sollte oder wollte die Lebensdauer eines angeregten Zustandes in ^{191}Ir

bestimmen, nach einem wohlbekanntem Verfahren. Dazu hatte er ein Präparat von ^{191}Os , bei dessen Betazerfall der Zustand besetzt wurde, eine dünne Iridiumfolie und einen Szintillationszähler zum Nachweis der Gammas. Die Messung bestand dann darin, dass man die Absorption der Gammas in der Iridiumfolie bestimmte, zuerst bei Zimmertemperatur, und dann, indem man Quelle oder Folie mit flüssiger Luft abkühlte. Dabei nahm die Absorption etwas ab, und aus dem Unterschied konnte man die Lebensdauer bestimmen. Die Messung war nicht ganz einfach, denn der Unterschied war klein. Das hatte er beides gemacht und beides Mal dasselbe herausbekommen, und damit war er eigentlich fertig. Leider ist mir nicht bekannt, wie er auf die Idee kam, auch einmal Quelle *und* Folie abzukühlen, dabei erwartete man keine große Änderung mehr. Stattdessen wurde die Absorption riesengroß verglichen mit der kleinen Änderung vorher. Das Verdienst von Herrn Mößbauer lag darin, dass er den Grund dafür erkannte und bewies, obwohl ihm von allerhöchster theoretischer Seite sehr abgeraten wurde. Was mich besonders beeindruckte war die Tatsache, dass man für diese weitreichende Entdeckung keinen ungewöhnlichen Aufwand benötigte. Die erforderlichen Dinge – ein ^{191}Os -Präparat, eine Iridiumfolie, ein Szintillationszähler und flüssige Luft – waren sicher in Dutzenden Physik-Instituten in der ganzen Welt verfügbar, von daher hätte man die Entdeckung fast überall machen können.

Die zweite Entdeckung, die ich meine, ist die Paritätsverletzung. Die wurde natürlich nicht in Heidelberg entdeckt, aber Herr Heintze war einer der ersten, die mit Experimenten dazu begann. Er baute in sehr kurzer Zeit eine einfache Doppelstreuapparat dazu auf, die aus einer Betaquelle, zwei Streufohlen (eine davon war eher ein Blech) und zwei Betadetektoren bestand, die sich nach der zweiten Streuung gegenüberstanden. Das Ganze befand sich natürlich im Vakuum. Die Zählraten der beiden Detektoren wurden letztlich auf mechanische Zählwerke geleitet, und dann konnte man mit bloßen Ohren hören, dass der eine etwas schneller tickte als der andere. Dann konnte man die Detektoranordnung unter Vakuum drehen, so dass die Detektoren vertauscht wurden, und siehe da, dann tickte der ursprünglich schnellere Zähler langsamer als der andere, und so konnte man sich mit eigenen Ohren davon überzeugen, dass die Welt nicht immer spiegelsymmetrisch ist. Dieses Experiment hätte man schon 20 Jahre früher machen können, und Herr Heintze erzählte von einem Herrn Kavanagh in England, der tatsächlich in den dreißiger Jahren ein ähnliches Doppelstreuexperiment gemacht hatte und dabei eine Asymmetrie fand, die er sich nicht erklären konnte, diesem Effekt aber nicht weiter nachging. In seiner charakteristischen Art fügte Herr Heintze dann hinzu: *Wenn er das gemerkt hätte, das wäre mal ein Nobelpreis gewesen, der verdient gewesen wäre.* Beide Beispiele haben sich mir tief eingepägt, weil sie zeigen, dass große physikalische Entdeckungen nicht immer an unseren begrenzten technischen Möglichkeiten scheitern, sondern an Barrieren in unserem Gehirn.

Mit dieser Apparatur von Herrn Heintze habe ich dann später meine Doktorarbeit gemacht. Dabei ging es natürlich nicht mehr um den Nachweis der Paritätsverletzung, die

war inzwischen über jeden Zweifel erhaben, sondern um die Frage, ob die Kernstruktur Einfluss auf den Polarisationsgrad der Elektronen hat. Im allgemeinen ist das kaum der Fall, aber bei dem Kern, den ich untersucht habe, ^{210}Bi alias RaE, konspirieren die Matrixelemente so, dass die Polarisation deutlich kleiner ist als das übliche v/c . Danach war ich noch anderthalb Jahre Assistent am Zweiten Physikalischen Institut. Eine meiner Aufgaben in dieser Zeit war, das Institut in einem Ausschuss zu vertreten, der den Neubau des Physikalischen Institutes im Neuenheimer Feld planen sollte. Es ist doch schön, zu sehen, dass wir uns heute, etwas über 50 Jahre später, tatsächlich in diesem Neubau versammeln können, wenn ich auch nicht glaube, dass von unseren damaligen Überlegungen etwas in den Bau eingeflossen ist.

Anfang 1965 wechselte ich dann in das Kernforschungszentrum Karlsruhe, wo ich den Rest meines Arbeitslebens zugebracht habe, und das war eine deutlich andere Welt. Das Zentrum war knapp zehn Jahre vorher gegründet worden um, wie es ein früherer Vorstandsvorsitzender ausgedrückt hat, Kernenergie in Deutschland möglich zu machen. Im Jahre 1955 hatte es in Genf eine große, von der UNO initiierte Konferenz unter dem Titel *Atome für den Frieden* gegeben, und danach herrschte weltweit eine große Euphorie bezüglich der Kernenergie, die so etwas wie das energetische Schlaraffenland versprach. Kurz danach wurde dann das Kernforschungszentrum gegründet. Das erste Projekt des Zentrums, sozusagen das Gesellenstück, waren der Entwurf und der Bau eines Forschungsreaktors, der unter dem Namen FR 2 wenige Jahre vor meinem Eintritt in Betrieb gegangen war und viele Jahre für sehr unterschiedliche Untersuchungen genutzt wurde. An der großen Zukunft der Kernenergie wollten natürlich auch die einschlägigen deutschen Firmen Siemens und AEG teilhaben. Sie hatten sich mit jeweils einer amerikanischen Firma zusammengetan, die schon viel Erfahrungen hatten, und begannen bald damit, Kernkraftwerke in Deutschland zu bauen. Für ein öffentliches Forschungszentrum gab daher dafür nicht viel zu tun. Das große Thema des Zentrums war stattdessen die Entwicklung eines Schellen Brutreaktors.

Bei aller Euphorie gab es aber weltweit doch auch Bedenken der Art, wie lange die Uranvorräte der Erde denn reichen würden, wenn alle Welt Kernkraftwerke bauen würde, Uran ist nicht so schrecklich häufig in der Erdkruste, zumal ja nur der kleine Anteil ^{235}U von 0,7 % unmittelbar als Kernbrennstoff geeignet ist. Schon während des Weltkrieges hatten die Amerikaner jedoch gemerkt, dass man das viel häufigere ^{238}U durch Neutroneneinfang und nachfolgende Betazerfälle in das thermisch spaltbare ^{239}Pu umwandeln und so in Kernbrennstoff verwandeln kann. Bei der Uranspaltung werden im Mittel 2,4 Neutronen frei. Davon benötigt man eines, um die Kettenreaktion aufrechtzuerhalten. Wenn es einem dann gelingt, ein weiteres Neutron von ^{238}U einzufangen zu lassen, erhält man einen Reaktor, der effektiv ^{238}U verbrennt. Auf diese Weise kann man die Vorräte an Kernbrennstoff um einen Faktor 50 bis 60 steigern. (Nicht um einen Faktor $140=1/0,007$, wie man vermuten könnte, da dieser Konversionsprozess auch in jedem Reaktor abläuft und ein Leistungsreaktor auch heute schon knapp die Hälfte seiner

Energie indirekt aus ^{238}U bezieht.) Das dies im Prinzip funktioniert, hatten die Amerikaner mit einem Prototypreaktor Anfang der 1950er Jahre gezeigt. Dieser Prototyp war übrigens auch der erste Reaktor, mit dem elektrischer Strom erzeugt wurde. Diese Entwicklung eines Brutreaktors wurde deshalb in den verschiedensten Ländern in Angriff genommen, USA, der Sowjetunion, Frankreich, Japan, später auch China und Indien, und das war das große Thema des Kernforschungszentrum in den 1960er Jahren. Es war bald klar, dass ein solcher Reaktor deutlich anders aussehen musste als die üblichen Leistungsreaktoren und dafür eine ganze Reihe spezifischer Probleme zu lösen sind. Der Brutprozess funktioniert bei etwas höheren Neutronenenergien wesentlich besser, deshalb sollte man die Spaltneutronen nur bis in den keV-Bereich abbremsen und nicht bis zu thermischen Energien – daher der Name *Schneller* Brüter. Dies bedingt ein anderes Kühlmittel als leichtes oder schweres Wasser, die beide sehr stark moderieren. Nach ersten Versuchen mit Quecksilber erwies sich flüssiges Natrium als am besten geeignet. Dies ist aber bei den erforderlichen Temperaturen sehr korrosiv gegenüber Metallen, die höhere Energie der Neutronen führt zu wesentlich stärkeren Strahlenschäden in allen möglichen Materialien, flüssiges radioaktives Natrium stellt ein beträchtliches Sicherheitsproblem dar - die Zahl der Entwicklungsprobleme war lang. Hinzu kommt, dass es für ein solches Konzept unerlässlich ist, den gebrauchten Kernbrennstoff chemisch wieder aufzuarbeiten, um die verbliebenen Wertstoffe Uran und Plutonium von den erzeugten Spaltprodukten zu trennen, und das ist ein ungewöhnliches chemisch-technisches Problem, da unter den Spaltprodukten der größere Teil des periodischen Systems der Elemente vertreten ist, extrem hohe Dekontaminationsfaktoren gefordert werden und organische Reagenzien, auf die man nicht verzichten kann, sich unter Strahlung schnell zersetzen.

Ich selber landete allerdings in dem kleinen Teil des Forschungszentrums, geschätzt etwa 20 %, der sich nicht mit Kerntechnik befasste. Und auch später habe ich mit Kerntechnik nur ganz am Rande zu tun bekommen. Aber als neugieriger Mensch interessiert man sich doch für die Dinge, von denen alle andern dauernd reden, und so habe ich mich mehr als nötig in die Kerntechnik eingearbeitet und später, nach meiner Habilitation in Heidelberg, gelegentlich Vorlesungen über Reaktoren gehalten. Die erste Aufgabe, die mir übertragen wurde, war der Betrieb eines Zyklotrons, das die Firma AEG gebaut und wenige Monate vor meinem Wechsel nach Karlsruhe an das Forschungszentrum übergeben hatte. Und so wurde ich unversehens auf einmal Häuptling von 50 oder 60 Indianern, eine Aufgabe, auf die man durch das Physikstudium nicht eigentlich optimal vorbereitet wird. Da half mir etwas, was ich so noch nicht kennengelernt hatte: Es gab eine effiziente Verwaltung. Für Dinge, die in Heidelberg von Assistenten oder Laboranten mit viel Einsatz, aber nicht immer ganz professionell erledigt wurden, gab es hier Leute, die ihr Geschäft von Grund auf gelernt hatten und völlig damit zufrieden waren, den Wissenschaftlern diese Sachen abzunehmen. Das war vor allem in Personaldingen eine wichtige Hilfe, denn bei 50 oder 60 Leuten ist es nicht ungewöhnlich, dass einer oder eine meint, aus der Reihe tanzen zu sollen.

Das Zyklotron lieferte Deuteronen von 50 und Alphateilchen von 100 MeV. Es war die erste Maschine ihrer Art, die die AEG gebaut hatte, und litt daher zu Anfang noch unter einigen Kinderkrankheiten, die wir nacheinander beheben mussten. Es wurde von sehr verschiedenen Gruppen genutzt. Mehrere kamen aus dem Institut für Kernphysik, einem gemeinsamen Institut des Forschungszentrums und der Universität Karlsruhe mit Herrn Schopper als Gründungsdirektor. Wenn man Deuteronen von 50 MeV auf irgendeine Art von Materie schießt, ist ein sehr häufiger Prozess der Aufbruch in die beiden Bestandteile. Dadurch erhält man Neutronen mit einem breiten Spektrum bis etwa 25 MeV. Der untere Teil dieses Bereiches war noch für die Kerntechnik interessant. Häufige Kunden waren auch die Radiochemiker des Zentrums, die sich sehr für den Bau des Beschleunigers eingesetzt hatten und damit alle möglichen radioaktiven Kerne erzeugten. Ein beträchtlicher Teil der Strahlzeit, etwa ein Drittel, ging auch an externe Gruppen, vor allem von Universitäten. Hier in Heidelberg war Herr Schmidt-Rohr vom MPI für Kernphysik ein regelmäßiger Besucher, der die Streuung von Deuteronen an Kernen systematisch untersuchte, auch Herr Otten aus Mainz kam eine Zeit lang zu Experimenten herüber. Und dann stellten wir viele radioaktive Präparate her, die an Universitätsgruppen geschickt wurden zu Zwecken, die uns meist verborgen blieben. Last not least waren die Spitzen des Zentrums so weise, sich an das Sprichwort zu erinnern, dass man dem Ochsen, der da drischt, nicht das Maul verbinden soll, und so konnten wir den Beschleuniger auch für eigene Forschung nutzen nach dem Motto: Wenn der Laden läuft und es nicht viel Strahlzeit kostet, dürft ihr auch, und das taten wir dann.

Eine besondere Anwendung ist noch erwähnenswert: An der Universität Karlsruhe gab es eine kleine Gruppe von Ingenieuren, die sehr früh gemerkt hatten, dass man mit radioaktiver Markierung sehr geringe Materiemengen empfindlich verfolgen kann, und dies auf die Untersuchung von Abrieb und Verschleiß von Maschinenteilen anwendeten. Und so war es nicht ungewöhnlich, wenn in der Experimentierhalle Kolbenringe oder Kurbelwellen auftauchten, um an wohldefinierten Stellen mit dem Zyklotronstrahl aktiviert zu werden; einmal war es sogar das Rad eines ICE, der damals entwickelt wurde. Ein regelmäßiger Kunde auf diesem Gebiet war auch die Entwicklungsabteilung von Mercedes-Benz. Aus diesen Dingen ist dann viel später eine kleine Firma hervorgegangen, die vor wenigen Jahren bei guter Gesundheit ihr zehnjähriges Jubiläum gefeiert hat.

Während wir mit diesen Dingen beschäftigt waren, wandelte sich der kerntechnische Bereich langsam, aber nachdrücklich. Irgendwann war die Entwicklung abgeschlossen, und es stand der Bau des Schnellen Brütters an. Der wurde natürlich von der Industrie übernommen, der Reaktor entstand dann auch in Kalkar am Niederrhein. Im Zentrum hatte das eine Reihe von auch organisatorischen Konsequenzen, die zum Teil auch mich erreichten. Neben dem Institut für Kernphysik von Herrn Schopper gab es auch noch ein Institut für Angewandte Kernphysik mit Herrn Beckurts als Gründungsdirektor. Eine der Aufgaben dieses Institutes war die Messung von Wirkungsquerschnitten

neutroneninduzierter Reaktionen, die für den Schnellen Brüter wichtig waren, in dem wichtigen keV-Bereich. Nachdem Herr Beckurts Karlsruhe verlassen hatte, um den Vorstandsvorsitz am Forschungszentrum Jülich zu übernehmen, landete diese Gruppe bei mir. Nun hatte uns Herr Zeh vom Theoretischen Institut hier in Heidelberg schon längere Zeit vorher darauf aufmerksam gemacht, dass dieselben Wirkungsquerschnitte für die Astrophysik von Interesse sind. Astrophysiker und Geochemiker hatten ja schon lange aus den beobachteten Häufigkeiten von Elementen und Isotopen geschlossen, dass alle Kerne schwerer als Eisen durch Neutroneneinfang gebildet wurden. Dabei musste es zwei verschiedene Prozesse gegeben haben, einen bei sehr hohem Fluss, bei dem die Kerne mehrere oder sogar viele Neutronen einfangen, bevor sie Zeit zu einem Betazerfall haben, und eine viel gemächlicheren, bei dem sich Neutroneneinfang und Betazerfall mehr oder weniger abwechseln. Der letztere Prozess, s-Prozess genannt (s für slow), findet wahrscheinlich in Riesensternen bei thermischen Energien statt, wie sie die Neutronen im Schnellen Brüter haben. Und so haben wir die Aktivitäten dieser Gruppe allmählich von der Kerntechnik in die nukleare Astrophysik umwidmet. Das hatte in der Übergangszeit auch den Vorteil, dass die Kerntechnik noch für den Betrieb zahlte. Die Kerntechniker waren auch sonst sehr großzügig. Für derartige Messungen braucht man ja größere Proben getrennter Isotope, die bei der Messung nicht merklich verändert werden. Davon gab es in Oak Ridge in den USA einen Pool, zu dem die Kerntechniker Zugriff hatten, und sie waren so nett, auf unseren Wunsch hin auch mal eine Probe auszuleihen, deren Bedeutung für die Kerntechnik ziemlich marginal war, ganz anders aber für die Astrophysik. Später haben wir diese Arbeiten dann als reine Grundlagenforschung noch einige Jahrzehnte weitergeführt. Mein Nachfolger hat sie dann beendet, als die wichtigsten Leute in der Gruppe kurz nacheinander in den Ruhestand gingen. Aber jüngere Kollegen aus der Gruppe führen die Arbeiten in Frankfurt, bei der GSI, in Canada und den USA fort. Die in der Gruppe entwickelte Datenbank KADoNiS - das K steht für Karlsruhe - ist weiter Standard auf dem Gebiet und wird jetzt von einer Dame in Vancouver gepflegt, die das Geschäft als Postdoc in Karlsruhe gelernt hat. Das Knowhow ist also nicht verloren gegangen. Dies Beispiel zeigt übrigens, dass die Beziehung zwischen Grundlagenforschung und Anwendungen nicht die Einbahnstraße ist, die wir meistens unterstellen.

Während wir weiter unserer Arbeit am Zyklotron nachgingen, wandelte sich die ursprüngliche Begeisterung über die Kerntechnik immer mehr in Ablehnung. Die Kerntechniker reagierten darauf verständlicherweise mit einem Forschungsprogramm zur Verbesserung der Sicherheit von Leistungsreaktoren. Ich bin davon überzeugt, dass die betroffenen Ingenieure gute Arbeit geleistet haben, und ihre Ergebnisse sind auch in den Entwurf neuerer Reaktoren eingegangen, es kam mir aber auch vor als ein Versuch, ein psychologisches Problem mit technischen Mitteln zu lösen, und das hat dann ja auch nicht geklappt. Erschwerend kamen dann noch zwei größere Reaktorunfälle hinzu, 1979 in Three Mile Island in den USA und 1986 in Tschernobyl. Der erste davon ist in der Öffentlichkeit nicht so bekannt, aber für die Sicherheit deutscher Reaktoren von allen drei

schweren Unfällen – später kam ja noch Fukushima dazu – der relevanteste, da es sich dabei um einen Reaktor desselben Bauprinzips handelte, wie es auch den deutschen Kernkraftwerken zugrunde liegt, und der Unfall nicht wie in Fukushima auf einer Einwirkung von außen beruhte, sondern auf Bedienungsfehlern. Der Reaktor in Tschernobyl war von ganz anderer Bauart, und bei ihm geriet die Kettenreaktion für kurze Zeit außer Kontrolle, er wurde prompt überkritisch, wie die Fachleute sagen. So etwas kann man bei einem der heute überall in der Welt üblichen Leistungsreaktoren nicht erreichen, selbst wenn man möchte und beim Umgang damit freie Hand hat. Die Öffentlichkeit wandte sich immer mehr gegen die Kernenergie, 1980 wurde die Partei der Grünen gegründet, und wenige Jahre später entdeckte auch die SPD ihre Abneigung gegen die Kernenergie, kurz nachdem Herr Schmidt als Bundeskanzler abgewählt worden war. Der Schnelle Brüter in Kalkar wurde zwar gebaut, aber nie eingeschaltet. Es kam hinzu, dass man im Laufe der Jahre immer mehr Uranlagerstätten entdeckt hatte, dieser Reaktortyp also nicht benötigt wurde. Selbst wenn man, wie ich, der Kernenergie wohlwollend gegenüber steht, muss man konstatieren, dass der Schnelle Brüter viele Jahrzehnte früher entwickelt wurde, als vom Bedarf her nötig. Überall in der Welt wurden die Arbeiten an diesem Reaktortyp daher nach und nach eingestellt, obwohl sie unzweifelhaft funktionieren, wie zwei Reaktoren diese Typs zeigen, die in Russland auch heute noch jeweils mehrere hundert MW elektrische Energie erzeugen. Nur in China und Indien gehen verwandte Entwicklungen weiter mit dem Ziel, Thorium als Kernbrennstoff zu nutzen. Thorium hat nur ein quasistabiles Isotop mit der Massenzahl 232, das wie ^{238}U thermisch nicht spaltbar ist, es kann aber ganz analog durch Neutroneneinfang und zwei nachfolgende Betazerfälle in ^{233}U umgewandelt werden, das wiederum thermisch spaltbar ist. Thorium ist in der Erdkruste mindestens doppelt so häufig wie Uran, so dass noch Kernbrennstoff für viele Generationen vorhanden ist.

Der Niedergang der Kerntechnik stellte für das Forschungszentrum natürlich eine große Herausforderung dar, da viele qualifizierte Wissenschaftler in neue Arbeitsgebiete überführt werden mussten. Aber wir Kernphysiker am Zyklotron standen vor einer ganz ähnlichen Situation. Die wissenschaftlichen Möglichkeiten des Beschleunigers waren weitgehend ausgereizt, und es waren an vielen Stellen größere und vielseitigere Anlagen entstanden. Deshalb stellte sich für uns die Frage, welchen Problemen wir uns in Zukunft zuwenden sollten. Dabei gab es wichtige Randbedingungen. Viele Kernphysiker an den Hochschulen, die vor ähnlichen Problemen standen, wandten sich häufig der Teilchenphysik zu. Diese Möglichkeit war uns verwehrt, unser Hauptgeldgeber, das Bundesministerium damals noch in Bonn, hatte deutlich erklärt, dass es seiner Meinung viele gute Teilchenphysik in Deutschland gebe, da müsste Karlsruhe nicht auch noch aktiv werden. Außerdem wäre ein Experiment an einem anderen Beschleuniger weit weg von Karlsruhe bei unseren Kollegen im Zentrum nicht auf viel Wohlwollen gestoßen. Und so begannen wir einen längeren Diskussionsprozess, bei dem viele z. T. wilde Ideen aufkamen und wieder verschwanden, und am Ende beschlossen wir, ein Experiment zur

Höhenstrahlung im Kernforschungszentrum aufzubauen. Bemerkenswert war daran wohl, dass niemand von uns jemals auf diesem Gebiet gearbeitet hatte.

Die Höhenstrahlung war ja kurz vor dem ersten Weltkrieg von Viktor Hess entdeckt worden. Zwischen den beiden Kriegen hatte das Gebiet wichtige Fortschritte gemacht. Es wurde klar, dass die primäre Strahlung positiv geladen ist, also wohl aus Atomkernen besteht. Zu der astrophysikalischen Fragestellung - was sind das für Teilchen und wo kommen sie her - kam neu die Erzeugung neuer Teilchen. Die Höhenstrahlungsforschung ist ja die Mutter der Teilchenphysik, Positron, Myon und Pion wurden in der Höhenstrahlung entdeckt. Nach dem zweiten Weltkrieg entwickelten sich diese Teilgebiete dann auseinander. Die an Teilchenphysik Interessierten fanden an den immer größeren Beschleunigern bessere Experimentiermöglichkeiten, höhere Intensitäten und nicht zuletzt wohldefinierte Anfangsbedingungen. Für die astrophysikalisch Interessierten boten Raketen und später Satelliten die Möglichkeit, die primären Teilchen ohne die störenden Komplikationen durch die Erdatmosphäre zu untersuchen, dies aber aus Intensitätsgründen nur bei ziemlich kleinen Energien. Und so schrumpfte die Zahl der Leute, die die Höhenstrahlung vom Erdboden aus erforschten, beträchtlich, und die Verbleibenden wurden insbesondere von Teilchenphysikern als Menschen betrachtet, die die Zeichen der Zeit nicht erkannt hatten. Dabei ist es bis heute unmöglich, die höchsten Energien in der Höhenstrahlung anders als vom Boden aus zu untersuchen. Das Spektrum der Höhenstrahlung erstreckt sich ja über mindestens 10 Größenordnungen, und die Intensität nimmt über diesen Bereich um über 25 Größenordnungen ab. Bei den höchsten Energien, die man nachgewiesen hat, beträgt der Fluss gerade noch ein Teilchen pro km² und Jahrhundert. In Ländern wie USA, England, Russland und Japan wurden daher weiter große Experimente mit dieser Fragestellung gebaut, aber in Deutschland war diese Art von Höhenstrahlungsforschung fast ausgestorben.

Es ist deshalb eine gewisse Ironie des Schicksals, dass von den letzten beiden deutschen Kämpen auf diesem Gebiet, den Herren Samorski und Stamm in Kiel, ein wichtiger Anstoß für das Gebiet ausging. Sie waren immer noch dabei, die Daten eines Experimentes auszuwerten, das die Herren Trümper und Bagge nach dem Kriege in Kiel aufgebaut und betrieben hatten. Dabei stießen sie auf eine Merkwürdigkeit. Sie untersuchten die Intensität an einer Stelle am Himmel, an der eine bekannte Röntgenquelle sitzt, Cygnus X3, deren Intensität mit einer Periode von mehreren Stunden schwankt. Bei einer Fourier-Analyse fanden sie eine Komponente mit derselben Periode, und zwar mit einer statistischen Signifikanz von 4,5 Sigma, also nicht weit von den kanonischen 5 Sigma entfernt, bei denen man im allgemeinen anfängt, an eine Entdeckung zu glauben. Das konnte dann nur durch Gammastrahlung erklärt werden. Das allein wäre schon bemerkenswert gewesen, denn die Energie dieser Gammas hätte etwa 10 Größenordnungen höher sein müssen als die der Röntgenquanten, bei denen man die Quelle vorher beobachtet hatte. Ganz merkwürdig wurde die Sache aber, als sie sich die Signale genauer ansahen, denn die Zahl der beobachteten Myonen in der Erdatmosphäre

ließ nur den Schluss zu, dass es sich bei den Teilchen um Hadronen handelte. Es sah also so aus, als ob sich Gammas sehr hoher Energie in der Erdatmosphäre wie Hadronen verhielten. Das war natürlich für Teilchenphysiker sehr aufregend. Gammaquanten so hoher Energie können auch heute noch in keinem Labor auf der Erde erzeugt werden. Herr Cronin in den USA, einer der Entdecker der CP-Verletzung, baute deshalb in Utah ein großes Experiment auf (das den Effekt nicht reproduzieren konnte), und hier in Heidelberg interessierte sich Herr Heintze sehr dafür, entwarf geeignete Detektoren, baute sogar einen Prototyp und reiste in der Welt umher, um einen geeigneten Standort zu suchen. Zu einem großen Experiment kam es dann doch nicht, aber das regte Leute am MPI für Kernphysik an, sich mit solchen Fragestellungen zu beschäftigen, und daraus entwickelte sich dann die sehr erfolgreiche Hochenergiegammaastronomie, die Herr Hofmann und seine Kollegen heute sehr erfolgreich betreiben.

Wir erkannten sehr bald, dass wir den Zeitvorsprung von Herrn Cronin nicht einholen konnten, und wandten uns daher von Anfang an der alten astrophysikalischen Frage zu, welche Art von Teilchen, d. h. Atomkernen, da von oben in die Atmosphäre einfällt. Wesentlich für unseren Entschluss war auch gewesen, dass wir sehr schnell sahen, dass uns die erforderlichen Detektoren von der Kernphysik sehr vertraut waren. Und so machten wir den Vorschlag zum Bau einer großen Detektoranordnung auf dem Gelände des Forschungszentrums. Etwas überrascht hat uns dann doch, dass wir innerhalb des Zentrums damit auf viel Wohlwollen stießen. Wahrscheinlich hing das mit der besonderen Situation zusammen, in der sich das Zentrum befand. Infolge der Diversifizierung nach dem Zurückfahren der Kerntechnik mussten viele Wissenschaftler ihr Arbeitsgebiet wechseln, und gegen so etwas gibt es immer Widerstände, und zwar nicht nur von denen, die aus Bequemlichkeit bis zu ihrer Pensionierung immer dasselbe machen möchten, sondern nicht zuletzt auch von denen, die von ihren bisherigen Aufgaben überzeugt waren und sich voll dafür eingesetzt hatten. Da stieß es auf Sympathie, dass hier ein halbes Institut von sich aus, ohne äußeren Zwang, einen solchen Wandel vollzog. Das KASCADE-Experiment konnte dann nach einer externen Begutachtung gebaut werden und wurde einige Jahre lang betrieben. Was ist dabei herausgekommen? Ich möchte zwei Dinge herausheben. Der lange und steile Abfall der Intensität der Höhenstrahlung folgt über weite Strecken einem Potenzgesetz, und in dem ganzen Bereich von 10 Größenordnungen gibt es nur eine kleine Anomalie: Bei einigen 10^{15} eV steigt der Exponent des Abfalls von etwa 2,7 auf etwa 3,0. Man hatte lange vermutet, dass dies darauf zurückzuführen ist, dass der Fluss der leichtesten Kerne, also der Protonen dort stark abnimmt. Ich glaube, dass wir als erste dafür wirkliche Evidenz vorlegen konnten. Der andere Punkt ist mehr methodischer Art. Wenn sie aus den vielen Millionen Teilchen, die am Erdboden gemessen werden, auf die Eigenschaften des einen Teilchens zurückschließen wollen, das oben in die Atmosphäre eingefallen ist, müssen Sie den Prozess dazwischen sehr gut verstehen. Dazu benötigen Sie ein umfangreiches Rechenprogramm. Als wir mit unserer Arbeit anfangen, gab es mehrere solcher Programme, aber die waren fast alle von Einzelkämpfern geschrieben, die gar nicht

imstande waren, alle wichtigen Aspekte gleich sorgfältig zu behandeln, und oft war die Dokumentation nur für den Autor selbst verständlich. Wir sahen daher sehr schnell, dass wir selbst etwas tun mussten, und begannen sehr früh damit, ein derartiges Programm zu erstellen, mit wichtiger Starthilfe zweier der zitierten Einzelkämpfer. Von Anfang an haben wir dabei die Politik verfolgt, das Programm allen Interessenten zur Verfügung zu stellen. Das hatte natürlich zur Folge, dass uns öfter mal Fehler nachgewiesen wurden, aber wichtig ist ja, dass man Fehler findet und eliminiert, und dabei kann man alle Hilfe gebrauchen. Dieses Programm CORSIKA – KA steht hier wieder für Karlsruhe – wurde sehr schnell populär, es wird heute noch weiterentwickelt und ist so etwas wie ein Standard geworden.

Damit nähere ich mich dem Zeitpunkt meiner Pensionierung, und das ist ein guter Punkt aufzuhören. Gibt es ein persönliches Fazit? Ich würde sagen: Es hat oft Spaß gemacht, manchmal war es auch ganz schön mühsam, und, wenn man ehrlich ist, manches hätte man auch besser machen können. Aber ähnlich würden es wohl die anderen Redner in dieser Reihe auch ausdrücken.

Vortrag gehalten im neuen Physikalischen Institut der Universität Heidelberg am 12. 11. 2015