

Franz Eisele



Franz Eisele

Franz Eisele wurde 1941 in Friedrichshafen geboren, wo er 1960 das Abitur ablegte. Er studierte Physik zuerst in Tübingen, dann an der FU Berlin. In seiner Diplomarbeit am Max-Planck-Institut für medizinische Forschung in Heidelberg verbesserte er signifikant die erreichbare Intensität des dortigen Zyklotrons. In seiner Doktorarbeit am Institut für Hochenergiephysik studierte er die semileptonischen Zerfälle von Σ^- - und Λ Hyperonen um den gerade erst postulierten 'Cabbibowinkel' der schwachen Wechselwirkung zu bestimmen. Herr Eisele gehört zu der glücklichen Forscher-generation, die die Entwicklung des Standardmodells von den Anfängen bis zu seiner Vollendung hautnah miterleben und mitgestalten konnten. Als Postdoc ging er 1969 zum CERN nach Genf, und studierte mit hoher Genauigkeit die CP-Verletzung im neutralen Kaon System. 1975 nahm Eisele eine Professur an der Universität Dortmund an, und arbeitete von dort aus am CDHS Neutrino Experiment am SPS des CERN, das von Jack Steinberger geleitet wurde. Das Experiment brachte Klarheit in verschiedene sich widersprechende Messergebnisse der Konkurrenz, auch aufgrund der von Eisele entwickelten genauen Kalibrations- und Analyseverfahren, und lieferte die erste präzise Messung des 'Weinbergwinkels' der elektroschwachen Wechselwirkung. Eisele spielte eine führende Rolle bei der Bestimmung der Struktur-funktionen der starken Wechselwirkung und deren Skalen-verletzungen, in dieser Zeit wichtig zur Etablierung der Quanten-chromodynamik. 1984 wechselte Eisele als leitender Wissenschaftler an das Deutsche Elektron Synchrotron DESY nach Hamburg, wo er als Sprecher der H1 Kollaboration für den Aufbau des H1 Detektors am Elektron-Proton Speicherring zur Messung der inneren Struktur des Protons hauptverantwortlich war. Dem folgte 1992 ein Ruf an die Universität Heidelberg, von wo er am H1 Experiment arbeitete und am HERAB Experiment, welches

anschließend in das laufende CERN Experiment LHCb zur Messung zur CP-Verletzung im B-System mündete. In Heidelberg widmete er sich intensiv der Neuausrichtung der Physikausbildung, und insbesondere der Lehrerausbildung, wofür er 2007 im Anschluss an seine Emeritierung mit einer Wilhelm und Else Heraeus-Seniorprofessur ausgezeichnet wurde.

Franz Eisele

Von der Verifizierung des Standardmodells und der Suche nach neuer Physik

Die Zeit, als das Standardmodell etabliert wurde, war sicher die wichtigste und spannendste Phase in meiner Arbeit als Physiker. Dabei war das nur ein relativ kurzer Zeitraum von etwa 1971 bis 1984 aber es war eine echte Revolution in der Physik – wie sie nur sehr selten vorkommt. Ich hatte das große Glück, dass ich diese Periode in meiner aktivsten und kreativsten Phase als Physiker miterleben und auch etwas mitgestalten konnte.

Mein erster Kontakt zur Hochenergiephysik war vermutlich 1957, als unser Physiklehrer in der Oberstufe uns ziemlich aufgeregt zu erklären versuchte, dass wir jetzt Außerirdischen erklären könnten was links und was rechts ist – er bezog sich natürlich auf die experimentelle Entdeckung der Paritätsverletzung. Ich stamme aus einer Arbeiterfamilie. Meinen Vater hatte es als jungen Schlossergesellen nach Friedrichshafen gezogen um beim Zeppelinbau dabei zu sein. In meiner großen Verwandtschaft war ich der erste und in meiner Generation der Einzige der ein Gymnasium und eine Hochschule besucht hat. Nach dem Abitur 1960 wusste ich lange nicht, was ich studieren sollte, außer Jura hätte ich mir sehr viel vorstellen können und die Entscheidung zwischen Chemie und Physik fiel erst kurz vor Semesterbeginn.

Ich habe vier Semester bis zum Vordiplom in Tübingen studiert – das war damals die nächste Uni, dann zwei Semester an der FU Berlin, danach kam ich nach Heidelberg. Physik habe ich im Wesentlichen aus Büchern gelernt und habe Vorlesungen, die ich sehr selten gut fand, eher geschwänzt. Mein Studium war sehr chaotisch – nichts passte so recht zusammen und es gab viele

Lücken: so kamen z. B. Festkörperphysik, Teilchenphysik oder Elektronik nie vor. Das Beste an meiner Studienzeit war, dass ich Zeit hatte und mir viel Zeit nahm, um Neues auszuprobieren.

Diplomarbeit (1964/1965)

Meine Diplomarbeit machte ich am Max-Planck-Institut an der Jahnstrasse – heute das Institut für medizinische Forschung – an dem Gentner im Krieg 1943 den ersten Beschleuniger in Deutschland – ein Zyklotron - aufgebaut hatte. Meine Aufgabe war es, eine verbesserte Innengeometrie für das Zyklotron zu entwickeln. Die theoretischen Grundlagen dazu stammten aus der Theorie der Isozyklotrone, die damals an vielen Orten gebaut wurden. Die Arbeit, bei der ich weitgehend unabhängig war, bestand darin, das elektrische Feld im Bereich des Beschleunigungsspalts im elektrolytischen Trog auszumessen und dann die Teilchenbahnen für verschiedene Geometrien numerisch zu berechnen. Die Rechnungen führte ich am ersten Rechner des MPI, einer GIER Rechenanlage mit 5 kB Kernspeicher und der damals sehr hohe Rechenleistung von 10 kflops, durch.

Nach anderthalb Jahren war die neue Geometrie fertig und eingebaut und war ein voller Erfolg. Die Intensität im abgelenkten Strahl konnte erheblich gesteigert werden bei reduzierter Strahlenbelastung und es konnten erstmals auch Heliumkerne beschleunigt und extrahiert werden. Der Hauptvorteil der Arbeit bestand für mich darin, dass ich schon sehr früh mit Datenverarbeitung konfrontiert wurde.

Promotion (1965–1969)

Für meine Doktorarbeit suchte ich mir das Institut für Hochenergiephysik aus, das von Heinz Filthuth 1964 gegründet worden war. Dort sollte gerade das erste große eigenständige Experiment des Instituts starten, ein Blasenkammerexperiment am CERN zur Messung der semileptonischen Zerfälle von Σ^- und Λ Hyperonen. So kam ich 1965 zur Hochenergiephysik und fing an, mich ernsthaft mit Hochenergiephysik zu beschäftigen, was im Wesentlichen darin bestand CERN Reports, Berichte von den Sommerschulen

und Originalpublikationen zu lesen – es gab weder Lehrbücher noch Vorlesungen zum Thema.

Wie stellte sich die Hochenergiephysik für mich 1965 dar? Es gab immer mehr Hadronen(resonanzen) und nach der Bootstraptheorie waren sie alle gleichwertig. Isospin als Symmetrie der starken Wechselwirkung und viele Teilchen mit Strangeness waren bekannt. Es gab keine grundlegende Theorie der starken Wechselwirkung, nur verschiedene mathematisch-physikalische Konzepte wie z.B. current algebra, Reggetrajektorien, Dualität etc., die auch heute noch wichtig sind. Allerdings war auch der erst wichtige Schritt zum Standardmodell schon gemacht. Seit 1961 kannte man den 'eightfold way' von Gell-Mann und Ne'eman; eine Klassifizierung der Hadronen in Multipletts der durch kleine Masseneffekte gebrochenen Symmetriegruppe $SU(3)$ unter Isospintransformationen und Strangenessänderung. Die Quarkhypothese von Gell-Mann und Zweig 1964 war eine gewagte Erklärung des eightfold ways und initiierte viele Experimente zur Suche nach drittelladigen Teilchen, die alle erfolglos blieben. Das nichtrelativistische Quarkmodell der Hadronen von Dalitz erschien 1965 und erwies sich als wunderbar effektiv, nicht nur bei der Klassifizierung aller beobachteten Hadronen. Es erklärte auch empirisch gefundene Auswahlregeln bei Zerfällen zwanglos. Gleichzeitig machte es das Problem der starken Wechselwirkung noch viel größer. Was immer man über die starke Wechselwirkung damals wusste, konnte den Erfolg des Quarkmodells nicht erklären, stand sogar in eklatantem Widerspruch dazu. Auf einer Konferenz in Berkeley 1967 kam Gell-Mann daher selbst zu der Schlussfolgerung, dass angesichts der theoretischen Widersprüche die Quarks doch eher mathematische Entitäten seien.

Meine Doktorarbeit befasste sich ja zum Glück mit einem Thema der schwachen Wechselwirkung, die ich schon deswegen faszinierend fand, weil sie so viele Überraschungen bereithielt, insbesondere bei der Brechung von Symmetrien. Nach der Paritätsverletzung folgte 1963 die Entdeckung der CP-Verletzung.

Die Theorie der schwachen Wechselwirkung bestand 1964 aus der 4-Punkt V-A Wechselwirkung von Fermi, welche alle experimentellen Daten sehr gut beschrieb, da nur Prozesse bei kleiner Energie untersucht wurden. Dennoch war klar, dass sie gravierende prinzipielle Probleme hatte. Ein Teil der Probleme konnte durch die Postulierung schwerer geladener Vektorbosonen behoben werden, nach denen in jedem neuen Experiment gesucht wurde bei dem es eine Chance gab, sie zu finden. Eine Theorie mit massiven geladenen Vektorbosonen alleine ist jedoch nicht renormierbar, bereits die erste Ordnung Störungstheorie ergibt unendlich große Korrekturen. Die Frage nach einer renormierbaren Theorie der schwachen Wechselwirkung wurde daher jahrelang diskutiert und bearbeitet und führte letztendlich zu den Eichtheorien des Standardmodells.

Das Thema unseres Blasenkammerexperiments war die Messung der semileptonischen Zerfälle der Σ^- und Λ Hyperonen mit dem Ziel, die Cabibbotheorie (1964) der schwachen Wechselwirkung zu testen. Sie war ein weiterer wichtiger Schritt auf dem Weg zum Standardmodell da sie grundlegende Konzepte wie z.B. die Universalität der schwachen Wechselwirkung und den damit verbundenen ersten Mischungswinkel, den Cabibbowinkel, postulierte.

Parallel zu unserem Experiment haben übrigens Heintze und Soergel vom Physikalischen Institut mit Zählerexperimenten die semileptonischen Zerfälle des Λ und Ξ^- Hyperons gemessen.

Zu Beginn meiner Doktorarbeit mussten erst mal Millionen von K-Mesonen in der 80 cm Wasserstoffblasenkammer am CERN PS gestoppt werden und die Reaktionen fotografiert werden, ein Beispiel einer Aufnahme zeigt Abb. 1. Zur Auswertung der Blasenkammerbilder wurden 10 Messtische im Scankeller aufgebaut, die über eine PDP7 ausgelesen wurden. Da die semileptonischen Zerfälle $\Sigma^- \rightarrow n e^- \nu$ nur ein Verzweungsverhältnis von 2×10^{-3} haben, mussten ca. 1000 Σ^- Zerfälle gefunden und gemessen werden um einen interessierenden semileptonischen Zerfall zu finden. Die Scan- und Messarbeit erledigte eine Heer-

schar von Studierenden (Scanner). Leider gab es ein Riesensproblem: die Messrate war so lausig, dass ich mir ausrechnen konnte, dass die Doktorarbeit mindestens sechs Jahre dauern würde. Die Lösung dieses Problems war wohl mein wichtigster Beitrag zum Experiment – ich schlug vor, ein Akkordsystem einzuführen, bei dem jedes Ereignis das über der minimal erwarteten Zahl hinaus gemessen wurde extra honoriert werden sollte

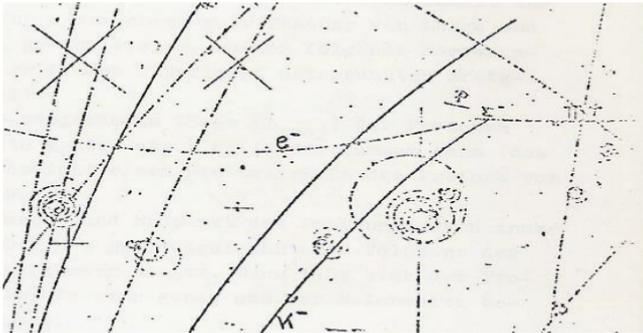


Abb. 1. Semileptonischer Zerfall eines $\Sigma^- \rightarrow n e^- \nu$ Zerfalls mit $n + p \rightarrow n + p$ zur Messung des Neutronimpulses. Für die Analyse in der Doktorarbeit konnten 57 solcher Ereignisse genutzt werden.

Innerhalb von drei Wochen nach Einführung dieses Systems steigerte sich die Messrate um einen Faktor 3. Das Analyseziel meiner Doktorarbeit war die Bestimmung von g_A/g_V im Sigma-betazerfall. Hierfür war auch die Messung des Neutronimpulses erforderlich was nur über die elastische Neutron-Proton Streuung möglich war. Es gelang insgesamt 57 Ereignisse zu finden, von denen allerdings etwa 24 Untergrundereignisse waren. Die Messung war nicht besonders genau, aber die beste zu der Zeit und sie stützte zusammen mit den anderen Messungen die Cabibbotheorie. Die Arbeit war für mich sehr wichtig, weil ich dabei Analysetechniken lernte, die zu dieser Zeit noch nicht so weit verbreitet waren: die Nutzung von MC Simulationen, Methoden zur

Untergrundbestimmung und statistische Methoden der Anpassung. Hierfür stand als Großrechner eine IBM/360 zur Verfügung. Die Zeit meiner Doktorarbeit war eine sehr schöne Periode, mit vielen Festen. Mein Arbeitsstil und Auftreten war chaotisch. Auf Tage, manchmal Wochen der Arbeitsunlust folgten – meist als Folge eines Einfalls – hektische Arbeit rund um die Uhr, bei der ich in kurzer Zeit viel zustande brachte, so dass nach einiger Zeit sich niemand mehr über meine sehr unregelmäßigen Arbeitszeiten aufregte.

Nach der Promotion wusste ich erst mal nicht, was ich tun sollte. Inzwischen erschien mir die Physik zu wenig 'soziale Relevanz' zu haben. Eine Option war ein zusätzliches Medizinstudium – zu lange und zu teuer. Schließlich bewarb ich mich auf verschiedenen Stellen und bekam gute Angebote. Mit Sicherheit hatte ich nie die Idee, dass ich zum Professor berufen wäre – damals galt ja für uns das Motto: "unter den Talaren Muff von 1000 Jahren".

K⁰ Experiment (1969–1973)

Schließlich ging ich als Postdoc zum K⁰ Zählerexperiment ans CERN, das Heinz Filthuth zusammen mit seinem alten Kumpel Jack Steinberger neu aufgebaut hatte. Sie kannten sich, wie viele andere HEP-Pioniere, vom Jungfrauoch wo Experimente mit Höhenstrahlung mit Emulsionen und einer Cloudchamber durchgeführt wurden. Jack Steinberger, der schon in den USA wichtige Experimente zur CP Verletzung gemacht hatte, war kurz davor zum CERN gekommen und es war sein erstes Experiment. Die Begegnung mit Jack Steinberger und das Privileg, mit ihm 15 Jahre lang eng zusammen zu arbeiten, war für mich in vielerlei Hinsicht extrem wichtig. Er war der erste Physiker, und bis heute der wichtigste, der mich wirklich beeindruckte. Ich habe sehr viel von ihm gelernt, einfach indem ich zusah, wie er Probleme anging. Er war in der Lage, mit Hilfe eines Briefumschlags oder auch nur im Kopf ein physikalisches Ergebnis auf typischerweise 20% abzuschätzen und er hatte eine sehr effektive und originelle Art an Probleme heranzugehen und physikalisch zu argumentieren. Es

stellte sich später heraus, dass er viel davon bei Fermi abgeschaut hatte, der sein Doktorvater gewesen war.



Abb. 2. Jack Steinberger (rechts) und René Turlay (links).

Abb. 2 zeigt ihn zusammen mit René Turlay, den ich erst im nächsten Experiment kennen lernte. René gehört allerdings in die Geschichte der CP Verletzung, da er, wie er mir erzählte, der erste Mensch war, der den experimentellen Beweis für die Verletzung der CP Symmetrie sah. Als visiting scientist im Experiment von Fitch und Cronin in Brookhaven sollte er nach CP-Verletzung suchen, an die keiner glaubte. Er brütete drei Monate lang über seinen Ergebnissen, bis er sich traute, sie der Kollaboration zu präsentieren.

Das Hauptziel des Experiments am CERN war es, alle für die CP-Verletzung relevanten Verteilungen bei den geladenen Zerfällen von K^0_S und K^0_L als Funktion der Eigenzeit zu messen, also den Zerfall in $\pi^+\pi^-$ und die semileptonischen Zerfälle. Da ich zu spät zum Experiment stieß, trug mir Jack die Aufgabe an, den Formfaktor im Zerfall $K^0_L \rightarrow \pi^+ e^- \nu_e$ als Funktion von Q^2 zu messen. Das fand ich anfangs als keine spannende Aufgabe – schließlich ging's im Experiment um so tolle Fragen wie CP-

Verletzung und die 5. Kraft. Bald wurde mir aber dann doch klar, warum es sich lohnte. Erstens waren die K_{l3} Formfaktoren für Theoretiker zu der Zeit eine sehr wichtige Frage, da sie eine der wenigen experimentell zugänglichen Messgrößen waren, für welche die current algebra dezidierte Voraussagen machte und die bis dahin verfügbaren experimentellen Messungen in krassem Widerspruch zu diesen Vorhersagen standen. Zum anderen war die Messung dieses Formfaktors wohl die schwierigste Analyse im Experiment, da es Statistik im Überfluss gab und das Problem allein in der technischen Bewältigung der Datenmenge und noch wichtiger im Kampf gegen auch kleine systematische Fehler lag. Der Zugriff auf den CERN Großrechner (CDC6000) war so schlecht, dass ich ein eigenes Analyse- und Plotsystem entwickelte um die Analyse in einem vernünftigen Zeitraum durchführen zu können. Viele Jahre später lernte ich bei DESY, dass ich eine frühe Variante von n -tupeln erfunden hatte. Schließlich konnte ich überzeugende Messergebnisse präsentieren, die nicht nur in kompletter Übereinstimmung mit den Vorhersagen der current algebra standen sondern auch klar aufzeigten, wo die Probleme der alten Messdaten lagen. Nebenbei konnte ich einige Fehler im Experiment aufdecken und beheben, was auch den anderen Analysen zu Gute kam. Die K_{l3} Formfaktoren waren dann auch Thema meiner Habilitationsschrift in Heidelberg (1973).

Zu Beginn meiner Arbeit im Experiment war Jack nicht sehr begeistert, dass weitere Postdocs aus Heidelberg neben Konrad Kleinknecht mitmachen sollten. Im Laufe der Zeit lernte Jack aber meine Analysefähigkeiten schätzen, und entwickelte so etwas wie 'väterliches Wohlwollen' mir gegenüber. Hilfreich war dabei sicher auch, dass wir zusammen viele Skitouren und auch Wanderungen im Jura gemacht haben. Im Experiment habe ich mich neben Jack insbesondere mit Peter Steffen, Günther Zech, Friedrich Dydak und Vera Lüth sehr gut verstanden und wir haben in unseren Analysen voneinander profitiert und auch viel gemeinsam unternommen.

Die Ergebnisse des Experiment zusammen mit den experimentellen Ergebnissen zu den neutralen 2π Zerfällen waren sehr genau

und blieben 12 Jahre lang das Maß aller Dinge. Allerdings konnten die Ergebnisse als perfekte Bestätigung von Wolfenstein's "super-weak model" interpretiert werden, in dem die CP-Verletzung das Resultat einer 5. Kraft ist, die sich sonst nirgends bemerkbar machte – ein sehr unbefriedigender Zustand.

CDHS Neutrinoexperiment (1976–1984)

Ab Herbst 1972 hatte ich Zeit für neue Aufgaben und die lagen in der Vorbereitung eines Experiments für den neuen CERN Beschleuniger SPS, der 1976 in Betrieb gehen sollte. Jack wollte ein Neutrinoexperiment aufbauen und suchte dafür Mitstreiter – dafür war ich Feuer und Flamme.

Dortmund

Dann kam was dazwischen: ich bekam im Sommer eine Einladung zu einem Vortrag in Dortmund, wohin Konrad Kleinknecht ein Jahr zuvor als C4 Professor berufen worden war. Zu meinem Erstaunen entpuppte sich das Nachkolloquium als Interview mit einer Berufungskommission für eine C3 Professorenstelle und ich musste überlegen, ob ich nach Dortmund wollte. Die Entscheidung dafür war letzten Endes eine Entscheidung gegen CERN – ich konnte mir nicht vorstellen, auf Dauer am CERN zu arbeiten. So sagte ich in Dortmund zu unter der Bedingung, dass die Gruppe sich am Neutrinoexperiment beteiligte. Jack sagte später einmal: 'This experiment has put Dortmund on the map of high energy physics'.

In Dortmund fühlte ich mich sehr wohl. Die Physik in Dortmund war ein bemerkenswerter Fachbereich. Ich bekam als C3 Professor die Hälfte der Ausstattung eines C4 Professors. Zudem hatte Dortmund das System der integrierten Kursvorlesungen von Experiment und Theorie, das mich sehr überzeugte. Insofern gab es in Dortmund sehr wenig 'Muff' sondern die Fakultät war geprägt von Aufbruchsstimmung. Die Ausbildungsverpflichtungen hielten sich in Grenzen. Zudem erweckte ich in der Fakultät den Eindruck, dass ich für praktische Aufgaben für Fakultät oder Institut eher nicht geeignet war und diesen Eindruck

wollte ich auch gar nicht zerstreuen – allen jungen Kollegen zur Nachahmung empfohlen. So konnte ich relativ viel Zeit in das Neutrinoexperiment investieren.

Neutrinoexperiment

Der neue CERN Beschleuniger, das SPS mit 400 GeV, hatte sich in der Konkurrenz mit Fermilab leider um drei Jahre verzögert, weil sich die Mitgliedsländer darum gestritten hatten, wo er gebaut werden sollte. So waren bereits Neutrinoexperimente bei Fermilab in Betrieb als wir noch nicht mal die Genehmigung zum Bau hatten.

Jack gelang es für unseren Experimentvorschlag mit der Saclay-Gruppe und deren Boss René Turlay (Abb. 2) die Kerntruppe aus dem K^0 -Experiment entscheidend zu verstärken. René Turlay wurde für mich ein sehr guter Freund. Er war nicht nur ein sehr guter Physiker sondern auch jemand, der junge Leute gezielt förderte und sich nie selbst ins Rampenlicht stellte. Neben Jack und René war Friedrich Dydak für mich der wichtigste Partner in der Kollaboration. Wir teilten uns ein Zimmer am CERN und waren anfangs gemeinsam für die Analyse neutraler Ströme hauptverantwortlich. Er war nicht nur ein sehr guter Analysephysiker sondern auch ein Experte in Elektronik, was nun gar nicht meine Stärke war. Im Laufe des Experiments haben wir gemeinsam einige größere Aktionen geplant und durchgeführt wie z.B. die Hadronkalibration des Neutrinodetektors und ein beam dump Experiment.

Ende 1972 kam es zum Showdown im zuständigen Komitee mit zwei konkurrierenden Experimentiervorschlägen und am Ende wurde keiner der Vorschläge genehmigt. Allerdings wurde unser Myonspektrometer für gut befunden und wir wurden ermutigt einen verbesserten Vorschlag einzureichen. Dabei war eine Forderung insbesondere der Theoretiker um John Ellis zu 'beweisen', dass wir diagonale schwache Leptonströme messen können – das war damals ein Hauptinteresse vieler Theoretiker. Dieser ‚Beweis‘ kostete mich einen Monat Simulations- und Analysearbeit.

Diagonale schwache Prozesse waren auch ein wichtiges Ziel des Hauptneutrinoexperiment am Fermilab HPW von Rubbia et al. gewesen. Experimentell zugänglich ist der Prozess $\nu_\mu + e^- \rightarrow \mu^- \mu^+ \mu^-$ im Kernfeld (trident production), dessen Wirkungsquerschnitt quadratisch von Z abhängt. Also sollten Bleiplatten als Targetmasse dienen in Tanks mit flüssigem Szintillator. Als der Betriebsbeginn des Beschleunigers bei Fermilab Ende 72 bevorstand, stellte es sich heraus, dass das Szintillationlicht von den beschichteten Bleiplatten absorbiert wurde. Also mussten die Bleiplatten raus und was blieb waren große Tanks voller Flüssigszintillator, die nur eine Targetmasse von 40 to darstellten. Damit konnte das Experiment die Hadronenergie und damit auch die Neutrinoenergie eines Ereignisses nicht messen. Das 2. Fermilab-experiment von Barish und Sculli war ein kleineres Explorations-experiment. Dessen Hauptziel es war, das W-Boson bis zu einer Masse von 40 GeV zu finden und nach geladenen schweren Leptonen zu suchen.

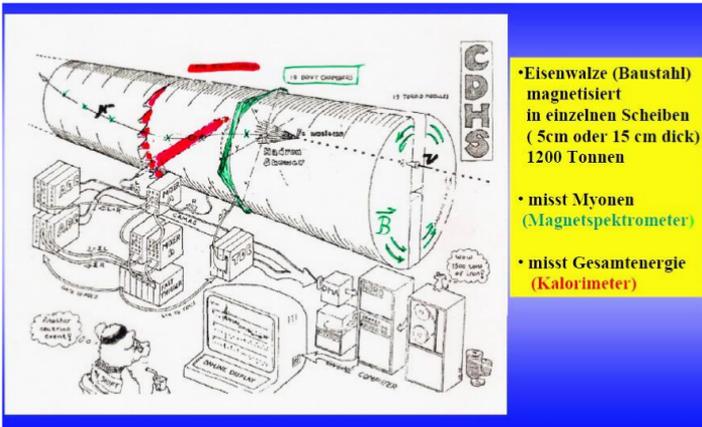


Abb. 3. Prinzip des CDHS Neutrinodektors. (Zeichnung J. Rander). Die Hadronenergie wird mit Hilfe der Szintillatorebenen zwischen den Eisenscheiben gemessen. Der Myonimpuls durch Messung seiner Helixbahn in den Eisentoroiden mit Driftkammern.

Das Detektorkonzept von Jack, Abb. 3, war genial und allein danach konzipiert, die experimentellen Möglichkeiten, die der Neutrinostrahl am CERN bot, möglichst ergebnisoffen zu maximieren und zudem eine sehr hohe Targetmasse zu generieren (1200 to).

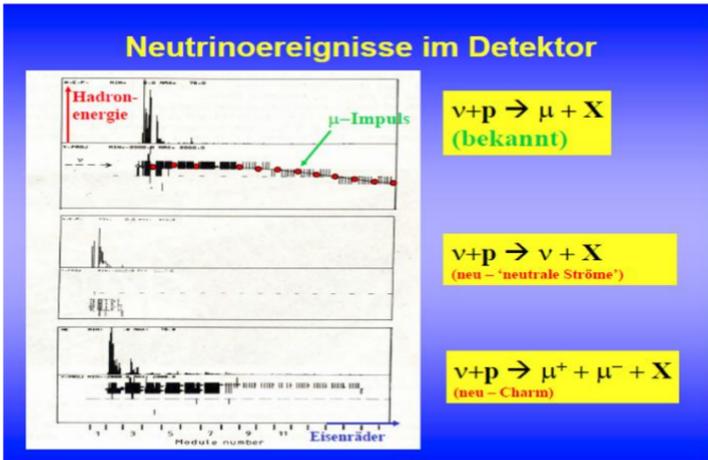


Abb. 4. Ereignisrekonstruktion im CDHS Detektor für 3 verschiedene Reaktionstypen. Im oberen Teil ist jeweils die Pulshöhe in den Szintillatorebenen der Eisenmodule gezeigt, die ein Maß für die Hadronenergie ist. Darunter sind als Funktion des Orts entlang der Strahlachse die Spurkoordinaten in den Driftkammern, die rekonstruierte Myonspur, sowie alle Szintillatoren gezeigt, welche ein Signal lieferten.

Unser Experiment wäre perfekt gewesen, um die neutralen Ströme und Charm innerhalb eines Monats zu entdecken. Leider war es dazu zu spät. Trotzdem wartete jeder gespannt auf unsere Messergebnisse, Abb. 4, weil andere Experimente ein heilloses Durcheinander angerichtet hatten mit zweifelhaften Ergebnissen, die eine Unmenge theoretischer Papiere generiert hatten und vor allem die Theoretiker vom heutigen Standardmodell weg- statt zu

ihm hingeführt hatten. Parallel zu CDHS wurden im gleichen Neutrinostrahl auch Daten in der Big European Bubble Chamber BEBC und in Gargamelle genommen, deren Stärke die Rekonstruktion von hadronischen Endzuständen und der direkte Nachweis von hochenergetischen Elektronen war. Drei Jahre später kam dann noch CHARM dazu.

1945	Quantenelektrodynamik	
1956	Paritätsverletzung	
1961	eightfold way	
1963	CP Verletzung	
1964	Quarks Gell-Mann, Zweig	
1965	Dalitz: nicht relativistisches Quark Modell	
1967	Cabibbo Theorie der schwachen WW	
1967	Weinberg-Salam Eichtheorie	
1969	Partonen in tiefinelastischer Streuung	SLAC
1970	GIM Mechanismus	
1971	t'Hooft: renormierbare schwache Wechselwirkung	
1973	Neutrale Ströme	CERN
1973	Quantenchromodynamik Gell-Mann, Gritsch, Leutwyler	
1973	Wilczek, Gross, Politzer	asymptotische Freiheit
1973	Parton Modell Tests	
1974	Novemberrevolution: Charm und Tau	SLAC, Brookhaven
1975-1978	elektroschwache Theorie: Experimentelle Verifizierung	
1976	QCD Tests in tiefinelastischer Streuung	und GIM- Mechanismus
1982	Paris Konferenz: QCD weitgehend akzeptiert	, Gluonen bei Petra
1983	W und Z Bosonen, Jets	CERN
1989	SLC, LEP: es gibt nur 3 Generationen	
1995	Top Entdeckung	Fermilab
2004	Neutrino Oszillationen	

Abb. 5. Zeittafel wichtiger theoretischer Fortschritte und experimenteller Entdeckungen in der Hochenergiephysik.

Die Etablierung des Standardmodells

Ich selbst, und ich glaube die meisten meiner Kollegen, wurden von der elektroschwachen Theorie, der Entdeckung der neutralen Ströme, von Charm und später der QCD vollkommen überrascht.

Wir haben sie sozusagen parallel zur Datenanalyse gelernt, als wir sie brauchten. Dabei war die elektroschwache Theorie bereits 1971 und die QCD 1973 komplett entwickelt, wie die Zeittafel (Abb. 5) zeigt. Eichtheorien wurden von den meisten Theoretikern erst ernst genommen, als t'Hooft und Veltmann die Renormierbarkeit von Yang-Mills Theorien bewiesen und von den Experimentalphysikern noch später nach der Entdeckung der neutralen Ströme am CERN durch das Blasenkammerexperiment Gargamelle am PS.

Im Falle der elektroschwachen Theorie war die Wahl der Eichgruppe völlig offen. Die Wahl von Weinberg und Salam $SU(2)_L \times U(1)$ war nur die einfachste und langweiligste Realisierung. So waren z.B. Links- Rechts-symmetrische Modelle bei Theoretikern sehr beliebt, die rechtshändige Quarks und Leptonen vorhersagen, andere Eichgruppen brauchten zusätzliche schwere Leptonen und es gab auch renormierbare Eichtheorien ohne neutrale Ströme, die dafür schwere Leptonen vorhersagten. Welche Eichgruppe die Natur gewählt hatte, konnte nur das Experiment bestimmen. Es gab also viel Raum für neue Physik. Von der QCD bekam ich bis 1975 überhaupt nichts mit.

In einem historischen Rückblick von 1984 schreibt Bjorken: Es gab das Standardmodell in seiner ganzen Schönheit aber es gab halt auch viele andere theoretische Ansätze und falsche experimentelle Resultate – noise – wie er schreibt. Deshalb dauerte es so lange, die richtige Theorie zu finden. So hatten z.B. frühe Neutrinoexperimente am CERN die Existenz neutraler Ströme praktisch bereits ausgeschlossen. Das Interesse an diagonalen leptonen Wechselwirkungen speiste sich z.T. aus einer Veröffentlichung von Reines und Gurr, die für den Prozess $\nu_e + e^- \rightarrow \nu_e + e^-$ einen Wirkungsquerschnitt angaben, der 100 Mal größer war, als ihn das Standardmodell vorhersagt – und natürlich gab es auch dazu theoretische Modelle.

Die Hochenergiekonferenz in London 1974 gilt als Wendepunkt und gleichzeitig Höhepunkt der Konfusion. Leider war ich nicht dort aber in den Proceedings fand ich den Rapporteurstalk von John Illiopolis zu Eichtheorien, in dem er erstmalig die gesamte

Theorie des Standardmodells und die Grundideen der Grand Unified Theories mit einer unglaublichen Überzeugungskraft ausbreitete. Bjorken schrieb dazu in einem historischen Rückblick: "Ich fand den Vortrag sehr faszinierend und gleichzeitig vollkommen verrückt". Am Ende seines Vortrags bot Illiopoulos übrigens eine Wette darauf, dass Charm innerhalb von zwei Jahren im Massenbereich um 2 GeV gefunden werde. Er war dabei beflügelt durch eine gewonnene Wette mit Jack Steinberger zur Existenz neutraler Ströme, der "sich nicht vorstellen konnte, dass es einem so mittelmäßigen Experiment wie Gargamelle erlaubt sein sollte, eine so wichtige Entdeckung zu machen" – wie er mir auf einer Wanderung im Jura erklärte. Ich lernte Jean Illiopoulos, einen engen Freund von René Turlay, später persönlich kennen, und kann mir seine 'magische' Wirkung auf die Zuhörer lebhaft vorstellen. Dann kam der November 1974 und die Entdeckung des J/ψ bei Brookhaven und am SLAC. Das schlug ein wie eine Bombe und etablierte sowohl das Quark-Partonmodell als auch den GIM Mechanismus als zu testende Ideen. Ich hatte das Glück an der Lepton-Photon Konferenz am SLAC 1975 teilzunehmen. Es war die aufregendste Konferenz, die ich jemals erlebte. Dort wurde die Entdeckung des Tau-Leptons durch Pearl et al. bekannt gegeben, was im Rahmen der elektroschwachen Eichtheorie automatisch die Existenz eines zusätzlichen Neutrinos und von zwei neuen Quarks erforderte. Zum ersten Mal hörte ich den Begriff Teilchenfamilien und es wurden die ersten Jetanalysen vorgestellt, die zeigten, dass die Hadronen bei der e^+e^- Vernichtung tatsächlich eher 'gebündelt' waren.

Experimentelle Ergebnisse der Neutrinoexperimente bis 1977

Das wichtigste Experiment war das Blasenkammerexperiment Gargamelle am CERN PS (10 GeV) mit seiner Entdeckung der neutralen Ströme. Es lieferte aber auch erste erfolgreiche Tests des Quark-Partonmodells. Die Neutrinoexperimente am 300 GeV SPS am Fermilab spielten dagegen eine eher bescheidene Rolle. Das HPW Experiment am Fermilab zeichnete sich dadurch aus, dass es

besonders viel 'noise' als Folge des verunglückten Experimentaufbaus lieferte. Besonders viel Aufregung erzeugte eine Publikation, die als high- γ anomaly bekannt wurde welche auf die Existenz rechtshändiger Quarks hinzuweisen schien. Auf vielen Tagungen und Konferenzen Beobachtung von Neutrinoereignissen mit 2 und 3 Myonen berichtet. Die ersten waren wahrscheinlich Charmerzeugung, was sich aber nicht beweisen ließ. Ich erinnere mich an 6 Ereignisse mit 3 Myonen, die in Preprints und Konferenzberichten als mögliche Evidenz gleich zweier neuer schwerer Leptonen verkauft wurden. Das alles verursachte eine Flut theoretischer Papiere. Jack war über diese Aufführung extrem erbost und sagte mir mal auf einer Wanderung: "You know, these guys take a rifle, shooting in the air, hoping a pigeon will fall down." Er hatte vollkommen Recht, es herrschte Goldgräberstimmung, es gab so vieles zu entdecken.



Abb. 6. Titelblatt der ersten CDHS Publikation

Der Spuk war ziemlich schlagartig zu Ende, als wir unserer ersten Ergebnisse 1977 präsentierten.

Das erste und umstrittenste Papier unserer Kollaboration zeigte zweifellos, dass es keine rechtshändigen Quarks gab – die high- γ anomaly war nicht existent. Abb. 6 zeigt das Titelblatt mit der Autorenliste und der Zusammenfassung. Interessant ist die, im Verhältnis zu heutigen Experimenten, kleine Zahl von Autoren, die nie höher als 35 war. Die Aussage des Papiers, es gibt keine high- γ Anomalie, hatte Bestand. In der Publikation waren aber auch γ -Verteilungen veröffentlicht, die grob falsch waren, weil die angenommene Hadronkalibrationskurve falsch war. Zudem heizte das Papier unnötigerweise einen längeren Streit zwischen den Vertretern der 'etablierten' Neutrinoexperimente und Jack Steinberger an, der dabei gerne die gesamte Kollaboration hinter sich gesehen hätte.

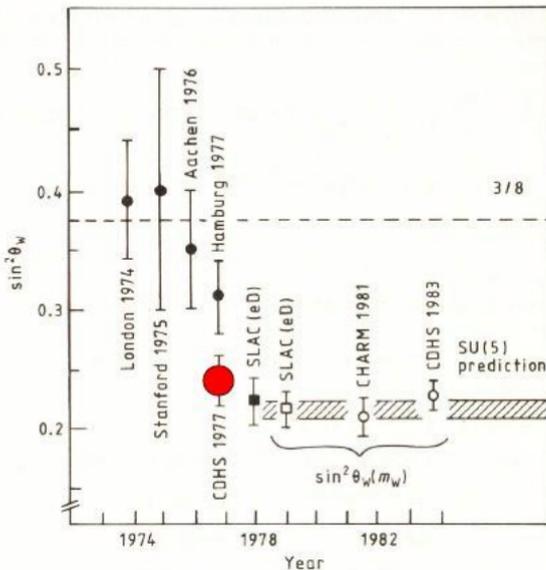


Abb. 7. Messungen des Weinbergwinkels als Funktion der Zeit.

Ein weiteres wichtiges Ergebnis war die erste präzise Messung des Weinbergwinkels $\sin^2\theta_W = 0.23 \pm 0.03$, Abb. 7. Dieser Wert (ohne radiative Korrekturen) war kompatibel mit den Vorhersagen von grand unified theories.

Auf der Hochenergiekonferenz in Hamburg, die ich 1977 besuchte, beklagte sich prompt ein Theoretiker in der Diskussion bitterlich darüber, dass er alle Papiere zu grand unified theories in den Papierkorb geworfen hätte, weil die Experimente 3/8 gemessen hätten, und plötzlich sei $\sin^2\theta_W$ doch 0.2 !

Schließlich erlaubten es die registrierten Ereignisse mit 2 Myonen unterschiedlichen Vorzeichens, die aus Charm-erzeugung stammten, den GIM-Mechanismus im Detail zu testen und zu verifizieren. Gezeigt wurde auch, dass es keine Charm ändernden neutralen Ströme gab.

Im Herbst 77 schlug ich vor, unsere Kalorimeter in situ zu kalibrieren, indem wir Pionstrahlen variabler Energie direkt ins Experiment schickten um das Problem der γ -Verteilungen in den Griff zu bekommen. Das Ergebnis der Kalibration ergab eine stark nichtlineare Kalibrationsfunktion mit der die Probleme der γ -Messung verschwunden waren und die detaillierte Analyse der Daten beginnen konnte.

Nach der Kalibrationsarbeit wollte ich eigentlich an der Analyse der Multimyonereignisse arbeiten – darin sah ich die Chance neue Physik zu finden – wir sahen inzwischen auch Ereignisse mit 3 und 4 Myonen. Dann aber überredete mich Jack, in die Analyse der geladenen Ströme einzusteigen. So arbeitete ich bis Ende 1982 an der Messung von Strukturfunktionen, Skalenverletzungen und letztendlich Tests der QCD. Das war die schwierigste und frustrierendste Analyseaufgabe, die das Experiment zu bieten hatte, da es wieder mal um die Beherrschung und Behebung systematischer Fehler ging.

Die ersten Analysen waren noch einfach. Es ging um den Test des Quark Parton Modells. Danach kam das echte Problem, die Messung der Strukturfunktionen und deren Skalenverletzungen. Dies erwies sich als sehr mühsam, nicht nur, weil die Analyse

schwierig war, sondern auch, weil fünf unabhängige Analysen zum Teil sehr unterschiedliche Ergebnisse lieferten. Damit die Ergebnisse von der Kollaboration akzeptiert wurden, musste daher auch noch geklärt werden, was in welcher Analyse schief gelaufen war. Die schließlich veröffentlichten Daten zeigten starke Skalenverletzungen mit hoher Signifikanz, die ich 1978 auf einer Neutrino-Konferenz in Oxford erstmals vorstellen konnte. Bis dahin hatte bei hohen Werten von Q^2 nur ein Fermilab Myonstreuexperiment Skalenverletzungen gemessen.

Ende 1978 war die elektroschwache Theorie von Weinberg-Salam allgemein akzeptiert. Einen entscheidenden Anteil hatte daran das SLAC e-D Streuexperiment mit polarisierten Elektronen, welches zeigte, dass links- und rechtshändige Elektronen unterschiedliche Wirkungsquerschnitte haben und das damit den Nachweis erbrachte, dass der elektromagnetische und der schwache Strom interferieren. Zudem maß das Experiment auch einen genauen, kompatiblen Wert des Weinbergwinkels (Abb. 7). Wie Sakurai 1978 schrieb: "nature has chosen the most simple and least attractive gauge model of weak interaction – what a pity". So fehlten nur noch das W und Z Boson, deren Eigenschaften allerdings genau vorhergesagt waren. Und dann musste natürlich noch das Higgs Boson gefunden werden, was erheblich schwieriger war, da seine Masse unbekannt war.

Nach der Oxfordkonferenz begann ich mich mit den Vorhersagen und Tests der QCD zu beschäftigen und schon bald konnten wir erste erfolgreiche QCD Analysen und eine erste Messung der starken Kopplungskonstanten präsentieren. Erstaunlicherweise waren die QCD Vorhersagen zu den Skalenverletzungen die ersten quantitativen experimentellen Tests der QCD, die durchgeführt werden konnten. Das war damals wichtige Pionierarbeit. Die Etablierung der QCD als Teil des 'Standardmodells' dauerte noch einige Jahre, insbesondere weil lange Zeit nur Vorhersagen erster Ordnung Störungstheorie möglich waren, so dass direkte Vergleiche verschiedener harter Streuprozesse nur sehr eingeschränkt möglich waren. Die ersten Messungen der Struktur-

funktionen mit hoher Statistik konnten wir 1980 abschließen und die QCD Analyse der Skalenverletzungen erlaubte es zum ersten Mal die Strukturfunktion des Gluons und den Wert von $\alpha_S(Q^2)$ gleichzeitig mit den Quark- und Antiquarkverteilungen zu messen (Publikation 1981). Inzwischen lieferten auch die beiden Myonstreuexperimente EMC und BCDMS am CERN Messungen der Strukturfunktion F_2 mit hoher Statistik und ausgeprägten Skalenverletzungen in Übereinstimmung mit den QCD Vorhersagen. Die Übereinstimmung zwischen den Experimenten innerhalb der angegebenen Fehler war allerdings nicht ganz zufriedenstellend. Ein weiterer wichtiger Schritt zur Etablierung der QCD war die direkte Beobachtung von Gluonjets in 3 Jet Ereignissen am e^+e^- Speicherring PETRA (DESY) 1979 und der damit mögliche Nachweis, dass das Gluon Spin 1 hat.

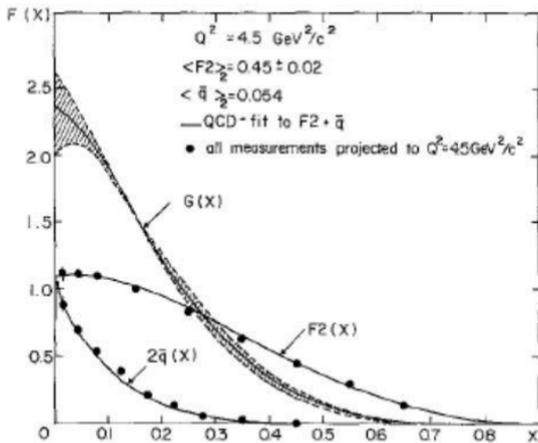


Abb. 8. Partonverteilungen aus der QCD Anpassung

Das Jahr 1982 kann wohl als das Jahr bezeichnet werden, in dem sich die QCD als von (fast) allen akzeptierte Theorie der starken Wechselwirkung durchsetzte. Dies war weniger das Resultat

einzelner Analysen als die Erkenntnis, dass es keine Alternative gab, die eine immer größer werdende Flut experimenteller Daten von harten Streuprozessen mit Hadronen kohärent erklären konnte. Die große Hochenergiekonferenz in Paris im Sommer 1982 trug wesentlich zu diesem Durchbruch bei. Auf dieser Konferenz konnte ich als Rapporteur sämtliche Ergebnisse zu Strukturfunktionen, deren QCD Analysen und Vergleiche mit anderen harten Streuprozessen wie z.B. dem Drell-Yan Prozess und der Zweijetproduktion zusammenfassen und Günther Wolf vom DESY berichtete über die e^+e^- -Ergebnisse – zusammengenommen eine beeindruckende Bestätigung der QCD.

Die präsentierten Messungen der Strukturfunktionen von CDHS und der Myonexperimente lieferten für lange Zeit die Partonverteilungen, welche zur Analyse der Daten an den $p\bar{p}$ -collidern am CERN und am Fermilab gebraucht wurden. Deren Extraktion in höherer Ordnung wurde in den folgenden Jahren von zwei Gruppen von Theoretikern durchgeführt und ihre Anwendung auf harte Streuprozesse in Hadronkollisionen zeigte, dass die Parton-verteilungen in der Tat universell waren.

Der Schwerpunkt der QCD Analysen verlagerte sich nach 1982 zu den e^+e^- Experimenten und an die Hadron Collider. Daher stellte ich 1982 meine Arbeiten zu Strukturfunktionen ein und ich war mir damals sicher, dass ich trotz erfolgreicher Arbeit nie wieder in meinem Leben Strukturfunktionen messen und analysieren wollte.

Es gab aber ja immer noch die von uns beobachteten Multi-myonereignisse. Es gab also durchaus die Möglichkeit, dass noch neue Physik außerhalb des Standardmodells existierte und in unserer Reichweite war. Bereits 1978 brachte mich dies auf die Idee, ein Beam Dump Experiment vorzuschlagen, in dem normale Neutrinos kaum erzeugt werden konnten weil die im Target erzeugten Pionen und Kaonen schnellstmöglich gestoppt wurden und daher nicht bei hohem Impuls zerfallen konnten. Falls aber neue kurzlebige Teilchen existierten, würden sie vielleicht Neutrinos oder neue Arten durchdringender Teilchen erzeugen.

Dieser Vorschlag fand bei allen Experimenten großen Anklang und wurde sehr schnell realisiert. Leider fanden wir keine neue Physik, aber alle Neutrinoexperimente am CERN sahen ein promptes Signal, das durch Elektronneutrinos erzeugt wurde. Das Signal erwies sich als hadronische Charmerzeugung mit nachfolgendem semileptonischen Zerfall. Zu meiner großen Verwunderung war der Preprint zu diesem 'Abfallprodukt' der Neutrino-Physik mit Abstand der am meisten zitierte und nachgefragte von CDHS – die meisten Physiker befassen sich halt am liebsten mit der Physik, die sie am besten kennen. Letztendlich konnten die Multimyonenereignisse Jahre später im Rahmen des Standardmodells zufriedenstellend erklärt werden.

Das CDHS Neutrinoexperiment wurde 1984 abgeschaltet, nach dem es noch nach Neutrinooszillationen gesucht hatte. Tatsächlich haben wir am Ende der Laufzeit auch noch, wie versprochen, die diagonale leptonische Wechselwirkung (trident production) gemessen, die für die Genehmigung des Experiments so wichtig war – es hat niemanden mehr interessiert. Jack Steinberger meinte auf der Feier zur Stilllegung des Detektors: 'this experiment started with a bang and ended in a sizzle'. Insgesamt war es aber ein sehr erfolgreiches Experiment, das wichtige Beiträge zur Etablierung des Standardmodells machte. Sein Effekt beruhte anfangs hauptsächlich darin, dass es falsche Resultate korrigierte und die Theorie wieder auf den Weg zum Standardmodell lotste. Es leistete aber auch Pionierarbeit bei der Etablierung der QCD als Theorie der starken Wechselwirkung.

Neue Experimente

Ab Ende 1982 war ich an der Planung eines Experiments für LEP beteiligt – des späteren ALEPH-Experiments. Da LEP aber noch so lange hin war wollten wir uns die Zeit bis dahin mit einem 'kleinen' K^0 -Experiment vertreiben, das zeigen sollte, ob die CP-Verletzung eine Eigenschaft des Standardmodells ist. Dazu war der Nachweis der 'direkten' CP-Verletzung erforderlich - eine sehr diffizile und anspruchsvolle Messung. Zwei Jahre nach Beginn der Datennahme

musste ich mich aber Mitte 1986 aus dem Experiment zurückziehen, als ich zum Sprecher des HERA-Experiments H1 gewählt wurde. Das kleine Zwischenexperiment war letztendlich länger in Betrieb als LEP. Es zeigte tatsächlich, zusammen mit einem ähnlichen Experiment am Fermilab, dass es direkte CP-Verletzung gibt. Damit war das Ende des superweak model besiegelt. Für mich waren diese Projekte eine gute Schulung darin, wie die Planung eines neuen Experiments angepackt werden muss.

Suche nach neuer Physik

Anfang der 80er Jahre schien der Himmel wieder goldene Zeiten zu versprechen: Grand Unifies Theories und die Suche nach dem Protonzerfall, Supersymmetrie mit all ihrer Wunderwelt an neuen Teilchen, magnetische Monopole, Neutrinooszillationen. Und dann fehlten ja auch noch die W- und Z-Bosonen, das Top und das Higgs. Es folgte wieder eine recht wilde Zeit mit vielen zweifelhaften und falschen Resultaten. 'Gefunden' wurden unter anderem das Top Quark, das Higgsteilchen, supersymmetrische Teilchen etc. Bis 1995, dem Jahr in dem das Top Quark am Fermilab entdeckt wurde, überlebten davon nur das W- und das Z-Boson die am Proton-Antiprotonkollider des CERN 1983 entdeckt wurden, mit genau den vorhergesagten Eigenschaften. Im Jahr 1998 folgte dann die Entdeckung der Neutrinooszillationen.

DESY und H1 (1984–1992)

Obwohl mir die Fakultät in Dortmund sehr gut gefiel hatte ich so ab 1983 das Gefühl, dass mir eine neue Herausforderung gut täte und es gab auch persönliche Gründe für einen Ortwechsel. Also habe ich mich bei DESY beworben und nahm das Angebot einer Stelle als leitender Wissenschaftler Anfang 1984 an, unter dem Vorbehalt, dass HERA genehmigt würde. DESY war für mich komplettes Neuland, bis auf meinen besten Freund Peter Steffen, der dort arbeitete. DESY war in vielfacher Weise anders als CERN. Wo am CERN zwei bestbezahlte Leute für eine Aufgabe bereitstanden, gab's bei DESY bestenfalls einen eher schlecht bezahlten. Dennoch funktionierte alles erstaunlich gut. Sehr positiv war die

Politik der offenen Tür – die führenden Leute waren immer kurzfristig ansprechbar wenn sie am DESY waren.

Mein erster Arbeitstag bei DESY war zufällig der Tag der Grundsteinlegung für HERA mit Forschungsminister Riesenhuber. Der e-p Speicherring HERA sollte die lange Tradition der Lepton-Nukleon Streuexperimente fortsetzen, die auch am Anfang von DESY stand. Allerdings hätten die meisten Physiker bei DESY lieber den nächsten e^+e^- Beschleuniger gebaut, der aber zum CERN ging, so dass sie zumindest anfangs HERA eher als Trostpflaster empfanden.

Die Grundsteinlegung war auch der Startschuss für die Bildung von Kollaborationen zur Planung und zum Bau eines Detektors für HERA. Als ich ankam gab es drei Proto-Kollaborationen, die sich um drei ältere Herren gruppierten, die zuvor bei verschiedenen PETRA Experimenten mitwirkten. Gus Weber leitete eine Gruppierung, die mir am besten gefiel. Den Kern bildete die JADE-Gruppe bei DESY ergänzt um Gruppen, die davor tiefinelastische Myon- oder Neutrinostreuung am SPS gemacht hatten.

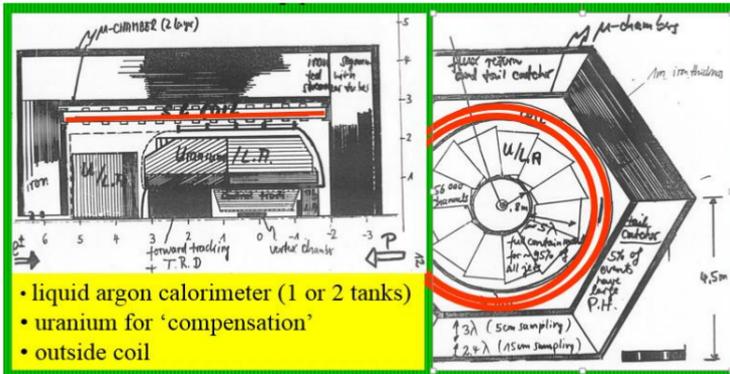


Abb. 9. Skizze des Experimentivorschlags unserer Protokollaboration (Vortragsfolien). Er enthält bereits alle wesentlichen Ideen des späteren H1 Detektors.

Im Herbst 84 stellten die Gruppen ihre Experimentideen auf einem Treffen in Genua vor. Unser Experimentivorschlag – zu dem ich viel beitragen konnte, da ich sowohl Erfahrung in tief-inelastischer Streuung als auch im Kalorimeterbau hatte, basierte auf einem Flüssigargon Kalorimeter mit Uran als Absorbermaterial, das sich innerhalb einer großen Spule befand, Abb. 9. Bemerkenswert ist, dass alle Gruppen 'kompensierende' Kalorimeter mit Uran bauen wollten. Die grundlegende Physik der Kompensation war aber noch nicht verstanden. So stellte es sich z.B. erst später heraus, dass ein Urankalorimeter mit flüssigem Argon als AuslesemEDIUM gar nicht kompensierend sein kann.

Unmittelbar nach dem Genua Meeting bildeten sich die beiden Kollaborationen, die letztendlich die HERA Detektoren bauen sollten. Basierend auf den Erfahrungen der Gruppen bei PETRA fanden sich alle Gruppen, die bei Jade, Pluto und CELLO gearbeitet hatten, mit den bis dahin gefundenen Kollaborateuren in der H1 Kollaboration zusammen unter dem Motto 'alle gegen Tasso' – die Gruppierung, die zweifellos die 'Hausmacht' bei DESY hatte. Ein gemeinsamer Gegner ist eine gute Basis für eine Kollaboration von Gruppen, die ansonsten sehr unterschiedliche Kollaborationsstile gepflegt hatten und lange Konkurrenten waren. In der Folge wurde gemeinsam ein Letter of Intent (LOI) auf der Basis eines Flüssigargonkalorimeters innerhalb einer großen supraleitenden Spule ausgearbeitet. Nach langen Diskussionen gaben wir die Idee eines kompensierenden Kalorimeters auf und schlugen Blei/Kupfer als Absorbermaterial vor, im Rückblick eine sehr glückliche Wahl. Das zweite HERA Experiment ZEUS realisierte dagegen ein kompensierendes Uran/Szintillator Kalorimeter.

Auf dem Weg zum technischen Proposal wurde dann schnell klar, dass unsere Kollaboration zwar ein gutes Detektorkonzept hatte, aber zu wenig Kollaborateure und zu wenig Geld, um ihn zu bauen. Um doch genehmigt zu werden wurde der Detektor als Erstes 'optimiert' d.h. wir vereinfachten den Detektor und verschoben den Bau einzelner Komponenten, die nicht sofort gebraucht wurden, auf später. Danach musste ein Sprecher und ein

technischer Koordinator gewählt werden um der neuen Kollaboration einen effektive Leitung zu geben. Ich hatte nie vorgehabt Sprecher zu werden und es fehlte mir auch jegliche Erfahrung für diesen Job. Die Alternative wäre für mich allerdings gewesen, von DESY wieder weg zu gehen. Also wurde ich zum Sprecher gewählt und leitete 6 Jahre lang als ‚Wissenschaftsmanager‘ ohne Weisungsbefugnisse eine Kollaboration von ca. 450 Physikern aus 11 Ländern. Zur Überraschung aller, die mich von früher kannten, mich eingeschlossen, lief das erstaunlich gut.

Eine große internationale Kollaboration ist ein sehr merkwürdiges Gebilde. Eine Gruppe von Physikern mit wenig administrativer und organisatorischer Erfahrung versucht einen extrem anspruchsvollen und teuren Detektor (im Fall von H1 ca. 95 Millionen DM reine Investitionskosten) mit vielen Komponenten und sehr zerfaserten Verantwortlichkeiten zu bauen. Das funktioniert natürlich nur deshalb, weil alle ein gemeinsames Ziel haben: jedes Kollaborationsmitglied will einen funktionierenden Detektor mit dem er oder sie Physik machen kann. Es mag auf den ersten Blick so aussehen, als ob sich 450 Physiker und ca. 100 Ingenieure und Techniker, die ich fast alle kannte, im Weg stehen würden. Tatsächlich aber gab es immer mehr dringende und wichtige Aufgaben als geeignete Leute. So wurden viele wichtigen Aufgaben von jungen Doktoranden und Postdocs selbstständig übernommen. Ohne sie hätten wir den Detektor und die Software niemals fertig stellen können. Meine erste Aufgabe war, die richtigen Leute an die entscheidenden Positionen zu setzen. Mit einiger Mühe gelang es, Friedhelm Brasse als technischen Koordinator durchzusetzen. Er war der wichtigste Mann für den Detektorbau, eine große Stütze und ein exzellenter Physiker. Obwohl er bei vielen als ‚schwierig‘ galt, harmonierten wir sehr gut. Viel Unterstützung kam auch von Rolf Felst, und von Joel Feltesse, der Koordinator für den Bau des Kalorimeters wurde.

Auf der eher politischen Seite waren Erwin Gabathuler, Gus Weber und V. Soergel sehr hilfreich, wobei es Herrn Soergel

offensichtlich ein Anliegen war, bei HERA zwei etwa gleich starke Experiment-gruppen zu haben.

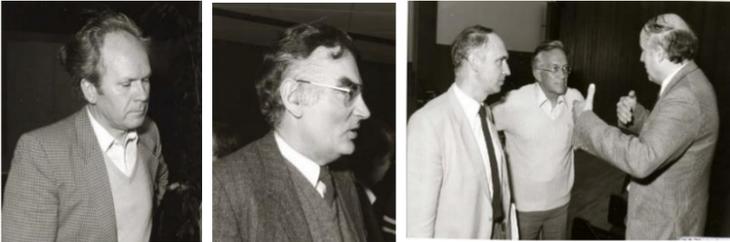


Abb. 10. Friedhelm Brasse (technischer Koordinator, links), Rolf Felst (Mitte), V. Soergel, G. Weber und E. Gabathuler (rechts).

Die Kollaboration brauchte dringend mehr Kollaborateure – damit war ich dann ca. ein Jahr beschäftigt. Es gelang, einige Gruppen aus dem Westen neu zu gewinnen. Die größten Ressourcen gab es aber in den Ostblockländern, wo Hochenergie-gruppen nach langer Zeit bei HERA wieder die Erlaubnis erhielten, als eigenständige Gruppen im Westen zu arbeiten. De facto haben uns die Gruppen des Lebedev Instituts und des ITEP aus Moskau und die Gruppen aus Prag, Kosice, Krakau und Zeuthen gerettet, die nicht nur wichtige Komponenten zum Detektorbau beisteuerten und damit eine glaubhafte Finanzierung ermöglichten, sondern insbesondere sehr engagierte junge Physiker und Techniker zum DESY brachten, um beim Detektoraufbau zu helfen. Zwischen 1986 und 1992 besuchte ich diese Gruppen mehrfach, so dass ich die Zeit kurz vor der Perestroika und dem Mauerfall und die Zeit danach hautnah mitbekam – aufregende und denkwürdige Erfahrungen, die ich nicht missen möchte.

Während der Bauzeit bestand meine Hauptaufgabe darin, den Gesamtdetektor und seine Gesamtperformance im Blick zu behalten und bei Konflikten zu moderieren. Detaillierter musste ich mich um Elektronik, Trigger, Datennahme und Software kümmern, die nicht in Friedhelm Brassess's Verantwortungsbereich

fielen. Insbesondere die Software und die Verarbeitung der großen Datenmengen waren ein Riesenproblem. Es galt, wie auch in anderen Kollaborationen, das Motto: wer nicht zum Detektorbau taugt, sollte wenigstens bei der Software helfen. Diese fehlende Wertschätzung von Physikern, die gute Software entwickeln und schreiben können, war ein großer Fehler. Zum Glück hatten wir mit Volker Blobel einen exzellenten Softwarephysiker dessen gute Ideen und Beiträge nur durchgesetzt werden mussten. Einige Zeit übernahm ich selbst die Koordinierung der Softwarearbeit.

Es gab mehrere Beinahkatastrophen, die das ganze Experiment hätten lahmlegen können. Aber schließlich ging alles bis auf kleinere Macken gut. Und pünktlich zum Start der Maschine Ende 1991 war der Detektor fertig und auch die Software.

Erste Ergebnisse des Experiments konnte ich auf der HEP Konferenz in Dallas 1992 berichten. Das war meine letzte Tat als Sprecher von H1, danach ging ich nach Heidelberg.

Die Zeit bei DESY war für mich sehr interessant und lohnend aber auch enorm anstrengend, zumal ich inzwischen auch eine Familie mit 3 Kindern hatte.

Heidelberg ab Herbst 1992

Die letzte und längste Zeit habe ich in Heidelberg verbracht. Eines Tages rief mich Klaus Tittel an und fragte mich ob ich mir vorstellen könnte nach Heidelberg zu kommen. Da Herr Wagner ganz unplanmäßig plötzlich zum DESY gegangen war und Herr Heintze emeritiert wurde, war die Hochenergiephysik des Instituts verwaist bis auf eine kleine Gruppe um Herrn Bock und von Krogh, die sich mit Opal-Physik befasste.

Ein merkwürdiger Zufall war, dass zur gleichen Zeit drei Physiker von DESY nach Heidelberg berufen wurden: Christoph Wetterich kannte ich als Mitglied der Friedensbewegung, die damals heftig gegen das Nachrüstungsprogramm mit Pershing Raketen protestierte, wusste aber nicht welche Physik er machte. Herrn Maier kannte ich gut von H1.

In Heidelberg fand ich ein sehr gut organisiertes Institut mit interessantem Forschungsspektrum vor, das allerdings in die Jahre gekommen war sowohl äußerlich als auch was die Ausstattung anging. Daher ging der Großteil der Erstausrüstung in die Infrastruktur der Werkstätten. Herr Dubbers machte es bald danach nochmals so, danach war dieses Problem vorerst gelöst. Das Institut war allerdings hervorragend organisiert mit sehr kompetenten Mitarbeitern und einem Direktor, der freie Hand für Entscheidungen hatte, solange er seine Kollegen nicht gegen sich aufbrachte. Das minimierte den administrativen Aufwand im Vergleich mit früheren Stationen in meiner Karriere erheblich. Ich fand zudem exzellente Mitarbeiter im Institut aus der Ära Heintze vor, mit herausragenden Fähigkeiten im Detektorbau.

Die Fakultät arbeitete gut zusammen und hatte exzellente Verbindungen zu den benachbarten Instituten. Im ersten Jahr in Heidelberg lernte ich mehr über allgemeine Physik als in 8 Jahren bei DESY wozu insbesondere auch das exzellente Kolloquium beitrug. Merkwürdig war es, dass mir fast jeder Kollege ungefragt und mit dem Brustton der Überzeugung erzählte, dass in Heidelberg alles bestens sei, insbesondere in der Ausbildung, und keinerlei Bedarf für Änderungen existiere.

Kurzfristig hatte ich zwei Ideen, für die ich Herrn Meier und Herrn Hofmann vom MPI als erste überzeugen konnte. Erstens ein Graduiertenkolleg zu experimentellen Methoden der Teilchenphysik zu beantragen und zweitens ein ASIC Labor aufzubauen um moderne Elektronik für die nächste Generation von Hochenergieexperimenten zu entwickeln. Beide Ideen wurden schnell realisiert. Herr Meier, der sich im Gegensatz zu mir mit Elektronik sehr gut auskannte, übernahm die Projektleitung für das ASIC-Labor. Sie wissen was daraus geworden ist. Mich persönlich interessierten immer nur Chips für Hochenergieexperimente und wir haben die Experimente HERAB, H1 und LHCB mit sehr anspruchsvollen Chips ausgestattet, die lange nur von Großforschungslabors geliefert werden konnten.

Ideen zur Forschungsarbeit

Für die Forschungsarbeit war mir wichtig, den Schwerpunkt der Aktivität in Heidelberg am Institut zu haben. Dazu brauchte ich einen Partner um Präsenz am Beschleunigerlabor und in Heidelberg gleichzeitig zu gewährleisten – das Duo Heintze-Soergel war da für mich ein gutes Vorbild – und mehrere parallel laufende Experimente. So war H1 das Experiment, das Daten zur Analyse lieferte, HERAB wurde das Experiment das anspruchsvolle Detektorentwicklungen sofort erforderte und LHCb war das Zukunftsprojekt für LHC. Die hohe fachliche Kompetenz der Institutswerkstätten und der Mitarbeiter im Bereich Detektorentwicklung, die hauptsächlich Herrn Heintze zu verdanken war, wollte ich unbedingt nutzen. Für die Analyse brachte ich zwei vielversprechende Postdocs von DESY mit, Herrn Schleper und Herrn Erdmann und schnell kamen die ersten Diplomanden und Doktoranden. Zwei Jahre später kam dann die der erhoffte Partner in Person von Ulli Straumann, der eine große Verstärkung der Hochenergie am Institut war und insbesondere auch meine Defizite im Bereich des Detektorbaus und der Elektronik kompensieren konnte.

Etwa zur selben Zeit wurde ich dann gleichzeitig Institutsleiter und Dekan. Institutsdirektor war ich mit Unterbrechungen insgesamt sieben Jahre. Es war weitgehend ein Vergnügen, das in normalen Zeiten nur einen geringen Zeitaufwand erforderte, da das Institut bestens funktionierte und ich nur bewährte Strukturen pflegen und weiterführen musste.

Forschungsarbeit bei H1

Bei H1 lag der Schwerpunkt der Analysen auf dem Studium der diffraktiven Ereignisse (Struktur des Pomerons) und der Photonstruktur sowie der Suche nach neuer Physik. Die Ergebnisse waren nicht spektakulär aber zum Teil durchaus originell.

Natürlich hofften wir auch bei H1 auf Signale neuer Physik und viele Aspekte des Detektors waren auch darauf ausgelegt Signalen für neue Physik möglichst gut zu messen. Und kurzzeitig

glaubten wir tatsächlich, das Glück hätte uns den Schlüssel zu neuer Physik geschenkt. Eine Beobachtung, die auf neue Physik deutete, schaffte es sogar auf die Frontseite der New York Times. Leider erwiesen sich die 'Leptoquarks' mit ca. 3.2 Sigma Signifikanz dann doch als statistische Schwankung, produzierten aber mehr als 100 theoretische Zitate. H1 hatte zudem im Laufe der Zeit 9 Ereignisse mit Myon und fehlender transversaler Energie nachgewiesen – die perfekte Signatur für Supersymmetrische Teilchen. Leider sah das Parallelexperiment ZEUS kein einziges. Natürlich war das eine hektische Zeit mit vielen Gerüchten und großer Nervosität. So ähnlich erging es allen anderen großen Experimenten in dieser Zeit bei LEP und bei den Proton-Antiproton Kollidern. Je genauer die Messungen wurden, desto solider stand das Standardmodell da.

Neue Experimente

Nach längerem Nachdenken hatte ich mich dafür entschieden, bei LHC zurück zur schwachen Wechselwirkung und insbesondere zur CP-Verletzung zu gehen – mich also für ein zukünftiges B-Experiment zu engagieren. Die Zeit bis dahin war aber noch sehr lang, so dass ich beschloss ich, bei HERAB mitzumachen, einem Vorläuferexperiment bei DESY, das experimentell extrem anspruchsvoll und herausfordernd war und ähnliche Anforderungen stellte wie spätere LHC Experimente. Große R&D Gruppen am CERN hatten Detektoren für LHC über Jahre entwickelt und getestet, so dass es anfangs so aussah, als wären die Detektorprobleme für HERAB schon gelöst. Wir wollten multistrip gaseous chambers (MSGC) bauen, eine im Prinzip gloriose Idee von der alle begeistert waren. Wir – inzwischen war Bernhard Schmidt als versierter Detektorbauer mit an Bord – hatten das ideale akademische Studienobjekt gefunden, an dem viele Diplomanden und Doktoranden sehr viel lernen konnten. Das Projekt entwickelte sich allerdings zu einem Albtraum; wir stolperten von einem Problem zum nächsten und mussten uns schließlich überzeugen, dass MSGC's ungeeignet waren für HERAB und damit auch für LHC. Für HERAB wurde das

Projekt gerettet durch den Einsatz von GEM-Folien als Vorverstärker, die Sauli am CERN erfunden hatte. Bei anderen Detektor-komponenten von HERAB sah es nicht viel besser aus. So wurde das HERAB Projekt physikalisch ein Flop. Wir waren immer weit davon entfernt CP Verletzung im B-System zu messen. Am Institut aber haben in diesem Projekt viele Doktoranden und Diplomanden sehr wertvolle Erfahrungen im Detektorbau erworben und waren danach sehr gefragt. Schließlich klappte über das Graduiertenkolleg auch der Technologietransfer. Die Gruppe von Herrn Dubbers bekam die Inspiration für einen innovativen Neutronendetektor und konnte von unseren Entwicklungen profitieren.

Nach dem Desaster mit den MSGC's, die ich natürlich auch im LHC Proposal geschrieben hatte, beschloss ich, bereits in Absprache mit Ulli Uwer, zum outer tracking System zu wechseln. Ulli Strauman war inzwischen an die Universität Zürich berufen worden. So bauten, entwickelten und testeten wir in Heidelberg Strawtube Kammern und die zugehörigen Auslesechips. Da Ulrich Uwer schnell die Projektleitung übernahm – das Experiment konnte absehbar nicht mehr in meiner Amtszeit starten - will ich dazu wenig sagen – außer dass das Experiment sehr erfolgreich läuft.

Physikausbildung in Heidelberg

Ziemlich viel Zeit und Energie investierte ich als Dekan und später als Studiendekan in Änderungen und Verbesserungen – zumindest in meinen Augen - der Physikausbildung in Heidelberg. Anfangs weil ich die existierende Ausbildung nicht gut fand, später weil die Studiengänge auf das Bachelor/Mastersystem umgestellt werden mussten. Ich erinnere mich noch sehr gut wie viele Kollegen im Fakultätsrat sehr entgeistert schauten als ich erklärte, dass die Physikausbildung in Dortmund viel besser sei als die in Heidelberg. In meiner Zeit als Dekan gelang es mit engagierter Unterstützung durch Herrn Hüfner als Studiendekan, eine große Studienreform durchzusetzen mit für Heidelberger Verhältnisse geradezu revolutionären Änderungen. Später als ich noch drei Semester

Studiendekan war gelang es, ein brauchbares Bachelor- und Masterkonzept zu entwickeln und zu beschließen, das nicht nur eine Fortsetzung des Diplomstudiengangs in neuen Gewändern war, sondern m.E. auch Defizite der Diplombildung behob, und dazu noch eine neue Lehrerausbildung. Dem allgemeinen Gejammer, dass das Bachelor-Masterstudium das Studium zu sehr verschule und zu großen Leistungsdruck erzeuge, kann ich mich nicht anschließen – es gibt genügend Flexibilität in den Regeln, um das zu vermeiden. Im Rückblick haben wir davon noch zu wenig Gebrauch gemacht und insbesondere einen zu hohen Leistungsdruck in den ersten Semestern erzeugt – das muss ich mir als Fehler auf meine Kappe nehmen.

Nach meiner Pensionierung habe ich mich dann noch intensiv um die Lehrerausbildung gekümmert. Während der aktiven Zeit konnte ich nie genügend Zeit sowohl in der Lehre als auch in die Forschungsprojekte stecken; es blieb immer ein Gefühl des Ungenügens. Als Pensionär und kurz danach als erster Seniorprofessor der W. und E. Heraeus-Stiftung, konnte ich mich dann ca. fünf Jahre lang ausschließlich der Lehre und dem Aufbau eines neuen Lehramtsstudiengangs widmen, insbesondere dem Aufbau eines Lehramtspraktikums, und hatte sehr viel Spaß dabei.

Die Zeit in Heidelberg war für mich schön und aufregend, auch wenn die großen Forschungserfolge im Vergleich zu den achtziger Jahren ausblieben. Es ist ein Vergnügen für mich zu sehen, was aus den vielen Doktoranden geworden ist, die in 15 Jahren in der Gruppe promoviert haben. Im Rückblick bin ich sehr froh, dass ich mich für Physik als Studienfach entschieden habe – die Beschäftigung mit der Physik ist und bleibt ein großes Vergnügen.

Vortrag gehalten an der Fakultät für Physik und Astronomie der Universität Heidelberg am 18. Mai 2017.