

RS 381, eine Sendepentode für das 1-m-Gebiet

Von F. HÜLSTER

Mitteilung aus dem Telefunken-Laboratorium

Inhaltsangabe. Probleme der Leistungsverstärkung im 1-m-Gebiet und ihre Lösung durch Anwendung der Gegentaktpentode. Beschreibung der Telefunken RS 381 hinsichtlich Aufbau, elektrischer Daten, Betriebsbedingungen und Modulationsverfahren.

Für den Entwicklungsgang der Senderöhrentechnik im Meter- und Dezimetergebiet ist es bezeichnend, daß in dem Kampf um die kürzesten Wellen bei größter Leistung die augenfälligsten Erfolge jeweils mit selbst-erregten Röhren erzielt wurden, seien es rückgekoppelte Trioden, Barkhausen- oder Magnetfeldröhren. Daß ein fremdgesteuerter Sender einem selbsterregten in vieler Hinsicht überlegen ist, wie in Frequenzkonstanz, Modulationsqualität und Unempfindlichkeit gegen Schwankungen der angekoppelten Last, ist meist allen Entwicklern klar. Zwei Schwierigkeiten bewirken es aber vor allem, daß die fremdgesteuerte Röhre nur schrittweise in die von der selbsterregten bereits längst eroberten Wellengebiete eindringen kann. Sie liegen erstens in dem Umstand, daß im Gegensatz zu der mit einem einzigen Schwingkreis arbeitenden selbsterregten Röhre bei der Fremdsteuerung zwei getrennte Kreise, Eingangskreis, Hochfrequenzenergie verzehren, zweitens im Problem der Neutralisierung. Der Leistungsbedarf des Eingangskreises beruht außer auf der Kreisdämpfung auf der elektronischen Dämpfung infolge der im Kathoden-Gitter- und Gitter-Schirmgitterraum nicht mehr vernachlässigbaren Laufzeiten, und dieser Umstand bedingt, wenn eine nennenswerte Leistungsverstärkung erzielt werden soll, kleinstmögliche Abstände und günstigste Potentialverteilung. Neutralisierungsschwierigkeiten machen sich bei Trioden bereits im Fernsehwellengebiet bemerkbar und verlangen bestimmte Kunstgriffe¹⁾, besonders wenn die Neutralisierung über einen großen Bereich wellenunabhängig sein und Energiewanderung vom Eingangskreis in den Ausgangskreis vermieden werden soll.

Bei Wellenlängen von einigen Meter verlangen selbst Pentoden im allgemeinen schon eine Neutralisierung, wenn der Blindleitwert der immer noch vorhandenen Gitter-Anoden-Kapazität gegen den Resonanzleitwert des Anodenkreises nicht mehr vernachlässigt werden kann. Das Neutralisierungsglied hat dabei unter Umständen die Gestalt einer zusätzlichen Kapazität zwischen Gitter und Anode außerhalb der Röhre, weil die Serienschaltung der Gitter-Anoden-Kapazität mit der Induktivität der Gitterzuleitung bereits induktiven Charakter haben kann²⁾. Bei noch kürzeren Wellen sind außerdem die Zuleitungen zu Schirmgitter und Bremsgitter keine Kurzschlüsse mehr, sondern Induktivitäten endlicher Größe, und die über sie fließenden Wechselströme bedingen Wechselspannungen an den betreffenden Elektroden, die ihre Abschirmwirkung illusorisch machen. Man kann sich dann noch so helfen, daß man diese Zuleitungen außen nicht direkt oder kapazitiv erdet, sondern über abstimmbare Blindwiderstände, beispielsweise Drosseln oder konzentrische Leitungen an Chassis legt, die für die Betriebswelle zusammen mit den Zuleitungsstücken Serienkreise oder $\frac{\lambda}{2}$ -Stücke, also Kurzschlüsse darstellen³⁾. Diese sind aber wellenabhängig und verlangen eine sorgfältige Abstimmung; ein Kurzschluß wird auch nur bei Dämpfungsfreiheit der Leitungen erzielt. Außerdem können noch die magnetischen Kopplungen mit der Anodenleitung stören.

Den genannten Schwierigkeiten kann man auf zwei Wegen begegnen:

Der erste ist eine wirklich induktionsfreie Ausführung der Abschirmelektroden in Gestalt konzentrischer Einschmelzungen, die sich heute technisch durchaus beherrschen lassen. Sie führen aber zu sendertechnisch unbequemen Anordnungen.

Der zweite Weg ist gegeben durch das Prinzip der Gegentaktanordnung in einem Kolben. Die Elektroden, die wechselspannungsmäßig tot liegen sollen, also Kathode, Schirmgitter und Bremsgitter des einen Systems können dabei mit den entsprechenden Elektroden des Nachbarsystems wegen der räumlichen Nähe so gut

¹⁾ W. Buschbeck in F. Schröter: Das Fernsehen, 1937, Verlag Jul. Springer, Berlin, Abschnitt „Neutralisierung“, S. 145.

²⁾ A. Engelmann: Telefunken Hausmitteilungen 79 (1938) S. 53.

³⁾ Bei Gegentaktsendern werden auf diese Weise Bremsgitter und Schirmgitter der beiden Röhren gegeneinander abgestimmt, s.z.B. K. Posthumus: Philips transmitting news 3 (1937) S. 1—12.

I. Aufbau der RS 381

a) Anordnung der Systeme.

Für den Aufbau einer Gegentaktpentode kommen grundsätzlich zwei Ausführungsformen in Frage. Bei der einen liegen beide Systeme in einer Achse. Kathodenträger sowie Schirm- und Bremsgitterstreben laufen durch. So ist geringste Induktivität zwischen gleichartigen Elektroden — bis auf die unvermeidliche verteilte Induktivität der Elektroden selbst — gewährleistet. Die Anordnung hat aber den Nachteil, daß die Abschirmung der entweder in der Mitte oder an beiden Enden herausgeführten Steuergitterzuleitungen gegen den Anodenkreis umständlich ist. Außerdem ergeben sich glastechnische Schwierigkeiten mit der räumlichen Verteilung der Durchführungen, wenn man zur Kleinhaltung der gesamten Röhrenabmessungen die Kolbenachse mit der Systemachse zusammenfallen läßt. In der zweiten Ausführung, die sowohl bei RCA 832 wie bei Telefunken RS 381 zur Anwendung kommt, stehen beide Systeme parallel nebeneinander, wobei die induktivitätsfreie Verbindung entsprechender Elektroden teils durch eine gemeinsame metallische Grundplatte, teils durch mehrdrähtige Verbindung, teils auch durch unmittelbare Berührung erzielt wird. Während die amerikanische Konstruktion zweimal von dem Prinzip der metallischen Grundplatte Gebrauch macht, wurde bei der RS 381 folgende Lösung gefunden:

Beide Bremsgitter stehen auf einer Metallscheibe, die gleichzeitig eine wirksame Abschirmung von Eingang und Ausgang darstellt. Außerdem sind die einander zugekehrten Streben dieser Gitter zur direkten Berührung gebracht (Bild 31). Die Schirmgitter sind oben und unten durch je ein kurzes Kupferband verbunden. Für die Kathodenverbindung stellte sich eine einzige Verbindung als genügend heraus, was aufbautechnisch eine Erleichterung bedeutet. Jedes der beiden Systeme enthält eine indirekt geheizte Oxydkathode von ovalem Profil. Die beiden Heizer sind parallel geschaltet. Die Schmalseiten emittieren nicht, so daß zwei begrenzte Elektronenstrahlsektoren entstehen. In den Schattenzonen liegen die Streben der Gitter. Abstände und Drahtstärken der Gitter sind nicht größer als die bei Empfängerröhren üblichen. Zur Kleinhaltung des Schirmgitterstromes wurden Steuergitter und Schirmgitter auf Deckung gewickelt. Die Bündelung des Elektronenstrahls auf zwei Seiten ermöglicht, die Anoden als einseitig offene Ovale auszuführen und die Systeme bis zur Berührung der Bremsgitterstreben aneinander zu rücken. Zwischen beiden Systemen liegt noch eine mit Bremsgitter verbundene Trennwand, die verhindert, daß zur Zeit des größten Elektronenflusses, bei dem die Anode des betreffenden Systems ein niedriges Potential hat, Elektronen zur benachbarten Anode übertreten, die dann gerade ihre höchste Spannung führt.

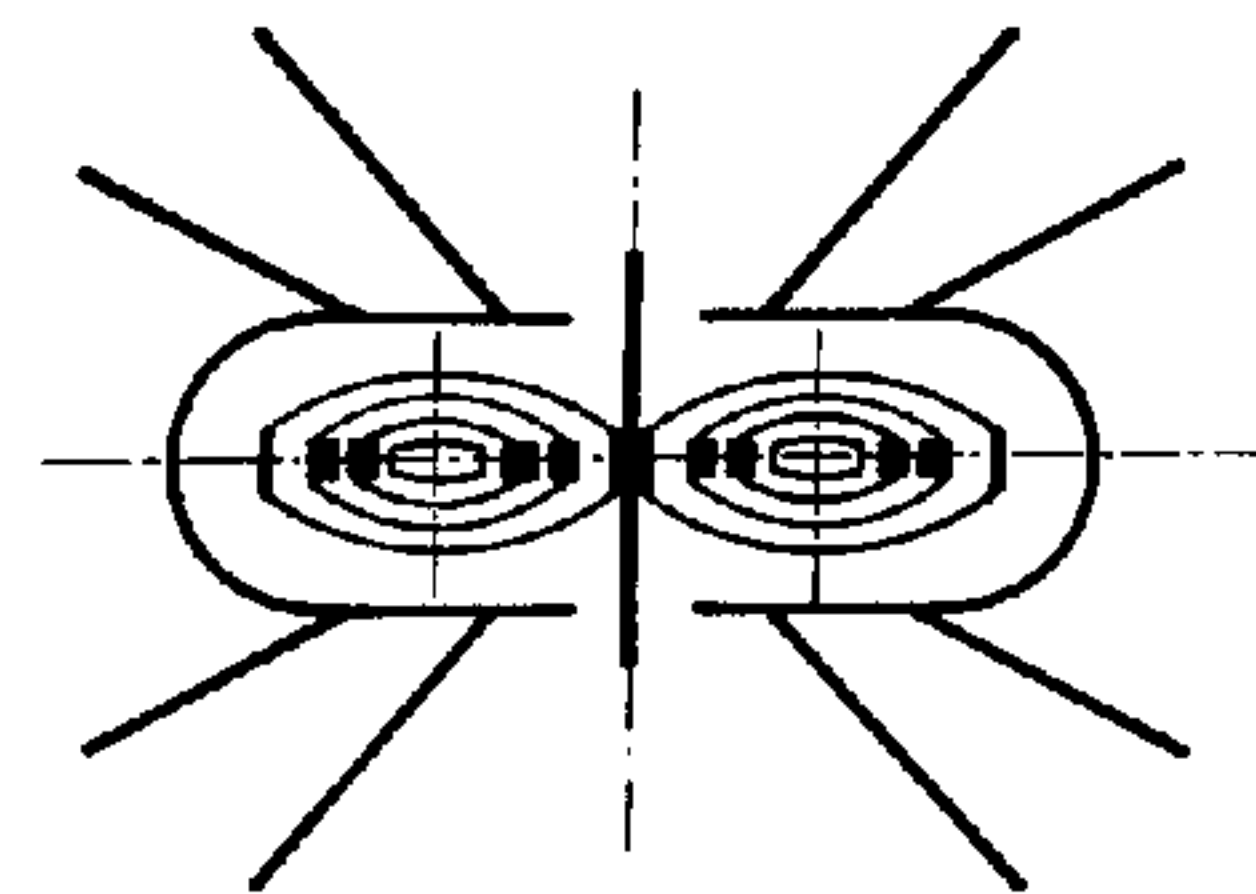


Bild 31: Systemgrundriß der RS 381.
(Natürliche Größe).

b) Kolben und Durchführungen.

Die beiden Anoden sind am oberen Kolbenende je doppeldrätig ausgeführt, um die Induktivität und den ohmschen Widerstand im Anodenkreis klein zu halten. Der untere ebene Kolbenboden enthält alle übrigen Zuleitungen, wobei auf doppeldrätige Steuergitterzuleitungen verzichtet wurde, weil der Gitterkreis ohne allzu großen Steuerleistungszuwachs leicht um $\frac{\lambda}{2}$ verlängert werden kann.

Kleine Gesamtmaße und geringe dielektrische Verluste bedingten die Herstellung des Kolbens aus Hartglas. Dieses ermöglicht durch seine mechanische Festigkeit gleichzeitig einen Verzicht auf einen besonderen Sockel. Auf die Durchführungsdrähte sind mittels eines hochschmelzenden Lotes Stecker aufge-

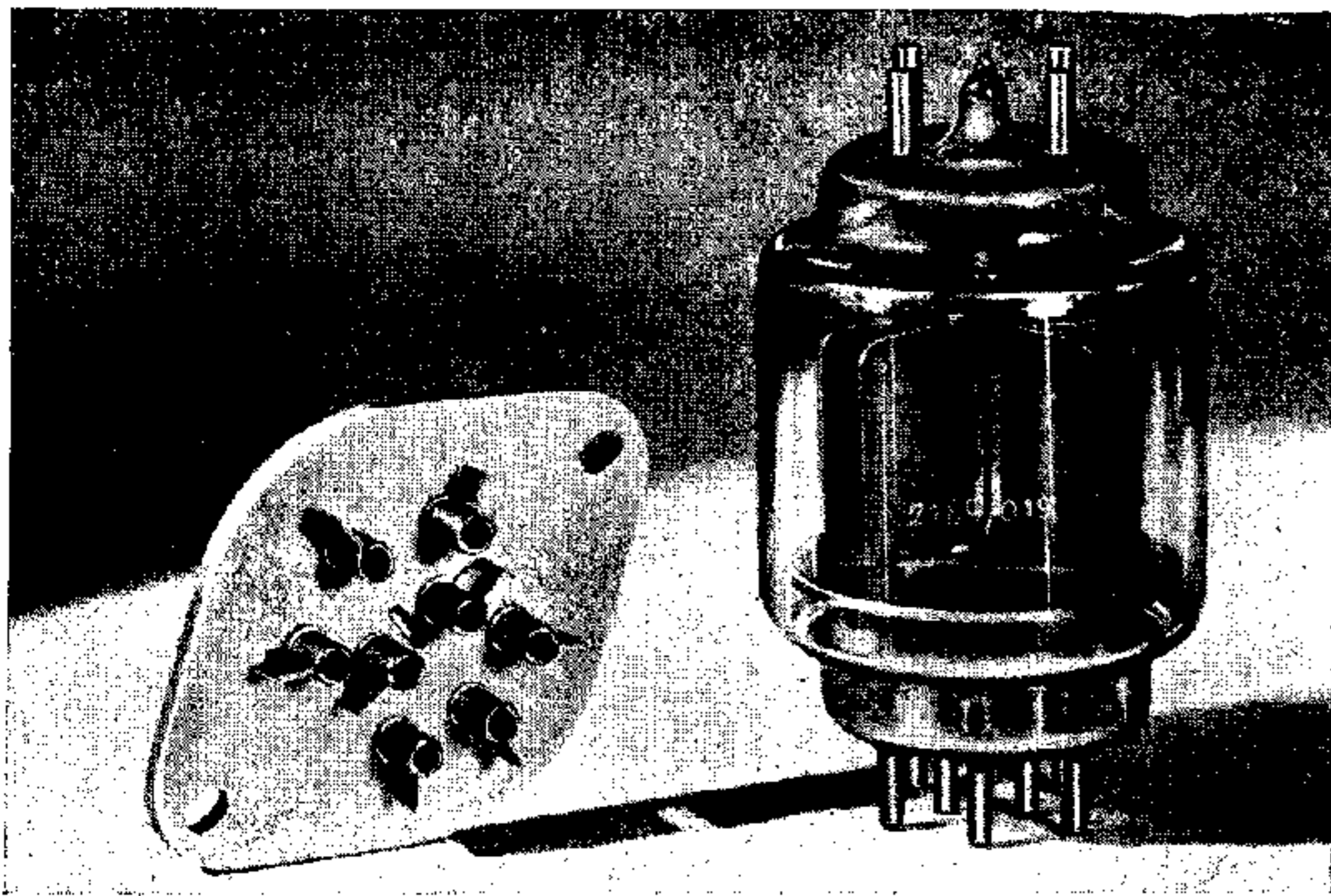


Bild 32: RS 381 mit Fassung.

lötet, wobei im Lötvorgang die unvermeidlichen Glastoleranzen so ausgeglichen werden, daß die Röhre in eine aus einer Keramikplatte mit federnden Buchsen bestehende Fassung eingesetzt werden kann. Bild 32 zeigt Röhre und Fassung.

c) Innenneutralisation.

Die trotz der beiden Abschirmgitter noch wirksamen Gitter-Anodenkapazitäten bewirken bei $\lambda = 1$ m immerhin noch eine unerwünschte Kopplung von Ein- und Ausgang. Diese reicht zwar nicht zur Selbsterregung, führt aber zu einer Leistungswanderung vom Eingangs- in den Ausgangskreis. Von zwei kapazitiv gekoppelten Kreisen wandert immer Energie in den in der Phase nacheilenden Kreis. Nun eilt aber im 1 m-Gebiet

infolge der Elektronenlaufzeiten die Anodenwechselspannung beträchtlich gegen die Gitterwechselspannung nach. Eine überschlägige Rechnung bei den angewandten Abständen und Spannungen zeigt, daß der Laufzeitwinkel für die Elektronen zur Zeit kleinster Anodenspannung, also größten Elektronenstromes, bei $\frac{\pi}{2}$ liegt, so daß gerade die günstigste Bedingung für die Energiewanderung erfüllt ist. Zur Vermeidung dieses Einflusses der Gitter-Anodenkapazität sind in der Röhre Ausgleichskondensatoren in Gestalt kleiner Blechfahnen angebracht, die von der Anode eines Systems durch eine Öffnung des Abschirmkästchens der Gitterenden in die Nähe des Steuergitters des Nachbarsystems führen (Bild 33). Durch diese Neutralisierungsmaßnahme konnte die Steuerleistung bei $\lambda = 1$ m um etwa 30% reduziert werden.

II. Elektrische Daten

a) Statische Werte.

Von den Kapazitäten interessieren für den Senderbau einmal die als Eingangs- und Ausgangskapazitäten bezeichneten Gesamtkapazitäten Gitter/Gitter und Anode/Anode, bei deren Messung die übrigen Elektroden frei liegen. Ihre Werte sind

$$C_{gg} \text{ etwa } 5,2 \text{ pF}, \quad C_{aa} \text{ etwa } 4,2 \text{ pF},$$

sodann die Teilkapazitäten Gitter eines Systems gegen Anode desgleichen Systems (C_{ga}) und Gitter des einen gegen Anode des Nachbarsystems (C_{ga}^*). Bei der Messung sind alle übrigen Elektroden geerdet. C_{ga} beträgt etwa 0,14 pF und C_{ga}^* wird durch die Neutralisierung auf annähernd den gleichen Wert gebracht.

Die Normalheizspannung der in der Röhre parallel geschalteten Heizer ist 12,6 V; der Heizstrom ist etwa 1,4 A.

Die Mittelwerte für Durchgriff und Steilheit je System sind:

$$D = 17\% \text{ und } S = 5 \text{ mA/V bei } I_a = 70 \text{ mA, } U_a = 400 \text{ V, } U_{g2} = 200 \text{ V.}$$

Die maximale Anodenbelastung ist $Q_{a \text{ max}} = 100 \text{ W}$.

b) Hochfrequenzverstärkung.

Bis zu $\lambda = 10$ m herab verhält sich die Röhre noch durchweg wie bei langen Wellen. Von da ab bedingt der schlechter werdende Kreiswirkungsgrad eine Herabsetzung der Anodenspannung, was allerdings wiederum den Röhrenwirkungsgrad verschlechtert, so daß der Gesamtwirkungsgrad des Senders noch stärker abnimmt. Die Laufzeiten hingegen gewinnen erst bei etwa $\lambda = 2$ m einen Einfluß auf den Wirkungsgrad. Die Röhre ist verwendbar bis $\lambda = 0,8$ m herab; doch tritt unterhalb $\lambda = 1$ m ein starker Anstieg der Steuerleistung ein. In Bild 34 sind die normalen Betriebsdaten in Abhängigkeit von der Wellenlänge aufgetragen.

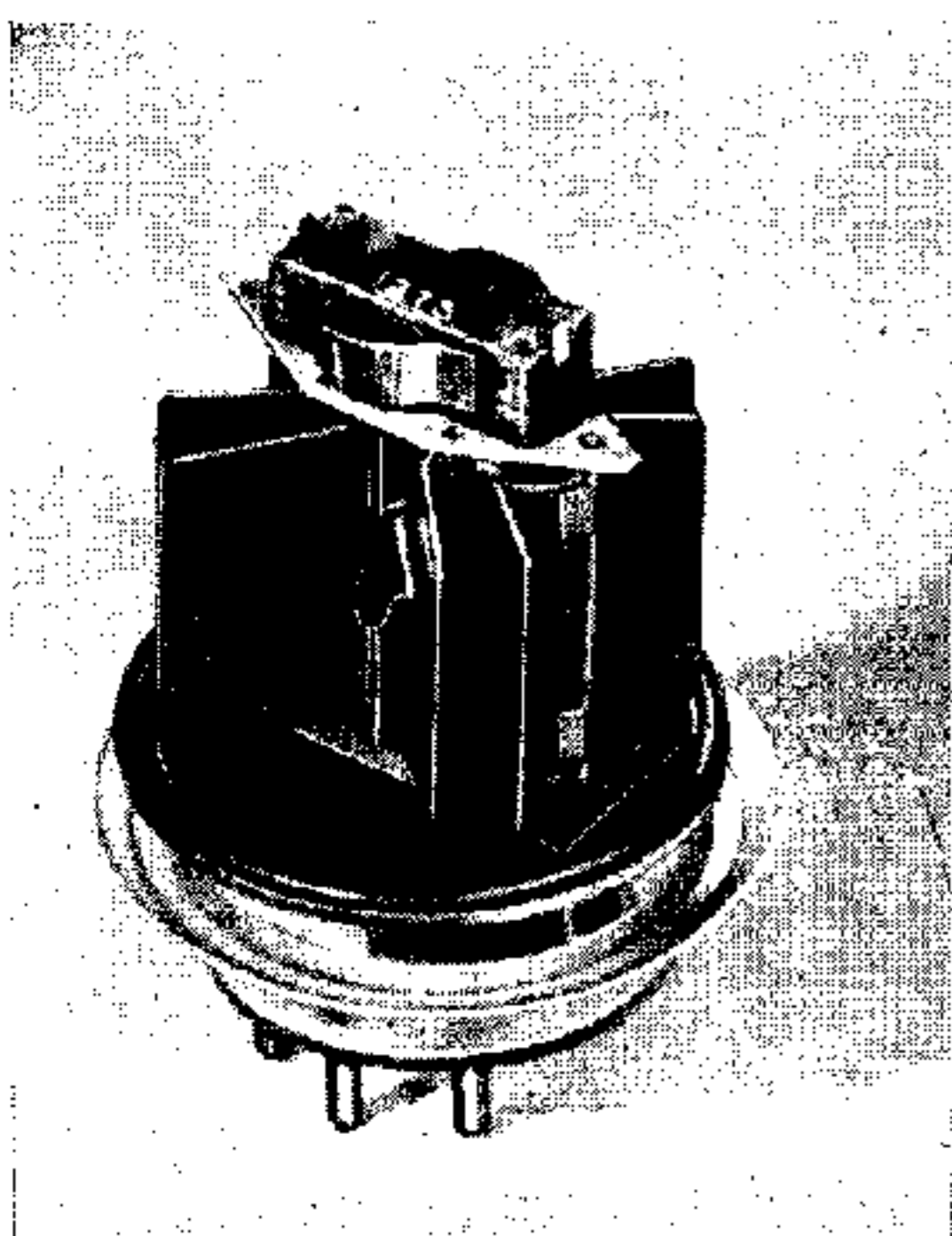


Bild 33: Anordnung der Neutralisierungsfahne.

Bis zu $\lambda = 1,5$ m herab ist dabei die maximale Anodenverlustleistung zu 80% ausgenutzt, um einen gewissen Spielraum bei Fehlanpassungen und dergl. zu haben. Von da bis zur Grenzwellenlänge kann man näher an das Verlustleistungsmaximum herangehen, weil bei dem an sich schon schlechteren Wirkungsgrad und flacheren Resonanzmaximum der Kreise eine Fehlabstimmung nicht mehr so gefährlich ist. Wir geben nachfolgend die gesamten Betriebsdaten für $\lambda = 1$ m und für den Langwellenbetrieb.

Normale Betriebsdaten
(B-Betrieb, Dauerstrich)

	$\lambda = 1$ m	$\lambda > 10$ m
$U_a =$	600 V	1000 V
$I_a =$	200 mA	200 mA
$U_{g2} =$	200 V	200 V
I_{g2} etwa	15 mA	25 mA
$U_{g3} =$	0 V	0 V
$U_{g1} =$	-50 V	-50 V
I_{g1} etwa	4 mA	8 mA
$U_g =$	80 V	80 V
$\mathcal{P}_{st} =$	4 bis 6 W	0,6 W
$\mathcal{P}_a =$	35 W	120 W

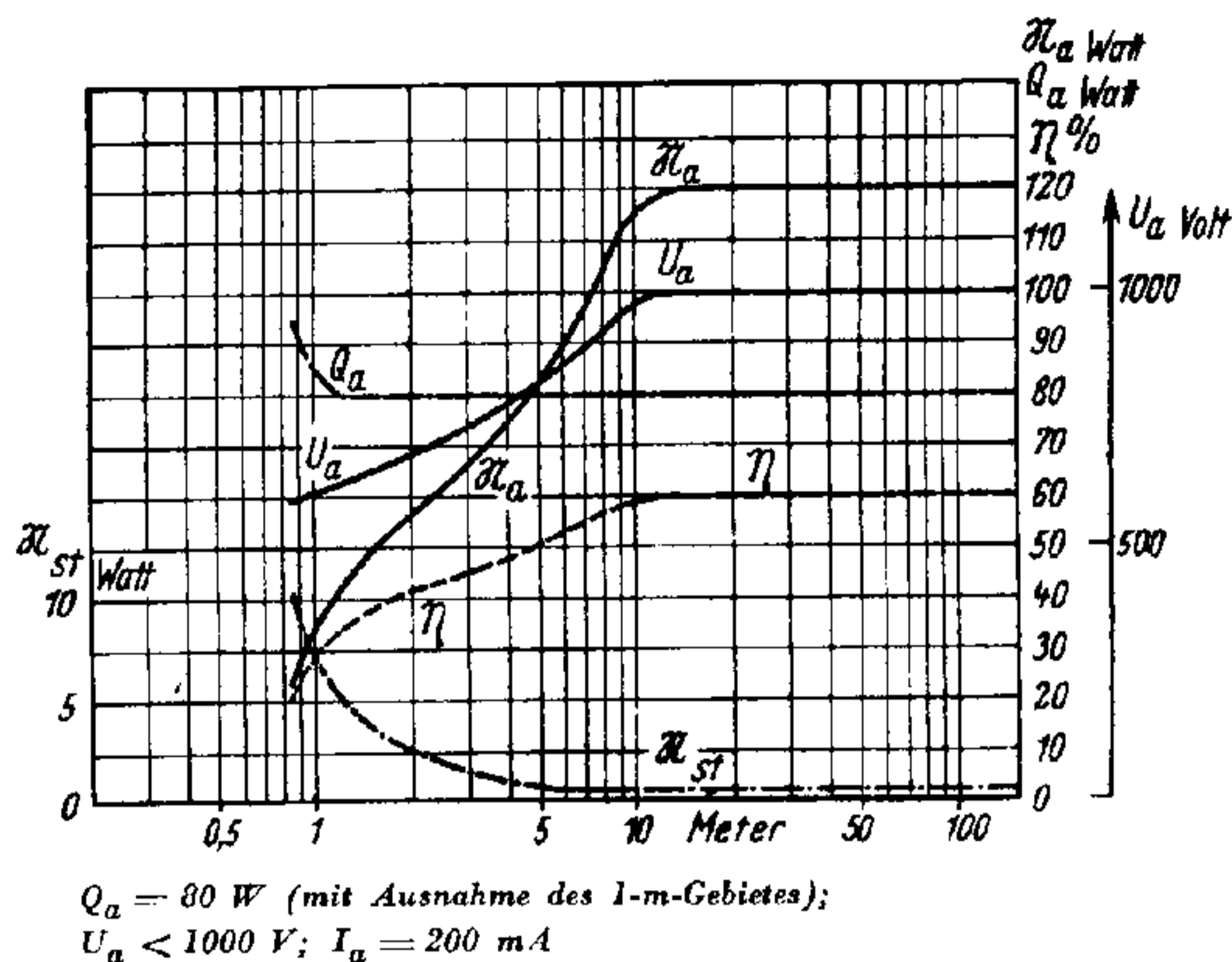


Bild 34: RS 381, Betriebsdaten in Abhängigkeit von der Wellenlänge.

Die Nutzleistung bei Kurzwellen wurde mit angekoppelter Belastungslampe gemessen, stellt also die nach außen verfügbare Leistung der gesamten Senderstufe dar. Zur Bestimmung der Steuerleistung wurde der Lampenkreis an Stelle des Gitterkreises an den Steuersender angekoppelt, wobei die Betriebsdaten des Verstärkerbetriebs reproduziert wurden. Die angegebenen Steuerleistungen umfassen also auch die Verluste im Steuergitterkreis.

c) S e n d e r a n o r d n u n g.

Im Sender sind Eingangs- und Ausgangskreis durch eine Trennwand gegeneinander abzuschirmen, die etwa die äußere Fortsetzung des in der Röhre gelegenen Abschirmtellers darstellt.

Der Gitterkreis würde bei Abschluß am ersten Spannungsknoten nur wenige cm von der Röhre entfernt endigen und zur Ankopplung zu klein sein. Deshalb verlängert man ihn um eine bequem abstimmbare $\frac{\lambda}{2}$ äquivalente Doppelleitung. Beim Anodenkreis ist eine solche Verlängerung nicht notwendig. Sie würde hier auch große Verluste bringen. Bei weitgehenden Ansprüchen an die Entkopplung empfiehlt es sich, das Bremsgitter über eine Leitung gegen Chassis abzustimmen, damit nicht die zufolge kleiner baulicher Unsymmetrien über diese Leitungen noch fließenden Wechselströme an ihnen störende Spannungen hervorrufen können.

Wenn die Röhre auch für den Gegentaktbetrieb neutralisiert ist, so kann doch unter Umständen eine Selbst-erregung eintreten, bei der beide Systeme im Gleichtakt arbeiten. Hierbei stellen die jetzt wie ein einziger Leiter wirkenden Doppelleitungen von Anoden- und Gitterkreis, sowie die Gleichspannungszuleitungen in den Kreismittelpunkten die Kreisinduktivität dar. Schwingungen dieser Art lassen sich aber leicht vermeiden, wenn man in die Zuleitung der Gittergleichspannung zwischen Gitterkreismitte und der Blockierungskapazität nach Chassis einen Dämpfungswiderstand (50 bis 100 Ω) mit oder ohne parallel geschaltete Induktivität einfügt.

d) M o d u l a t i o n.

Von den gebräuchlichen Modulationsarten sind die am Steuergitter und Bremsgitter sowie die Vorstufenmodulation ohne weiteres anwendbar. Bild 35 zeigt beispielsweise Kurven für Hochfrequenzverstärkung bei Vorstufenmodulation bei längeren Wellen. Im 1-m-Gebiet ist der Betrieb ganz analog bei entsprechender Herabsetzung der Anodenspannung. Die Anodenspannungsmodulation hingegen in der normalen Form versagt bei diesen Wellen, weil die Spannungsaussteuerung der Anode infolge des hier schon zu kleinen Kreiswiderstandes nicht 100% gemacht werden kann. Wollte man eine solche Aussteuerung erzielen, so

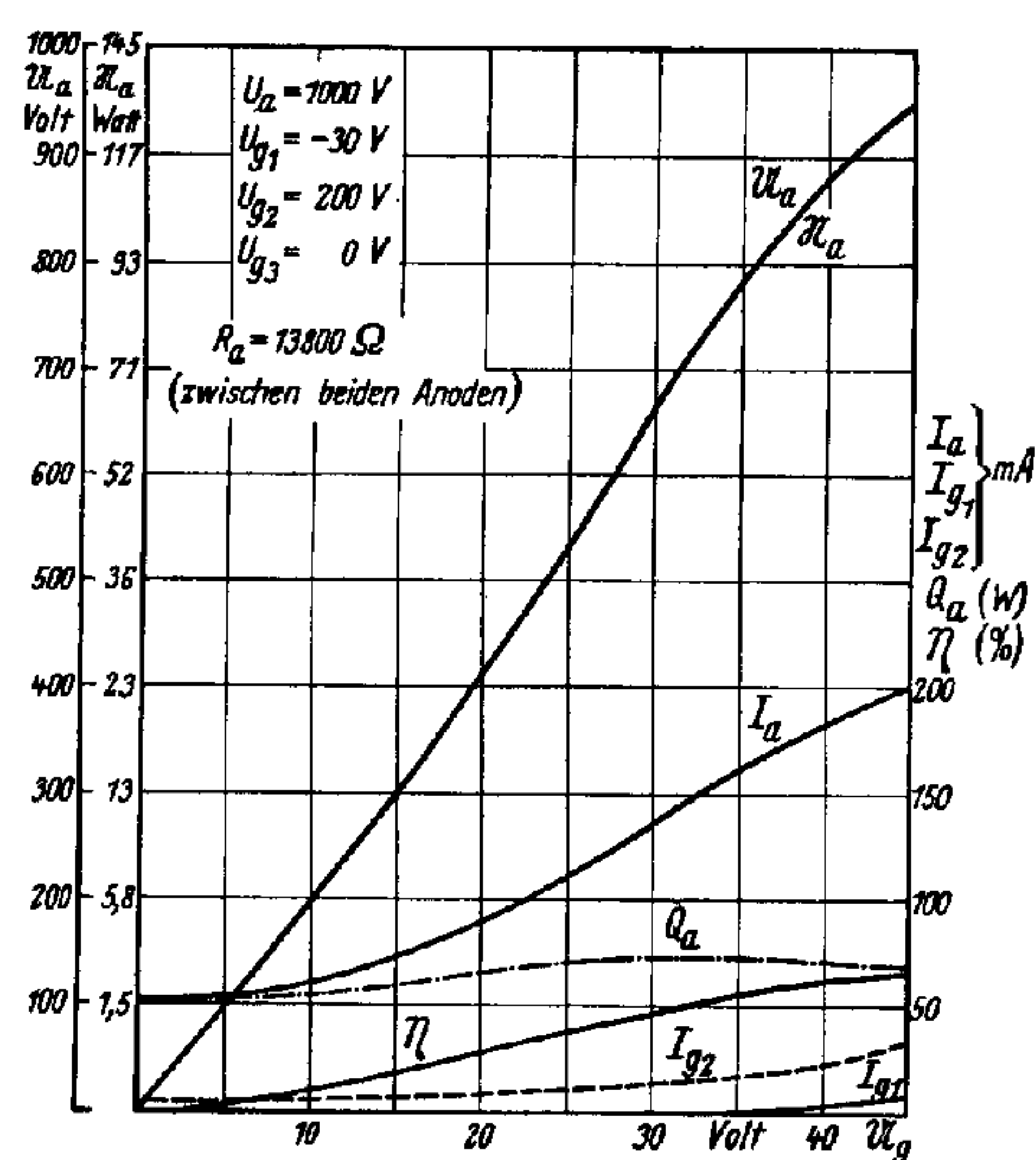


Bild 35: Schaubild der Hochfrequenzverstärkung der RS 381 bei Vorstufenmodulation und längeren Wellen.

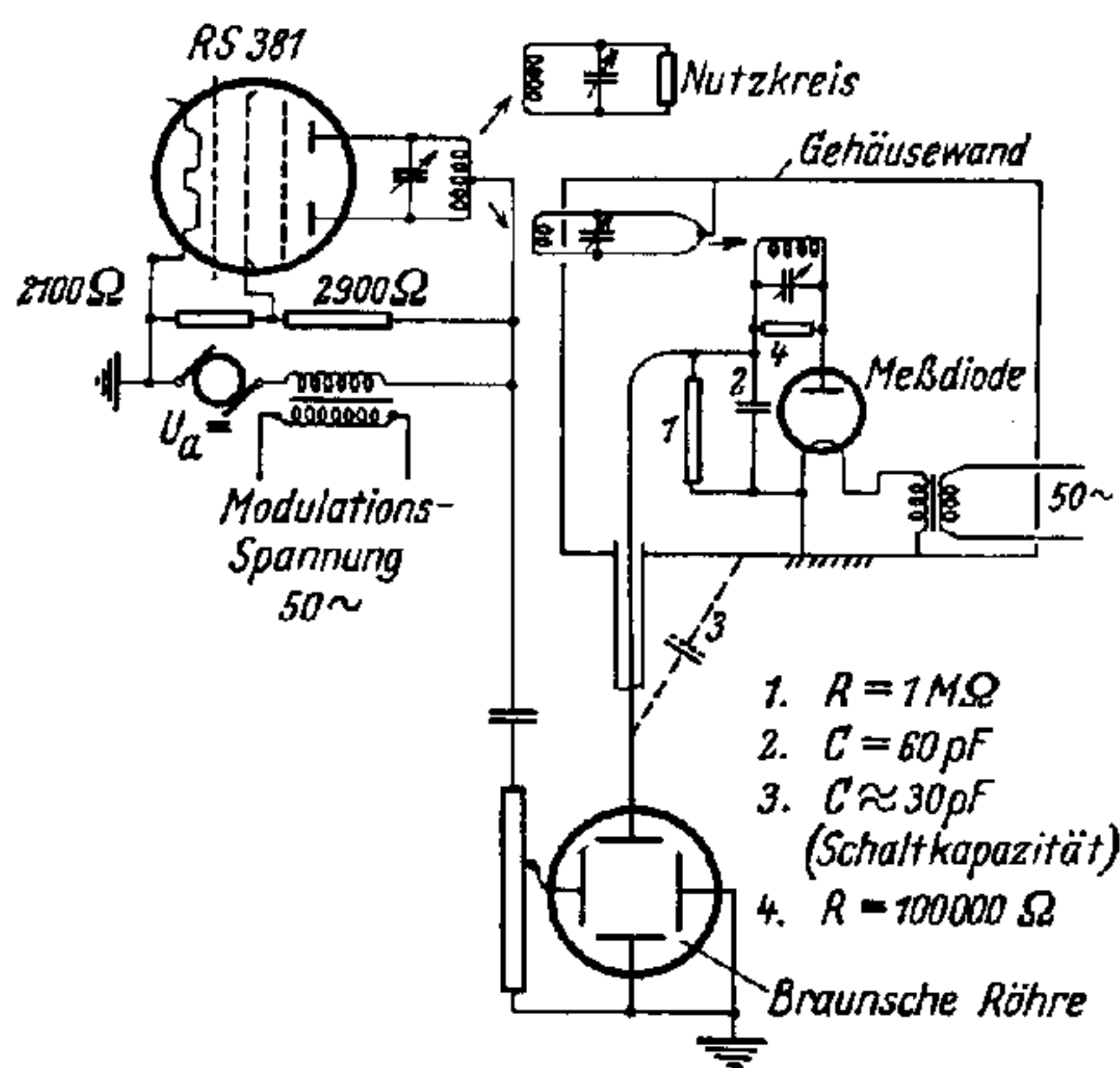


Bild 36: Meßschaltung für Anoden- und Schirmgittermodulation bei $\lambda = 1$ m.

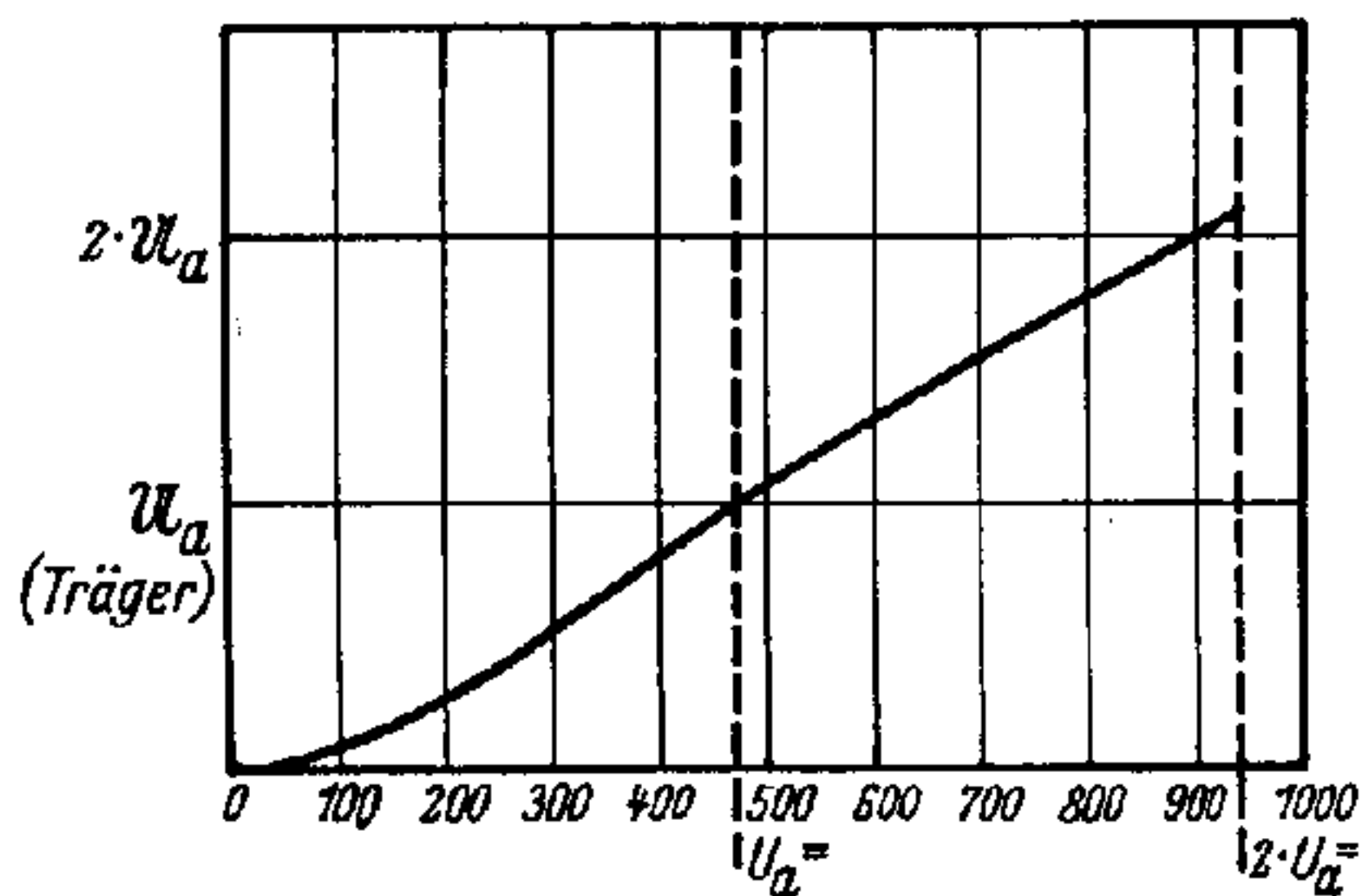


Bild 37: RS 381, Gleichzeitige Anoden- und Schirmgittermodulation bei $\lambda = 1$ m.

$U_a = 470$ V $I_a = 200$ mA
 $U_{g2} = 200$ V $I_{g2} = 9,5$ mA
 $U_{g1} = -80$ V $I_{g1} = 5$ mA
 Trägerleistung 35 Watt.

würde wegen des zu kleinen Verhältnisses von Nutzdämpfung zu Kreisdämpfung der Gesamtwirkungsgrad zu schlecht. Auch ein indirektes Mitmodulieren des Schirmgitters durch einen Widerstand in der Schirmgitterzuleitung gibt noch kein befriedigendes Ergebnis. Andererseits möchte man gerade bei den kurzen Wellen, wo vorerst noch keine größeren Röhren zur Steigerung der Senderleistung zur Verfügung stehen, den Vorteil der Anodenmodulation, nämlich guten Wirkungsgrad bei kleinem Klirrfaktor und vor allem die Steigerung der mittleren Röhrenleistung gegenüber Dauerstrich ausnutzen. Es zeigt sich nun, daß die Anodenmodulation gut gelingt, wenn man die Schirmgitterspannung prozentual gleich mitmoduliert, also z. B. die Schirmgitterspannung von einem an Anodenspannung liegenden Potentiometer abgreift. Der Modulationsmechanismus besteht dann nicht mehr wie bei der reinen Anodenmodulation in einer Stromübernahme auf Steuergitter und Schirmgitter, sondern kurz gesagt in einer Raumladesteuerung des Anodenstromes durch die Schirmgitterspannung. Die Modulationskennlinie bekommt allerdings damit die typische U^2 -Gestalt, läßt sich aber linearisieren durch einen Widerstand in der Schirmgitterzuleitung. Bild 36 zeigt eine Meßschaltung, mit der die in Bild 37 wiedergegebene Modulationslinie bei $\lambda = 1$ m aufgenommen wurde. Der Schirmgitterwiderstand ist im gezeichneten Falle der Widerstand des Potentiometers. Für die Messung wurde mit 50 Perioden moduliert, die hochfrequente Anodenwechselspannung gleichgerichtet und dem einen Plattenpaar einer Braunschen Röhre zugeführt, während am anderen Plattenpaar die niederfrequente Anodenwechselspannung lag. Die Modulationskurve ist im untersten Teil trotz des Linearisierungswiderstandes noch gekrümmt. Diese Erscheinung ist auf das Absinken des Röhrenwirkungsgrades bei den sehr kleinen Spannungen zurückzuführen, bei denen zufolge der Laufzeiten die effektive Wechselstromteilheit fällt. Immerhin ist bei 80% Modulation der Klirrfaktor noch kleiner als 3,5%.

Zusammenfassung

Das Prinzip der Gegentaktpentode stellt einen geeigneten Weg für die Leistungsverstärkung bei $\lambda = 1$ m dar. Die von Telefunken entwickelte RS 381 enthält in einem Kolben nebeneinander zwei Pentodensysteme, deren Kathoden, Schirmgitter und Bremsgitter fast induktionsfrei verbunden sind. Neutralisierungskondensatoren in der Röhre verbessern die Entkopplung von Ein- und Ausgang. Die Kathoden sind indirekt geheizt. Die Röhre ist bis zu $\lambda = 80$ cm herab verwendbar. Bei $\lambda = 1$ m gibt sie eine Nutzleistung von 35 W bei 4 bis 6 W Steuerleistung. Außer Steuergitter- und Bremsgittermodulation läßt sich eine kombinierte Schirmgitter-Anodenmodulation anwenden.

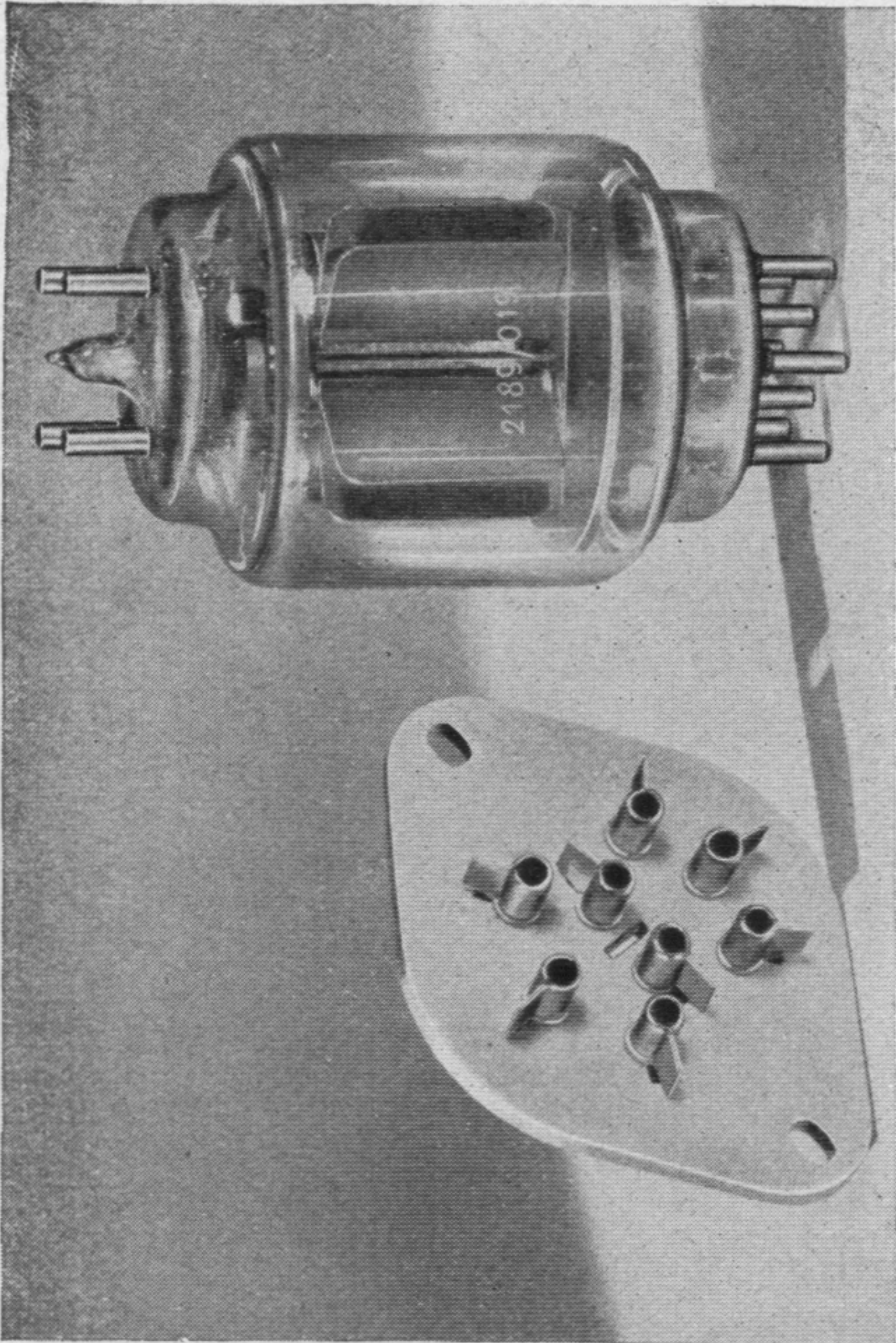


Bild 32: RS 381 mit Fassung.

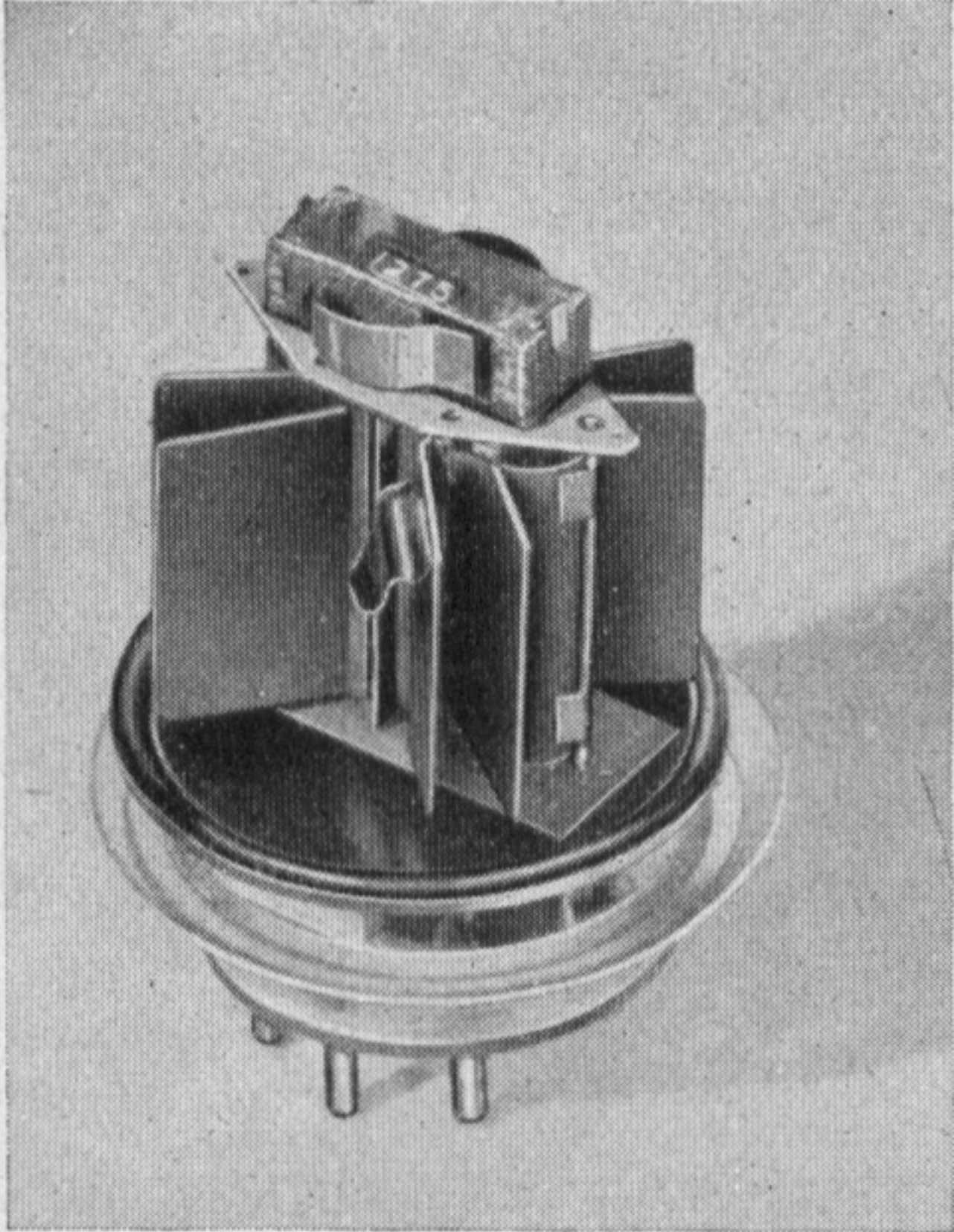


Bild 33: Anordnung der Neutralisierungsfahne.