

H. K l u m b : Untersuchungen über Empfangsverfahren  
im Gebiet der cm - Wellen.

---

Inhaltsangabe:

Es wird ein Überblick über einige gemeinsam mit R.Odenwald und J.Rottgart in den Jahren 38 - 39 durchgeführten Untersuchungen über Erzeugung und Empfang von cm - Wellen (  $\lambda = 8 \text{ mm} - 100 \text{ mm}$  ) gegeben.

Die Untersuchungen, zu deren Durchführung strahlungsgekühlte Zweischlitzmagnetrons sowie wassergekühlte Nullschlitzrohre mit eingebauten Magnetpolspitzen und Magnetronrohre mit verstellbarer Kathode entwickelt wurden, ergaben, daß im Wellenlängengebiet von 120 - 25 mm ein Nachweis mit speziell entwickelten Trioden bei guter Empfindlichkeit möglich ist, daß Empfindlichkeit und Überlastbarkeit von thermischen Nachweisgeräten durch Verwendung von Mehrzweigbolometern mit Wolframfäden erheblich gesteigert werden kann, und daß der durch plastische Massen stabilisierte Wolfram-Siliziumdetektor ein brauchbares Nachweisgerät im Frequenzgebiet von  $10^1 - 3 \cdot 10^{11}$  Hertz, d.h. bis zu den kürzesten verwendbaren Wellenlängen darstellt.

-----

Die vorliegenden Untersuchungen wurden gemeinsam mit I. Rottgart und R. Odenwald in den Jahren 1937 und 1939 bei der DVL durchgeführt und im Oktober 1939 abgeschlossen. In einigen Punkten dürften sie durch die Entwicklung der letzten Jahre überholt sein. Andererseits läßt der Umfang des s.Z. gesammelten Versuchsmaterials die Möglichkeit zu, daß die gewonnenen Resultate auch noch heute brauchbare Anregungen geben können. Ziel der Untersuchungen war die Schaffung empfindlicher Nachweisverfahren für das Wellenlängengebiet von 120 mm bis möglichst unterhalb 10 mm und die Ermittlung von zunächst rohen Richtwerten für die relative Empfindlichkeit der ermittelten Verfahren.

Zur Erzeugung der notwendigen Frequenzen und Intensitäten wurden geeignete Magnetfeldröhren selbst hergestellt und zwar in folgenden Formen:

- 1.) Normale Zweischlitzröhren (später auch Vierschlitzröhren) mit 2,5 bis 0,5 mm Anodenradius mit Strahlungskühlung und galvanischer bzw. kapazitiver Auskopplung, die bis zu einer kleinsten erreichten Wellenlänge von 8 mm verwendet wurden.
- 2.) Wassergekühlte Nullschlitzröhren, wobei zur Verminderung des Aufwandes an Magnetgewicht erstmalig die Polspitzen des magnetischen Kreises in das Rohr selbst eingebaut wurden<sup>1)</sup>. Ein Rohr dieser Art zeigt Figur 1. Die Rohre arbeiteten befriedigend von  $\lambda = 200$  mm bis zu einer kleinsten Wellenlänge von etwa 20 mm und lieferten bei ca 10 cm Leistungen der Größenordnung 10 W.
- 3.) Strahlungsgekühlte Zweischlitzmagnetronrohre, deren Kathode gegenüber der Anode während des Betriebes von außen verstellt werden konnte<sup>2)</sup>. Figur 2 zeigt ein

---

1) H. Klumb Techn. Kurzberichte der ZWB 1938 S. 93  
" Tagungsbericht 110 der Lilienthalgesellschaft 1939 S. 3

2) " Techn. Kurzberichte der ZWB 1938 S. 91  
H. Klumb Tagungsbericht 110 der Lilienthalges. 1939 S. 5

artiges Rohr, das befriedigend arbeitet und den Vorteil bietet, daß sich die Schwingungsgebiete durch mechanisches Verstellen der Kathode in weiten Bereichen (z.B. zwischen  $\lambda = 50$  und 200 mm) weitgehend kontinuierlich variieren lassen. Figur 2a zeigt die mit maximaler Intensität abgestrahlte Wellenlänge als Funktion der Kathodenexzentrizität.

- 4.) Magnetfeldröhren, bei denen ein die Elektroden umschließender metallischer Hohlraum als frequenzbestimmender Schwingungskreis diente und zunächst Wellenlängen bis zu 65 mm lieferte, eine Entwicklung, die nicht mehr zu Ende geführt werden konnte.

Die meisten der aufgeführten Röhrentypen wurden in größeren Stückzahlen hergestellt, so daß über ihre Funktion und Leistungen gesicherte Unterlagen gewonnen werden konnten. Empfangsseitig wurden folgende Verfahren untersucht:

- 1.) Der Empfang mit technischen Trioden teils deutscher, teils russischer Herkunft.

- 2.) Der Empfang mit Kristalldetektor, wobei der Wolfram - Siliziumdetektor als im cm-Gebiet brauchbarste Kombination vorgeschlagen und untersucht<sup>1)</sup> wurde. Durch Einbetten von Kristall und Spitze in bis zu tiefen Temperaturen plastische Massen entstand im stabilisierten Wolfram-Siliziumdetektor ein gegen mechanische Erschütterungen bis 5 g unempfindliches Nachweishilfsmittel von guter Konstanz und elektrischer Brauchbarkeit im ganzen Frequenzgebiet (vorausgesetzt, daß die Einstellung bei der jeweils höchsten Frequenz vorgenommen wurde) von  $10^1 - 10^{11}$  Hz<sup>2)</sup>. Für Wellenlängen unterhalb 1 mm scheint seine Empfindlichkeit zu verschwinden<sup>3)</sup>.

Figur 3 zeigt derartige Detektoren. Von besonderem Interesse ist, daß die an solchen stabilisierten Detektoren beim

me-

---

Anmerkung: Der bei all diesen Versuchen beobachtete starke Intensitätsabfall nach kürzeren Wellen zu führte zur Annahme einer Intensitätslücke im elektromagnetischen Spektrum: Klumb ZS.f.Phys.1940.

1) I.Rottgart ZS.f.techn.Phys.1938 S.262

2) H.Klumb Phys.ZS.40 1939 S.640 - 43

3) H.Klumb u.B.Koch Naturwissensch.29 1939 548

mechanischen Schütteln mit 5 g 50 Hz auftretenden Störspannungen unterhalb der Rauschspannung der angeschlossenen Verstärker liegen.

- 3.) Der Empfang mit Magnetfeldröhren (2,5 bis 0,5 mm Anodenradius) in Zweischlitz- und Vierschlitzform. Dieses Verfahren ergab neben einer sehr guten Empfangsempfindlichkeit als Nachteile einen großen Aufwand an Spannung und Magnetfeld, der dem des Senders entsprach, eine hohe Empfindlichkeit gegen mechanische Erschütterungen, die nur zum Teil durch Verwendung einer hochfrequenten Doppelmodulation beseitigt werden konnte.
- 4.) Der Empfang mit selbstgebauten Spezialtrioden <sup>1)</sup>, deren Elektroden aus 3 in einem gegenseitigen Abstand von 0,2 bis 0,05 mm in einer Ebene angeordneten Wolframstäbchen von 0,1 bis 0,2 mm Stärke bestanden. Figur 4 zeigt eine Zusammenstellung der bei der Suche nach günstigsten Formen untersuchten Elektrodenanordnungen. Figur 5 (a und b) zeigt die beiden systematisch ermittelten günstigsten Modelle. Diese Röhre wurden im Wellenlängenbereich  $\lambda = 150$  bis 30 mm eingehend untersucht und haben sich gut bewährt. Die notwendigen Gitter- und Anodenspannungen liegen zwischen 30 V und max. 120 V. Die Röhre lassen sich in zwei Schaltungen verwenden:
  1. In normaler Bremsfeldschaltung mit stark positivem Gitter und einer auf Potentialnull oder negativem Potential sich befindenden Anode.
  2. Mit stark positivem Gitter und einer auf einem positiven Potential zwischen 0 und 50 V befindlichen Anode.

In beiden Schaltungen erhält man bei Variation der Elektroden- spannungen eine Anzahl mehr oder weniger hoher Maxima der Empfangsempfindlichkeit, die in ihren besten Werten an die

- 
- 1) H.Klumb techn.Kurzberichte der ZWB 1938 S.95-96  
" Forschungsbericht 1836 der Deutschen Luftfahrt-  
forschung 1944
  - 2) H.Klumb ZS.f.techn.Phys.1940 Bd.21 S.71-75

Größenordnung der Empfindlichkeit eines Magnetfeldröhrenempfängers heranreichen. Figur 6 zeigt die Empfangsempfindlichkeit als Funktion der Anodenspannung für eine Triode in Bremsfeldschaltung. Die mechanische Erschütterungsempfindlichkeit ist erträglich, verlangt aber ebenfalls die Verwendung einer hochfrequenten Doppelmodulation. Der Spannungsaufwand liegt erheblich unter dem der Magnetfeldröhren.

#### Der Nachweis mit thermischen Verfahren.

Nach einigen Vorversuchen mit Vakuumthermoelementen wurden Bolometer für das Wellenlängengebiet unterhalb 100 mm Wellenlänge entwickelt <sup>1)</sup>. Im Hinblick auf die bei Arbeiten mit Magnetfeldröhren zu fordernde hohe Überlastbarkeit wurden Wolframbolometer mit gestreckten Drähten (Durchmesser  $10 \mu$ ), in Sonderfällen auch mit gewendelten Drähten hergestellt, wobei der hohe Schmelzpunkt des Wolframs in Verbindung mit den prop.  $T^4$  bis  $T^5$  ansteigenden Strahlungsverlusten die hohe Überlastbarkeit sicherten. Die Bolometer waren entweder hoch evakuiert oder mit einem inerten Gas von hohem Druck gefüllt ( $H_2$ , Reinstickstoff, Argon). Durch Einbau von zwei Diametralzweigen der Bolometerbrückenschaltung in ein und denselben Kolben, später auch ~~den~~ Einbau aller vier Zweige in den gleichen Kolben gelang die Herstellung von Bolometern hoher Empfindlichkeit bei gut konstantem Nullpunkt und kurzer Einstelldauer. Figur 8 zeigt das Aufbauschema eines Zweizweig-Bolometers. Diese Bolometer haben sich in vieler Hinsicht, vor allem im Hinblick auf Einstellgeschwindigkeit, mechanische Widerstandsfähigkeit usw. gut bewährt.

Zusammen mit der Untersuchung und der Entwicklung der Bolometer wurde der Versuch unternommen, das von Czerny für Ultrarot angegebene sublimographische Verfahren zum Nachweis im kurzwelligen cm-Gebiet zu verwenden. Versuche mit Kampferschichten

---

1) Klumb ZS.f.techn.Phys.1940 Bd.21 S.71-75

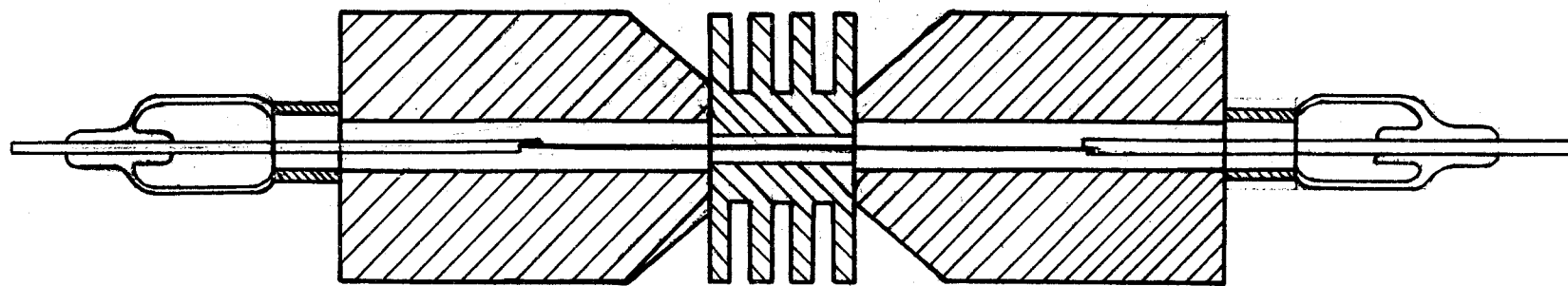
auf dünnen Schichten aus Isoliermaterial, Metallen und Halbleitern ergaben bisher kein positives Resultat.

Zum Abschluß der Untersuchung wurden die relativen Empfindlichkeiten des genannten Nachweisverfahrens bei einer Wellenlänge von 45 mm bestimmt, wobei auf möglichst vergleichbare Ankopplungs- und Anpassungsbedingungen geachtet wurde. Angesichts der Größe der auch dann noch bei den verschiedenen Verfahren vorhandenen Anpassungsunterschiede haben die gewonnenen Zahlen, die auf die mit 100 % angenommene Empfindlichkeit eines stabilisierten Wolfram-Siliziumdetektors bezogen sind, lediglich den Charakter roher Richtzahlen, geben jedoch auch als solche einige wertvolle Anhaltspunkte. Die Tabelle am Schluß enthält die Zusammenstellung der so gewonnenen Werte. Sie zeigt, daß der Empfang mit Spezialtriöden wegen der hier erzielbaren Empfindlichkeiten und des geringen Spannungsaufwandes neben dem Empfang mit Magnetfeldröhren praktisch möglich ist und gute Resultate verspricht. Daneben ist der Empfang mit stabilisierten Kristalldetektoren wegen ihrer niedrigen Störspannung bei mechanischen Erschütterungen trotz seiner niedrig liegenden Relativempfindlichkeit in all den Fällen, wo der Empfänger starken Erschütterungen ausgesetzt werden muß, von großer praktischer Bedeutung.

T a b e l l e .

Empfangsempfindlichkeiten verschiedener Empfänger für mm Wellenlänge bezogen auf die zu 100 % angenommene Empfindlichkeit eines stabilisierten Kristalldetektors.

Empfangsröhren	rel. Empfindlichkeit	Betriebsdaten	
1) Bolometer	10%		
2) Diode	14 %	5	20 V
3) Bremsfeldröhre (TKD)	bis 80 %	90	160 V/0V
4) " " (russ)	30 %		200 V/0V
5) " " (Telefunken)	10 %	100	150 V/0V
6) Triode (DVL) in Bremsfeldschaltung	1200 %	37	170 V/0V
7) Triode (DVL) beide Elektroden positiv	800 %	40	80 V
8) Magnetronröhren (Schwingbügel)			
Röhre 236, $r_a = 0,5$ mm	400 %	180 V/2500 Gauß	
" 264 $r_a = 2$ "	300 %	560 V/1300 Gauß	
" 185 $r_a = 1$ "	1400 %	480 V/1600 Gauß	
" 235 $r_a = 0,5$ "	1000 %	170 V/1600 Gauß	
9) Hohlraumagnetron 2,0 mm für $\lambda_{\min} = 60-90$ mm	~1000 %	500 - 700 V 1000 - 3000 Gauß	



*Abb. 1*

*Wassergekühltes Magnetronrohr mit eingebauten  
Polspitzen.*



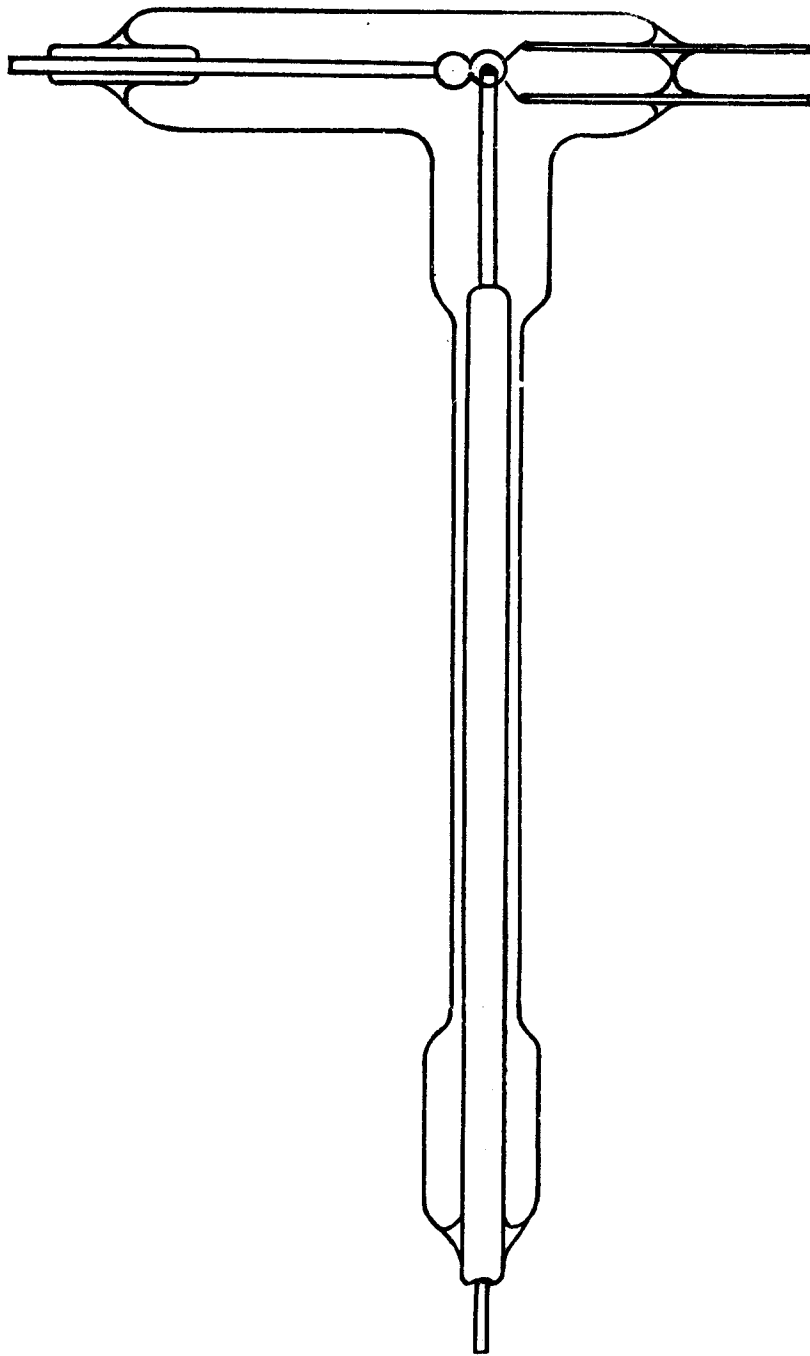


Abb.2

*Magnetron mit verstellbarer Kathode.*

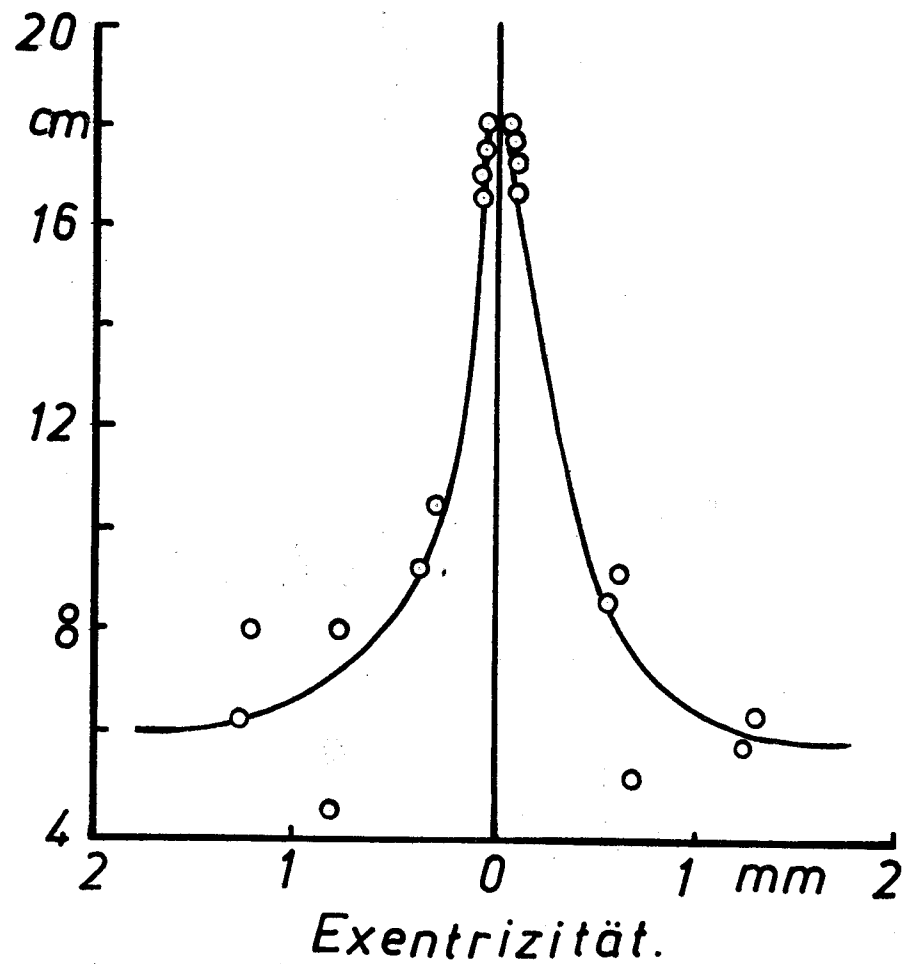
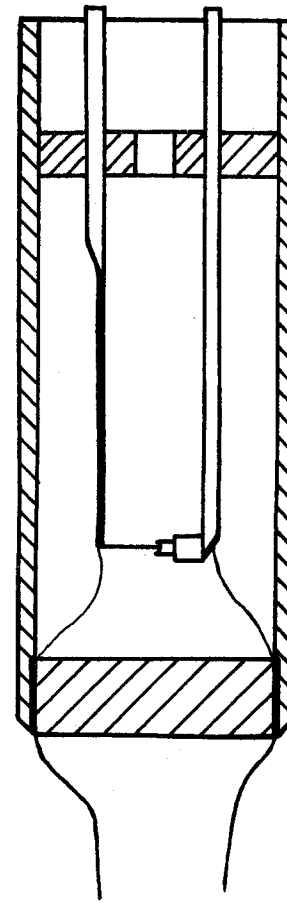
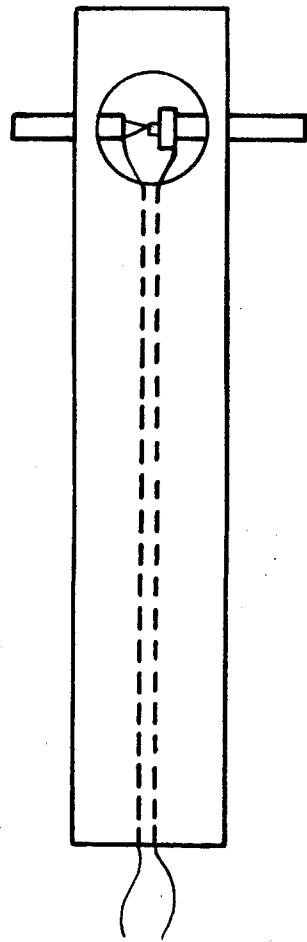


Abb. 2a

Intensivste Wellenlänge eines Magnetronrohres  
als Funktion der Kathoden-Exentrität.



*Stabilisierter Kristalldetektor in Dipol-und Paralleldrahtform*

*Abb.3*

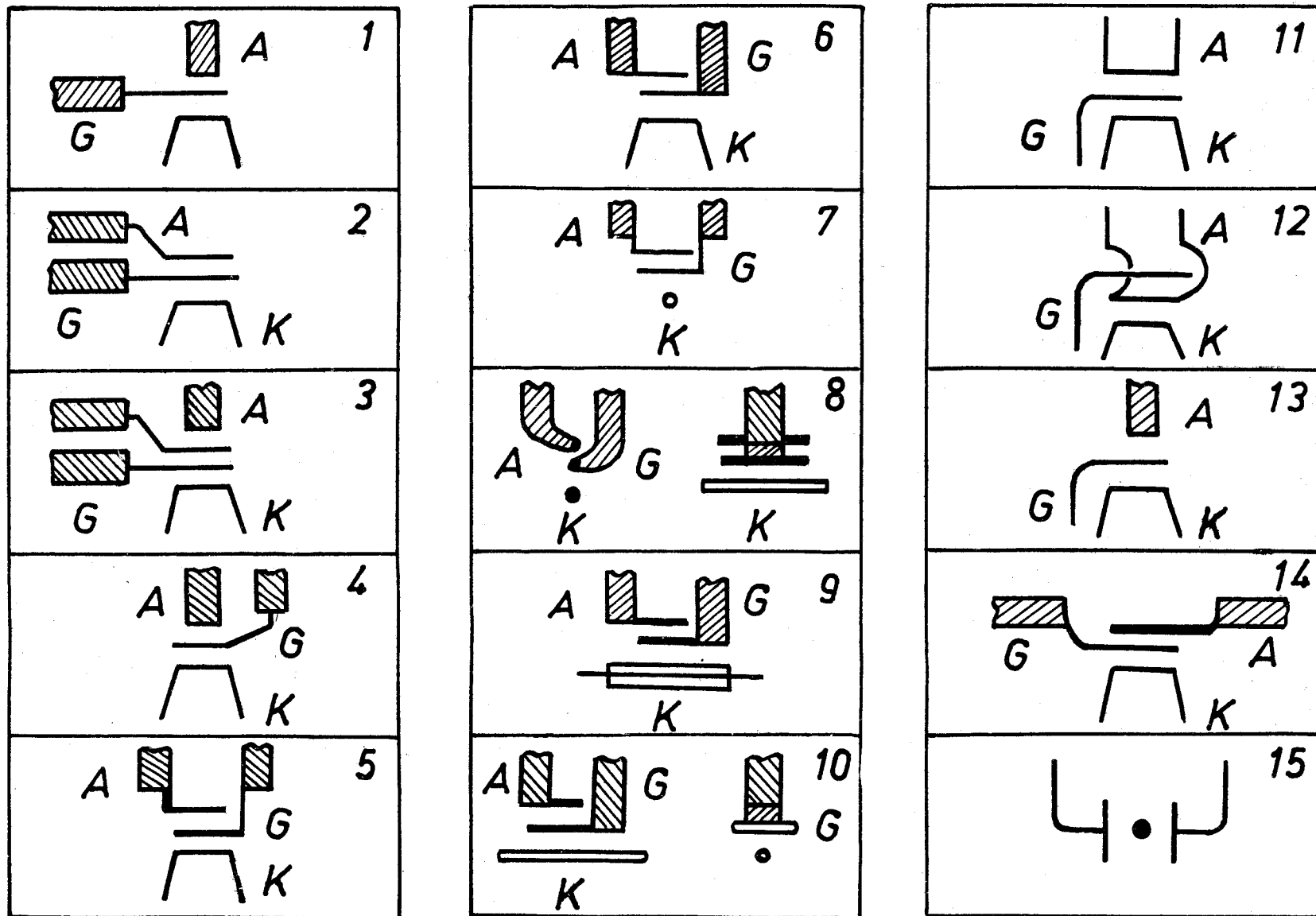
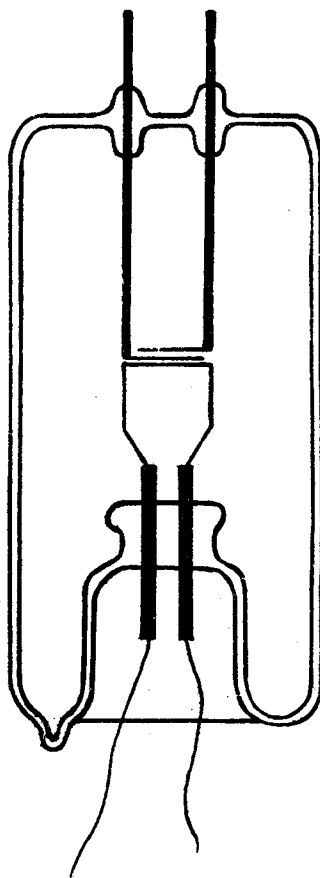


Fig. 4

Untersuchte Elektrodenformen von cm-Trioden.

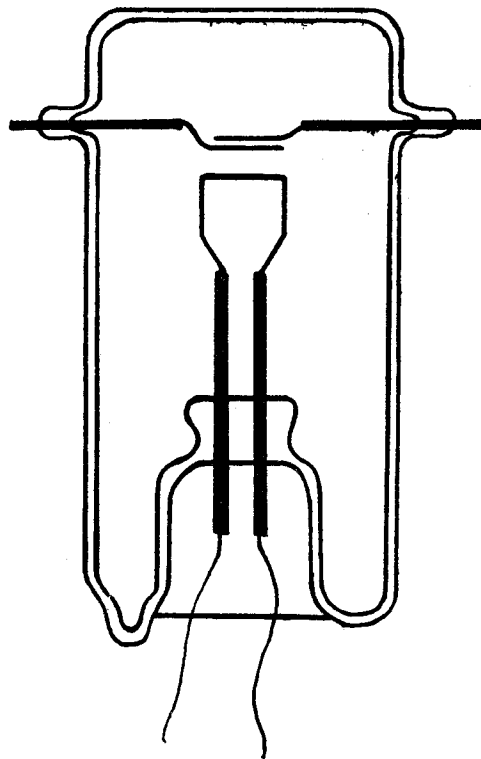
Untersuchte Elektrodenformen von cm-Trioden.



*Aufbauschema einer Drei-Elektrodenröhre  
für den Empfang von cm-Wellen.*

*Paralleldrahtform*

*Abbildung: 5a*



*Aufbauschema einer Drei-Elektrodenröhre  
für den Empfang von cm-Wellen.*

*Dipolform.*

*Abb. 5b*

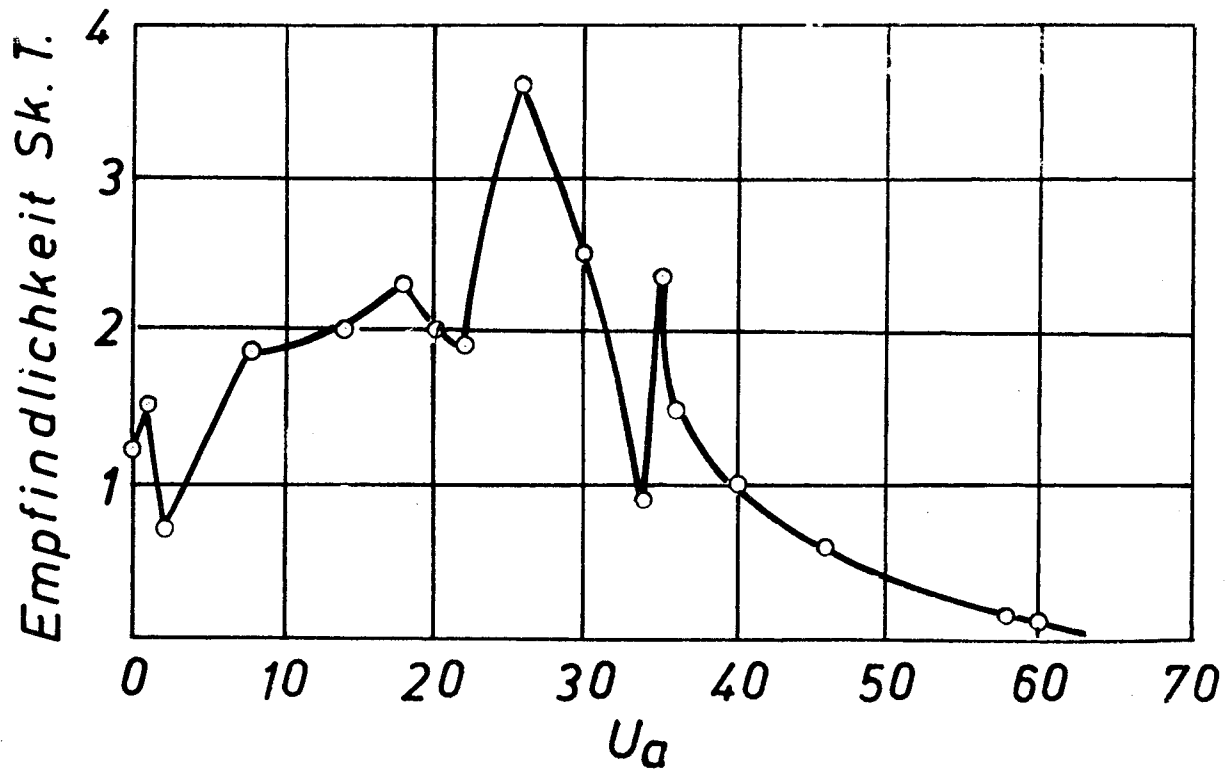


Abb. 6 Empfindlichkeit eines Empfängerrohres bei  $\lambda = 60 \text{ mm}$  für  $V_g = +50 \text{ Volt}$  als Funktion der Bremselkrodenenspannung  $U_A$  (0 bis +70 Volt)