

**DEUTSCHES ELEKTRONEN - SYNCHROTRON** **DESY**

DESY 66/25  
September 1966  
Experimente

Ein automatisches Gerät zur Ausmessung von  
Funkenkammerbildern

von

U. Becker, K. Höhne und J. Weber

**2 HAMBURG 52 · NOTKESTIEG 1**

EIN AUTOMATISCHES GERÄT ZUR AUSMESSUNG VON

FUNKENKAMMERBILDERN

von

U. Becker, K. Höhne und J. Weber

Inhaltsverzeichnis

=====

Abstract

1. Einführung

2. Anforderungen an das Gerät

3. Aufbau und Arbeitsweise des Gerätes

4. Beschreibung der Bauteile

4.1. Abtastgenerator

4.2. Digitalisierung

4.2.1. Verstärker für die Funkensignale

4.2.2. Verstärker und Frequenzvervierfacher für die Gittersignale

4.2.3. Erzeugung der Koordinaten

4.3. Datenspeicherung

4.4. Kontrollbild

4.5. Mechanischer Aufbau

5. Meßeigenschaften

5.1. Genauigkeit

5.2. Auflösung benachbarter Funken

5.3. Korrekturen

6. Betrieb

Tabelle der Spezifikationen

Literatur

Abbildungen

A B S T R A C T

An automatic device for the measurement of spark chamber pictures is described. Using the flying spot technique, it measures 24 x 36 mm pictures on reversal film in 8 sec per frame. The accuracy of a single digitisation in the direction parallel to the spark chamber plates is  $\pm 10 \mu\text{m}$ ; in the perpendicular direction the accuracy is better than  $\pm 36 \mu\text{m}$ . It is shown that with three digitisations per spark the accuracy of the device considerably exceeds that of hand measurements.

The hardware components are described and the performance of the apparatus is discussed in detail.

## 1. Einführung

Die große Zahl von Bildern, die bei Funkenkammerexperimenten produziert wird, zwingt dazu, vom Ausmessen auf Meßtischen zu einer schnelleren, automatischen Methode überzugehen. So würde bei der zur Zeit für Funkenkammerbilder zur Verfügung stehenden Meßtischkapazität der Gruppe F 32 die Auswertung eines Experiments mit 100.000 meßbaren Bildern mehr als 1 1/2 Jahre dauern. Das beschriebene Gerät kann diese Anzahl bei gleicher Betriebsdauer pro Tag in 1 1/2 Monaten messen.

Ähnliche Geräte sind in anderen Laboratorien bereits in Betrieb oder im Bau <sup>1 - 6</sup>.

Mit dem beschriebenen Gerät wurde der größte Teil der Bilder des Experiments



vermessen. Da zum Zeitpunkt des Experiments nicht fest mit einer automatischen Auswertung gerechnet wurde, ist nicht genügend darauf geachtet worden, daß das Bild alle zur automatischen Spurenrekonstruktion benötigte Information enthält. Deshalb kann nur bei etwa der Hälfte der Bilder die physikalische Information extrahiert werden. Bei kommenden Experimenten werden diese Schwierigkeiten beseitigt werden.

## 2. Anforderungen an das Gerät

Die Anforderungen an das Gerät wurden in Anlehnung an das Bildmaterial des  $\gamma - \rho^0$  Experiments gestellt. Abb. 1 gibt ein Funkenkammerbild dieses Experiments wieder. Es zeigt 6 Kammern in Seiten- und Hauptansicht, die durch je zwei Reihen von Eichmarken begrenzt sind. Außerdem enthält das Bild eine Reihe von Lämpchen, die Filanummern, Bildnummer, das Ansprechen eines Cerenkov-Zählers und die  $\gamma$ -Energie anzeigen. Während die Spuren in der Hauptansicht geradlinig verlaufen, erscheinen bei der

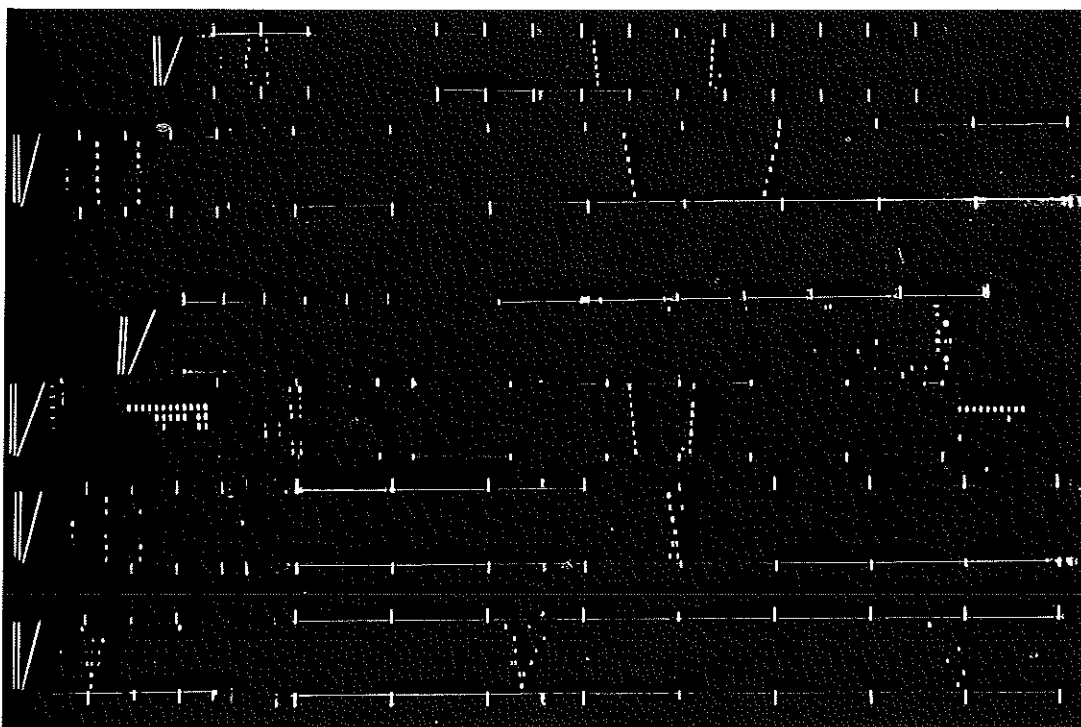


Abb. 1 Funkenkammerbild des Experimentes  $\gamma + p \rightarrow p + \rho^0$

Seitenansicht die mittleren Funken durch ein am Kammerfenster befestigtes Prisma versetzt. Die Größe der Versetzung ist eine Funktion des Ortes der Spur in der Hauptansicht. Dadurch soll eine Zuordnung der Spuren ermöglicht werden. Da die versetzten Funken oft nicht mehr auf dem Bild zu sehen sind und in den nicht versetzten Spurteilen oft Funken fehlen, ist in vielen Fällen eine Zuordnung über dieses Kriterium nicht möglich. Die Doppel- und Schräglinien am linken Rand der Kammern sind Eichmarken, deren Bedeutung in Abschnitt 3 erläutert werden wird.

Aufgabe des Gerätes ist es, die Funken und Eichmarken auf den mit einem Verkleinerungsverhältnis von 1 : 65 aufgenommenen Bildern mit folgender Genauigkeit zu messen:

parallel zu den Platten	<u>+ 10</u> $\mu$ ( $\approx$ halber Durchmesser der kleinsten vor- kommenden Funken)
senkrecht zu den Platten	<u>+ 60</u> $\mu$ ( $\approx$ halber Platten- abstand)

Dem naheliegenden Verfahren der Abtastung der Bilder mit einem Zeilenraster auf dem Schirm einer Kathodenstrahlröhre kommt die Verschiedenheit der Genauigkeitsanforderungen in beiden Richtungen entgegen. Da die Bilder sehr sauber sind - Untergrundspuren sind selten, und Staub hat bei Umkehrfilm keinen Einfluß - ist die zu erwartende Datenmenge nicht so umfangreich, so daß man bei der Messung ohne einen Rechner auskommen kann.

Der im folgenden beschriebene Aufbau schien uns deshalb für die Messung dieser Bilder am geeignetsten.

### 3. Aufbau und Arbeitsweise des Gerätes

Einen Überblick über die Apparatur gibt Abb. 2. Auf dem Schirm einer Kathodenstrahlröhre wird ein Zeilenraster ähnlich wie beim Fernsehen erzeugt mit dem Unterschied, daß die Vertikalablenkung in Stufen erfolgt. Es wird durch zwei Objektive, im Maßstab 1 : 1,5 verkleinert, sowohl auf das Funkenkammerbild als auch auf ein Strichgitter abgebildet, wobei die Zeilen senkrecht zu den Gitterstrichen verlaufen. Die Gitterstriche sowie die Zwischenräume sind 20  $\mu$  breit. Das durch die Zwischenräume und die transparenten Bereiche des Bildes dringende Licht wird von je einem Photomultiplier aufgenommen. Ihre Ausgangssignale werden der Digitalisierungseinheit zugeführt. Sie enthält einen 12-Bit-Binär-Zähler für die Gittersignale, deren Frequenz zuvor vervierfacht wird. Beim Auffinden der Doppellinie wird der Zähler auf "0" gesetzt. Sein Inhalt ist unabhängig von der Lichtpunktgeschwindigkeit ein Maß für den Abstand des Lichtpunktes von der Doppellinie.

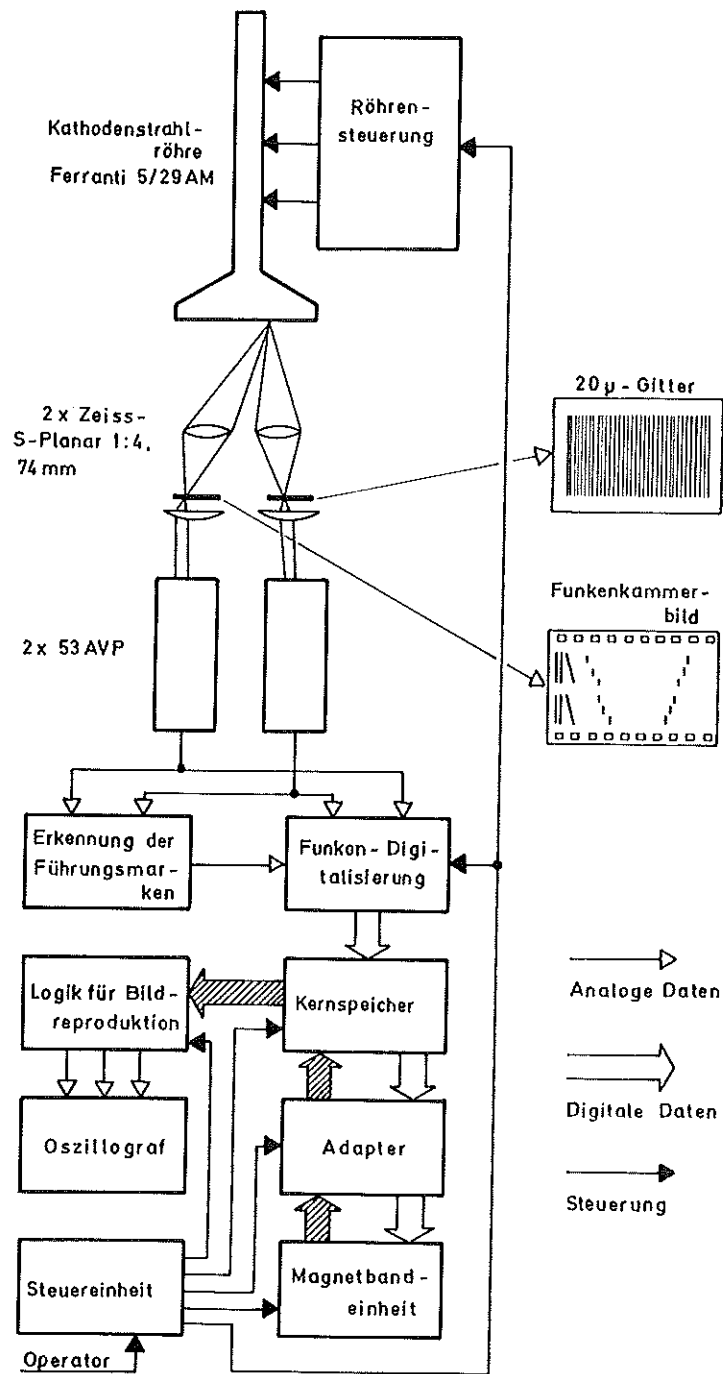


Abb. 2 Blockschaltbild der Meßanlage

Wird nun eine Eichmarke oder ein Funken gefunden, so wird der Zählerstand ausgelesen und als 12-Bit-Wort in einen Kernspeicher übertragen, der mit seiner Kapazität von 1.024 Worten die Information eines Bildes faßt. Nach Abtastung des Bildes wird sein Inhalt auf Magnetband gespeichert.



Wenn wir den Abtastvorgang verfolgen, (siehe Abb. 3) so wird der Lichtpunkt zunächst die Doppellinie finden. Der Zähler wird auf "0" gesetzt und die Datenübertragung in den Kernspeicher für eine Zeile erlaubt. Als nächstes wird

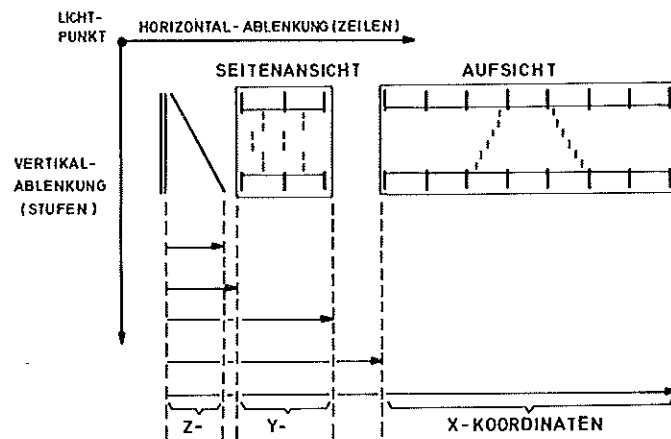


Abb. 3 Interpretation der Meßwerte

der Schrägstrich überfahren. Die ihm zugeordnete Koordinate ist ein Maß für die vertikale Lage der Zeile. Es folgen nun Eichmarken und Funken, deren zugehörigen Meßwerte je nach Größe als zur Seiten- oder Hauptansicht gehörig interpretiert werden. Dies setzt sich durch alle Zeilen, die durch einen Doppelpunkt markiert sind, fort, so daß schließlich auf dem Magnetband eine Reihe von Zahlen

$$z_1, y_{11}, y_{12}, \dots, x_{11}, x_{12}, \dots, z_2, y_{21}, y_{22}, \dots, x_{21}, x_{22}, \dots$$

steht, die bis auf bekannte Konstanten und Verzerrungskorrekturen die Koordinaten von Spuren im Experimentierraum darstellen. Die Spurenrekonstruktion wird anschließend "off line" in einer IBM 7044 Rechenanlage vorgenommen.

#### 4. Beschreibung der Bauteile

##### 4.1. Abtastgenerator

Das Zeilenraster (512 Zeilen, 10 ms Vorlauf-, 4 ms Rücklaufdauer) wird auf einer Kathodenstrahlrohre vom Typ Ferranti 5/29 AM erzeugt. Der Elektronenstrahl wird mit einer Ferranti-Fokussierspule fokussiert, die zwei getrennte Teile für die statische und die dynamische Fokussierung enthält. Bei statischer Fokussierung liegt der Fokus auf einer Kugelschale. Damit man auf dem ebenen Schirm eine optimale Fokussierung erhält, wird der dynamische Teil der Spule mit einem Strom  $I = k(x^2 + y^2)$  gespeist, der von einem Analogrechenelement geliefert wird. Die Kissenverzerrung wird mit Permanentmagneten ausgeglichen, die auf die Ecken

des Zeilenrasters wirken. Die Ablenkung des Elektronenstrahls besorgt eine CELCO-Ablenkspule zusammen mit einem Stromverstärker gleichen Fabrikats. Der Lichtpunkt hat bei optimaler Justierung eine Ausdehnung von 20  $\mu$ , über lange Zeiträume ist er mit 30  $\mu$  über den ganzen Schirm konstant.

Die Sägezahnspannung, die dem Stromverstärker für die horizontale Ablenkung zugeführt werden muß, wird auf konventionelle Weise durch Aufladen eines Kondensators mit konstantem Strom erzeugt. Theoretisch hängt die Güte der Digitalisierung nicht von der Linearität der Ablenkung ab. Damit jedoch die Signale des Gitterphotomultipliers mit einem Resonanzverstärker verstärkt werden können, dürfen die Abweichungen von der Linearität nicht größer als 5 % sein.

Die Treppenspannung wird durch einen Digital-zu-Analog-Konverter auf folgende Art hergestellt: Mit drei Spannungsteilern wird jeweils die Grundspannung von 24 Volt 8-fach unterteilt. Die Stellung von je drei Flipflops, die den Spannungsteilern zugeordnet sind, bestimmt, welche dieser 8 Spannungen zu einer Mischstufe gelangt. Dort werden sie im Verhältnis 1 : 8 : 64 gemischt. Läßt man alle neun Flipflops durchzählen, erhält man 512 Spannungen in steigender Folge. Dieses Verfahren wurde gewählt, da hierbei keine Spannungsverstärkung sondern nur Abschwächung erfolgt. So kann der Einfluß des Netzbrumms klein gehalten werden, was für die Geradlinigkeit der Zeilen wichtig ist.

## 4.2. Die Digitalisierung

### 4.2.1. Verstärker für die Funkensignale

Die Funken variieren beträchtlich in ihrer Breite und Helligkeit. Das erfordert eine große Dynamik des Verstärkers für die Photomultiplier-signale. Manche Funkensignale, die der Photomultiplier liefert, sind von der Größenordnung des Multiplerrauschens. Sie unterscheiden sich jedoch von diesem durch ihre relativ große Länge.

Der zur Verwendung kommende Verstärker sieht folgendermaßen aus: Niederohmiger Ausgang des Photomultipliers, Stromverstärkung, leichte Spannungsverstärkung, Rückkopplung einer evtl. bei Impulsgruppen auftretenden Grundlinienverschiebung und leichte Integration. Die kleinsten Impulse haben dann eine Höhe von etwa 20 mV, das jedoch an 20 OHM. Der Strom reicht aus, um eine vorgespannte Tunneldiode zum Oszillieren zu bringen. Mit der Vorspannung kann die Empfindlichkeit des Verstärkers reguliert und damit an Filmmaterial, Belichtung usw. angeglichen werden.

Die Oszillationen dauern während des ganzen Funkenimpulses an. Sie sind hochfrequent (50 MHz) und können so über kleine Kapazitäten gekoppelt werden. Mit der Tunneldiode wird gleichzeitig die Spannung auf ca. 400 mV verstärkt, so daß eine weitere 10-fache Spannungsverstärkung ausreicht. Die Oszillationen werden zu einem Impuls integriert, dem ein Schmitt-Trigger noch die endgültige Form gibt.

#### 4.2.2. Verstärker und Frequenzvervierfacher für die Gittersignale

Beim Verstärker für die vom Gitter erzeugten Photomultipliersignale liegen die Verhältnisse anders. Es ist weder eine große Dynamik noch eine Schwelle erforderlich. Jedoch gibt es folgendes Problem: Da die Lumineszenz des Schirmes der Kathodenstrahlröhre variiert und an manchen Stellen sogar ganz aussetzt ("Löcher"), muß hier der Modulation nachgeholfen werden. Da die Frequenz der Gittersignale nicht wesentlich variiert, kann man mit Hilfe eines Resonanzkreises die Schwingung bis über 6 fehlende Gitterstriche fortsetzen. Abb. 4 zeigt ein solches "Loch" in der ersten Spur und in der zweiten den Verlauf der Spannung nach der Resonanzstufe. Mit Hilfe einer Diodenbrücke wird die Frequenz von 100 kHz anschließend verdoppelt und zu einer Impulsfolge verstärkt. Dies ist in der untersten Spur der Abb. 4 zu sehen. Man kann erkennen, daß die schwache Stelle des Schirmes vollständig ausgeglichen ist. Handelt es sich um noch größere Löcher, so kann in der nachfolgenden Stufe, der nochmaligen Verdopplung, ausgeglichen werden. Diese Stufe besteht aus einem Multivibrator, der von den Impulsen der Verdopplerstufe getrieben wird. Fallen aus den oben erwähnten Gründen Impulse aus, läuft der Multivibrator mit seiner eigenen Frequenz weiter. Diese wurde nur um ein Weniges kleiner als die verdoppelte Frequenz der

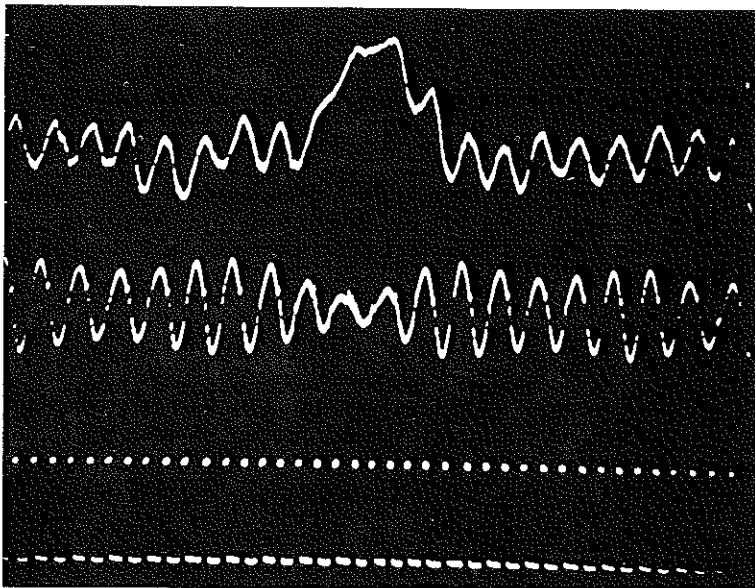


Abb. 4 Gittersignale  
a) am Multiplierausgang  
b) nach der Resonanzstufe  
c) nach der Pulsformung

Strichgitterimpulse gewählt. So gelangen fortwährend vier Impulse pro Gitterstrich zum Zähler, auch dann, wenn kleine Lumineszenzstörungen oder auch Staub auf dem Schirm oder auf dem Gitter die Grundfrequenz unterbrechen.

#### 4.2.3. Die Erzeugung der Koordinaten

Die Ermittlung der Koordinaten aus den verstärkten und geformten Funken- bzw. Gittersignalen geht auf folgende Weise vor sich (siehe Abb. 5). Die Gittersignale werden von einem 12-Bit-Binärzähler ("Hauptzähler") gezählt. Die Funkensignale werden mit den Gittersignalen synchronisiert, d. h. Vorder- und Rückflanke werden so weit verzögert, bis sie mit einem Gitterimpuls zusammenfallen. Die Doppellinie wird identifiziert durch eine Koinzidenzschaltung, auf deren zwei Eingangskanäle das Funkensignal einmal direkt und einmal entsprechend verzögert gegeben wird. Beim Ansprechen der Koinzidenzstufe wird das Haupttor geöffnet und der Hauptzähler auf "0" gesetzt. Erscheint ein Funkensignal, so wird durch den "Modulator" der Hauptzähler für die Dauer des Signals mit der halben Frequenz gespeist, während in einem Nebenzähler die fehlenden Impulse gespeichert werden. Mit der Rückflanke des Funkenimpulses wird der Inhalt des Hauptzählers als 12-stellige Binärzahl in das Eingangsregister des Kern-

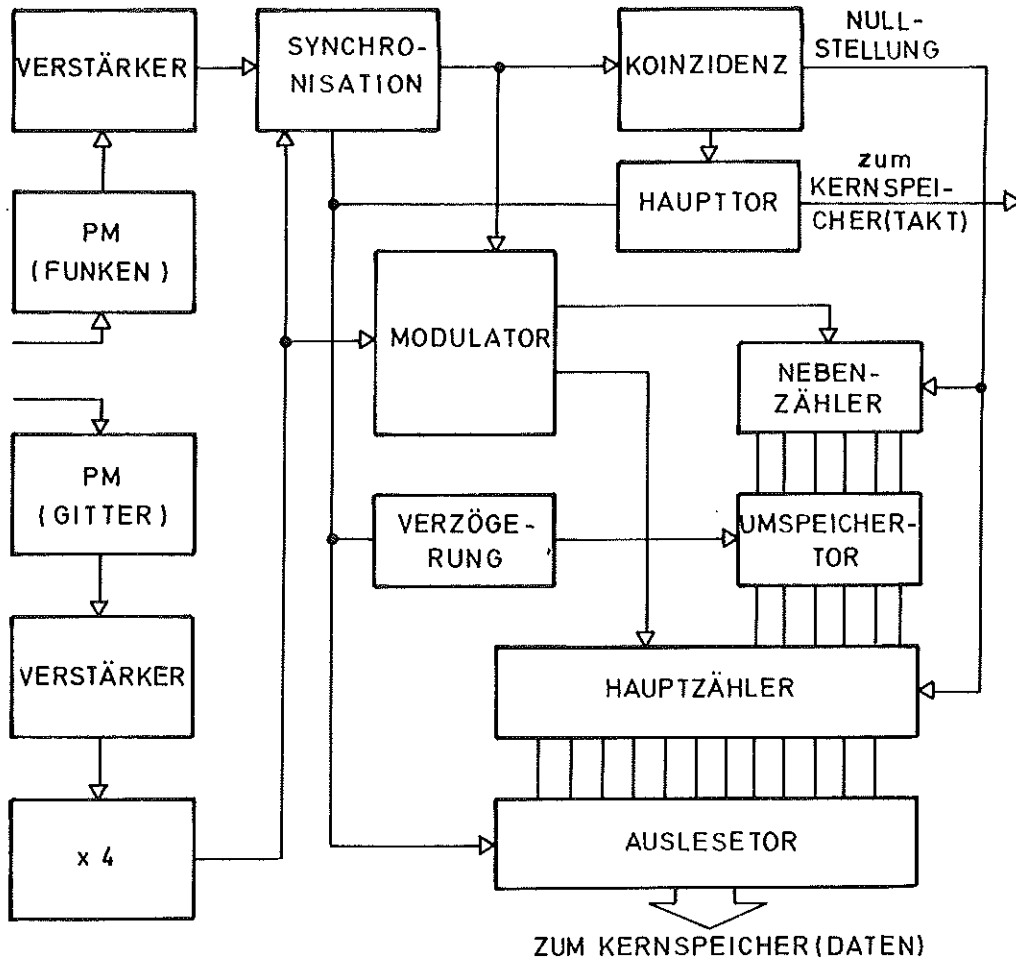
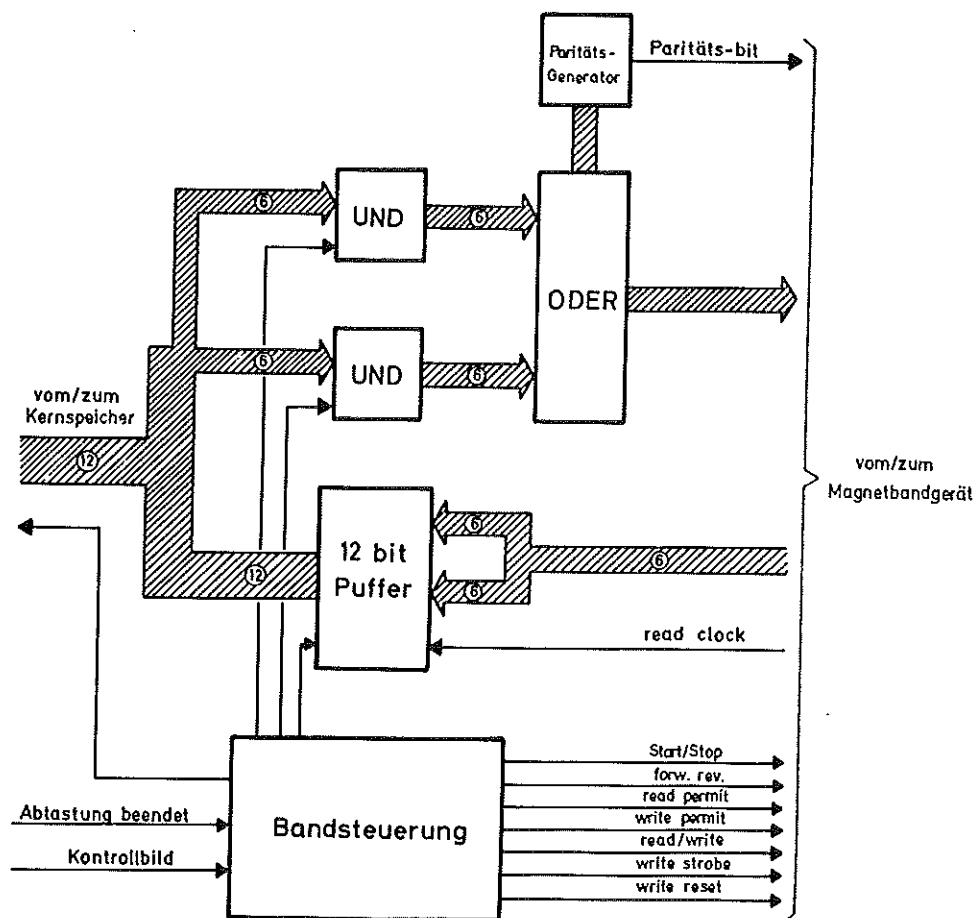


Abb. 5 Blockschaltbild der Digitalisierungseinheit

speichers übertragen. Die so ermittelte Zahl stellt die Koordinate der Funkenmitte dar. Sofort anschließend wird der Inhalt des Nebenzählers in den Hauptzähler umgespeichert, so daß beim Eintreffen des nächsten Gittersignals nach  $2,5 \mu\text{s}$  der Hauptzähler wieder die richtige Zahl enthält.

#### 4.3. Datenspeicherung

Der Speicher, in dem die in unregelmäßigen Abständen ankommenden Koordinaten zunächst gepuffert werden (Valvo Typ C), faßt mit seiner Kapazität von  $1.024$  Worten die Information eines ganzen Bildes. Seine Zykluszeit von ursprünglich  $20 \mu\text{s}$  wurde durch einen Umbau auf  $15 \mu\text{s}$  reduziert, da die Geschwindigkeit des Kernspeichers der begrenzende Faktor für die Auflösung benachbarter Funken ist.



Der Speicherinhalt wird nach Beendigung der Abtastung durch den Magnetbandadapter (Abb. 6) auf Band geschrieben. Er zerlegt hierzu die 12-Bit-Worte in je zwei 6-Bit-Zeichen und versieht sie mit einem Paritätsbit. Er liefert auch die Steuersignale für die Bändeinheit und erzeugt auf Wunsch ein "end of file"-Zeichen auf dem Band. Er kann umgekehrt zu Testzwecken vom Bandgerät die Daten wieder in den Kernspeicher zurückübertragen. Hierbei werden die 6-Bit-Zeichen in einem 12-Bit-Puffer wieder in 12-Bit-Worte verwandelt.

Die Magnetbändeinheit vom Typ Ampex TM-7 hat eine Datenübertragungsfrequenz von 28,8 kHz. Die Übertragung eines Bildes auf Band dauert 100 ms. Ein Bild benötigt 8,4 cm Band.

#### 4.4. Kontrollbild

Das fehlerfreie Arbeiten der Apparatur kann am Bildschirm eines

Tektronixspeicheroszillografen überwacht werden. Er zeigt einmal synchron mit der Abtastung das gerade gemessene Bild; zum anderen kann das bereits auf Band gespeicherte Bild durch die Kontrollbild-einheit reproduziert werden. Letztere arbeitet in folgender Weise: (siehe Abb. 7)

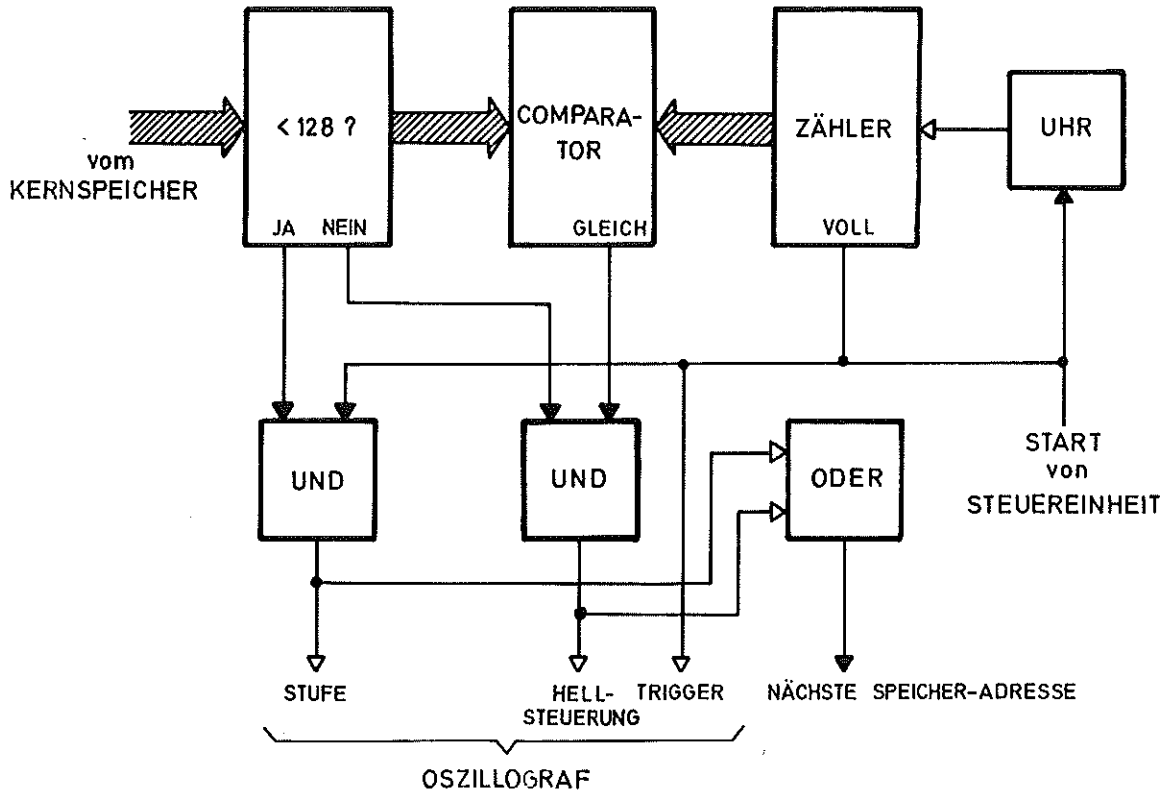


Abb. 7 Blockschaltbild der Kontrollbildeinheit

Zunächst werden die auf dem Band gespeicherten Bildkoordinaten in den Kernspeicher zurückgeholt. Sein Ausgangsregister ist mit einer Schaltung verbunden, die entscheidet, ob der Registerinhalt größer oder kleiner als 128 ist. Dadurch werden die Koordinaten des Schrägstriches, die immer <128 sind, von den übrigen unterschieden. Daneben wird das Register durch einen Komparator mit einem Zähler verglichen.

Zur Reproduktion des Bildes werden nun die X-Ablenkung des Oszillografen und der Zähler auf "0" gesetzt und die erste Zahl ins Ausgangsregister des Kernspeichers gebracht. Ist sie kleiner als 128, wird die Y-Ablenkung des Oszillografen um eine Stufe erniedrigt, da der Schräg-

strich den Beginn einer neuen Zeile anzeigt. Anschließend wird die nächste Speicheradresse gerufen, und - sobald der Zählerstand gleich dem Registerinhalt ist - wird der Lichtpunkt des Oszillografen hellgesteuert, die nächste Adresse geholt usw. Wenn wieder eine Koordinate kleiner als 128 erscheint, wird gewartet, bis die Zeile zu Ende ist (Zähler voll), und mit einer Stufe eine neue Zeile begonnen. Das schließlich reproduzierte Bild (siehe Abb. 8) gibt genauen Aufschluß darüber, ob die Apparatur einwandfrei arbeitet, zumal man Abweichungen bis zu zwei Zähleinheiten durch Dehnung der Oszillografenzeit-skala erkennen kann.

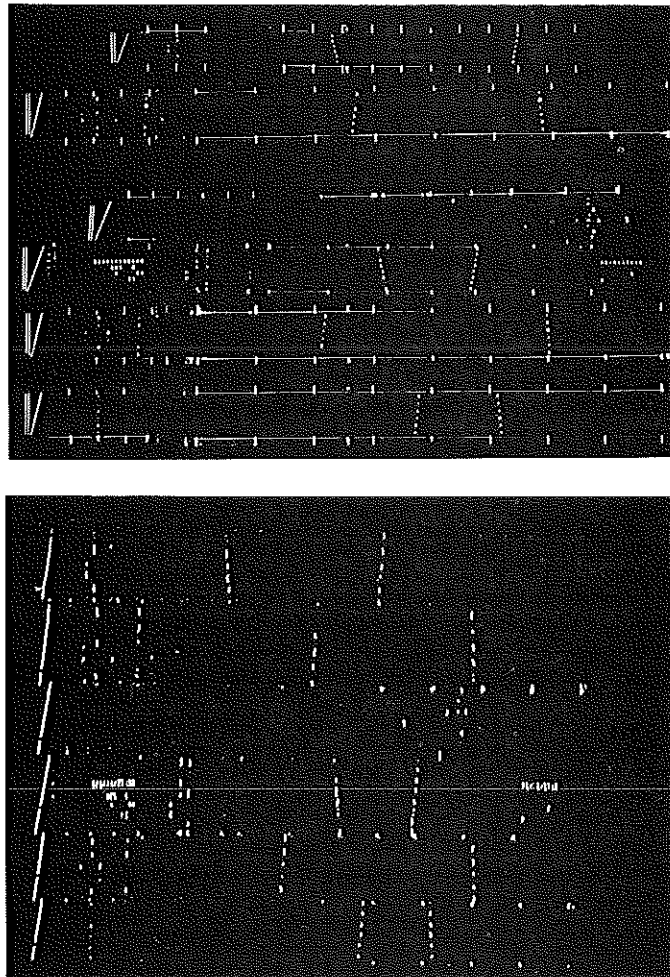


Abb. 8 Funkenkammerbild (a) und seine Reproduktion aus den gemessenen Koordinaten (b)



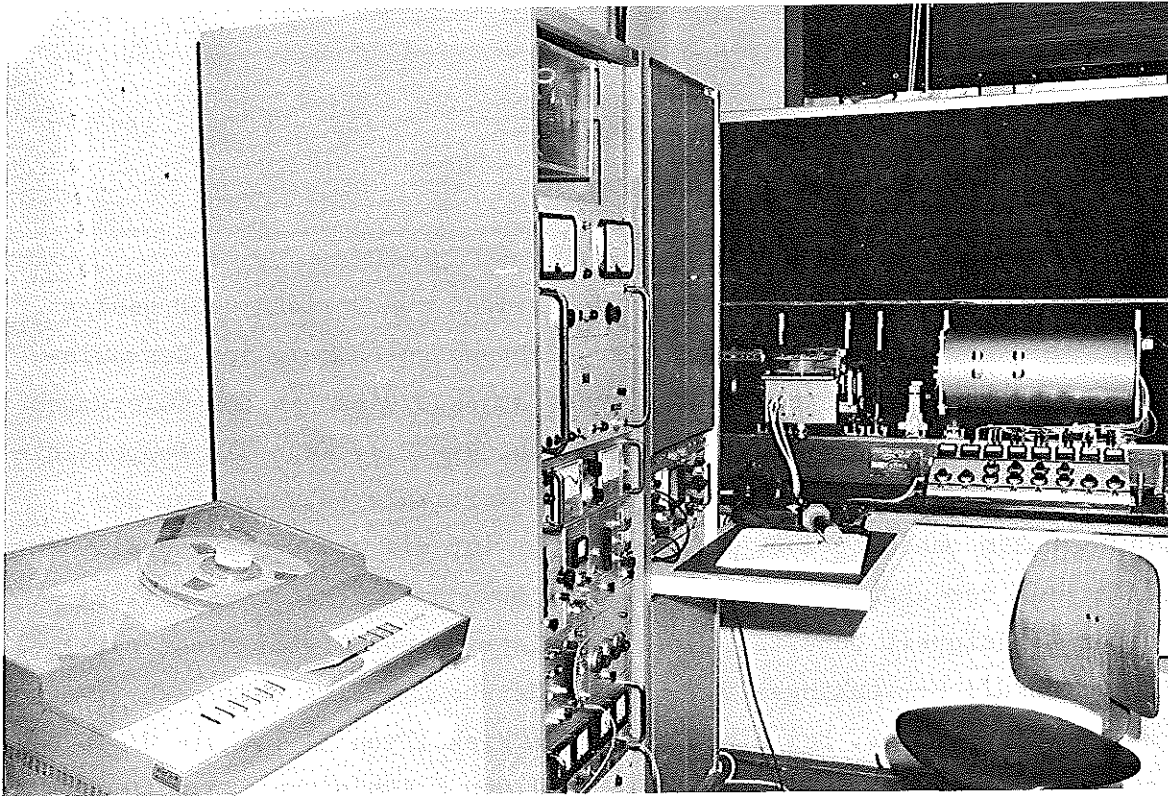


Abb. 9 Gesamtansicht der Apparatur

#### 4.5. Mechanischer Aufbau

Eine Gesamtansicht der Apparatur zeigt Abb. 9. Kathodenstrahlröhre, Objektiv, Filmtransportsystem und Photomultiplier sind auf einer optischen Bank montiert, die auf einem Abschirmstein von 1,3 t erschütterungsfrei gelagert ist. Die genannten Teile sind auf Reitern befestigt, die horizontal und vertikal justierbar sind. Als Objektiv dienen zwei Zeiss-S-Planar 74 mm, die Photomultiplier sind vom Typ Valvo 53 AVP. Das Filmtransportsystem ist eine Eigenkonstruktion. Der Filmvorschub erfolgt durch einen Schrittmotor. Die Bildstandsgenauigkeit ist  $\pm 0,5$  mm, ein Transport dauert 1,0 sec. Die Elektronik ist in zwei Schränken untergebracht. Einer enthält die Spannungsversorgungs- und Steuereinheiten für den Abtastgenerator. Im zweiten befindet sich die Datenelektronik, deren schneller Teil (Digitalisie-

rung) unter Verwendung von integrierten Fairschild-Bausteinen gebaut wurde, während der langsame Teil (Datenspeicherung und Kontrollbild) aus Bausteinen der Digital Equipment Corporation besteht.

## 5. Meßeigenschaften

### 5.1 Genauigkeit

Da eine feste räumliche Zuordnung des Bildes zum Strichgitter besteht, ist die Genauigkeit in horizontaler Richtung unabhängig von Geschwindigkeitsschwankungen des Lichtpunktes, solange diese in den Toleranzen für die Frequenzverdopplung liegen (siehe 4.2.2.). Wenn die Doppellinie parallel zu den Strichgittern ist, sind vertikale Schwankungen des Lichtpunktes ohne Einfluß. In diesem Fall ist die gemessene Koordinate immer mit dem systematischen Auf- oder Abrundungsfehler von maximal einer Zählleinheit behaftet. Sind Doppelstrich und Gitter nicht parallel, so rufen die Schwankungen von  $\pm 25 \mu$  (Netzbrumm) eine Unsicherheit des Nullpunktes hervor. Bei einem typischen Winkel von  $3^\circ$  ist die Wahrscheinlichkeit für Meßfehler zwischen 1 und 2 Zählleinheiten  $\leq 10\%$ . Größere Fehler werden nicht beobachtet. Abb. 10 zeigt als Beispiel die Verteilung der gemessenen X-Koordinaten einer Eichmarke auf 100 verschiedenen Bildern.

Die Genauigkeit in der vertikalen Richtung hängt einmal von der Schwankung des Lichtpunktes in dieser Richtung während einer Zeile ab. Zum anderen ist sie durch den Schrägstrich mit der Genauigkeit in der horizontalen Richtung verknüpft. Für eine Neigung des Schrägstriches von  $13^\circ$ , wie sie bei den gemessenen Bildern vorlag, ergibt sich eine mittlere quadratische Abweichung von  $36 \mu$ . Abb. 11 zeigt als Beispiel die Verteilung der Z-Koordinaten von Funken in einem X-Intervall einer Kammer über 100 Bilder. (Platten und Plattenzwischenräume  $180 \mu$ ).



KAMMER NR. 4

TEIL NR. 1  
ANZAHL DER ABTASTUNGEN=100  
ANZAHL DER HITS

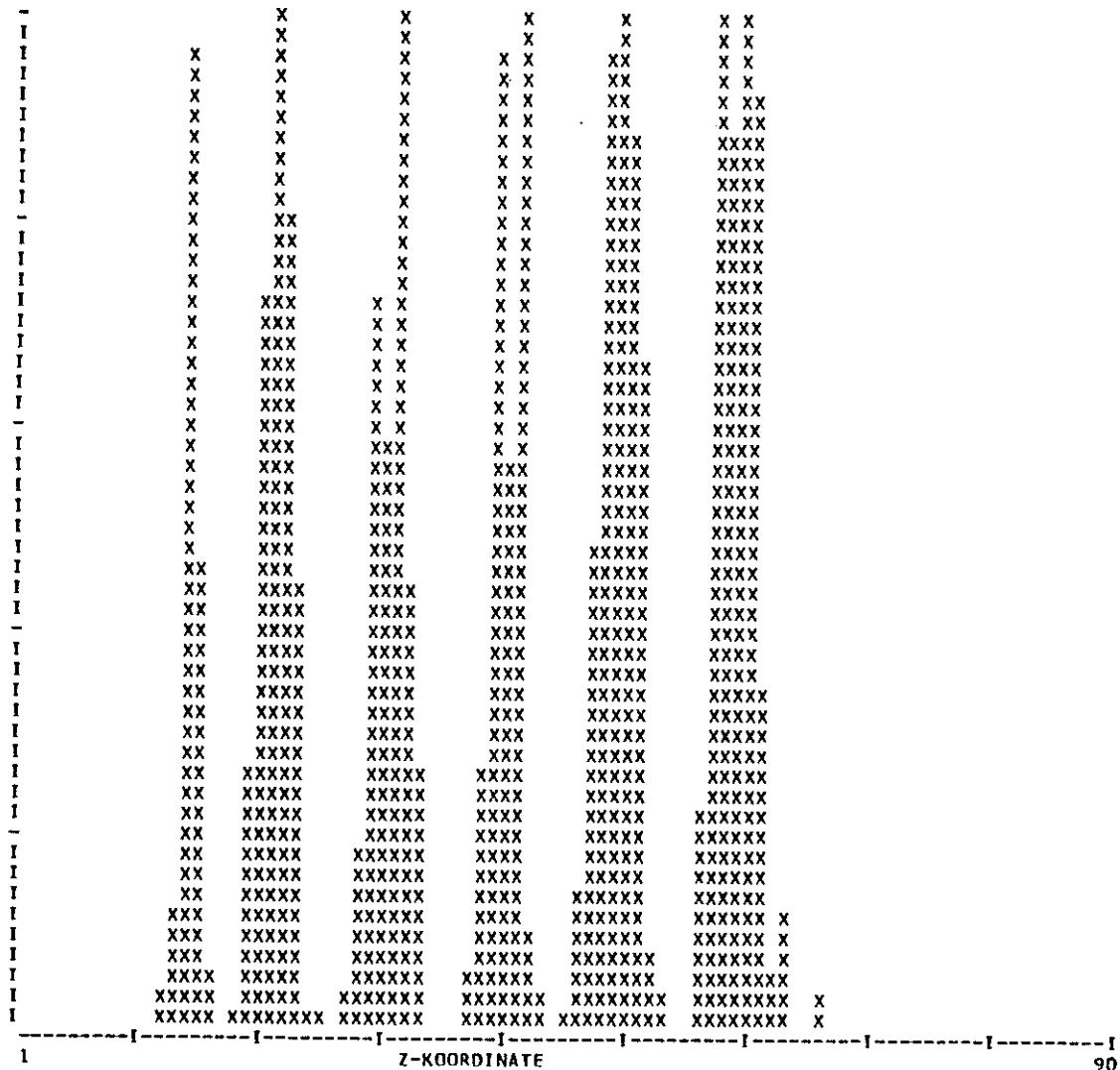


Abb. 11 Verteilung der Z-Koordinaten von Funken in einem Intervall einer einzelnen Kammer

Abweichung der x-Koordinate vom Mittelwert (mp)

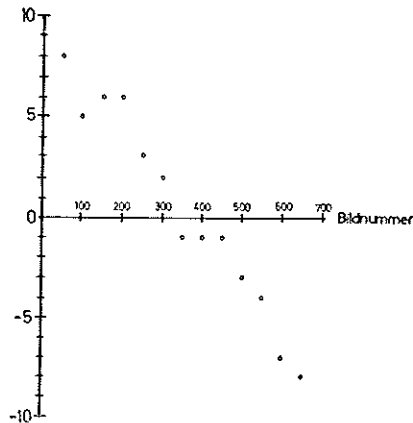


Abb. 12 Abweichung einer über jeweils 50 Bilder gemittelten Eichmarkenkoordinate vom Mittelwert über den ganzen Film

Letzte Eichmarke in Kammer 2, Film 29

DIAGRAMM NR. 1

GENAUIGKEITSTEST DES D-MAC-MESSTISCHES  
EINE SPUR WURDE VON 15 VERSCHIEDENEN SCANNERN GEMESSEN

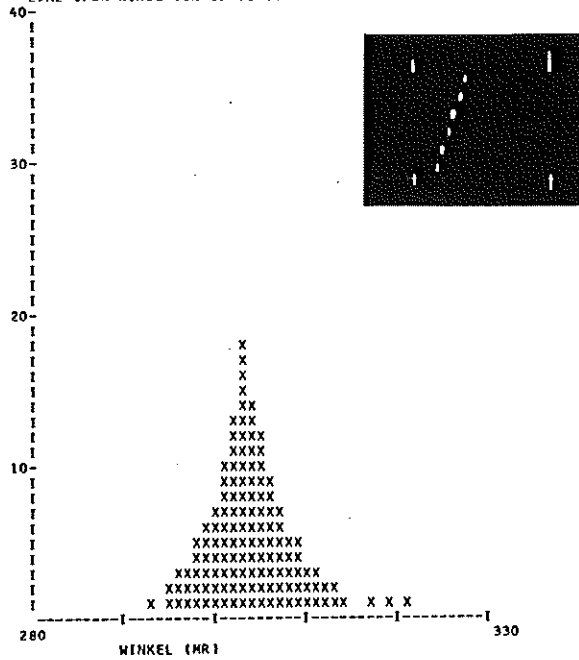


DIAGRAMM NR. 3

TEST DER AUTOMATISCHEN MESSANLAGE  
EINE SPUR WURDE 100 MAL GEMESSEN

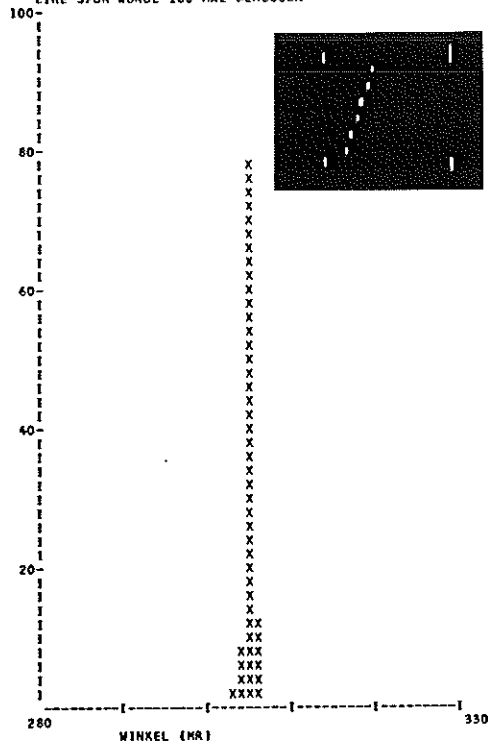


Abb. 13 Verteilung der gemessenen Steigungen einer Spur in einer einzelnen Kammer bei Handmessung mit einem d-mac-Meßtisch (a) und bei automatischer Messung (b)

### 5.2. Auflösung benachbarter Funken

Die Auflösung benachbarter Funken ist durch die Zykluszeit des Kernspeichers, die 6 Zählseinheiten entspricht, begrenzt. Das bedeutet, daß von Doppelfunken, deren Mitten näher als  $60 \mu$  aneinander sind, nur der erste registriert wird, obwohl sie von der Digitalisierungseinheit noch aufgelöst werden. Abb. 14 zeigt ein Beispiel für die Auflösung nahe benachbarter Funken.

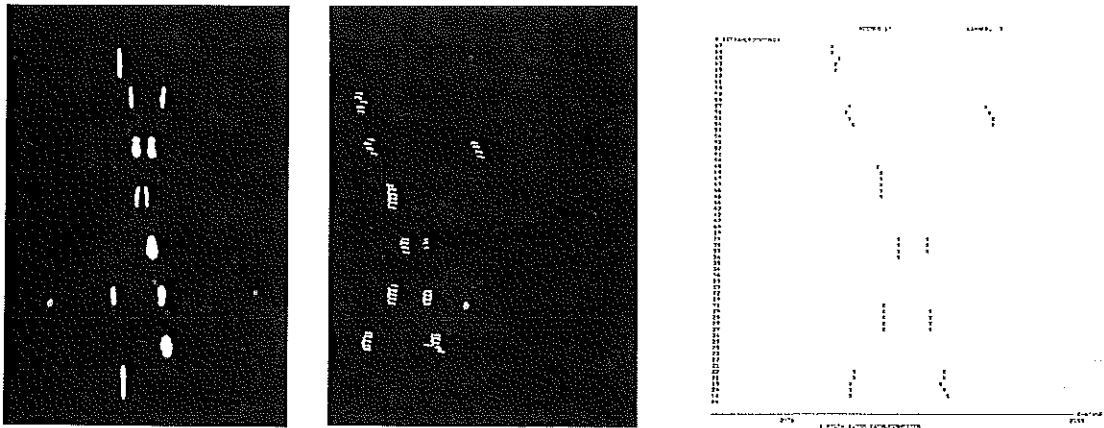


Abb. 14 Kreuzung zweier Spuren auf dem Bild (a), auf dem Kontrollbildschirm (b) und als Rechenmaschinenausdruck (c)

### 5.3. Korrekturen

Der von der Meßanlage gelieferte Satz von Koordinaten ist durch Abbildungsfehler verfälscht, die einerseits von der Aufnahmeoptik, andererseits von der Optik der Meßanlage herrühren. Verzerrungen in horizontaler Richtung werden eliminiert, indem aus jeweils 50 Bildern für die Seiten- und Hauptansicht der Kammern aus den Eichmarkenmeßwerten ein Korrekturpolynom erzeugt wird.

Verzerrungen in der vertikalen Richtung brauchten bei den gemessenen Bildern nicht berücksichtigt zu werden.

Da die Kammern im allgemeinen nicht alle parallel sind, werden sie vom Lichtpunkt mit verschiedenen Winkeln überfahren. Diese sind aus den Schrägstrichen nicht mit genügender Genauigkeit zu ermitteln. Deshalb wird für verschiedene Teile der jeweiligen Kammer die Anzahl der Funken über der Z-Koordinate (wie Abb. 12) aufgetragen, um die Zugehörig-

keit der Plattenzwischenräume zu gewissen Z-Koordinaten zu bekommen. Diese Prozedur wird für jeden Film wiederholt und gegebenenfalls der Korrekturdatensatz geändert.

## 6. Betrieb

Die Apparatur ist so ausgelegt, daß sie leicht zu handhaben ist und ein Minimum an Bedienungsknöpfen erfordert (siehe Abb. 15). Zu Beginn

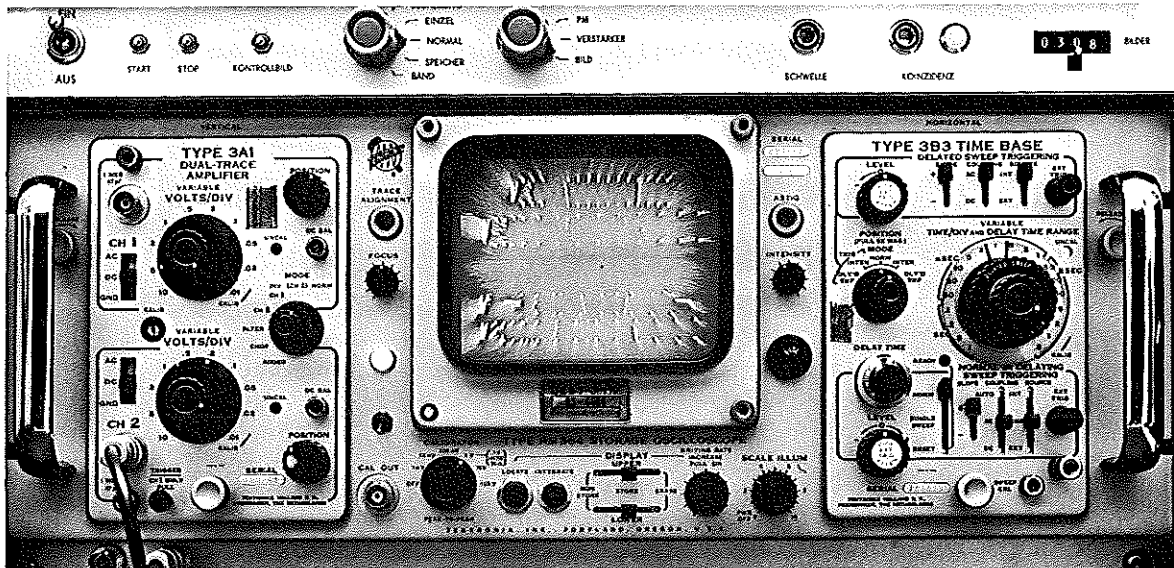


Abb. 15 Bedienungsfeld der Apparatur

der Messung eines Films wird das erste Bild in die richtige Position gebracht. Der Lichtpunkt wird so justiert, daß die Ausgangsspannung des Gitter-Photomultipliers maximale Modulationstiefe zeigt. Anhand des synchron auf dem Speicheroszillografen erscheinenden Monitorbildes werden Verstärkerschwelle für die Signale des Funken-Photomultipliers und Lichtintensität eingestellt. Zum abschließenden Test werden die auf Band gespeicherten Daten zu einem Kontrollbild reproduziert. Durch Dehnung der Zeitskala des Oszillografen können digitale Fehler bis zu zwei Zählheiten festgestellt werden. Während der Meßzeit eines Films (ca. 1 1/2 Stunden) zeigen sich keine meßbaren Schwankungen der Parameter.

Die mechanische Justierung muß nur in Abständen von Wochen geprüft werden. Gleichzeitig wird dann getestet, ob die Kissenverzerrung noch hinreichend kompensiert ist und ob die Schwankungen während einer Zeile das erlaubte Maß überschreiten. Dies geschieht durch Abtasten eines  $80\ \mu$  Strichgitters parallel zur Richtung des Lichtpunktes und Prüfung des Monitorbildes (siehe Abb. 16).

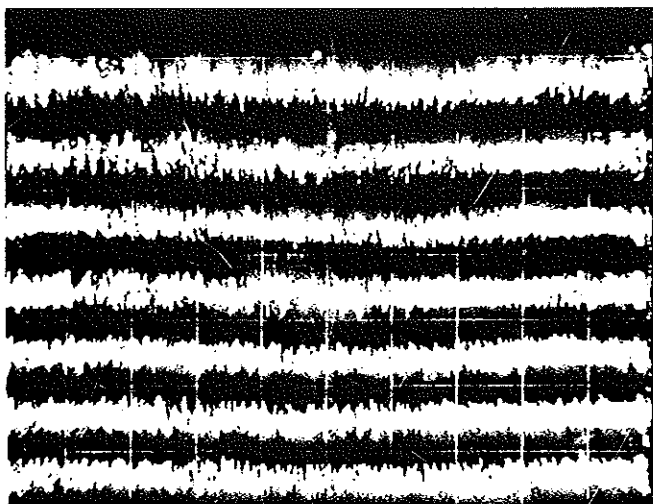


Abb. 16 Monitorbild eines  $80\text{-}\mu$ -Strichgitters

Wir sind Herrn Professor Stähelin für die Anregung und Unterstützung dieser Arbeit zu Dank verpflichtet. Den Herren H. Anders und D. Wiskott (CERN) danken wir für wertvolle Hinweise im Planungsstadium sowie Herrn Professor J. H. Smith (Urbana, Illinois) für zahlreiche Anregungen und Diskussionen.

Unser Dank gilt auch den Herren W. Ebenritter und K. Schmidt für ihren Einsatz beim Bau und Test der Apparatur.



Tabelle der Spezifikationen

=====

<u>Meßgenauigkeit</u>	(bezogen auf ein Bild von 24 x 36 mm)
horizontal	+ 10 $\mu$ (90 % der Meßpunkte) + 20 $\mu$ (10 % der Meßpunkte)
vertikal	+ 36 $\mu$ mittlere quadratische Abweichung

Auflösung für Doppelfunken 60  $\mu$

Meßzeit 8 sec /Bild

Abtastgenerator

Lichtpunktgröße	30 $\mu$ (= 20 $\mu$ auf dem Bild)
Rastergröße	36 x 54 mm (= 24 x 36 auf dem Bild)
Zeit/Zeile	10 ms
Rücklaufzeit	4 ms
Anzahl der Zeilen	512

Digitalisierung

Zähleinheiten/Zeile	3.600
Kernspeicherkapazität	1.024 Worte zu 12 Bit = 1.024 Koordinaten
Zeit der Entleerung des Speichers auf Band	100 ms
Bandverbrauch/Bild	8,4 cm

Filmtransportsystem

Bildstandsgenauigkeit	+ 0,5 mm
Zeit/Bild	1,0 sec

Literatur

- 1) P.M. Blackall, G. R. McLeod, P. Zanella, Purdue Conference on Instrumentation for High Energy Physics, IEEE Transactions on Nuclear Science 12, 52, 1965
- 2) M. Deutsch, Purdue Conference on Instrumentation for High Energy Physics, IEEE Transactions on Nuclear Science 12, 69, 1965
- 3) H. Anders, T. Lingjaerde, D. Wiskott, International Symposium on Nuclear Electronics, Paris 1963, Vienna A.I.E.A., 1964
- 4) M. Arm, D. Brown, A. Jacobson, Proceedings of the Conference on Programming for Flying Spot Devices, Paris 1963, CERN-Report 63-64, 161, 1963
- 5) R. J. Royston, Purdue Conference on Instrumentation for High Energy Physics, IEEE Transactions on Nuclear Science 12, 102, 1965
- 6) M. Goldwasser, J. C. Millau, J. Mullie, Purdue Conference on Instrumentation for High Energy Physics, IEEE Transactions on Nuclear Science 12, 73, 1965

Abbildungsverzeichnis

=====

- Abb. 1      Funkenkammerbild des Experimentes  $\gamma + p \rightarrow p + \rho^0$
- Abb. 2      Blockschaltbild der Meßanlage
- Abb. 3      Interpretation der Meßwerte
- Abb. 4      Gittersignale  
            a) am Multipliaerausgang  
            b) nach der Resonanzstufe  
            c) nach der Pulsformung
- Abb. 5      Blockschaltbild der Digitalisierungseinheit
- Abb. 6      Blockschaltbild des Magnetbandadapters
- Abb. 7      Blockschaltbild der Kontrollbildeinheit
- Abb. 8      Funkenkammerbild (a) und seine Reproduktion  
            aus den gemessenen Koordinaten (b)
- Abb. 9      Gesamtansicht der Apparatur
- Abb.10     Verteilung der gemessenen X-Koordinaten  
            einer Eichmarke über 100 Bilder
- Abb.11     Verteilung der Z-Koordinaten von Funken in  
            einem Intervall einer einzelnen Kammer
- Abb.12     Abweichung einer über jeweils 50 Bilder  
            gemittelten Eichmarkenkoordinate vom  
            Mittelwert über den ganzen Film
- Abb.13     Verteilung der gemessenen Steigungen einer  
            Spur in einer einzelnen Kammer bei Handmessung  
            mit einem d-mac-Meßtisch (a) und bei automa-  
            tischer Messung (b)
- Abb.14     Kreuzung zweier Spuren auf dem Bild (a), auf dem  
            Kontrollbildschirm (b) und als Rechenmaschinen-  
            ausdruck (c)
- Abb.15     Bedienungsfeld der Apparatur
- Abb.16     Monitorbild eines 80- $\mu$ -Strichgitters

