

Induktive Ortung von Funken in einer Funkenkammer

G. POELZ * und K. SPRINGER *

Max-Planck-Institut für Kernphysik, Heidelberg

(Z. Naturforschg. **21 a**, 1188—1192 [1966]; eingegangen am 21. März 1966)

Herrn Professor Dr. W. GENTNER zum 60. Geburtstag gewidmet

A spark chamber is described, for use of particle-path location in a magnetic spectrometer. The spark is localized electronically by inducing pulses in wire windings with co-ordinate-depending amplitudes. The method was proved in a spark chamber with $15 \times 15 \text{ cm}^2$ electrodes of stainless steel meshes, with 13 wires per mm, 0.036 mm thick. A nearly linear slope for the calibration curve has been obtained with artificial sparks. Sparks at the same spot gave a pulse-height distribution with a half-width corresponding to 0.2—0.3 mm and a total spread of 0.4—0.7 mm. Results obtained with a $\text{Ce}^{144} \beta$ source showed, that a similar behaviour can be expected for natural sparks. This method renders possible a simple and compact set-up, without any restriction in respect to the material used for the electrodes of the chamber.

Abbildungsfehler eines Magnetspektrometers, wie sie durch eine ausgedehnte Quelle und einen großen Öffnungswinkel verursacht werden, können leicht eliminiert werden, wenn man die Bahn jedes einzelnen zu analysierenden Teilchens bestimmt. In einem Spektrometer für hochenergetische Teilchen¹ sollen deshalb Funkenkammern an mehreren Stellen den Teilchenort bestimmen², wobei Kammern mit wirksamen Flächen zwischen $(5 \times 5) \text{ cm}^2$ bis $(30 \times 30) \text{ cm}^2$ vorgesehen sind. Es wurde eine elektronische Ortung des Funkens gefordert, um eine schnelle und objektive Auswertung noch während der Messung zu erreichen.

Funkenkammern, die den starken Strom durch den Funken für die Lokalisation ausnützen³, sind einfach im Aufbau und liefern ortsabhängige Signale, die leicht registriert werden können.

1. Die Meßmethode

In dieser Arbeit wurde eine Methode entwickelt, welche das vom Funkenstrom erzeugte starke Magnetfeld zur Ortung ausnützt⁴. Die Anordnung wird in Abb. 1 — zur Vereinfachung nur für die Messung der x -Koordinate — dargestellt. An die Elektroden H und E ist an benachbarten Ecken die Hochspannung bzw. Erde angeschlossen. Findet an einer Stelle der Platten ein Funkendurchbruch statt, so fließt der Strom vom Hochspannungsanschluß zum Funken,

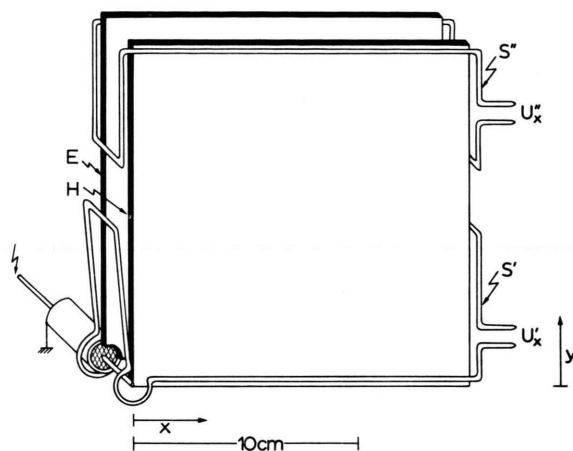


Abb. 1. Schematische Darstellung der induktiven Ortungsmethode. H, E Hochspannungs- bzw. Erdelektrode der Funkenkammer, $U_{x'}$, $U_{x''}$ in den Schleifen S' bzw. S'' induzierte Spannungen.

durch diesen zur gegenüberliegenden Erdelektrode und von hier zum Erdanschluß zurück. In einer Drahtschleife, die beide Platten umgibt, wird dadurch ein Spannungsimpuls U induziert:

$$U = L \cdot dI_{pr}/dt.$$

I_{pr} ist der durch den Funken fließende Primärstrom. Der Koeffizient der gegenseitigen Induktion L ist nun vom Ort des Funkens abhängig, weil die vom Primärstrom umlaufene Fläche und deren Neigung zur Schleife eine Funktion des Ortes ist. Um die

* Zur Zeit CERN, Genf.

¹ H. DANIEL u. G. POELZ, Max-Planck-Institut Mitteilung 1965 V/1, Heidelberg 1965.

² D. L. ALLAN, Nucl. Instr. Meth. **25**, 118 [1963]. — B. ZACHAROV, Nucl. Instr. Meth. **33**, 136 [1965].

³ G. CHARPAK, J. FAVIER u. L. MASSONET, Nucl. Instr. Meth. **24**, 501 [1963].

⁴ G. POELZ u. K. SPRINGER, Phys. Verh. **5**, 108 [1965]. — K. SPRINGER, Diplomarbeit, Max-Planck-Institut f. Kernphysik, Heidelberg 1965.



Materie im Strahlengang der zu ortenden Teilchen gering zu halten, legt man die Schleifen an den Rand der Kammer, z. B. zur Messung der x -Abhängigkeit 2 Stück parallel zur x -Achse (s. Abb. 1). Winkelt man die x -Schleifen in y -Richtung ab, so erhöht man die Empfindlichkeit in der Mitte der Funkenkammer, während sie in Schleifennähe abgesenkt wird. Die y -Koordinate des Funkens wird gleichzeitig durch 2 Schleifen gemessen, die vertikal, also parallel zur y -Richtung, laufen.

Die Auswertung der Messung wird erleichtert, wenn der Induktionskoeffizient eines Schleifenpaares linear von einer Koordinate abhängt. Vereinfachte Rechnungen⁴ lassen für die Induktionsmethode an den Enden der Eichkurven eine Abweichung von 3% von der Linearität erwarten.

2. Die experimentelle Anordnung

Die Methode der induktiven Ortung wurde zunächst mit einer Funkenkammer-Attrappe untersucht. Die Elektroden bestanden aus 0,5 mm dicken Kupferblechen, die sich in einem Abstand von 5 mm befanden. Ein Draht, der die Platten an der gewünschten Stelle überbrückte, ersetzte den Funken. Zuerst wurden Versuche durchgeführt, bei denen die Drahtschleifen an den Ecken nicht abgebogen waren. Diese Drahtrechtecke hatten eine Länge von 16 cm und eine Breite von 1,5 cm.

Anschließend wurde die Methode an einer echten Funkenkammer erprobt. Als Elektroden dienten $(15 \times 15) \text{ cm}^2$ große V2A-Netze mit einer Maschendichte von 13 Drähten pro mm und einem Drahtdurchmesser von 0,036 mm. Die Netze wurden beidseitig auf einen 5 mm dicken Plexiglasrahmen gespannt. Der Hochspan-

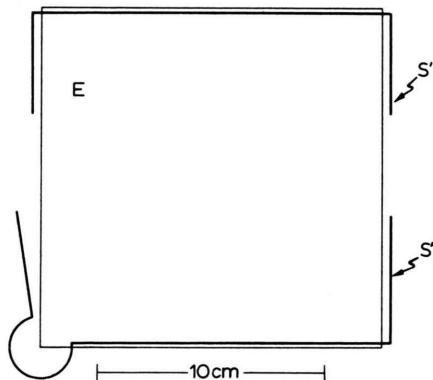


Abb. 2. Maßstabgetreue Skizze der Funkenkammer und der Induktionsschleifen. E Elektrode, S', S'' Induktionsschleifen.

nungsanschluß erfolgte über eine koaxiale Leitung, um Störstrahlung von der Zuleitung zu unterbinden. Die Induktionsschleifen der Funkenkammer bestanden aus abgeschirmtem Kupferdraht mit geerdetem Mantel. Ihre Abmessungen gehen aus der maßstäblichen Skizze der Abb. 2 hervor. Gezeichnet sind nur die Schleifen zur Messung der x -Koordinate. Diejenigen für die y -Koordinate erhält man aus der gleichen Zeichnung durch Spiegelung an der Winkelhalbierenden $x=y$.

Die dadurch erhaltene Funkenkammer hatte eine empfindliche Fläche von $(10 \times 10) \text{ cm}^2$. Sie wurde mit einem Gemisch von 70% Ne und 30% He gefüllt und mit Hochspannungsimpulsen von 5 kV betrieben.

Das Blockschaltbild der Elektronik ist in Abb. 3 dargestellt. Der vom Detektor D, einem Szintillationszähler, kommende und im Trigger T verstärkte Impuls steuerte die Funkenstrecke FS. Diese entlud dann den

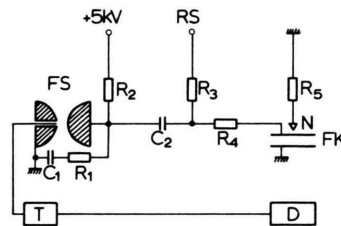


Abb. 3. Blockschaltbild der Elektronik. D Detektor, T Trigger, FS Funkenstrecke, RS Reinigungsspannung, FK Funkenkammer, N Nadel zur künstlichen Zündung von Funken. $C_1=150 \text{ pF}$, $C_2=3 \text{ nF}$, $R_1=12 \Omega$, $R_2=4,8 \text{ M}\Omega$, $R_3=300 \Omega$, $R_4=3,3 \Omega$, $R_5=680 \text{ k}\Omega$.

Kondensator $C_2=3000 \text{ pF}$ über die Funkenkammer FK. An RS konnte der Kammer über $R_3=300 \Omega$ und $R_4=3,3 \Omega$ eine Reinigungsspannung zugeführt werden. Durch R_1 , C_1 wurde ein gleichmäßiges Arbeiten der Funkenstrecke erreicht⁵, was in einem konstanten Stromimpuls I_{pr} resultiert. Die Funkenstrecke hatte eine Weite von 0,7 mm und arbeitete in einer Stickstoffatmosphäre bei 2,4 atü. Der Trigger war in der üblichen Weise^{6,7} mit Lawinentransistor, EFP 60 und Senderöhre bestückt. Eine Luftspule mit 2 Windungen, in der Nähe der Zuleitung zur Funkenkammer angebracht, lieferte zu dI_{pr}/dt proportionale Impulse U_{pr} .

Zur Eichung der Funkenkammer wurde ein gut lokalisierter Funke durch eine Hilfsentladung gezündet⁵. Ein Impulsgeber ersetzte den Detektor D und eine über $R_5=680 \text{ k}\Omega$ geerdete Nadel N wurde der Hochspannungselektrode genähert. Die Sprühentladung der Spitze zündete an der gleichen Stelle durch die Netzelektrode hindurch den Hauptfunken.

Die Impulse U_x' , U_x'' aus den x -Schleifen wurden mit einem Impulsübertrager mit Ferritring addiert und über ein 50Ω -Kabel einem weiteren Übertrager und nachfolgendem Integrierglied zugeführt.

⁵ G. CHARPAK, persönliche Mitteilung.

⁶ F. SCHNEIDER, persönliche Mitteilung.

⁷ J. BANAIGS, J. DUFLO, L. GOLDZAHN, B. MOUILLIC, C. DELORME, R. KIESLER u. E. G. MICHAELIS, Nucl. Instr. Meth. **26**, 137 [1964].

Dies war notwendig, um die Impulse in Anstiegs- und Abfallzeit an einen Vielkanalanalysator anzupassen. Außerdem wurden damit hochfrequente Störungen beseitigt.

3. Meßergebnisse

Die Induktionsmethode wurde zunächst an der Funkenkammer-Attrappe getestet. Eine Messung für konstante y -Werte mit einer Drahtschleife ohne abgewinkelte Enden, längs der unteren Plattenkante ($y = 0$) um die Kammer gelegt, gibt die Abb. 4 wieder. Sie zeigt die Impulshöhe U_x' des induzierten

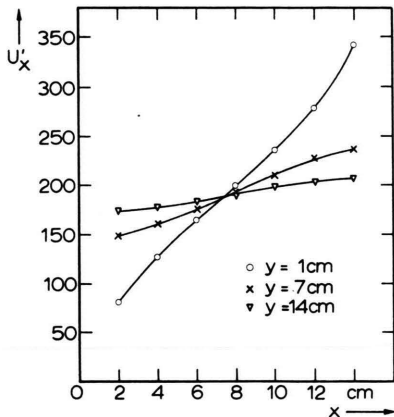


Abb. 4. Eichkurven für die untere Drahtschleife S' ohne abgewinkelte Enden an der Funkenkammer-Attrappe. U_x' induzierte Impulshöhe in willkürlichen Einheiten, x, y Koordinaten einer den Funken simulierenden Kurzschlußbrücke.

Impulses für verschiedene Funkenkoordinaten. Die Empfindlichkeit der Impulshöhe auf Änderungen von x nimmt mit wachsendem Abstand von der Schleife ab. Für eine Drahtschleife längs der oberen Plattenkante zeigte sich ein ähnliches Verhalten von U_x'' , wobei natürlich die Kurven für $y = 1$ und 14 cm vertauscht waren. Das addierte Signal $U_x = U_x' + U_x''$ ergab eine verbleibende geringere Empfindlichkeit in der Kammermitte ($y = 7$ cm), die sich durch ein Abknicken der Schleifenenden in y -Richtung beseitigen ließ (s. Abb. 1).

Eine richtige Funkenkammer mit solchen abgewinkelten Schleifen zeigte das gleiche Verhalten. Die Funken wurden, wie oben beschrieben, durch eine Hilfsentladung gezündet. Die in Abb. 5 durch verschiedene Symbole gekennzeichneten Meßpunkte gehören zu verschiedenen y -Werten. Nur durch die Punkte zu $y = 7$ cm wurde eine Eichkurve gelegt. Die Kurven zu den anderen y -Werten unterscheiden sich nur wenig in Lage und Steigung und sind auch alle

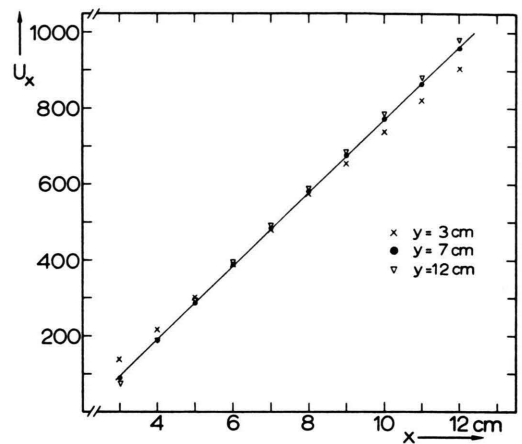


Abb. 5. Eichpunkte für eine Funkenkammer (s. Abb. 1 u. 2). U_x induzierte Impulshöhe für Funken mit den Koordinaten x und y . Für $y = 7$ cm ist die Eichkurve eingezeichnet.

praktisch linear. Der Primärimpuls $U_{pr} \propto \dot{I}_{pr}$ hatte für jeden Meßpunkt eine Höhenverteilung mit einer Halbwertbreite von $0,4\%$, deren Maximum sich jedoch z. B. für Funken zwischen $x = 3, y = 3$ und $x = 12, y = 12$ cm systematisch um $0,85\%$ verschob. Diese Änderungen sind in den Eichkurven mit enthalten.

Die Schleife zur Messung der y -Koordinate beeinflusste die x -Schleife praktisch nicht. Für Funken bei $x = 12$ cm sank die Impulshöhe U_x um ca. $0,8\%$, wenn die y -Schleifen hinzugeschaltet wurden.

In Abb. 6 sind die Punkte (x, y) mit gleichen U_x -Werten miteinander verbunden. Für U_y ergeben sich natürlich ähnliche, horizontale Linien.

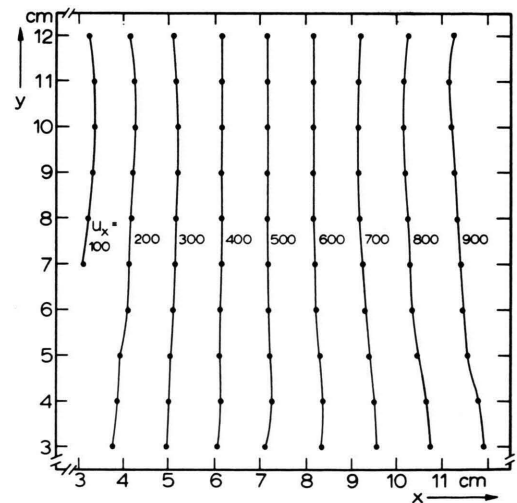


Abb. 6. Wirksame Fläche der Funkenkammer. Orte, an denen Funken gleiche Impulshöhen U_x induzierten, sind durch Linien verbunden.

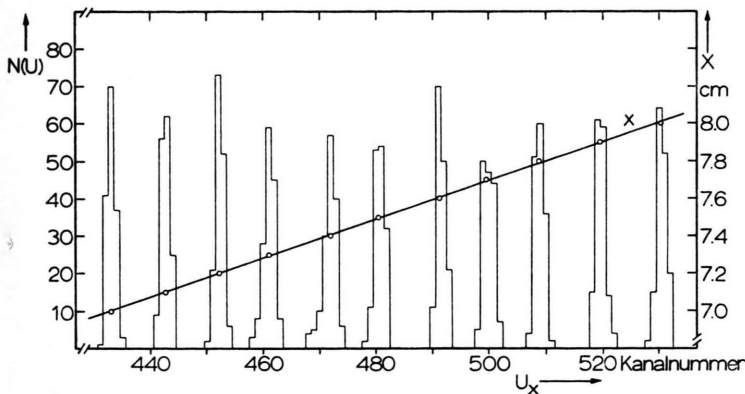


Abb. 7. Impulsspektren für Funken zwischen $x=7$, $y=7$ cm und $x=8$, $y=7$ cm, mit einem Abstand von jeweils 1 mm. Zu der eingezeichneten Eichgeraden gehört die rechte Ordinate.

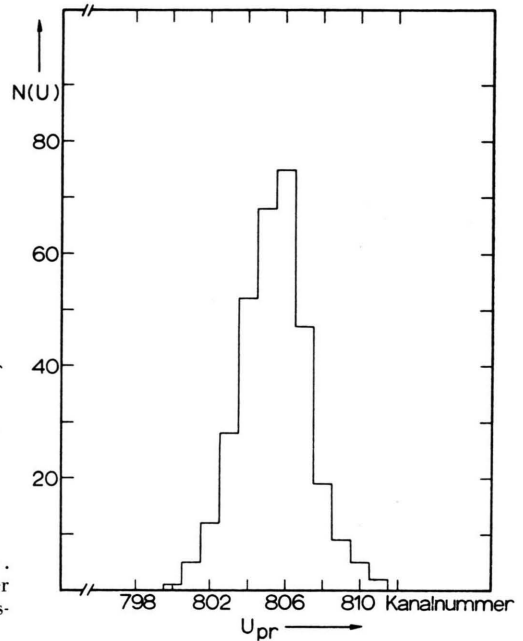


Abb. 9. Impulsspektrum des Primärimpulses U_{pr} . Die Funkenkammer wurde mit β -Teilchen einer Ce^{144} -Quelle gezündet und mit einem Reinigungsfeld von 9 V/cm betrieben.

Die Kurven zeigen eine gleichmäßige Empfindlichkeit der Meßmethode über die gesamte Funkenkammer. Für grobe Messungen können sie gut durch Geraden angenähert werden.

Das Auflösungsvermögen der Induktionsmethode geht aus der Abb. 7 hervor. In der Mitte der Kammerfläche, zwischen $x=7$, $y=7$ und $x=8$ und gleichem y , wurden nacheinander Funken im Abstand von 1 mm gezündet. Das Impulshöhenspektrum von U_x zeigt die eindeutige Trennung der Meßpunkte. Da sämtliche Punkte der Funkenkammer Spektren mit (vollen) Halbwertbreiten von 2–3 Kanälen und absoluten Breiten von 4–6 Kanälen bei einem Meßbereich von rund 1000 Kanälen lieferten, beträgt das lineare Auflösungsvermögen demnach überall 0,2–0,3 mm.

Die Form und Größe der Sekundärimpulse U_x , bei einer Betriebsspannung der Funkenkammer von 5 kV, sind auf der Abb. 8 zu sehen. Sie entstanden durch Funken, die nacheinander bei $x=6$ und $x=12$ cm gezündet wurden. Induktionsschleifen mit mehreren Windungen erzeugen entsprechend höhere Impulse. Mit einem Koaxialkabel, dessen innerer Leiter die erste Windung und dessen Mantel die zweite Windung bildete, war z. B. eine ca. doppelte Impulshöhe zu erreichen. Die Impulsform des Primärimpulses sieht, bei ähnlicher Form der Impulsübertrager, Integrierglieder und gleicher Betriebsspannung der Funkenkammer, ähnlich aus, besitzt jedoch

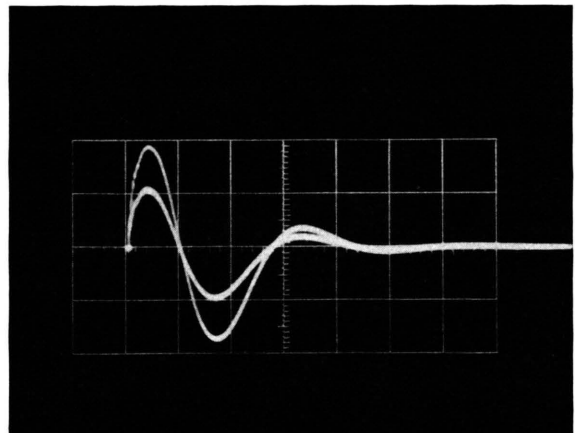


Abb. 8. Oszillographenbild für Sekundärimpulse, erzeugt durch Funken an zwei verschiedenen Stellen. Abszisse $0,5 \mu\text{sec/cm}$, Ordinate $0,5 \text{ V/cm}$.

eine Höhe von 2,3 V. Abschließend wurde die Funkenkammer mit β -Teilchen einer ausgeblendeten Ce^{144} -Quelle gezündet, während gleichzeitig ein Reinigungsfeld von 9 V/cm angelegt war. Wenn solche und künstliche Funken sich gleich verhalten, dann muß der Primärstrom I_{pr} in beiden Fällen einen gleichgroßen Impuls U_{pr} und auch, für gleichen Funkenort, U_x und U_y induzieren. Die mit der Ce-Quelle erzeugten Funken traten vorwiegend in einem Umkreis von ca. 15 mm um die Kammermitte auf. Streustrahlung, z. B. von γ -Quanten, rief jedoch auch

einige Funken im übrigen Bereich sowie auch einige Mehrfachfunken hervor. Die dazugehörige Impulshöhenverteilung U_{pr} des Primärimpulses zeigt die Abb. 9. Künstlich gezündete Funken am gleichen Ort lieferten eine Verteilung bei der gleichen Kanalnummer mit einer Halbwertbreite von 3 Kanälen. Die Verbreiterung in Abb. 9 ist jedoch vollständig mit der oben erwähnten systematischen Abhängigkeit von U_{pr} vom Funkenort erklärbar. Eine Verringerung des Auflösungsvermögens der Induktionsmethode im wirklichen Betrieb ist deshalb nicht zu erwarten.

Damit konnte gezeigt werden, daß mit der magnetischen Induktion ein Auflösungsvermögen von ca. 0,3 mm zu erreichen ist, wie es auch für andere

Ortungsmethoden als Bestwert angegeben wird⁸. Die besonderen Vorteile der Methode sind:

- a) der einfache Aufbau der Kammer und der nachfolgenden Elektronik,
- b) die Möglichkeit, sie ohne Rücksicht auf das Elektrodenmaterial auf jede Funkenkammer anwenden zu können und
- c) der koaxiale Anschluß der Hochspannung, was einen geringen Raumbedarf und eine minimale Störstrahlung zufolge hat.

Herrn Prof. Dr. W. GENTNER danken wir für die Förderung dieser Arbeit.

Außerdem sind wir Herrn Priv. Doz. Dr. H. DANIEL für sein ständiges Interesse zu Dank verpflichtet.

⁸ Proceedings of the informal meeting on film-less spark chamber techniques and associated computer use. CERN

64-30 [1964]. — V. PEREZ-MENDEZ u. J. M. PFAB, Nucl. Instr. Meth. **33**, 141 [1965].