

**KERNFORSCHUNGSZENTRUM
KARLSRUHE**

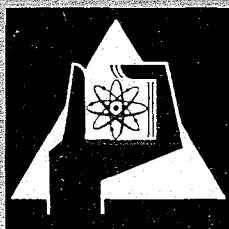
Februar 1967

KFK 552

Institut für Experimentelle Kernphysik

Ein Kathodenstrahlrohr als schneller Vielfachschalter mit
hohem Eingangswiderstand

K. Weigele



GESELLSCHAFT FÜR KERNFORSCHUNG M. B. H.
KARLSRUHE



KERNFORSCHUNGSZENTRUM KARLSRUHE

Februar 1967

KFK 552

Institut für Experimentelle Kernphysik

Ein Kathodenstrahlrohr als schneller Vielfachschalter mit
hohem Eingangswiderstand

Klaus Weigele

Gesellschaft für Kernforschung m.b.H.
Karlsruhe

A b s t r a c t

A multiple 'switch' has been developed, by means of which numerous high impedance sources (e.g. capacitances) can be scanned by an electron beam for both positive and negative voltages. The model described in this paper has nine input channels having input impedances between 10^{11} and 10^{12} Ohms if the switch is 'off'. Scanning of each channel takes about 100 μ s. Positive voltages up to 10 V and higher and negative voltages up to about -2V can be transferred linearly. Several improvements are discussed.

I n h a l t s v e r z e i c h n i s

1. Einleitung
 2. Konstruktion und Herstellung
 3. Elektrische Eigenschaften, Messungen
 4. Diskussion
 5. A n h a n g
- Literaturhinweise
Abbildungen

1. E i n l e i t u n g

In der Kern- und Hochenergiephysik wird die Verarbeitung der Meßdaten zu einem immer schwierigeren Problem. Experimente mit hundert oder mehr Detektoren sind keine Seltenheit mehr. Besonders aufwendig wird die Datenverarbeitung dann, wenn die Informationen als Analogsignale geliefert werden, z.B. von Proportionalzählrohren (1) oder von Funkenkammern im Proportionalbereich. In diesem Fall muß für jedes Zählrohr bzw. jeden Funkenkammerdraht ein eigener Verstärker und ein Analogspeicher vorgesehen werden, der den Impuls bis zu seiner Weiterverarbeitung aufnimmt. Dieser Aufwand läßt sich vermeiden, wenn man als Speicher nicht irgendeine elektronische Anordnung, sondern die Detektorkapazität selbst benutzt. Das Abfragen eines solchen elektrostatischen Speichers nach Spannungen von bestenfalls einigen Zehntel Volt stellt jedoch außergewöhnliche Anforderungen an den abfragenden 'Schalter'. In geöffnetem Zustand muß - je nach der erforderlichen Speicherzeit - sein Eingangswiderstand sehr hoch sein, das Öffnen und Schließen des Schalters muß möglichst schnell vor sich gehen, und die Schaltersteuerung darf in der Meßleitung keine störenden Impulse erzeugen. Da sich diese Forderungen mit mechanischen, elektrischen oder photoelektrischen Schaltern nicht erfüllen lassen, haben wir einen Vorschlag von Budal (2) aufgegriffen und einen 'Schalter' entwickelt, der nach einem anderen Prinzip arbeitet. Seine Wirkungsweise soll anhand der Abb. 1 erläutert werden. Die Mäntel der drei Zählrohre Z_1 , Z_2 , Z_3 sind über einen gemeinsamen Arbeitswiderstand R mit dem negativen Pol der Hochspannung verbunden. Die Zählröhre tragen an ihrem Ende Platten aus einem Material hoher Sekundärelektronenausbeute, sog. Dynoden. Diese Dynoden werden der Reihe nach von einem periodisch abgelenkten Elektronenstrahl getroffen und nehmen infolgedessen ungefähr das Potential des Gitters g an. Solange dieses Gleichgewichtspotential nicht gestört wird, verlassen genau soviel Elektronen die Dynoden, wie durch den Strahl zugeführt werden, d. h. über die Zählrohrkapazität und den Arbeitswiderstand R fließt kein Strom. Ändert sich jedoch

das Potential dadurch, daß in einem der Zählrohre eine Entladung stattgefunden und die zugehörige Dynode negativ aufgeladen hat, so wird der Elektronenstrahl beim nächsten Durchgang die aufgebrachte Ladung in Form von Sekundärelektronen abführen und das Gleichgewichtspotential wiederherstellen. Das bewirkt einen Stromfluß im Zählrohrkreis, und am Widerstand R entsteht ein Spannungsimpuls, dessen Höhe der Potentialänderung der Dynode proportional ist.

Natürlich kann der in dieser Arbeit beschriebene 'Schalter' nicht nur zum Abfragen von Proportionalzählrohren oder Funkenkammern im Proportionalbereich benutzt werden, sondern kann überall dort Verwendung finden, wo von vielen sehr hochohmigen Quellen relativ kleine positive oder negative Signale abgenommen werden sollen, die der Quellspannung proportional sind.

2. Konstruktion und Herstellung

Da ein Schalter ein möglichst handliches Gerät sein sollte, wurde das Kathodenstrahlrohr als statisches, abgeschlossenes System konzipiert. Abb. 2 zeigt das Rohr in schematischer Darstellung. Der linke Teil, der die Systeme zur Ablenkung und Fokussierung des Elektronenstrahls enthält, ist eine Oszillographenröhre vom Typ DG7 - 74 A der Firma Telefunken und weist keine Besonderheiten auf. Der rechte Teil enthält dort, wo sich normalerweise der Leuchtschirm befindet, das Sekundäremissionssystem. Vom Aufbau und den Eigenschaften dieses Systems hängt es entscheidend ab, ob das Rohr zufriedenstellend arbeitet oder nicht, und es soll deshalb anhand der Abb. 3 etwas ausführlicher beschrieben werden.

Der das Sekundäremissionssystem tragende Teller ist in Sinterglastechnik (3) ausgeführt. Grobkörniges Pulver aus Normalglas 16 III (Schott und Gen. Mainz) wurde in einer mittels Hochfrequenz auf 1000°C erhitzten Graphitform unter Schutzgas mit

vorher in Wasserstoff geglühten stabförmigen Metalldurchführungen aus Vacovit 501 (Vacuumsmelze Hanau) verschmolzen. Mit eingeschmolzen wurde ein Raster aus 0,3 mm dickem, ca 2mm breitem Band aus Vacovit 501, das sämtliche Dynodenzuführungen kastenförmig umschließt. Die innen aus dem Glas herausragenden Teile des Rasters und der Dynodenzuführungen wurden abgeschliffen, so daß eine möglichst glatte Oberfläche entstand.

Nachdem mit Glaslot ein Rohrstutzen an den Teller angelötet worden war (in Abb. 3 nicht gezeichnet), wurde die Sekundäremissionsschicht im Vakuum aufgedampft. Der Einfachheit halber wurde Gold verwendet, obwohl seine Sekundärelektronenausbeute nur 1,4 beträgt (4). Eine Goldschicht läßt sich jedoch leicht gleichmäßig aufdampfen, braucht nicht formiert zu werden und kann beliebig lange an Luft lagern. Während des Aufdampfens befand sich ein Gitter aus 0,16 mm dicken Stahldrähten dicht vor der Glasoberfläche, so daß einzelne, voneinander getrennte Felder entstanden: in der Mitte neun quadratische Dynoden, jede $4 \times 4 \text{ mm}^2$ groß, getrennt durch ca 2 mm breite Streifen und umgeben von einem ca 5 mm breiten Streifen. Die Streifen werden durch das eingeschmolzene Raster leitend verbunden und bilden zusammen eine Art Schutzring um jede Dynode. Diese Schutzelektrode ist für ein zufriedenstellendes Arbeiten des Rohres von wesentlicher Bedeutung, wie weiter unten gezeigt werden wird.

Dicht über der Goldschicht befindet sich ein Gitter aus Wolframdraht von $25 \mu \phi$. Der Draht wurde mit 0,5 mm Steigung über einen ca 2 mm dicken Rahmen aus Vernicon (Ni/Cu 45/55) gewickelt; der Abstand der unteren Gitterebene von den Dynoden beträgt ca 0,1 mm. Als Anode dient ein ringförmig gebogener, 0,2 mm dicker und 30 mm breiter Blechstreifen aus Vernicon.

Der Isolationswiderstand der einzelnen Dynoden gegen die Schutzelektrode liegt zwischen $1,5 \cdot 10^{11} \Omega$ und $10^{12} \Omega$. Die Kapazität einer Dynode gegen Gitter und Schutzring zusammen ist sicher kleiner als 4pF.

Der an den Sinterglasteller angelötete Rohrstützen wurde mit dem Kolben der Oszillographenröhre verschmolzen. Dann wurde das Rohr auf 10^{-7} Torr evakuiert und ausgeheizt und anschließend die Kathode formiert. Damit gegebenenfalls das System leichter umgebaut werden konnte, wurde das Rohr nicht abgeschmolzen, sondern an der Pumpe belassen

3. Elektrische Eigenschaften, Messungen

Die im vorigen Abschnitt beschriebene Konstruktion ist das Ergebnis vieler Versuche mit Systemen verschiedener Geometrie und aus verschiedenen Materialien. Das Hauptproblem besteht - neben technologischen Schwierigkeiten - darin, daß bei ungünstiger Systemgeometrie am Arbeitswiderstand R (vgl. Abb. 1 und 4) jedesmal ein Impuls entsteht, wenn der Elektronenstrahl eine Dynode überstreicht, auch ohne daß deren Potential vorher von außen geändert wurde, so daß eine Variation des Dynodenpotentials sich den unerwünschten Störimpulsen nur als geringfügige Modulation überlagert ⁺). Diese Störimpulse entstehen dadurch, daß zwischen zwei Strahldurchgängen langsame Streu- oder Sekundärelektronen die Dynoden negativ aufladen; trifft nun der Strahl eine Dynode, so führt er die überschüssige Ladung in Form von Sekundärelektronen ab und stellt das Gleichgewichtspotential wieder her. Die Sekundärelektronen bilden je nach den herrschenden Feldverhältnissen entweder eine Raumladungswolke, aus der sie allmählich auf die Dynode zurückfallen, oder gelangen auf andere Elektroden, vorzugsweise auf kurz zuvor abgetastete und daher positive Dynoden, eine vom Ikonoskop her bekannte Erscheinung. Es findet also innerhalb des Rohres eine Elektronenwanderung statt. Gemittelt über eine Abtastperiode ist für jede Dynode die Zahl der zufließenden immer gleich der der abfließenden Ladungen, nicht aber innerhalb eines Zeitraums, der klein ist verglichen mit der Zeit,

⁺) Hier liegt der grundsätzliche Unterschied zu der von Jonker und van Gelder beschriebenen 'Wählröhre' (5), mit der solche Impulse offenbar gerade erzeugt werden sollen.

die der Elektronenstrahl zum Abtasten einer Dynode benötigt. Um dies zu erreichen, wurde das im vorigen Abschnitt beschriebene und in Abb. 3 dargestellte Sekundäremissionssystem konstruiert. Das Gitter läßt unmittelbar vor den Dynoden keine Raumladung entstehen, und die Schutzelektrode verhindert, daß streifend austretende Sekundärelektronen auf andere Dynoden gelangen.

Mit diesen Maßnahmen allein können die Störimpulse jedoch nicht völlig unterdrückt werden; es muß noch eine geeignete Strahlführung hinzukommen. Lenkt man den nicht modulierten Elektronenstrahl in üblicher Weise durch eine Sägezahn-Spannung ab, so läßt sich ein Elektronenübergang von der Schutz-
elektrode zu den Dynoden nicht vermeiden. Legt man jedoch eine Treppen-Spannung an die Ablenkplatten, so daß der Elektronenstrahl praktisch nur die Mitten der Dynoden trifft, so wird dieser Ladungsaustausch unmöglich gemacht, und die Störimpulse sind verschwunden.

Zur Messung der elektrischen Eigenschaften des Rohres diente die in Abb. 4 dargestellte Schaltung. Die Zählrohre von Abb. 1 wurden durch die Kapazitäten C ersetzt. Über die $100\text{ M}\Omega$ - Widerstände konnte von außen eine Spannung an die Dynoden gelegt werden. Zur Messung der Dynodenspannungen diente ein Quadrantelektrometer. Das Potential der Schutz-
elektrode s war regelbar und wurde so eingestellt, daß die Störimpulse verschwanden bzw. möglichst klein wurden. Die am Widerstand R entstehenden Impulse wurden mit einem Oszillographen beobachtet. Bei der in Abb. 5 wiedergegebenen Schirmbildaufnahme wurde der Elektronenstrahl mit Hilfe einer Treppenspannung (obere Bildhälfte) nacheinander auf die Dynoden d_4 , d_5 und d_6 gelenkt und die am Arbeitswiderstand R entstehenden Impulse aufgezeichnet (untere Bildhälfte). Das Potential der Schutz-
elektrode s wurde so eingestellt, daß an Dynode d_6 kein Impuls auftrat, wenn nicht - wie in Bild 5 - von außen eine Spannung angelegt war. Daß an den Dynoden d_4 und d_5 kleine Störimpulse auftraten, beruht nicht etwa auf einer gegenseitigen Beeinflussung der Dynoden - an d_6 konnte kein Impuls beobachtet werden, wenn an die übrigen Dynoden eine Spannung gelegt war - ,

sondern hat seinen Grund darin, daß die Oberflächenbeschaffenheit und der Gitterabstand nicht bei allen Dynoden genau gleich war ⁺); infolgedessen ließ sich eine exakte Kompensation nur für eine Dynode - hier d_6 - erreichen. Dazu mußte die Schutz-
elektrode auf +2V gebracht werden; die Dynode d_6 stellte sich auf ein Gleichgewichtspotential von + 2,4 V ein. Eine Änderung dieses Potentials um $\Delta U \approx - 1V$ erzeugte am Arbeitswiderstand $R = 220 \text{ K}\Omega$ einen Impuls von 80 mV Höhe (Abb. 5 rechts unten); seine Form gibt den Stromverlauf durch die Dynode wieder.

Die Impulshöhe oder anders ausgedrückt, die Empfindlichkeit des Rohres hängt kaum von der Strahlstromstärke ab, jedoch stark von der Systemgeometrie. Dies zeigt ein Vergleich mit den in Abb. 6 dargestellten Messungen an einem Rohr mit ungünstiger Systemkonstruktion. Statt 80 mV/V beträgt hier die Empfindlichkeit bei gleichem Arbeitswiderstand $R = 220 \text{ K}\Omega$ nur ca 20mV/V ziemlich unabhängig davon, welcher Strahlstrom eingestellt war. Der Strahlstrom hat hingegen, wie man ebenfalls Abb. 6 entnehmen kann, beträchtlichen Einfluß auf die Größe des Bereiches, in dem ein linearer Zusammenhang zwischen Dynodenpotential und Impulshöhe besteht. Dieser Bereich hat dort seine Grenze, wo der über die Dynode fließende Impulsstrom nicht mehr durch das Dynodenpotential bestimmt, sondern durch Sättigung begrenzt wird. Bei negativen Dynodenspannungsänderungen ist hierfür nicht der Strahlstrom I allein maßgebend, sondern das Produkt $I(\delta - 1)$; δ ist die Sekundärelektronenausbeute. Da bei allen unseren Messungen $\delta < 2$ war, war der lineare Bereich für positive Dynodenspannungsänderungen stets größer als für negative, ein Effekt, der durch die Form der Energieverteilung der Sekundärelektronen noch unterstützt wird (6).

⁺) Ein unter Schutzgas geschmolzener Glasteller enthält viele kleine Gasbläschen, so daß sich seine Oberflächengüte durch Schleifen und Polieren nicht verbessern läßt. Abhilfe schafft, Schmelzen im Vakuum.

4. Diskussion

Zum Schluß sollen einige Verbesserungsmöglichkeiten diskutiert werden. Wünschenswert erscheint eine Erweiterung des Meßbereichs sowohl zu größeren - vor allem zu größeren negativen - als auch zu kleineren Spannungen bzw. Ladungen hin. Zur Verarbeitung größerer Spannungen muß der Strahlstrom oder - bei negativen Spannungen - die Sekundärelektronenausbeute erhöht werden. Um kleine Spannungen noch genau messen zu können, müssen die Störimpulse an allen Dynoden gleichzeitig unterdrückt werden. Das läßt sich erreichen, wenn man für alle Dynoden die gleichen geometrischen und elektrischen Bedingungen schafft, d.h. glatte Dynodenflächen (vgl. Fußnote S. 9) und ein feinmaschiges Gitter.

Durch ein feinmaschiges Gitter mit nur einer Ebene kann man auch die Abfragegeschwindigkeit erhöhen. Der langsame Impulsabfall (Abb. 5 rechts unten) läßt sich dadurch erklären, daß die zu Beginn des Impulses von der Dynode emittierten Sekundärelektronen zwischen den beiden Gitterebenen kurzzeitig eine lokale Raumladung aufbauen, welche die nachfolgenden behindert. Diese Erklärung wird bestätigt durch Versuche, bei denen der Elektronenstrahl mit einer Sinus-Spannung von 1 MHz moduliert war. Sie wurden an dem bei Abb. 6 beschriebenen System durchgeführt; dabei waren die Spannungen ($U_a = 0$, $U_s = -23$ V, U_d stellte sich auf einen Zwischenwert ein) so gewählt, daß in der Nähe der Dynoden keine feldfreien Räume vorhanden waren. Am auf $10\text{ K}\Omega$ verkleinerten Arbeitswiderstand entstanden Impulse, die ein genaues Abbild der den Strahl modulierenden Halbwellen waren, d.h. mit Anstiegs- und Abfallzeiten von ca $0,2\ \mu\text{s}$.

Mit der Abfrage-Geschwindigkeit nimmt auch die Empfindlichkeit zu; da die gleiche Ladung in kürzerer Zeit transportiert wird, entstehen am Arbeitswiderstand höhere Impulse.

Die Zahl der Dynoden ist im Prinzip nur durch die äußeren Abmessungen des Rohres und die Größe des Elektronenstrahl-Brennflecks bestimmt. Gibt man beispielsweise jeder Dynode eine

Fläche von $2 \times 2 \text{ mm}^2$ und macht die Streifen dazwischen, welche die Schutzelektrode bilden, ca 2 mm breit wie bei dem hier beschriebenen Modell, so lassen sich auf einer Fläche von $100 \times 100 \text{ mm}^2$ ca 600 Dynoden unterbringen.

Literatur

- (1) H.-M. Staudenmaier, KFK 345, Kernforschungszentrum Karlsruhe (1965)
- (2) K. Budal, Nucl Instr and Meth. 23, 132 (1963) and
K. Budal, Arkiv for det Fysiske Seminar i Trondheim
No 9 (1963)
- (3) W. Espe, Werkstoffkunde der Hochvakuumtechnik, VEB Deutscher
Verlag der Wissenschaften, Berlin 1962, Band II S 406 ff
- (4) R. Kollath in Hdb d Phys. Bd. XXI , S 266 ff, Springer-Verl.
Berlin-Göttingen-Heidelberg 1956
- (5) J.L.H Jonker und Z. van Gelder, Philips' techn. Rdsch. 13,
82 (1951)
- (6) R. Kollath in Hdb. d. Physik Bd. XXI, S 241 f (1956)

Abbildungen

- Abb. 1 Wirkungsweise des "Schalters", demonstriert an einem Beispiel: mit Hilfe des Elektronenstrahles werden nacheinander drei Zählrohre abgefragt, ob eine Entladung stattgefunden hat oder nicht.
- Abb. 2 Kathodenstrahlrohr mit Sekundäremissionssystem in schematischer Darstellung
- Abb. 3 Sekundäremissionssystem im Schnitt (oben) und in Aufsicht (unten). In der Mitte des Tellers befinden sich die neun Dynoden d_1-d_9 , eingerahmt und voneinander getrennt durch die Schutzelektrode s . Dicht darüber liegt das Gitter g (die Gitterdrähte sind nicht gezeichnet). Als Anode dient ein zylinderförmig gebogener Blechstreifen.
- Abb. 4 Schaltung zur Messung der elektrischen Eigenschaften des Rohres
- Abb. 5 Obere Bildhälfte: Horizontal-Ablenkspannung an einer der Platten p_s des Rohres; die Stufen schalten den Elektronenstrahl weiter zur nächsten Dynode. Wiederhol-
frequenz der gesamten Treppe 50 Hz.
Untere Bildhälfte: Spannung am Arbeitswiderstand R . Der Elektronenstrahl ($I_K \approx 200 \mu A$, vgl. Text zu Abb. 6) trifft nacheinander die Dynoden d_4 , d_5 und d_6 . Dynode d_6 befindet sich nicht auf ihrem Gleichgewichtspotential von 2,4 V, sondern bei 1,4 V. Diese Spannungsänderung von $\Delta U \approx -1V$ läßt am Arbeitswiderstand $R = 220 K\Omega$ einen Impuls von 80 mV Höhe entstehen wenn der Strahl auf die Dynode d_6 geschaltet wird. Anstiegs- und Abfallzeit des Impulses werden durch die Geometrie und Feldverhältnisse des Sekundäremissionssystems bestimmt.
- Abb. 6 Messungen an einem Rohr mit ungünstiger Systemkonstruktion. Dargestellt ist die Impulshöhe am Arbeitswiderstand $R = 220 K\Omega$ in Abhängigkeit von der Dynodenspannung U_d . Die Kreise markieren das "mittlere" Gleichgewichtspotential. (Sie müssen bei einem Rohr mit guter Systemgeometrie alle die Ordinate 0 haben.) Parameter der Kurvenschar sind Ablenkgeschwindigkeit und Kathodenstrom. 100 μA Kathodenstrom entsprechen ca 18 μA Strahlstrom. Der Elektronenstrahl wurde mit einem Sägezahn abgelenkt, Wiederhol-
frequenz 50 Hz.
Das Sekundäremissionssystem war folgendermaßen aufgebaut: Über die Dynoden, neun schachbrettartig angeordnete Zylinder aus CuBe, war als Schutzelektrode s eine neunfach gelochte Scheibe geschoben, so daß die

Stirnflächen der Zylinder mit der Vorderseite der Schutz-
elektrode in einer Ebene lagen. Davor befand sich die
Anode a, ebenfalls eine gelochte Scheibe, jedoch mit
kleineren Bohrungen, so daß der Elektronenstrahl nur
die Stirnflächen der Dynoden treffen konnte. Ein Gitter
war nicht vorhanden. Die Schutzelektrode war bei allen
Messungen geerdet. Bei $I_K = 105 \mu\text{A}$ betrug die Anoden-
spannung $U_a = - 10,6 \text{ V}$.

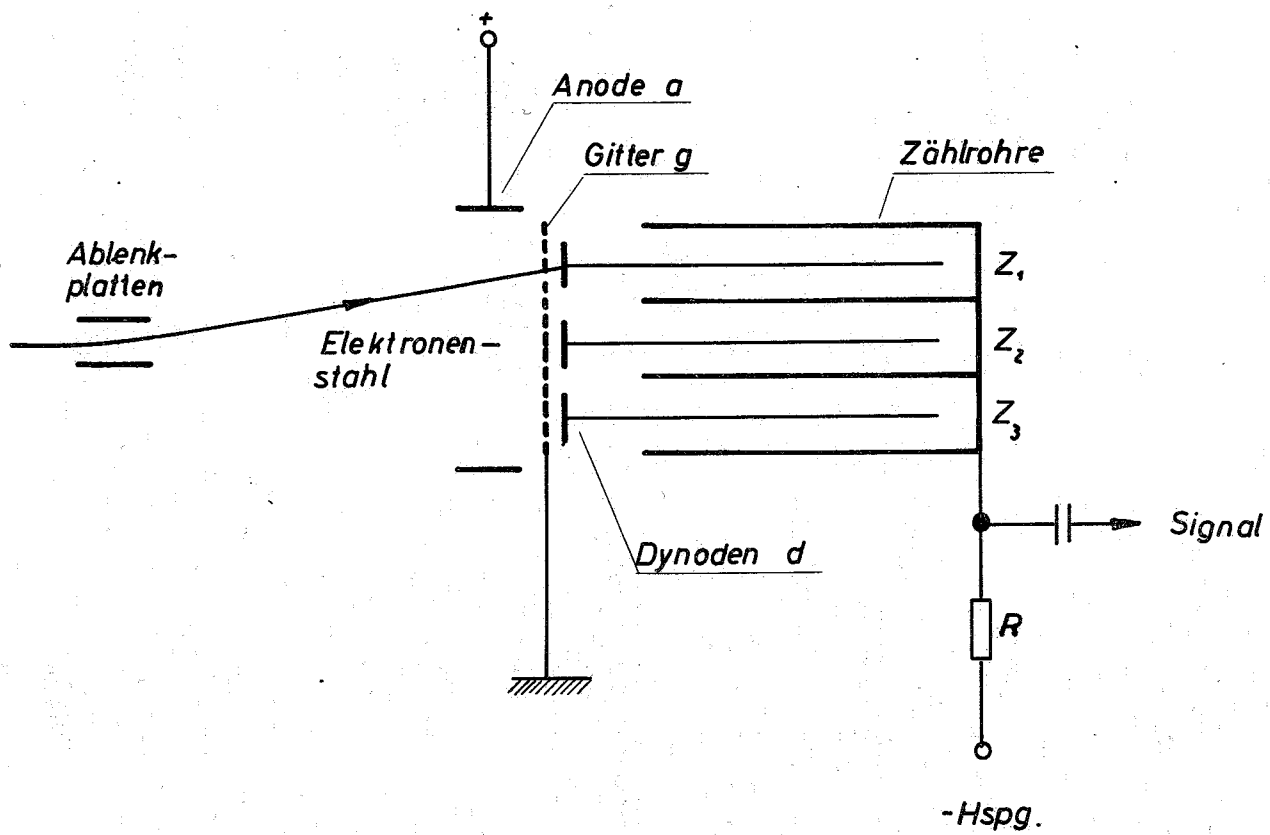
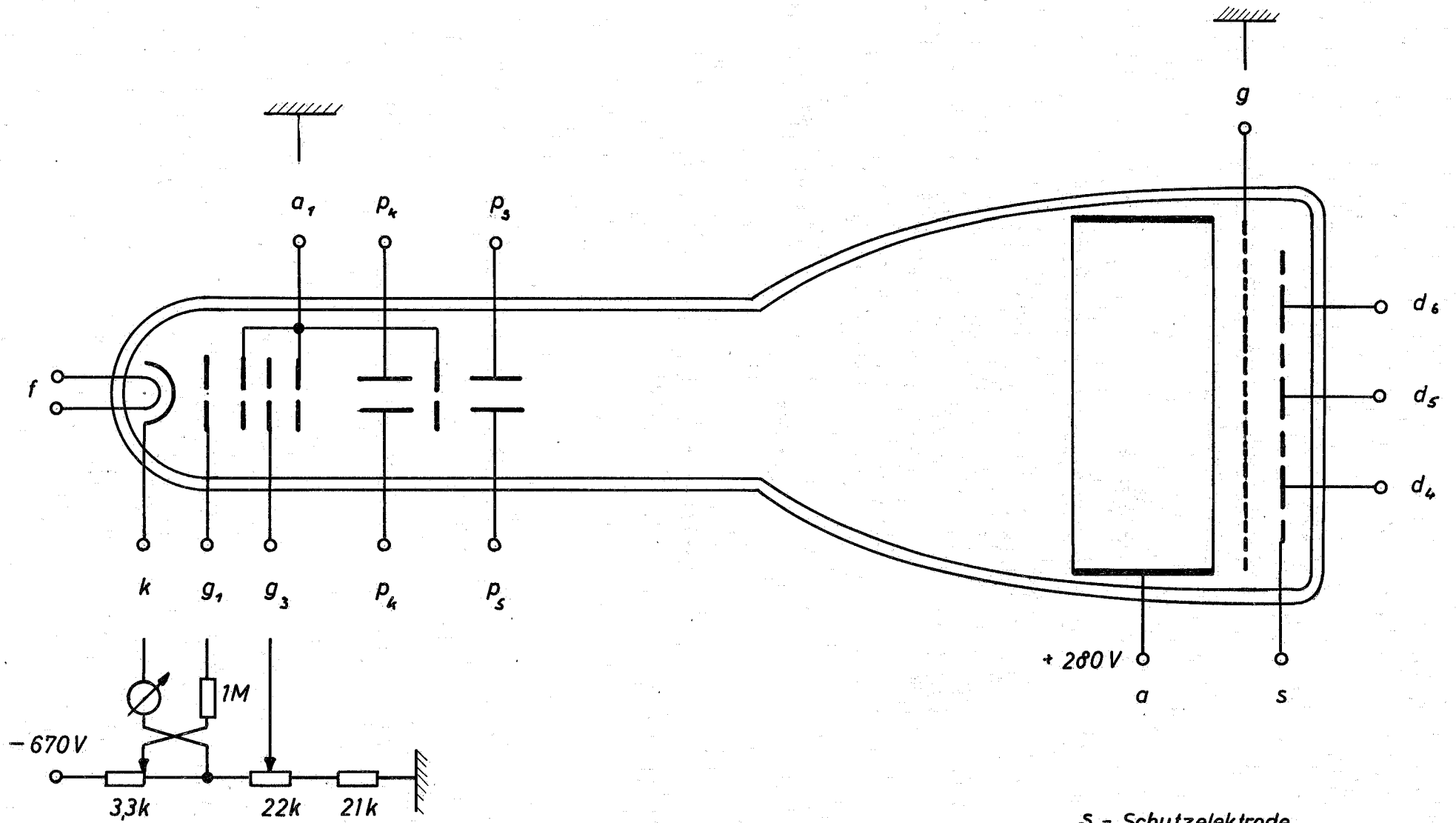
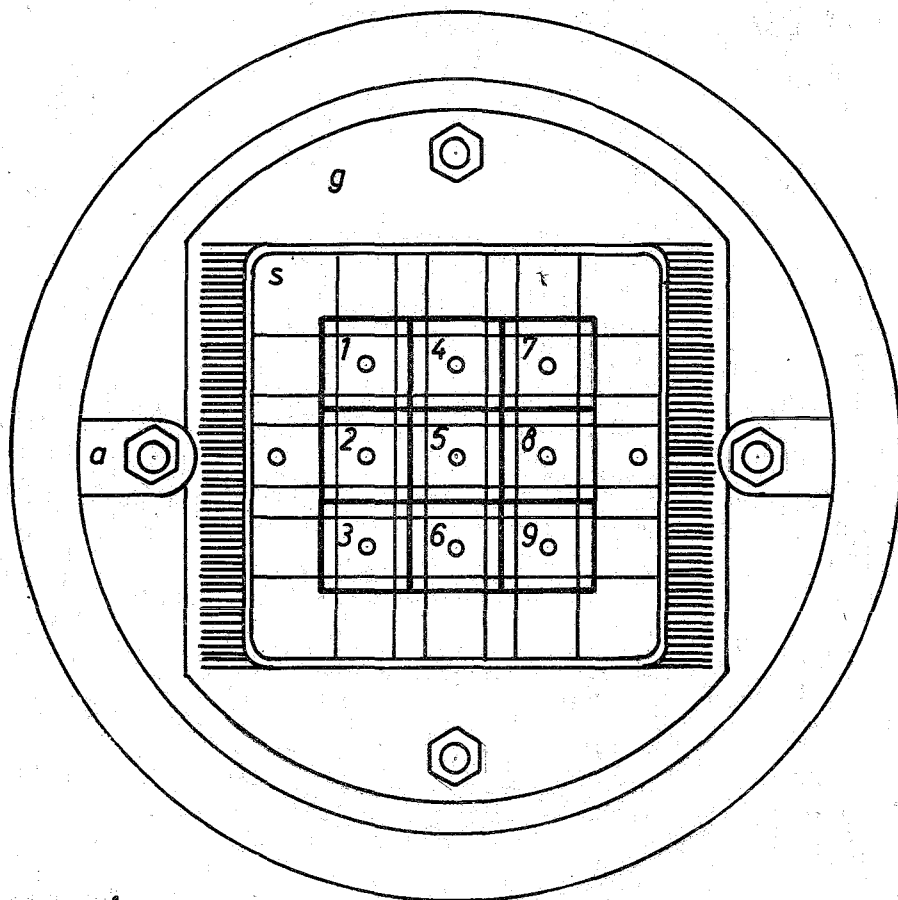
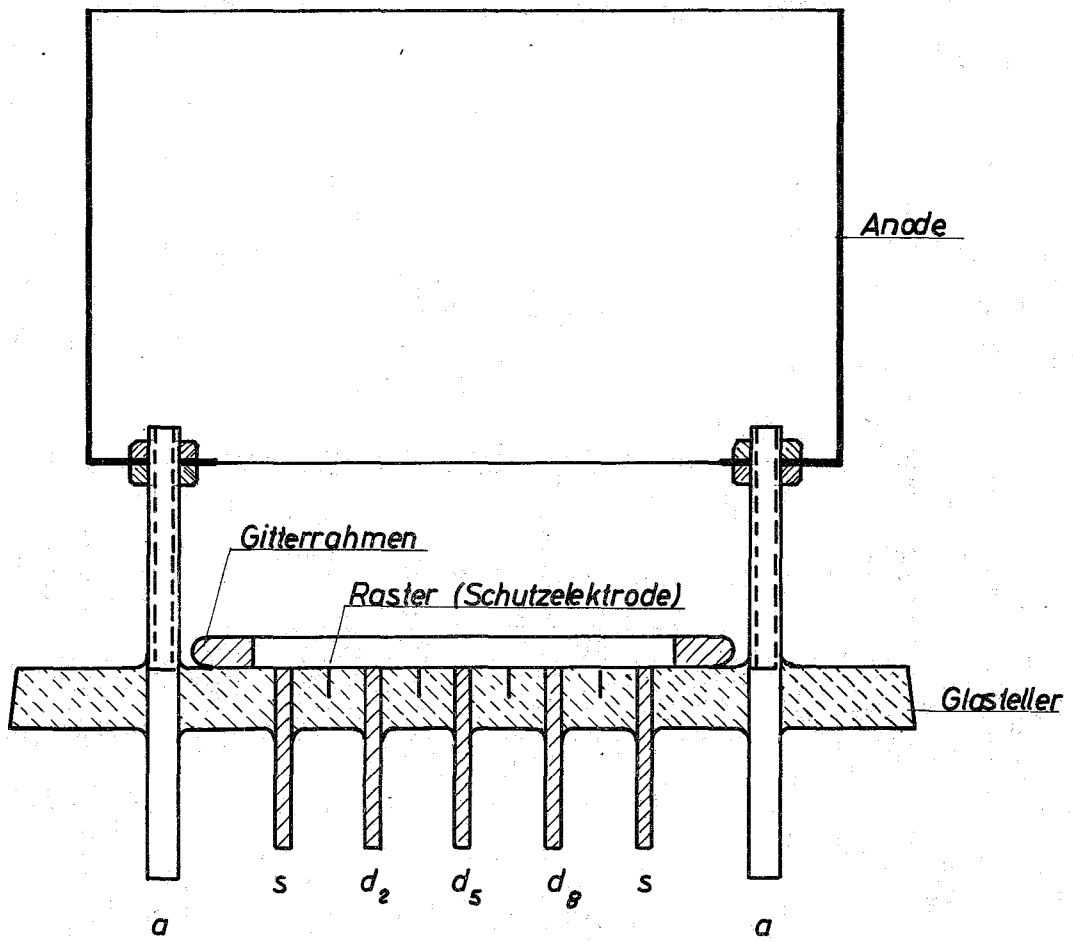


Abb. 1



s - Schutzelektrode
d - Dynode

Abb. 2



1 cm

Abb.3

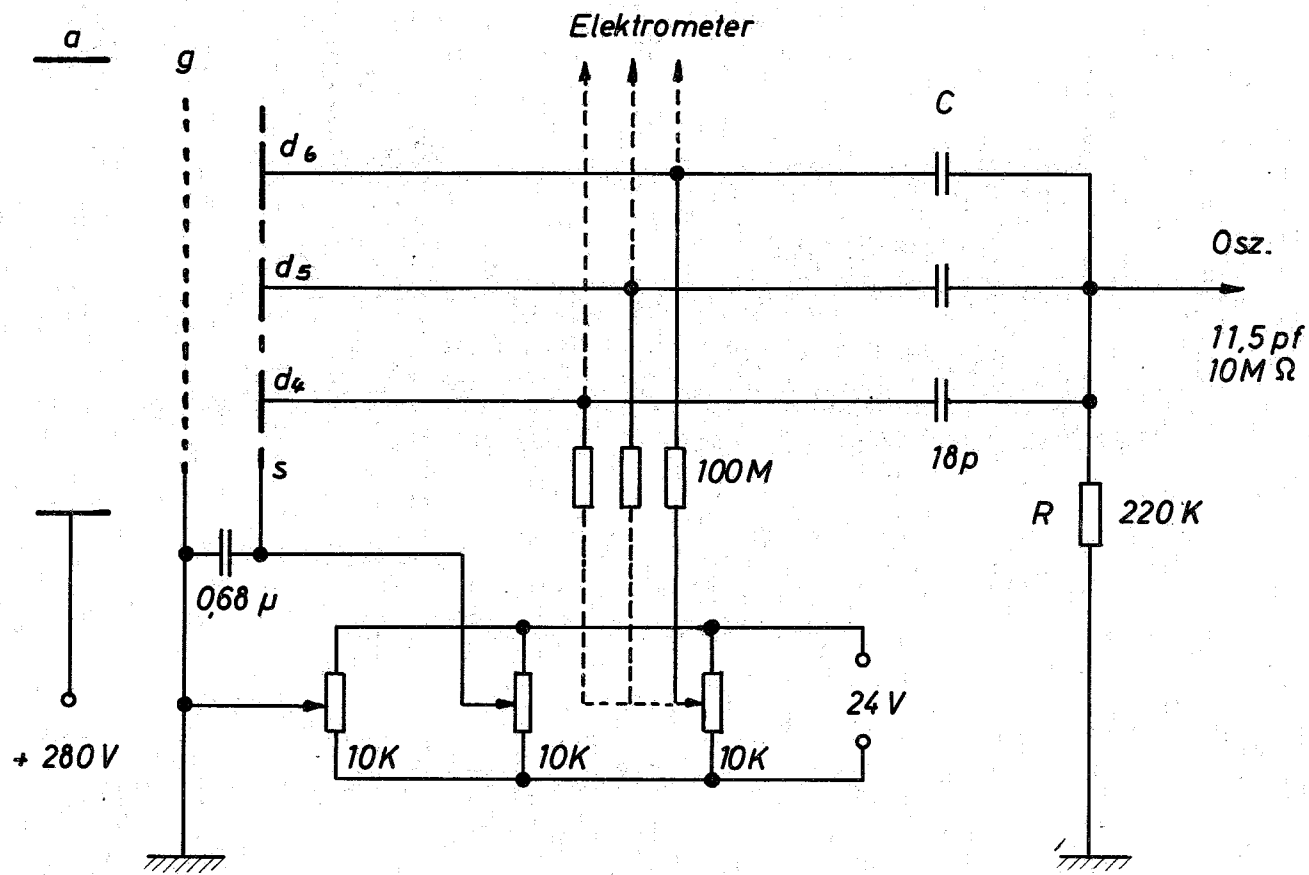
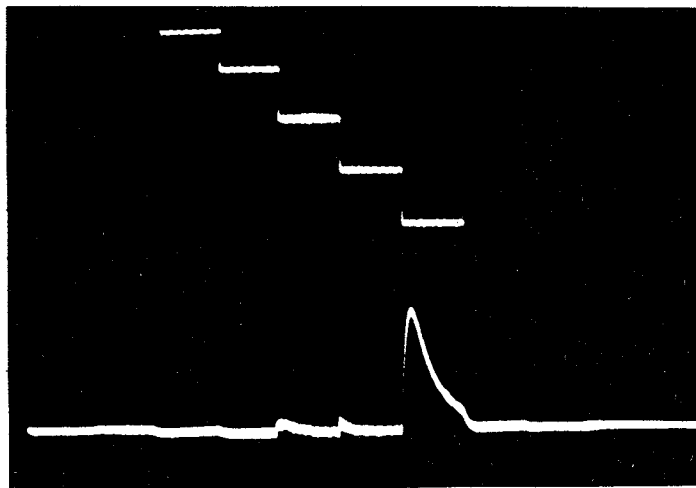


Abb. 4



3,5V

80 mV

80 μ s

Abb.5

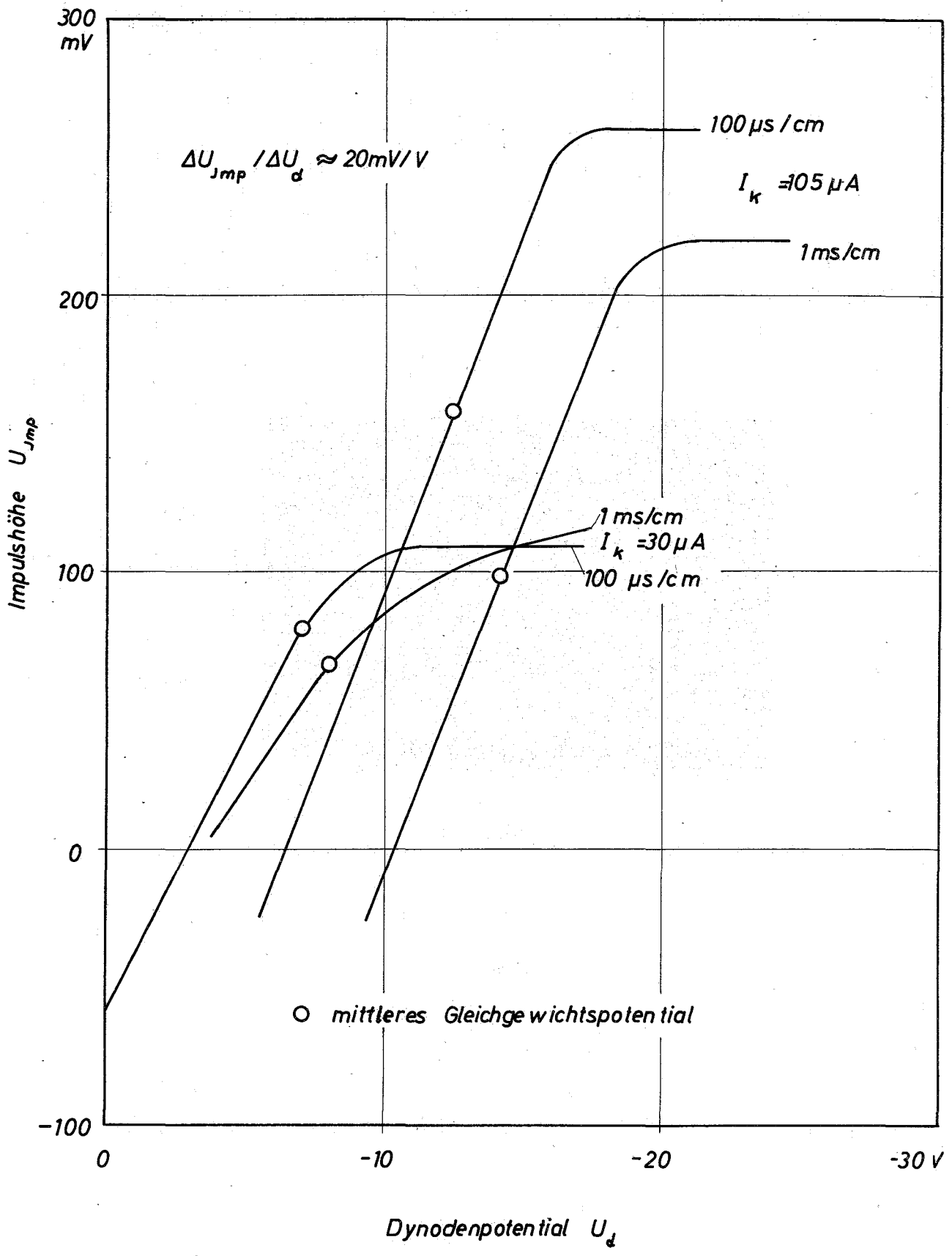


Abb. 6