

ARBEITSKREIS BAYERISCHER PHYSIKDIDAKTIKER

BEITRAG AUS DER REIHE:

Werner B. Schneider (Hrsg.)

Wege in der Physikdidaktik

Band 3

Rückblick und Perspektive

ISBN 3 - 7896 - 0513 - 1

Verlag Palm & Enke, Erlangen 1993

Anmerkung:

Die Bände 1 bis 5 sind (Ausnahme Band 5) im Buchhandel vergriffen.
Die einzelnen Beiträge stehen jedoch auf der Homepage

<http://www.solstice.de>

zum freien Herunterladen zur Verfügung.

Das Copyright liegt bei den Autoren und Herausgebern.

Zum privaten Gebrauch dürfen die Beiträge unter Angabe der Quelle
genutzt werden. Auf der Homepage

www.solstice.de

werden noch weitere Materialien zur Verfügung gestellt.

Helmut Hilscher

Elektronische Spurensicherung revolutioniert die experimentelle Teilchenphysik.

Zum Physik - Nobelpreis 1992

1. Probleme mit der Spurensicherung

Max Planck schreibt in seinem Aufsatz "Das Wesen der Wissenschaft", der sich mit dem Zustandekommen naturwissenschaftlicher Entdeckungen auseinandersetzt: "Um bedeutungsvolle Zusammenhänge aufzufinden, muß man in einer passenden Richtung suchen, und es gehört der Blick des gottbegnadeten Forschers dazu, um die Probleme zu erkennen, durch deren Lösung ein neues, fruchtbares Gebiet erschlossen werden kann." Probleme erkennen, ist eine essentielle Voraussetzung für den Erkenntnisfortschritt, sie einer Lösung zuzuführen, ist die schwierige zentrale Aufgabe der naturwissenschaftlichen Forschung. Ende der sechziger Jahre bahnte sich in der experimentellen Teilchenphysik (Hochenergiephysik) ein sehr schwerwiegendes grundsätzliches Problem an: die Bewältigung der Datenflut, die an den großen Teilchenbeschleunigern täglich anfiel.

Die Teilchenphysik hat es sich zur Aufgabe gemacht, die subatomare Struktur der Materie zu untersuchen und die Wechselwirkungen der fundamentalen Konstituenten der Materie in ihren Eigenschaften zu ergründen mit dem ultimativen Ziel einer einheitlichen Beschreibung aller Naturkräfte. Dazu bedient sie sich einer Methode, die von *Rutherford* eingeführt und bis heute an allen Beschleunigern mit großem Erfolg angewandt wird. Man schießt Elementarteilchen auf Elementarteilchen und studiert im Detail die Reaktionsprodukte, die aus den elastischen und inelastischen Stößen der Reaktionspartner hervorgehen. Je höher der Impulsübertrag zwischen den stoßenden Teilchen ist, der seinerseits von der Schwerpunktsenergie abhängt, desto feiner sind die Strukturen der Wechselwirkungspartner, die aus dem Verlauf einer Streureaktion indirekt, ähnlich wie bei jedem Mikroskop, ermittelt werden können. Zur kompletten Rekonstruktion der Kinematik aller an einer Streureaktion beteiligten Teilchen - einschließlich eventueller Folgeprodukte aus dem Zerfall erzeugter kurzlebiger Teilchen - müssen die "Bahnen" der Teilchen (i.d.R. in einem Magnetfeld) vollständig erfaßt und zur Auswertung dokumentiert werden. Geladene Teilchen hinterlassen in dem Medium, durch das sie sich bewegen, eine "Ionisationsspur", d.h. einen Korridor von Ionenpaaren. Alle

Detektoren zum Nachweis von Elementarteilchen, insbesondere aber zur Registrierung von Teilchenspuren nutzen die Ionisationsfähigkeit sich durch Materie bewegender elektrisch geladener Teilchen aus. Eine uns allen geläufige Spurenkammer ist die von *C.T.R. Wilson* 1912 erfundene Nebelkammer, in der sich beim Durchqueren eines geladenen Teilchens längs der Teilchenbahn eine Spur feinsten Flüssigkeitströpfchen bildet, wobei die erzeugten Ionen in übersättigtem Dampf als Kondensationskerne fungieren. Während in den Pionierzeiten der Hochenergiephysik, als die Höhenstrahlung noch die wichtigste Quelle hochenergetischer Teilchen war, die Nebelkammer neben den später hinzugekommenen Kernemulsionsplatten den bedeutendsten Teilchendetektor darstellte, mit dem eine Reihe entscheidender Entdeckungen gemacht wurden (wie z.B. die des Positrons (1932) und des Myons (1937), siehe z.B. [1]), löste in den fünfziger Jahren, als die ersten Beschleuniger in Betrieb gingen, die von *D.A. Glaser* und *L. Alvarez* entwickelte Blaskammer die Nebelkammer ab. In einer Blaskammer wird eine Flüssigkeit (wie z.B. Wasserstoff bei tiefen Temperaturen oder Freon bei Raumtemperaturen) durch Temperatur- und Druckanpassung nahe dem Siedepunkt gehalten. Bei plötzlicher Druckminderung geht die Flüssigkeit in einen "überhitzten" Zustand über. Ein ionisierendes Teilchen, das die Kammer in diesem Zustand durchquert und einen Ionenkorridor bildet, hinterläßt eine Spur von Gasbläschen, die sich um die Ionen herum bilden. Wenige Jahre nach der Einführung der Blaskammer, die bald (einschließlich riesiger Elektromagnete) gigantische Ausmaße annehmen konnte, kam ein neuer Typ von Spurenkammer auf, bei der die Primärionen längs einer Teilchenspur als Ausgangsladung einer lokalen Funkenentladung dienen: die Funkenkammer. Sie besteht aus einem Paket flächenförmiger, parallel zueinander angeordneter Elektroden, z.B. Metallplatten oder Drahtebenen in einer Gasatmosphäre. Kurz nach Durchgang eines ionisierenden Teilchens wird zwischen je zwei benachbarten Elektroden Hochspannung angelegt, woraufhin entlang der Ionisationsspur zwischen den Elektrodenpaaren sicht- und hörbare Funken überspringen.

Nebel-, Blasen- und Funkenkammern haben gemeinsam, daß die in Ihnen erzeugten Teilchenspuren fotografisch festgehalten werden müssen.¹ Ohne auf weitere Unterscheidungsmerkmale dieser drei optischen Spurendetektoren, die für deren Betrieb von maßgeblicher Bedeutung sind, eingehen zu können, sollen hier nur die wesentlichsten Nachteile aller optischen Spurenkammern aufgeführt werden. Es sind genau diese Nachteile, welche die Hochenergiephysiker mit der Zeit immer mehr in Bedrängnis brachten und die nach neuen Registriermethoden verlangten. Genial gelöst wurden die Probleme von dem Mann, der 1992 dafür durch die höchste Auszeichnung, die einem Wissenschaftler zuteil werden kann, geehrt wurde: *Georges Charpak*, französischer Physiker am CERN.

¹ Für die Funkenkammer wurden neben der photographischen Spurenerfassung verschiedene automatische Registrierverfahren entwickelt, auf die hier nicht eingegangen werden kann (s. z.B. [2, 3]).

In den Wechselwirkungszonen (Targets) der Beschleunigerstrahlführungen finden in jeder Sekunde viele Millionen von Reaktionen statt. Die optischen Spurendetektoren können höchstens einige Aufnahmen je Sekunde machen. Dies liegt natürlich zunächst einmal am Filmtransport und der Aufnahmetechnik der Kameras. Darüber hinaus benötigen die Detektoren nach jeder Aktivierung (Druckminderung bzw. Anlegen der Hochspannung) eine gewisse Lösch- und Erholphase. Während die Funkenkammern wenigstens triggerbar (aktivierbar bei Vorliegen besonderer Randbedingungen wie z.B. einer bestimmten Kombination von Signalen, herrührend von schnellen Detektoren (z.B. Szintillationszählern)) sind, können die beiden anderen optischen Kammern nur im Modus der periodischen Aktivierung betrieben werden.

Mit den oben angeführten Einschränkungen bei der Benutzung von optischen Spurendetektoren hatten die Experimentatoren von Anfang an zu leben. Was aber mit den Jahren immer größere Schwierigkeiten bereitete, war in den Ansprüchen und Zielsetzungen begründet. Nach dem Studium der häufigsten Reaktionen begann man, sich für seltenere Ereignisse zu interessieren, wie z.B. Teilchenerzeugungsprozesse mit geringen Wirkungsquerschnitten oder seltene Zerfälle. Um nur wenige der seltenen Ereignisse mit ihrer charakteristischen Signatur auf den Photographien ausfindig zu machen - eine Sisyphusarbeit par excellence - , mußten jeweils Millionen von Bildern auf kilometerlangen Filmstreifen durchgemustert und gescant werden. Erschwert wurde diese Arbeit noch dadurch, daß mit steigender Leistungsfähigkeit der Beschleuniger und mit der Steigerung der Strahlenergien die Zahl der Teilchenspuren je Aufnahme wegen der höheren Strahlintensitäten und der größeren Zahl produzierter Sekundärteilchen (primär erzeugte und Zerfallsteilchen) zunahm. "The pictures were a bottleneck" erinnert sich *G. Charpak* [4].

4. Vieldraht-Proportionalkammern

In der Einführung zu einem Aufsatz von *G. Charpak* mit dem Titel "Entwicklung der Vieldraht-Proportionalkammern" aus dem Jahr 1969 [5] steht: "In der Geschichte der Naturwissenschaften ist es nicht selten vorgekommen, daß Theoretiker, die sich irgendwelchen ernsthaften Schwierigkeiten gegenübersehen, erfolgreich dreißig Jahre zurückgingen, um Ideen aufzugreifen, die damals über Bord geworfen worden waren. Aber es ist selten, daß Experimentalphysiker dreißig Jahre zurückgehen, um altes Gerät zu betrachten, das längst aus der Mode gekommen war. Genau das taten *Charpak* und seine Kollegen, um die Vieldraht-Proportionalkammer hervorzubringen ... ". In den dreißiger Jahren wurden in den Kernphysik-Laboren die Ionisationskammer, das Proportional- und das Geiger-Müller-

Zählrohr zum Nachweis ionisierender Teilchen verwendet. Die Funktion des Proportionalzählrohrs basiert auf der Ladungsvervielfachung in unmittelbarer Nähe der Anode, einem gegenüber dem Zählrohrmantel, der die Kathode bildet, auf positivem Potential liegenden dünnen Draht. Hier herrscht ein hoher Feldgradient. Die Lawinenbildung startet etwa in einem Abstand von der Größenordnung des Drahradius und entwickelt sich sehr schnell, ungefähr innerhalb einer ns. Die relativ schlechte Zeitauflösung des Zählrohrs rührt von der Streuung der Zeitintervalle her, in denen die Primärelektronen vom Ort ihrer Entstehung bis zum Zentraldraht in den Vervielfältigungsbereich driften. Für eine Entfernung von 1 cm beträgt die Driftzeit einige hundert ns. Die Tatsache, daß sich einerseits das wesentliche Geschehen in einem Proportional-Zählrohr in einem sehr engen Schlauch um den Zentraldraht abspielt, andererseits die für die Funktion wichtige Zylindergeometrie für die Erfassung der Bahnen von Teilchen, die in einem großen Raumwinkel das Target verlassen, denkbar ungeeignet ist, brachte *Charpak* auf die Idee, eine Proportionalkammer zu konstruieren, bei der viele parallele Drähte, die alle auf gleichem (positiven) Potential liegen, eine Ebene bilden, deren Abstand zu zwei zur Drahtebene parallelen Ebenen (negativen) Gegenelektroden gleich groß ist. Die Gegenelektroden können aus einem feinmaschigen Drahtnetz oder aus einer aluminiumbeschichteten Mylarfolie bestehen. Als gasdichtes Gehäuse verwendet man einen mit Folie bespannten stabilen Rahmen. Abbildung 1 zeigt das Konstruktionsprinzip einer Vieldraht-Proportionalkammer, und aus Abbildung 2 ist der Feld- und Potentialverlauf in einer solchen Vieldrahtkammer zu entnehmen. In der Tat erkennt man in Abbildung 2, daß die Zylindergeometrie des elektrischen Feldes in Drahtnähe, die für die Lawinenbildung wesentlich ist, erhalten bleibt; jeder Draht ist von einem Feldschlauch mit hohem Gradienten - wie beim einzelnen Zählrohr - umgeben. Gegen den Bau einer Vieldrahtkammer der beschriebenen Art gab es ernstzunehmende Einwände, weil zu vermuten war, daß aufgrund starker kapazitiver Kopplungen zwischen den Drähten nicht nur der Draht, in dessen unmittelbarer Nähe ein ionisierendes Teilchen die Kammer passierte, ein Stromsignal liefere, sondern daß auch einige Nachbardrähte, ja vielleicht sämtliche Drähte durch Signale gleicher Polarität "feuern", wodurch eine Lokalisation des Ortes, an dem das Teilchen die Drahtebene durchquerte, prinzipiell vereitelt würde. Es ist *Charpaks* ehrenwertes Verdienst, daß er nachwies, daß die Einwände gegen die Verwendung einer Vieldraht-Proportionalkammer als schnellen ortsauflösenden Detektor auf einer Fehlvorstellung über die elektrischen Vorgänge in einer mit Gas gefülltem Proportional-Vieldrahtkammer beruhen. Diese Fehlvorstellung hatte die Entwicklung einer Vieldrahtkammer, wie sie von *Charpaks* Gruppe beim CERN 1967/68 erstmals mit Erfolg gebaut und getestet wurde, verzögert; denn die Zeit war eigentlich "reif" für eine Kammer mit elektronischer Auslesung (Registrierung und Speicherung elektrischer Signale), zumal die Entwicklung der Halbleiterelektronik so weit

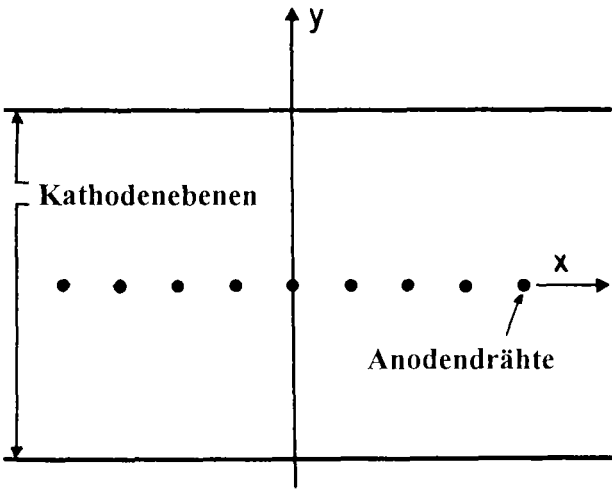


Abb. 1 : Konstruktionsprinzip einer Vieldraht-Proportionalkammer

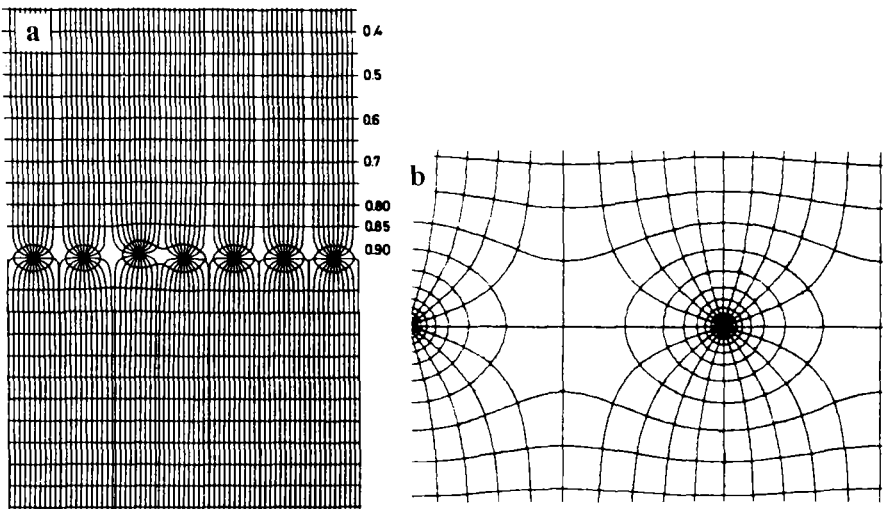


Abb. 2: (a) Elektrische Feld- und Äquipotentiallinien in einer Vieldraht-Proportionalkammer. Die Auswirkung einer kleinen Versetzung eines Drahtes auf das Feld wird ebenfalls gezeigt.
 (b) Vergrößerter Ausschnitt des Feldes um die Anodendrähte

fortgeschritten war, daß die für jeden einzelnen Kammerdraht benötigten Verstärker kostengünstig verfügbar waren, und die schnelle Datenerfassung unter Einsatz des Computers hinreichend ausgereift war.

Der verbreitete Irrtum, daß die kapazitive Kopplung die Zuordnung einer Lawine zu einem bestimmten Draht vereitle, stützte sich auf Testuntersuchungen, bei denen auf einen Draht ein negatives Signal mit einem Pulsgenerator gegeben wurde. Man konnte dann auf den benachbarten Drähten ein Signal der gleichen Polarität registrieren. Bei den Impulsen, die durch tatsächlich im Kammer-Füllgas erzeugte Ladungen hervorgerufen werden, liegen die Verhältnisse jedoch anders. *Charpak* erklärt den Mechanismus so [4]: Wenn die auf einem Anodendraht gesammelte Ladung $(-Q)$ einen Spannungsimpuls $(-Q/C)$ erzeugt (C ist die Kapazität des Drahtes), produzieren die positiven Ionen, die sich nach dem Abfluß der Elektronen aufgrund ihrer geringen Beweglichkeit vorübergehend noch in unmittelbarer Nähe des Drahtes (ca. 10^{-3} cm) befinden, einen Impuls $(+Q/C)$, der den ersten aufhebt. Auf der anderen Seite influenzieren die positiven Ionen, die sich in dem sehr starken Feld um den Draht in Richtung Kathode zu bewegen beginnen, die Ladung $(-Q')$ auf dem Draht mit einer kurzen Anstiegszeit, die der Aufenthaltsdauer im Bereich hohen Feldgradienten entspricht., der sich über eine Entfernung in der Größenordnung des Drahtdurchmessers erstreckt. Während die auf dem Draht influenzierte Ladung $(-Q')$ ist, beträgt sie auf allen umgebenden Leitern $(+Q')$, wobei

$$+Q' = +Q_1' + Q_2' + Q_3' + \dots$$

und die Indizes 1, 2, 3, ... alle den Draht umgebenden Leiter bezeichnen: angrenzende Drähte, Hochspannungsdrähte, etc. Der dadurch auf den Nachbardrähten hervorgerufene positive Impuls kompensiert oder überkompensiert den durch kapazitive Kopplung entstandenen negativen Impuls, so daß der "getroffene" Draht aufgrund der negativen Polarität des erzeugten Impulses eindeutig identifiziert werden kann. Der auf der Gegenelektrode influenzierte positive Impuls kann für verschiedene Aufgaben ausgenutzt werden, wie z.B. zur Messung des Energieverlustes des ionisierenden Teilchens, das beim Durchgang durch die Kammer den Impuls ausgelöst hat oder zur Positionsbestimmung, die eine weitere Koordinate liefert, falls die Kathodenebenen ebenfalls aus parallelen Drähten oder Streifen besteht. Wenn die Drähte der drei Ebenen (2 Kathodenebenen und 1 Anodenebene) verschieden zueinander ausgerichtet sind, kann eine Kammer drei Koordinaten liefern, wodurch Mehrdeutigkeiten ausgeschlossen werden können. Das Prinzip einer Kathodenauslesung zeigt Abbildung 3.

Der prinzipielle Aufbau einer ebenen Vieldraht-Proportionalammer ist also denkbar einfach: Eine Kammer enthält (mindestens) drei parallele Elektroden Ebenen, 2 Kathoden- und 1

Anodenebene. Die Anodenebene besteht aus vielen (bis zu einigen tausend) parallelen dünnen Drähten, deren Durchmesser etwa 1% des Drahtabstandes beträgt (typische Dimensionierung: Durchmesser 20 μm , Abstand 2 mm; Drahtmaterial: goldbedampftes Wolfram). Sie ist in der Mitte zwischen den zu ihr parallelen Kathodenebenen angeordnet. Der Abstand zu den Kathodenebenen beträgt typischerweise 10 mm. Die Anodendrähte liegen auf Nullpotential

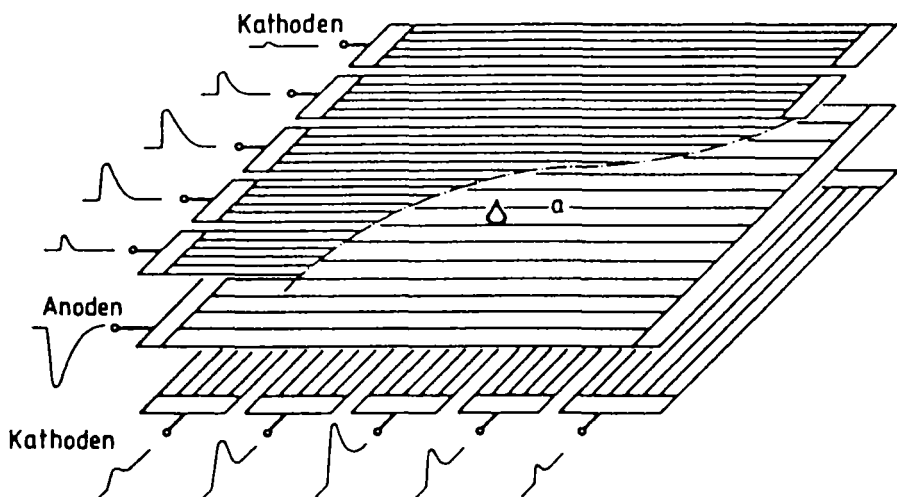


Abb. 3: Prinzip der Kathodenauslese für eine Vieldraht-Proportionalkammer. Die Anodendrähte werden in dem dargestellten Fall nicht einzeln ausgelesen [3, Fig. 3.5].

und sind je an einen Verstärker angeschlossen. (Bei Ausnutzung der Laufzeit des erzeugten Impulses zur Lokalisation der Ladungslawine sind je Draht 2 Verstärker erforderlich, je einer an jedem Drahtende.) Die Kathodenebenen werden aus Drähten, Drahtnetzen oder Metallfolien gespannt und auf negative Hochspannung (ca. 5 KV) gelegt. Der zur Aufnahme der Elektroden und zur mechanischen Stabilität erforderliche Rahmen wird meist aus Glasfibernmaterial gefertigt. Mit Folie bespannt umschließt er den Gasraum. Als Füllgas hat sich ein Edelgas (bevorzugt Argon) mit einer Beimischung von Kohlenwasserstoffen wie Methan, Isobutan oder Äthylen bewährt. Die Gasmischung durchströmt die Kammer. Die richtige Mixtur und Durchflußgeschwindigkeit sowie konstante Bedingungen für das Gas sind entscheidend für den einwandfreien Betrieb von Vieldraht-Proportionalkammern. Die Zeitauflösung, d.h. die zeiliche Fluktuation der an einem Draht registrierten Impulse hängt vom

Abb. 4:

Eine der ersten Vieldraht- Proportionalkammern, die von der Charpak-Gruppe gebaut und am CERN Synchro-Zyklotroneingesetzt wurde [5].

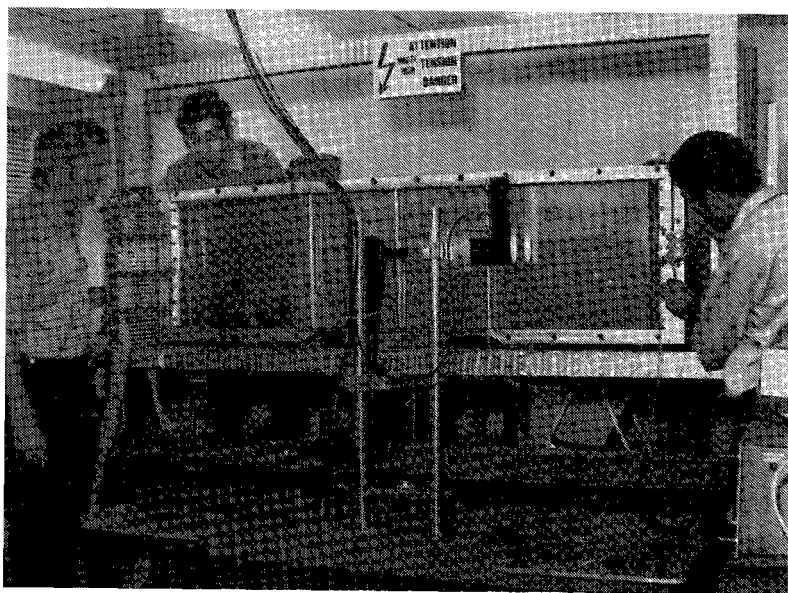


Abb. 5: Die erste große Vieldraht-Proportionalkammer, die bei CERN gebaut wurde.

Drahtabstand ab und liegt bei 2 mm Drahtabstand bei ungefähr 25 ns. Sie liegt damit nahe an der von Szintillationsdetektoren, die eine Zeitauflösung von einigen ns aufweisen. Die Zählraten von Proportionalkammern sind im wesentlichen begrenzt durch die Registrierelektronik. Detektionsraten von 10^6 Teilchen je Sekunde und Draht stellen kein Problem dar. Um den räumlichen Verlauf von Teilchenbahnen rekonstruieren zu können, müssen eine ganze Serie von Vieldraht-Proportionalkammern hintereinander angeordnet werden. Enthält jede dieser Kammern nur eine Anodenebene (es gibt auch Mehrschichtkammern), so muß bei der Aneinanderreihung darauf geachtet werden, daß die Ebenen der Anodendrähte aufeinanderfolgender Kammern um einen Winkel $\leq 90^\circ$ um die Mittelachse senkrecht zu den Ebenen gegeneinander gedreht sind. Mit einem solchen Satz von Kammern mit 2 mm Drahtabstand erreicht man (ohne Kathodenauslesung) eine Ortsauflösung von $\sigma = 0,6$ mm. Abbildung 4 zeigt eine der ersten Kammern aus der Werkstatt von *Charpaks* Gruppe. Sie wurde in einem Experiment am Synchrozyklotron beim CERN 1969 eingesetzt. Die erste große Vieldraht-Proportionalkammer, die beim CERN gebaut wurde, ist in Abbildung 5 wiedergegeben.

3. Die Driftkammer als Abkömmling der Proportionalkammer

Bereits in seiner ersten Veröffentlichung über Vieldraht-Proportionalkammern aus dem Jahr 1968 [8] äußert *Charpak* die Vermutung, daß sich die Ortsgenauigkeit wesentlich verbessern lassen müßte, wenn man die Driftzeit der primär erzeugten Elektronen vom Ort der Entstehung bis in den Bereich hoher Feldstärken, in dem die Lawinenbildung einsetzt, messen könnte. Er hatte Recht behalten. In kurzer Zeit entwickelte sich aus der Proportionalkammer als Ableger die sog. Driftkammer, die aus der Instrumentierung der heutigen Mammutdetektoren mit 4π - Geometrie ebensowenig wie die Proportionalkammer wegzudenken ist. Eine Driftkammer ist eine Proportionalkammer, bei welcher der Driftraum für die primär erzeugten Elektronen derart ausgebildet ist, daß im Driftraum eine möglichst konstante Feldstärke und damit auch eine konstante Driftgeschwindigkeit herrschen. Diese Bedingung kann durch zusätzliche Potentialdrähte oder durch Kathodendrahtebenen, die keine Äquipotentialflächen bilden, erreicht werden. Bei konstanter Driftgeschwindigkeit ist der Driftweg proportional zur Differenz zwischen dem Zeitpunkt der Entstehung des Primärelektrons und dem Zeitpunkt des Auftretens des Anodensignals. Während in kleinen Kammern die Ortsauflösung durch die zeitliche Auflösung der Elektronik ($\geq 40 \mu\text{m}$) und die Diffusion der Elektronen auf ihrem Driftweg ($\leq 50 \mu\text{m}$ bei 20 mm Driftweg) begrenzt wird, bestimmen bei großflächigen Kammern ($\geq 10 \text{ m}^2$) die mechanischen Toleranzen bei der Drahtpositionierung (100 - 300 μm) und das Durchhängen der bis zu 4 m langen Drähte infolge ihres Eigengewichts die Auflösung [3]. Driftkammern haben neben der guten

Ortsauflösung die Vorteile, daß man mit weniger Anodendrähten (und damit weniger Ausleseelektronik) auskommt und - dadurch auch bedingt - sehr großflächige Detektoren bauen kann (s. Abbildung 6). Vieldrahtkammern werden in Experimenten i.d.R. in Bereichen untergebracht, in denen ein Magnetfeld herrscht, um aus der durch die Lorentzkraft verursachten Krümmung der Teilchenbahnen den Impuls ermitteln zu können. An den heutigen Kollisionsmaschinen (s. z.B. [9]), in denen an den Wechselwirkungszone die Strahlteilchen frontal aufeinander treffen, haben die Magnetfelder Zylindergeometrie. Zur eindeutigen Erfassung aller aus der Wechselwirkungszone nach einer Kollision hervorgehenden geladenen Teilchen wurden zylinderförmige Vieldrahtkammern entwickelt, bei denen das elektrische Driftfeld radial verläuft. Zylinderförmige Vieldraht-Proportional- und Driftkammern und Hybridvarianten, die teilweise hochkomplexe Strukturen aufweisen können, wurden in den letzten Jahren bis zur höchsten Perfektion entwickelt. Es hat regelrecht ein "Kammerrennen" der Experimentiergruppen an den großen Kollisionsanlagen wie LEP (CERN), HERA (DESY) oder am FNAL in USA [9] stattgefunden.

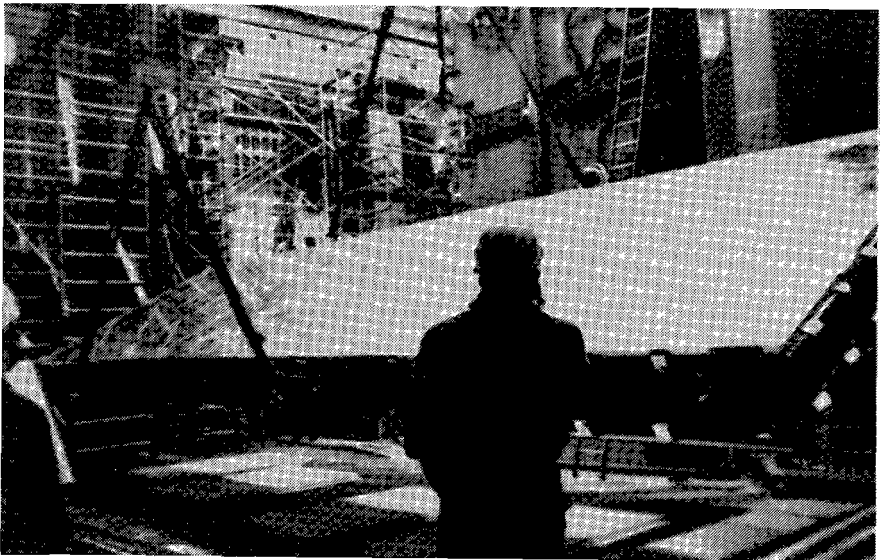


Abb. 6: Einbau einer $4 \times 11 \text{ m}^2$ großen Kammer an der Speicherringanlage HERA bei DESY [12]

4. Der Nobelpreis 1992 für Physik

Charpaks Erfindung der Vieldraht-Proportionalkammer und die nachfolgende stürmische Entwicklung von Vieldrahtkammern leiteten das Zeitalter der vollelektronischen Detektoren ein. Diese sind zum wichtigsten Werkzeug der auf dem Gebiet der Hochenergiephysik arbeitenden Experimentalphysiker geworden. Sie erlauben ihnen, hohe Reaktionsraten zu bewältigen und - im Unterschied zu den optischen Detektoren - während des laufenden Experiments eine direkte elektronische Vorauswahl spezieller Reaktionskanäle und Ereignistypen zu treffen. Praktisch jedes Experiment in der Hochenergiephysik benutzt inzwischen irgendwelche Versionen von Vieldrahtkammern, die alle nach *Charpaks* Prinzip der unabhängig arbeitenden Anodendrähte funktionieren. Die Begründung des Nobelpreiskomitees für *Charpaks* Auszeichnung wird augenfällig: "... for his invention and development of particle detectors, in particular the multiwire proportional chamber - a breakthrough in the technique for exploring the innermost parts of matter."

Der Nobelpreis 1992 für Physik reiht sich als jüngstes Beispiel ein in eine Reihe von Nobelauszeichnungen für besondere Leistungen auf dem Gebiet der Entwicklung ortsauflösender Teilchendetektoren. 1927 ging der Preis an *C.T.R. Wilson* für seine Erfindung der Nebelkammer; 1948 erhielt *Patrick Blacket* die begehrte Auszeichnung für die Weiterentwicklung der Nebelkammer und die mit ihr gemachten Entdeckungen. 1950 wurde der Nobelpreis an *Cecil Powell* verliehen in Anerkennung seiner Verdienste um die Entwicklung der Kernspurplatten und der mit ihnen gewonnenen neuen physikalischen Erkenntnisse. 1960 wurde *Donald Glaser* für die Erfindung der Blaskammer geehrt, für dessen technische Weiterentwicklung 1968 *Luis Alvarez* belohnt wurde. *Georges Charpak* hat sich Zeit seines Lebens darum bemüht, Unsichtbares indirekt sichtbar und dadurch besser verständlich zu machen. Schon bevor er 1959 an das europäische Forschungszentrum für Teilchenphysik CERN (eigentlich bezeichnet der Name CERN irreführenderweise ein "Kernforschungszentrum") bei Genf ging, hatte er sich im Joliot-Curie-Laboratorium in Paris bereits mit Teilchendetektoren beschäftigt, von denen - wie er später zugab - die meisten nicht funktionierten [7]. Er probierte hier neue Techniken auf dem damals modischen Gebiet der Photographie von Funken in optischen Kammern aus. Der gebürtige Pole kam 1931 als Siebenjähriger nach Frankreich und nahm 1946 die französische Staatsbürgerschaft an.

5. Anwendungen von Vieldrahtkammern außerhalb des Bereichs der Hochenergiephysik

Nachdem *G. Charpak* die Hochenergiephysik von der photographischen Technik befreit hat, bemüht er sich in den letzten Jahren, durch den Einsatz von Vieldrahtkammern und modernster Elektronik auch die *Biologie und die Medizin* von den Nachteilen photographischer Methoden zu erlösen [10, 11]. Mit Driftkammern und Drift-Proportional-Hybridkammern lassen sich Röntgenaufnahmen hoher Auflösung erstellen. Um hinreichende Absorptionswahrscheinlichkeiten zu erzielen, müssen hierzu die verwendeten Kammern mit Xenon unter erhöhtem Druck betrieben werden. Besonders hohe Präzision wurde durch die Kopplung einer sphärischen Driftkammer mit einer Proportionalkammer, in dessen Zentrum die Probe sitzt, erzielt. Eine der Hauptanwendungen dieser Technik ist das Studium der Strukturen riesiger organischer Moleküle, wie Proteine, durch Messung der Intensitäten der Diffraktionsreflexe, die bei der Bestrahlung ihrer Kristalle mit Röntgenlicht erzeugt werden. Die Gruppe von *G. Charpak* hat unter der jetzigen Leitung des langjährigen Mitarbeiters von *Charpak*, *Fabio Sauli*, in Zusammenarbeit mit einer Gruppe des LURE - Laboratoriums für elektromagnetische Strahlung in Orsay eine Kammer des angedeuteten Typs entwickelt, die alle Rekorde in der Qualität der Diffraktionsaufnahmen von Proteinkristallen schlägt und dabei mit Raten fertig wird, welche die Aufnahmezeit von über einem Jahr (mit der Filmtechnik) auf wenige Wochen verkürzt. Auch auf dem Gebiet der Autoradiographie, bei der die Proben durch geeignete Nuklide radioaktiv markiert werden, konnten mit Charpak-Kammern sensationelle Ergebnisse erzielt werden. In der Betastrahlen-Radiographie wurde in einer Zusammenarbeit zwischen CERN und dem Cantonalhospital Genf dazu eine neue Technik entwickelt, bei der das

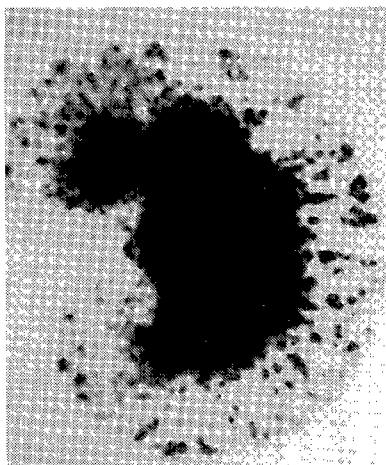


Abb. 7 :

Radiogramm einer Rattenniere, aufgenommen mit einer Vieldrahtkammer in Verbindung mit einer CCD Kamera

schwache Licht, das bei der Lawinenbildung in einer Vieldraht-Proportionalkammer spezieller Konstruktion emittiert wird, mit einer Bildverstärker-CCD Kamera aufgenommen wird. Dabei kann die Entstehung des Bildes kontinuierlich verfolgt werden, und die Aufnahmezeit ist gegenüber der photographischen Methode um einen Faktor hundert verkürzt. Nachdem *G. Charpak* das auf diese Weise aufgenommene Bild der Niere einer Ratte (s. Abbildung 7) gesehen hatte, soll er gesagt haben: "Diese Rattenniere veränderte mein Leben" [7, S. 4].

Die Anwendungen und die Möglichkeiten der Weiterentwicklung des gegenwärtigen Stands der Technik von Vieldraht-Spurenkammern sind noch lange nicht ausgeschöpft. *Georges Charpak* selbst arbeitet noch mit 68 Jahren voll mit an der Verwirklichung innovativer Ideen.

Literatur

- [1] H. Hilscher, PdN-Ph 3/41 (1992), Kap. 2 und 3
- [2] G. Charpak, Ann. Rev. Nucl. Sci. 20 (1970) 195-254
- [3] K. Kleinknecht: Detektoren für Teilchenstrahlung, Teubner Studienbücher/Physik, B. G. Teubner, Stuttgart, 1992
- [4] T. Appenzeller, Science 258, 23 Oct. 1992, 543-544
- [5] G. Charpak, CERN Courier No. 6, Vol. 9 (1969) 174-176
- [6] F. Sauli: Principles of operation of multiwire proportional and drift chambers, lectures given in the Academic Training Programme of CERN 1975-76, Yellow Report CERN 77-09, 3 May 1977
- [7] CERN Courier No. 10, Vol. 32 (1992) 1-6
- [8] G. Charpak et al., Nucl. Instruments and Methods 62 (1968) 262-268
- [9] H. Hilscher, PhuD 3 (1988) 182-198
- [10] CERN Courier No. 2, Vol. 27 (1987) 7-10
- [11] CERN Courier No. 2, Vol. 30 (1990) 25
- [12] DESY: Wissenschaftlicher Jahresbericht 1991, S. 58