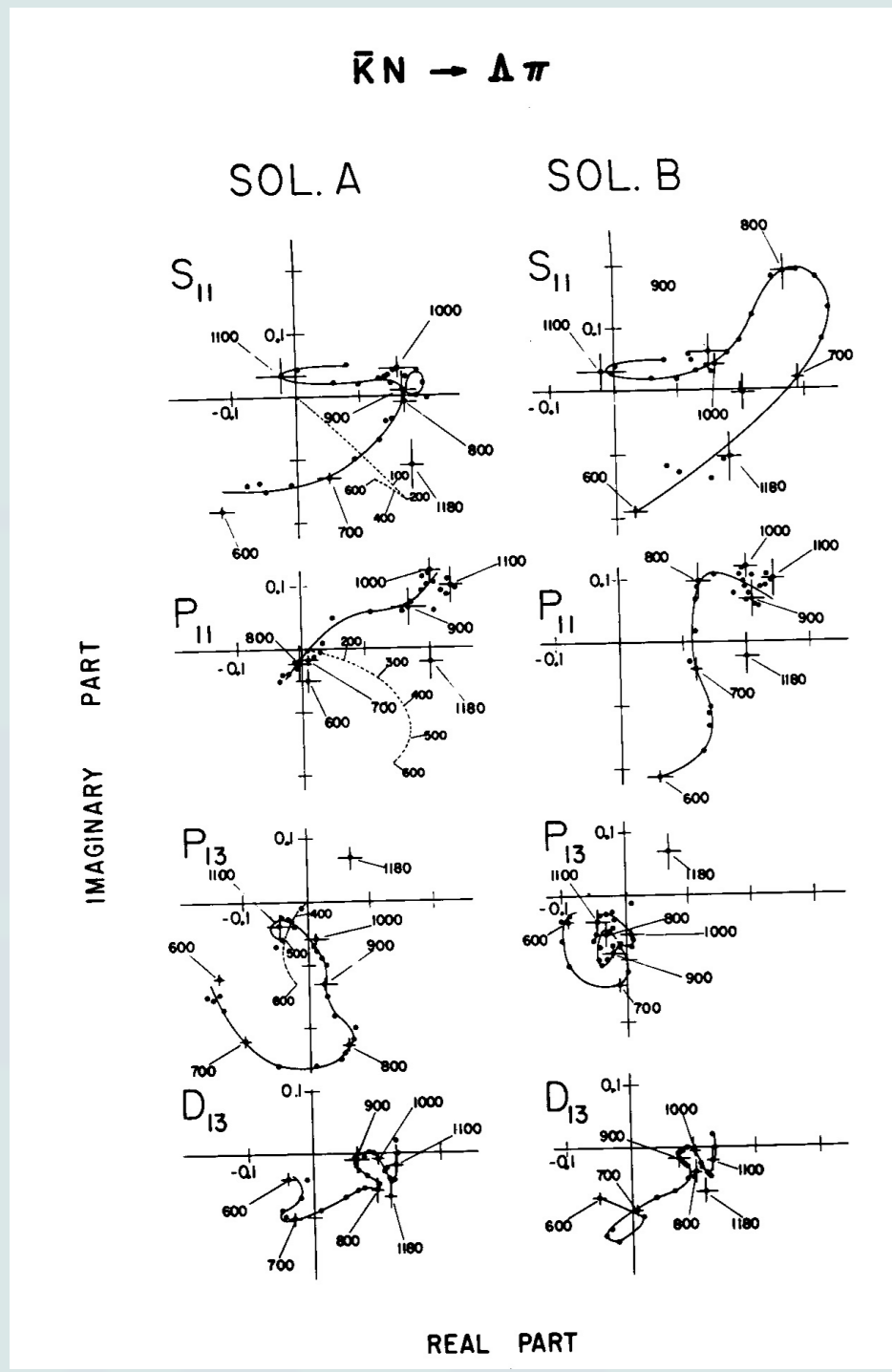
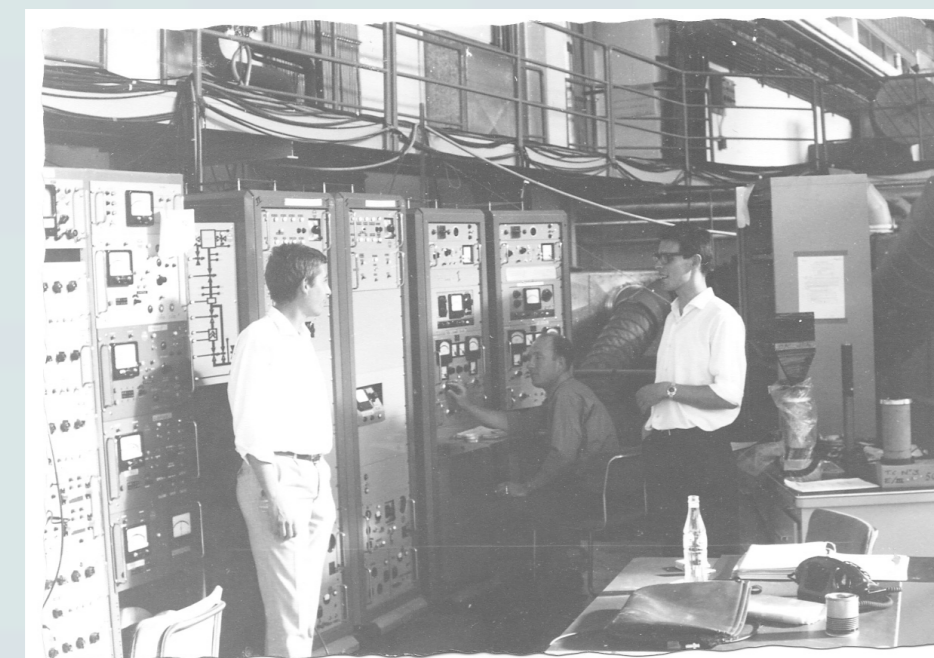


50 Jahre CERN und das Kirchhoff-Institut für Physik (KIP) II

Centre Européen pour la Recherche Nucléaire – Europäisches Labor für Teilchenphysik



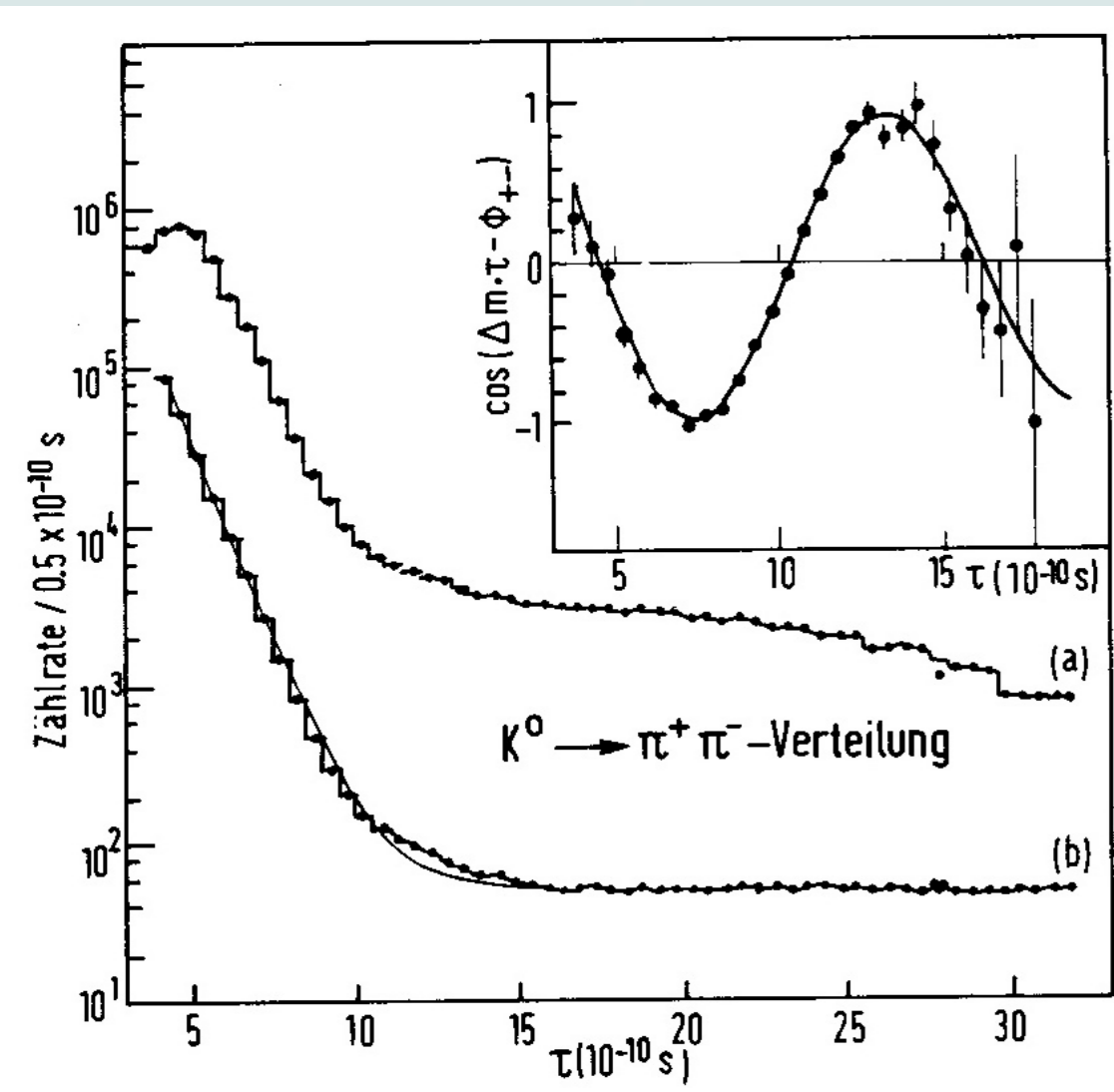
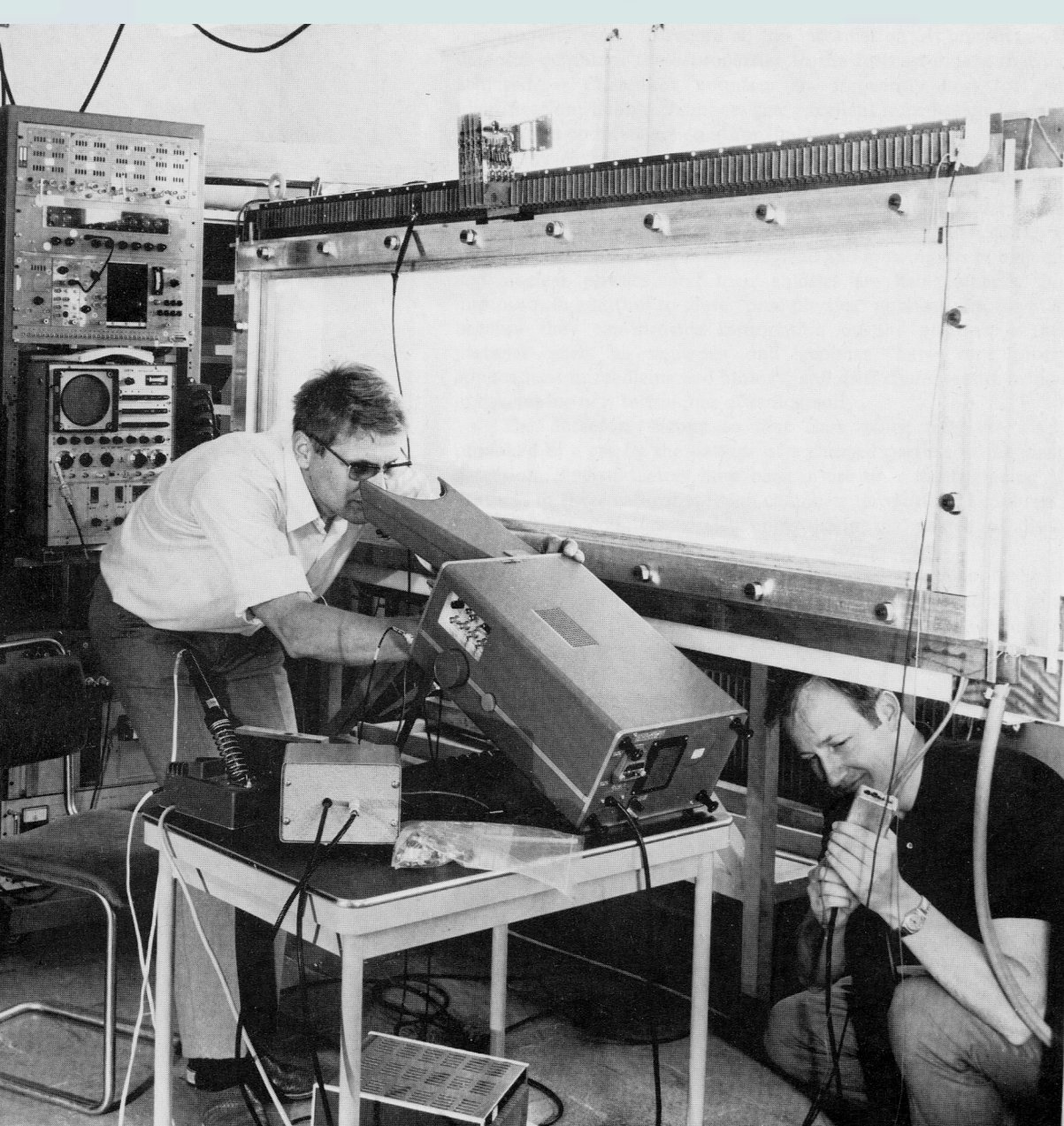
Die ersten in Heidelberg bearbeiteten Blasenkammerbilder stammten aus einem sog. K⁻ Formationsexperiment (X88, 1964-70). Aus „History of CERN“ über dieses Experiment: „The confirmation of the existence of hyperon-resonances and determination of their quantum numbers was of utmost importance ... to test the SU(3) model“. Eine Technik hierzu ist die sog. Phasen- oder Partialwellenanalyse zur Bestimmung der (komplexen) Streuamplituden; gezeigt ist ein Beispiel des Verlaufs der Amplituden mit der Schwerpunktenergie. Dazu wurden insbesondere auch die am IHEP installierten Großrechenanlagen benötigt, da jeder „Fit“ viele Stunden Rechenzeit beanspruchte.



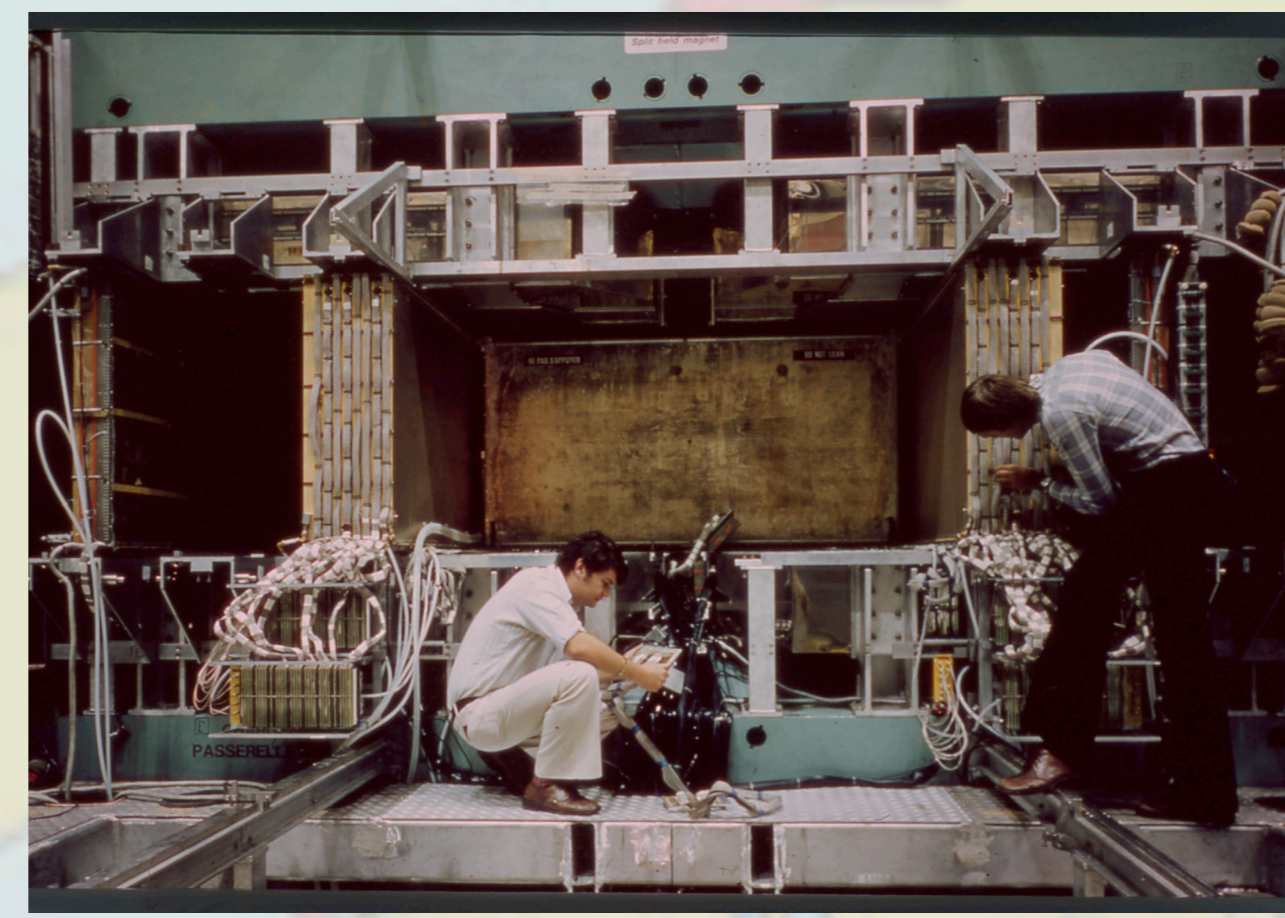
Wegen des großen wissenschaftlichen Interesses des K-Stop-Experiments wurde eine Fortsetzung (1967-1970) geplant, welche eine deutlich höhere statistische Genauigkeit haben sollte. Hierzu musste ein neuer Teilchenstrahl entwickelt, berechnet und gebaut werden. Im Bild eine Mannschaft vor der Kontroll-Elektronik (und -Elektrik) des Strahls aus elektrostatischen Separatoren, Ablenk- und Fokussierungsmagneten, Kollimatoren- und Absorber-elementen. Dieser musste dauernd überwacht und nachgeregelt und mit der Expansion der HPC synchronisiert werden, bis dann mehr als 1 Million Aufnahmen im Kasten waren. Dies war im übrigen das einzige Experiment ohne Kollaborateure. Das Scannen und Messen dieser bis dato ungewohnt großen Bilder erforderte neue Methoden: In Zusammenarbeit mit CERN und Berkeley wurden halbautomatische (SMP) und später vollautomatische Meßgeräte (PEPR) eingesetzt und ein Forschungsprogramm „pattern recognition“ gestartet. Die physikalischen Resultate des Experiments waren eine weitere Bestätigung der $\Delta S = \Delta Q$ Regel, Abwesenheit neutraler Ströme und die Messung vielfältiger Eigenschaften der Hyperonen.



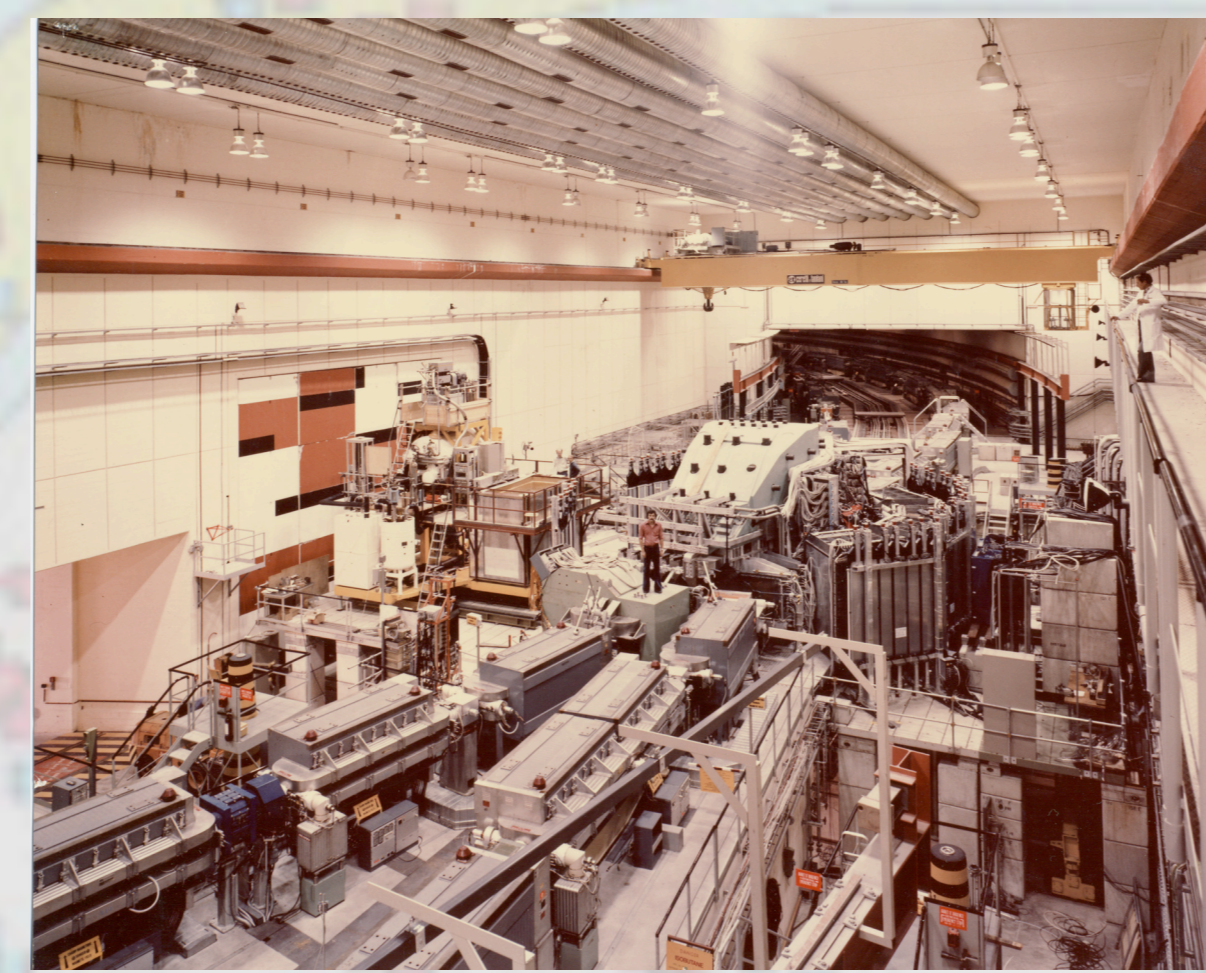
Insbesondere mit der Erfindung der „Vieldraht-Proportionalkammer“ (auch MWPC, Multi Wire Proportional Chambers genannt), durch Charpak verlagerte sich der Schwerpunkt experimenteller Techniken von dem visuellen (e.g. Blasenkammer) auf elektronische Methoden. Dies war ein echter Quantensprung, denn damit konnte einerseits die registrierte Datenmenge um Größenordnungen erhöht werden, wie auch durch „Triggern“ des Detektors Ereignisse von Interesse ausgewählt werden. Im Bild (1971) zwei IHEP-Mitarbeiter beim Bau und Test der ersten, großen „Charpak“-Kammern mit ca. 5000 Drähten, die ihren Einsatz im sog. K⁰ – Experiment fanden.



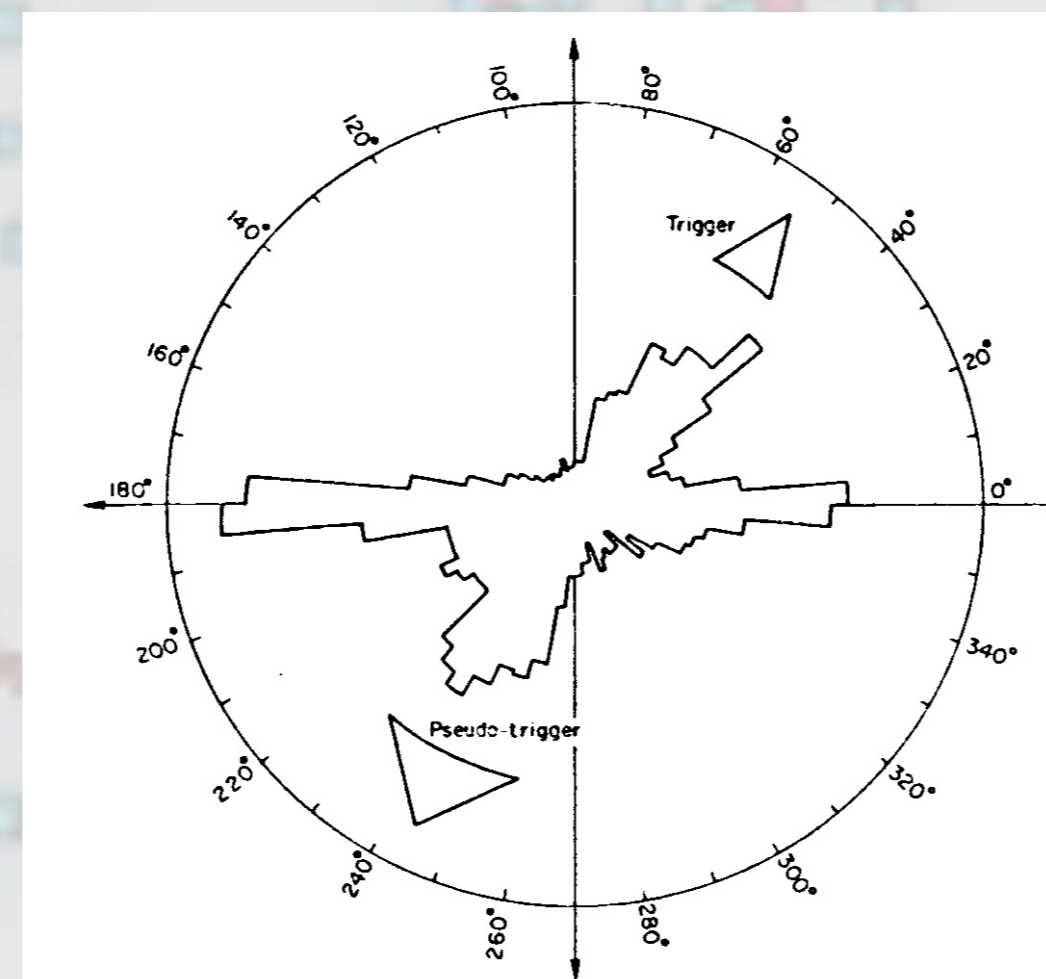
Im K⁰ Experiment (1972–79) wurde die 1964 entdeckte Nichterhaltung der Quantenzahl „CP“ im Zerfall der neutralen Kaonen weiter untersucht. Im Bild sind die rohe und die korrigierte Verteilung der Zerfallszeit aufgetragen: Die Abweichung von der durchgezogenen Kurve ist der Effekt der CP-Verletzung, die man durch einen Interferenzterm (im Ausschnitt) beschreiben kann. Die genaue Untersuchung der CP-Verletzung ist von ungeheurer Bedeutung für die Klärung der Frage, wieso im Universum eine Materie-Antimaterie Asymmetrie existiert; diese Fragestellung wird auch heute noch untersucht, z.B. im zukünftigen LHCb-Experiment.



Auch das Experiment am Split Field Magneten (SFM) (~ 1973 – 89) der Intersecting Storage Rings (ISR) hatte als Spurdetektor große Charpak-Kammern der ersten Generation (ca. 70000 Drähte), wie im Bild zu sehen. Hinter der zentralen Kammer muss man sich die sich kreuzenden Vakuumröhren vorstellen; oben und unten erkennt man das Joch des SFM. Dieses bestand wegen des kontinuierlichen Betriebs aus Volleisen, einem max. Feld von einem Tesla, wog 200 Tonnen und war ca. 10 Meter lang.

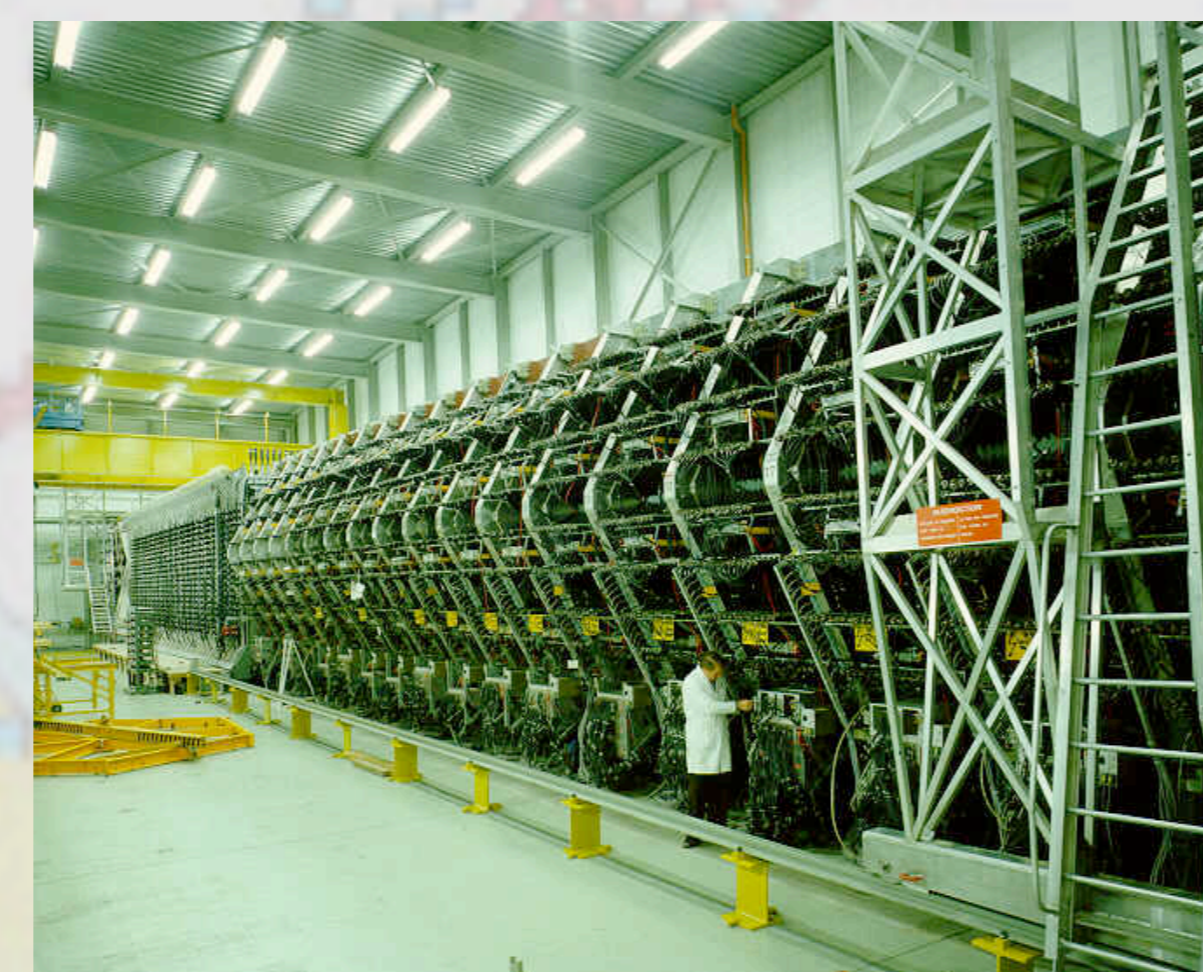


Im Bild sieht man die Führungsmagneten der beiden Strahlen, die sich im Zentrum des Detektors schneiden, sowie das Joch des SFM. Um diesen herum sind weitere Detektoren aufgebaut: Flugzeitzähler aus Plastikszintillatoren, Cherenkov-Zähler, sowie ein Flüssig-Argon-Kalorimeter (im Bild links mit samt der zugehörigen Kryogenie). Das MWPC-System war „selbst triggend“, der Trigger konnte bis zu einer halben Million Kollisionen pro Sekunde verarbeiten, sowie 100 registrieren. Dies war ein bedeutender Fortschritt im Vergleich zu visuellen Methoden.

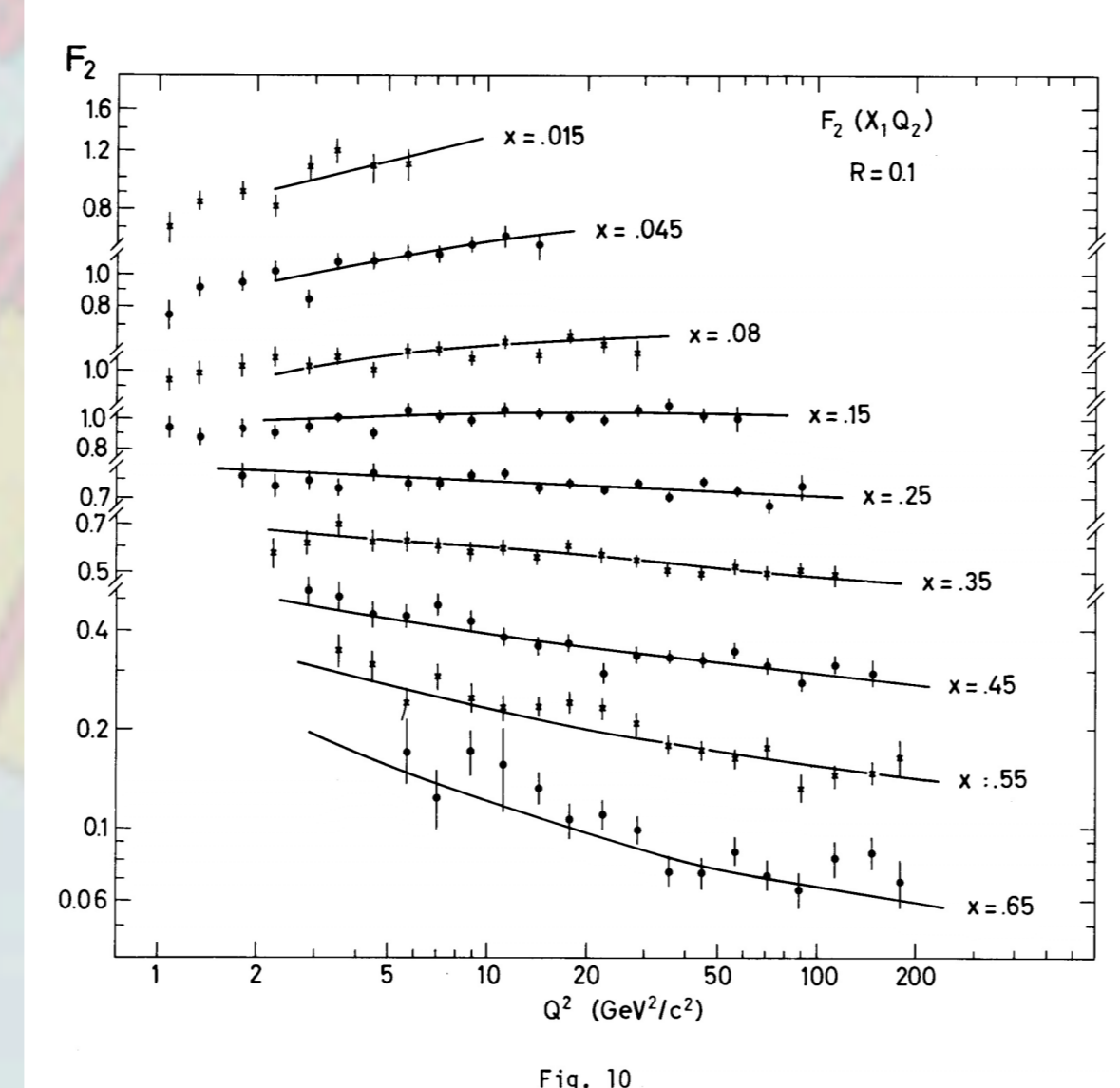


Im ISR kollidierten Protonen mit bis zu 60 GeV Schwerpunktenergie, eine Größenordnung mehr als in den Beschleunigern zuvor. Die erlaubte es zum ersten Mal, die Streuung von Partonen zu untersuchen, die kurz zuvor in der tiefinelastischen Elektron-Nukleon-Streuung entdeckt worden waren. Die gestreuten und die „Spektator“-Partonen sollten (nach Fragmentierung) in Ereignissen mit Teilchen hohen Transversalimpulses („high-p_T“) eine Vier-Jet-Struktur haben, was nebenstehendes Bild auch zeigt.

Die experimentellen Ergebnisse am SFM waren vielfältig: Hadronische Produktion von Teilchen mit Charm, diffraktive Vakuumanregung im Doppel-Pomeron Austausch, diffraktive Produktion mit Massen über 10 GeV, Kollision von leichten Ionen (d und α).

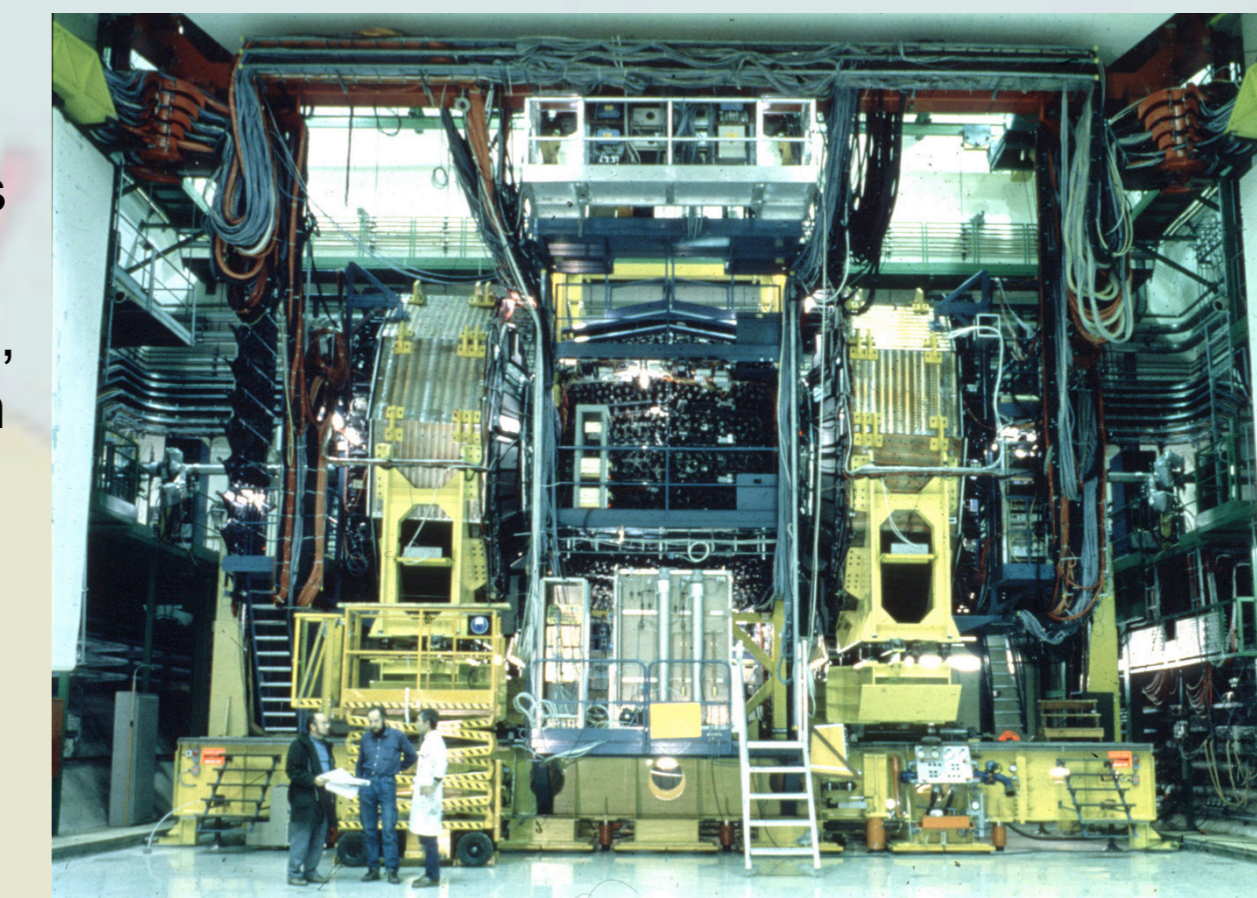


Der Detektor des WA1-Neutrino-Experiments (1976-88) bestand aus 19 Kalorimeter-Modulen von toroidal magnetisierten Eisenplatten mit 3.75 m Durchmesser und 75 cm Dicke, sowie Szintillatorplatten, gefolgt von Driftkammern mit 3 Drahtebenen zur Messung der Spuren der erzeugten Myonen. Die nutzbare Targetmasse betrug ca. 500 t, das Gesamtgewicht war 1400 t. Das Experiment fand am damals neuem Super-Protonen-Synchrotron (SPS) statt, das 400 GeV Protonen lieferte. Aus dem Zerfall der produzierten Pionen wurden wiederum diverse Myon-Neutrino Strahlen gewonnen („wide band beam“, „narrow band beam“, Neutrino- und Antineutrino-Strahlen).

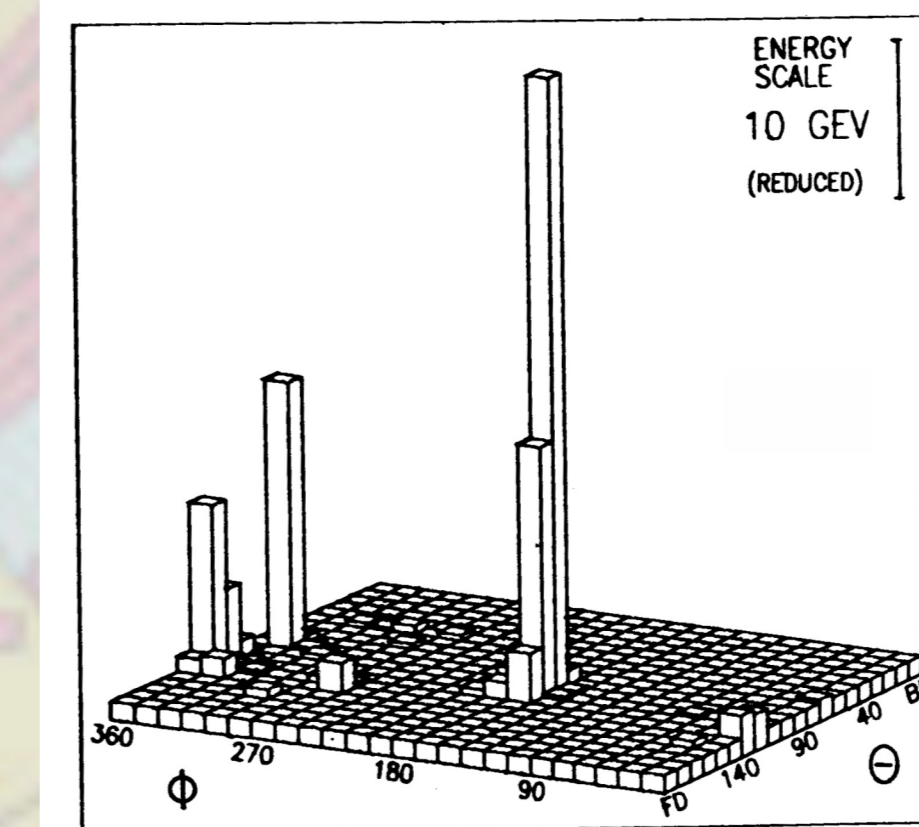


Die ersten Messungen bestätigten die Existenz des schwachen neutralen Stroms, zudem mit einem damals unerwartet kleinen Mischungswinkel $\sin^2 \theta_W = 0.24$ (W für Weinberg).

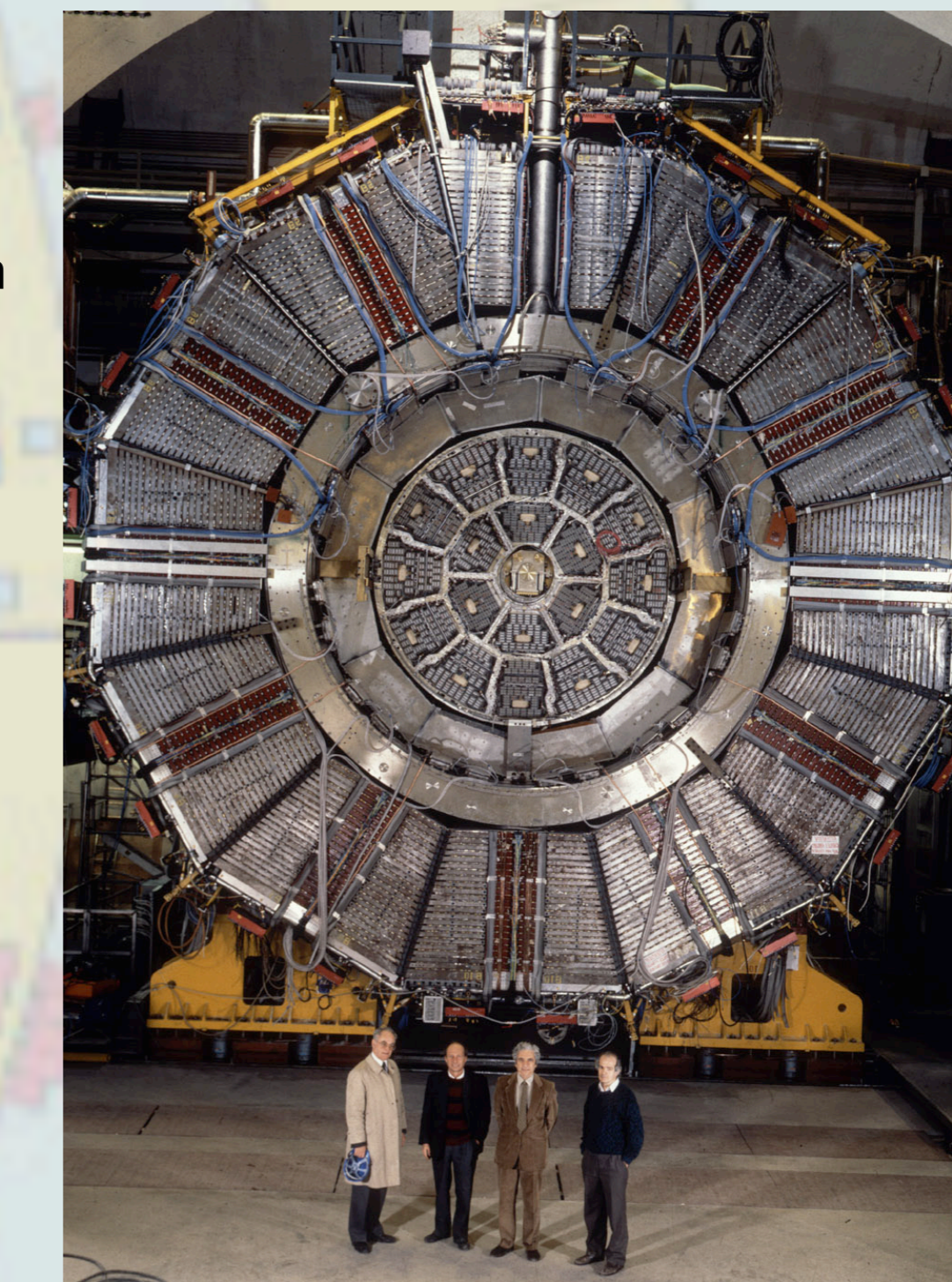
Ein wesentliches Ergebnis war jedoch die Messung der Strukturfunktionen, d.h. der Partonenstruktur des Nukleons. Im Bild ist die Strukturfunktion F_2 als Funktion von Q^2 (dem Auflösungsvermögen der Sonde) für verschiedene x (dem Impulsbruchteil eines Partons) zu sehen. Wie bereits bei der Elektron-Nukleon Streuung beobachtete Q^2 Abhängigkeit von F_2 („Skalenverletzung“) war dies der Auslöser für die Einführung der Quantenchromodynamik Theorie (QCD; Nobelpreis 2004), einem der Eckpfeiler der Standardtheorie der Teilchenphysik. Die Vorhersage der damaligen Version der QCD ist ebenfalls eingezeichnet.



Das Superprotonensynchrotron (SPS) wurde mit dem Ziel, die intermediären Vektorbosonen W und Z zu entdecken, in einen Proton-Antiproton-speicherring umgebaut und ab 1981 mit 630 GeV Schwerpunktenergie betrieben; Voraussetzung dazu war die Erfindung der „stochastischen Kühlung“, um genügend Antiprotonen zu akkumulieren. Das UA2 Experiment, im Bild, hatte als wichtigsten Bestandteil ein Zentral-Kalorimeter mit elektromagnetischem und hadronischem Teil (Blei- bzw. Eisen-Szintillator), einen Vertex-Detektor mit Drahtkammern sowie Spektrometer in Vorwärtsrichtung (zeitweise mit Magnetfeld). Der Aufbau war zur Messung von Elektronen und von Jets von Hadronen optimiert.



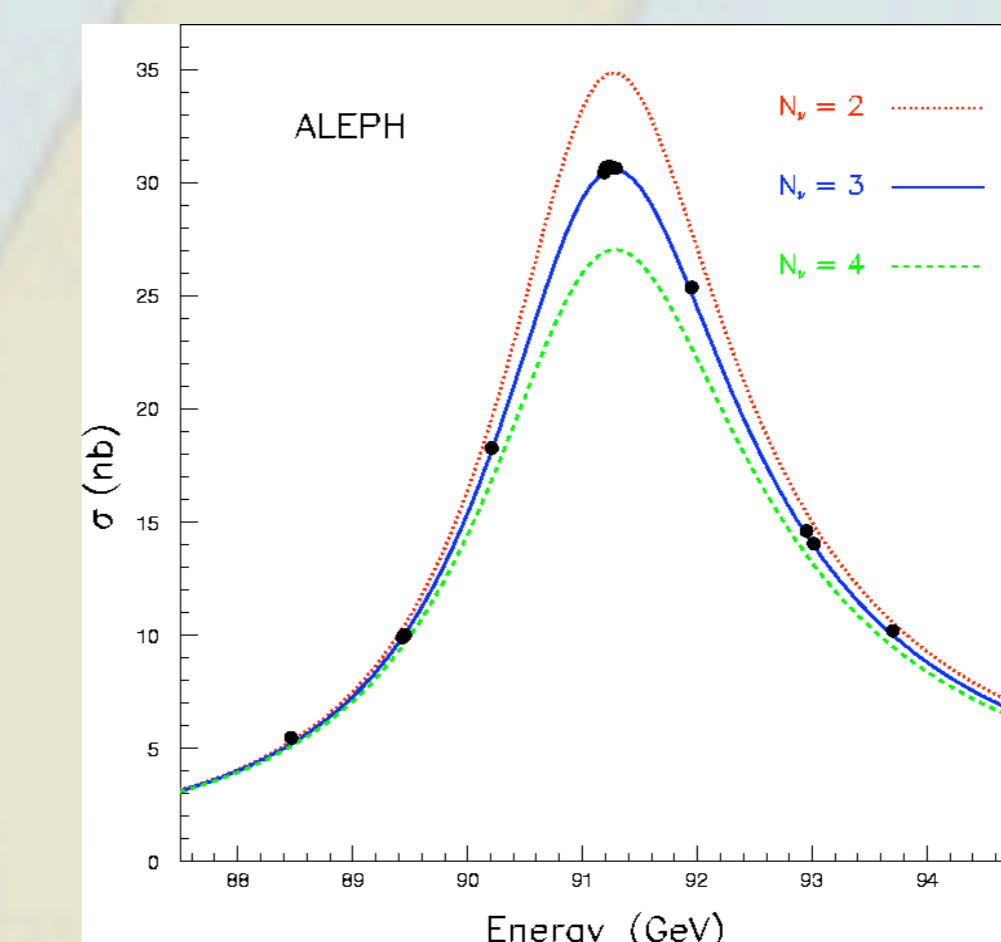
Nachdem in der ersten Phase die Entdeckung von W und Z bei UA2 (und UA1) gelungen war, beteiligte sich das IHEP am Umbau des Detektors und an einer neuen Experimentierphase in der insbesondere von uns Vorhersagen der QCD getestet wurden: Untersuchung der 2-Jet, 3-Jet, 4-Jet Ereignissen, Messung der Wechselwirkungskonstanten der starken Wechselwirkung, der Substruktur der Partonen in Ereignissen mit Jets sehr hohen Transversalimpulses und der Eigenschaften der Vektorbosonen. Im Bild ein sog. „Lego“-Plot: Aufgetragen ist die in einem Bereich von Azimuthal- und Polarwinkel emittierte Energie; man erkennt deutlich drei isolierte Jets.



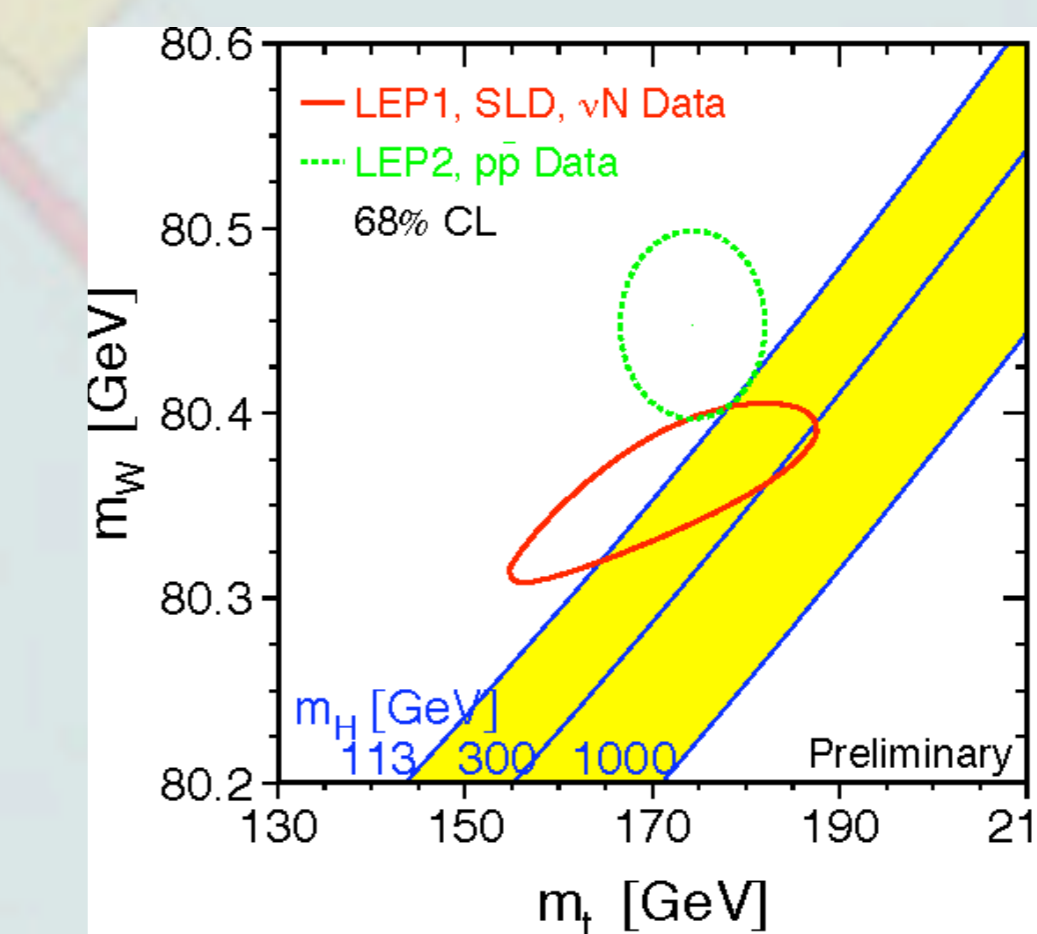
Blick in Strahlrichtung auf die Endseite des zylinderförmigen ALEPH-Detektors. Man erkennt, in der Mitte ausgehend, das Strahlrohr, welches von Vertexdetektoren umgeben ist, gefolgt von den (etwas seltsam geformten) Drahtkammern der zentralen TPC (Time Projection Chamber), das elektromagnetische Kalorimeter, die supraleitende Spule des solenoidalen Magnetfeldes, das hadronische Kalorimeter und ganz außen in Gelb die Myonkammern. Das ALEPH-Experiment (1989-2004) war am LEP-Speicherring installiert.

In den ersten Jahren wurden Daten in der Nähe der Z-Resonanz, später bei höheren Schwerpunktenergien, gesammelt.

Beispiele für die über die Jahre erzielten reichen physikalischen Ergebnisse: Aus der Größe des Wirkungsquerschnitts für die Produktion von Hadronen kann die Zahl der „Familien“ bestimmt werden. In der Natur gibt es nur drei Arten von Neutrinos (Wichtig in der Kosmologie, „dunkle Materie“, etc.).



Aus der Messung der Massen der Vektorbosonen W und Z und der Masse des Top-Quarks (Fermilab) läßt sich eine Vorhersage für die Masse des einzig noch unentdeckten Teilchens der Standardtheorie der Teilchenphysik, des Higgs-Bosons, machen, leider knapp außerhalb der Reichweite von LEP, jedoch innerhalb der von LHC (hoffentlich!).



Die im Aufbau befindlichen Experimente des KIP am LHC, ATLAS und ALICE, sind auf separaten Postern beschrieben.