

Herbert Döring

## Der Heil'sche Generator, eine heute vergessene Bauform eines Klystrons

Im folgenden soll auf eine Elektronenröhre, eine spezielle Laufzeitröhre, hingewiesen werden in der die unvermeidlichen endlichen Laufzeiten der Elektronen nutzbar für den Mechanismus der Röhre gemacht werden. Das Prinzip dieses Mikrowellengenerators wurde bereits 1935 von O. Heil und A. Arsenjewa - Heil in der Zeitschrift für Physik angegeben [1]. Dies wurde aber damals von den röhrenbauenden Ingenieuren kaum beachtet. In dieser auf praktische Ausführungen nicht eingehenden Arbeit sind bereits die drei Schritte: Geschwindigkeitssteuerung, Phasenfokussierung im Laufraum und Energieauskopplung, die für die Funktion des später von den Brüdern Varian erfundenen Klystrons wesentlich sind, enthalten. Ebenso ist hier auch das Prinzip des Betriebs einer Röhre mit abgesenkter Kollektorspannung bzw. mit gestuftem Kollektor zwecks Verbesserung des Wirkungskreises erstmals veröffentlicht [2].

Die Wirkungsweise dieses Laufzeitgenerators soll anhand einer später von O. Heil realisierten Bauform erläutert werden. Wird der in *Bild 1* gezeigte, beiderseits kurzgeschlossene Koaxialresonator zu TEM-Schwin-

gungen bei der niedrigsten Frequenz (Grundwelle) angeregt, so treten elektrische Feldlinien nur transversal zur Resonatorachse auf. Sie verlaufen radialsymmetrisch, wie in *Bild 1* unten dargestellt. Die maximale elektrische

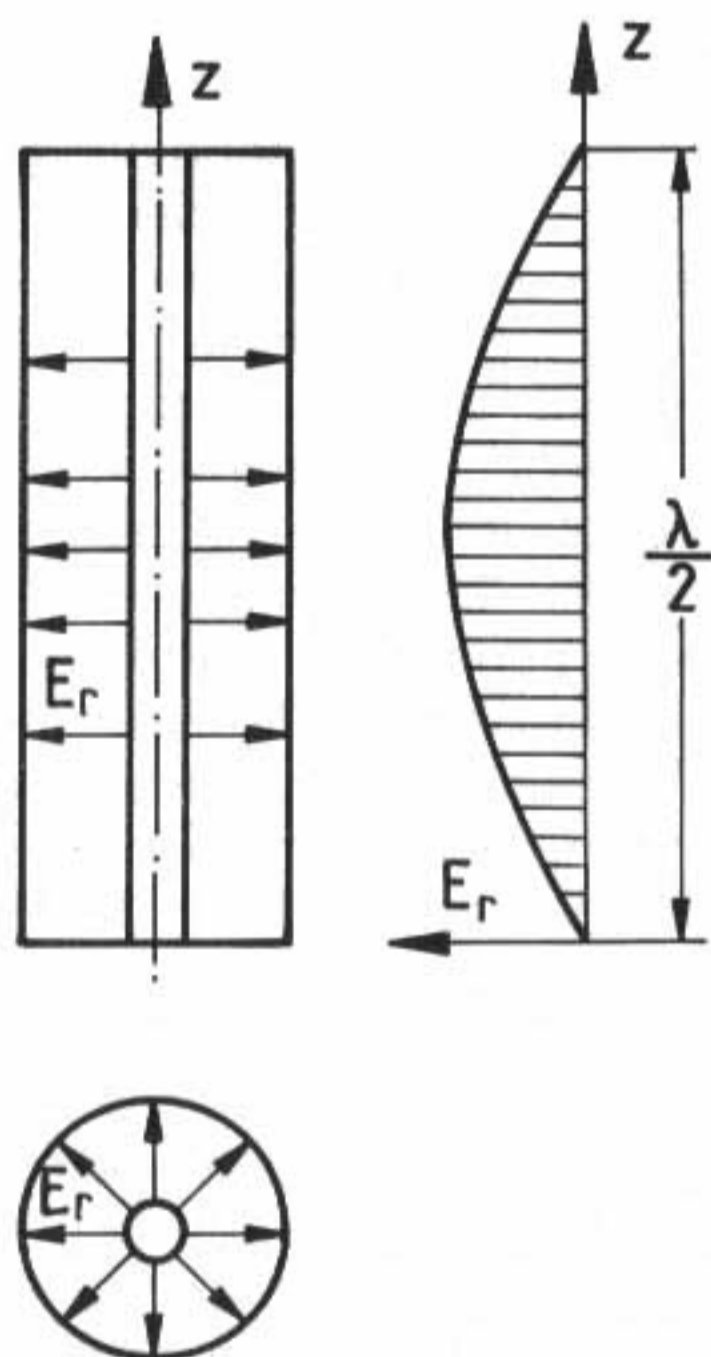


Bild 1: Elektrisches Feld in einem  $\lambda/2$  langen Koaxialresonator und Verteilung des radialsymmetrischen Feldes  $E_r$  längs der Resonatorachse.

Feldstärke tritt in der Mitte des Resonators (eine  $1/4$  Wellenlänge von den kurzgeschlossenen Enden) auf. Die hier nicht gezeichneten magnetischen Feldlinien umschließen den Innenleiter kreisförmig. Schickt man nun, wie *Bild 2* zeigt, bei dem angenommenen Schwingzustand einen Elektronenstrahl quer durch den in der Mitte durchbohrten Resonator, so erfahren die das Steuerfeld durchsetzenden Elektronen eine "Geschwindigkeitssteuerung". Je nach der Durchtrittsphase werden die Elektronen entweder beschleunigt oder verzögert. Nach dem Steuerfeld durchlaufen die Elektronen den sog. Laufraum, der vom quer durchbohrten, feldfreien Innenleiter des Resonators gebildet wird. In diesem gruppieren sich die Elektronen als Folge ihrer verschiedenen Geschwindigkeiten zu Ladungspaketen. Aus dem ursprünglich in seiner Dichte homogenen Strahl wird durch diese "Phasenfokussierung" ein in seiner Dichte modulierter Strahl. Diese periodisch auftretenden Ladungspakete influenzieren beim Durchlaufen des Auskoppelfeldes Ladungen, die zu Strömen am Innen- und Außenleiter führen. Bei richtiger Einstellung der Elektronenlaufzeit  $\tau$  durch die Röhre (oder genauer gesagt des statischen Laufwinkels  $\omega\tau$ ) ergibt sich eine "Mitkopplung" und bei genügend großer Strahlleistung tritt "Selbsterregung" auf. Bei diesem Schwingungstyp schwingen die beiden von den Elektronen durchlaufenen Bereiche des radialen, elektrischen Feldes gegenphasig bezogen auf die Bewegungsrichtung der Elektronen. Ein gleichphasiger Betrieb ist

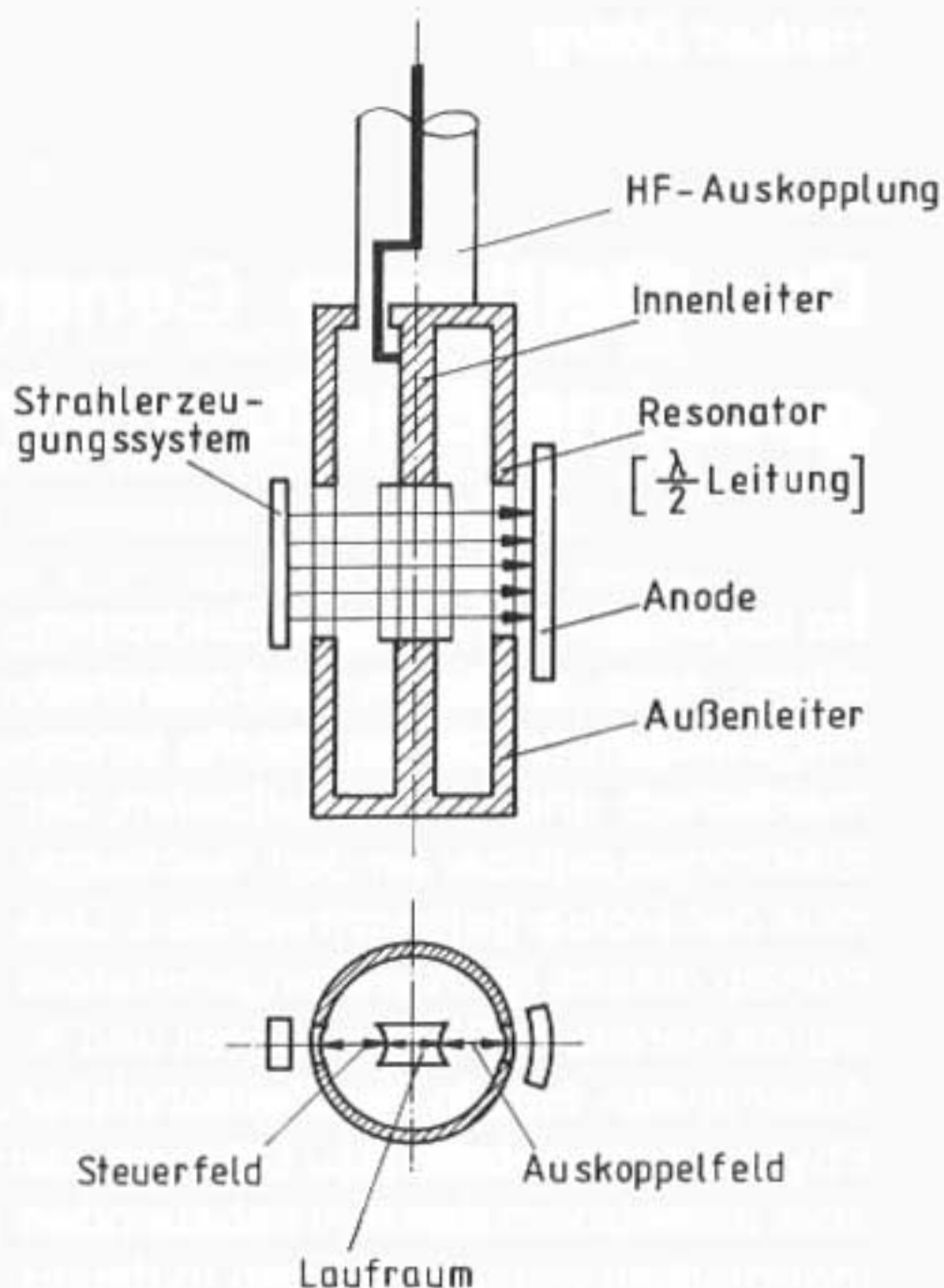


Bild 2: Schematische Ansicht des Heil'schen Generators (ohne Glaskolben)

möglich, wenn statt der hier angenommenen TEM-Schwingung im Resonator eine TE-Schwingung auftritt.

Das Schema des ursprünglich von O. Heil in dem von F. Herriger geleiteten Senderöhrenlaboratorium der C. Lorenz AG entwickelten Generators zeigt *Bild 2*. Man erkennt die außerhalb des Resonators angebrachten Elektroden: Strahlerzeugungssystem bzw. Anode, sowie die Auskoppelschleife am oberen Leitungsende, die zum Innenleiter der Auskoppelleitung führt. Der verwendete Elektronenstrahl ist ein Flachstrahl, der durch ein



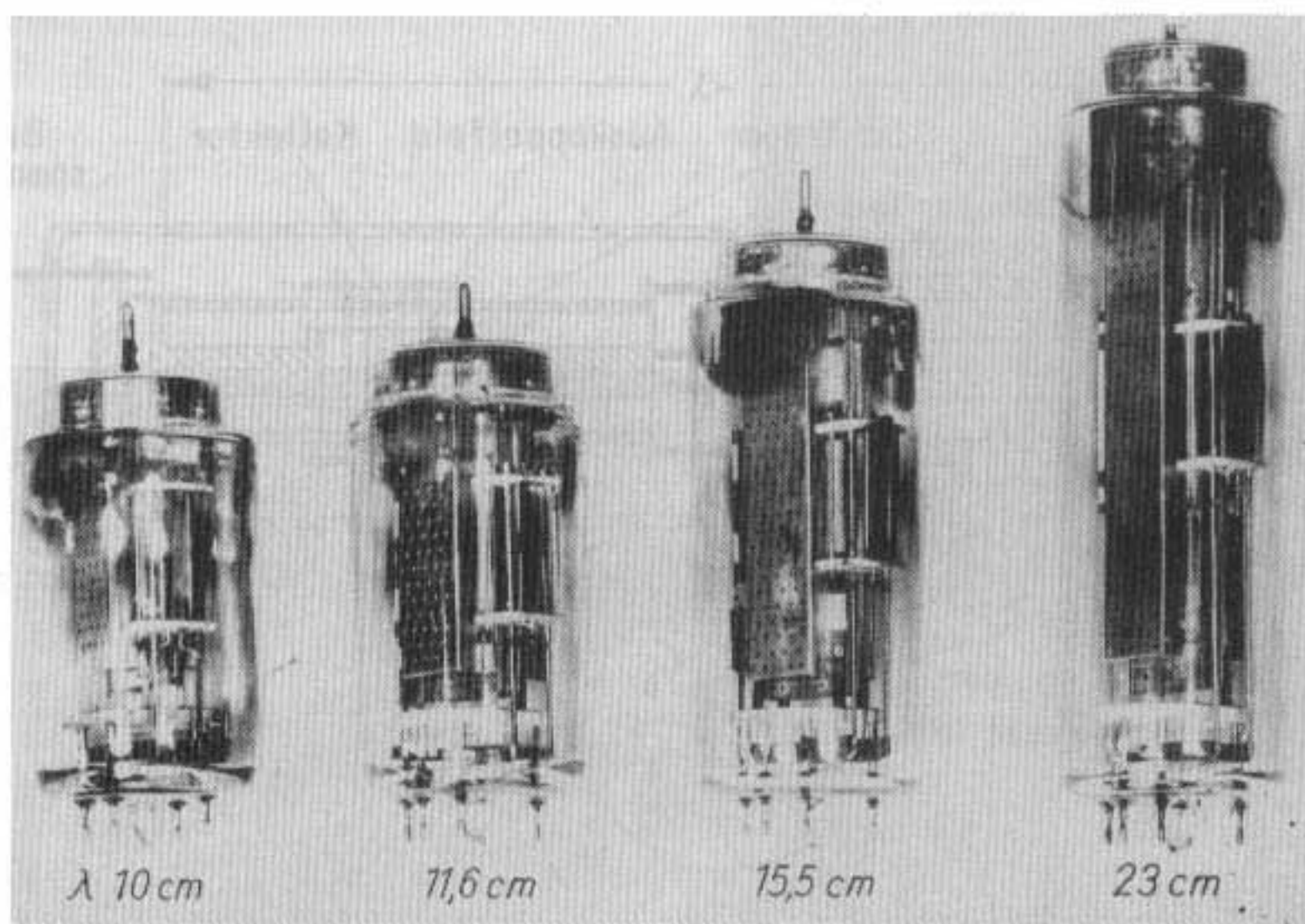


Bild 3: Heil'sche Generatoren für 10, 11,6, 15,5, und 23cm Wellenlänge (C. Lorenz AG)

Magnetfeld parallel zur Bewegungsrichtung der Elektronen geführt und zusammengehalten wird. Die Energieauskopplung aus der Röhre erfolgt am oberen Ende des Resonators durch eine Koppelschleife, die senkrecht zu den magnetischen Feldlinien orientiert ist. Die Schleife führt zum Innenleiter der Auskoppelleitung. Bei den praktisch ausgeführten Röhren wird der Außenleiter der Auskoppelleitung kapazitiv über die Röhrenglaswand angeschlossen.

Bild 3 zeigt derartige Röhren für Wellenlängen von 10, 11,6, 15,5 und 23 cm Wellenlänge. Diese Oszillatoren für feste Frequenzen wurden von dem Verfasser dieses Aufsatzes in dem bereits genannten Senderöhrenlabo-

ratorium zu Beginn der 40er Jahre entwickelt [3]. Dabei wurden durch besondere Dimensionierung der kritischen Wechselfeldlängen und der Laufräumlänge Wirkungsgrade zwischen 10 und 20 % erzielt. Bei einer Gleichstromstrahlleistung von 100 W lag die erzeugten Hochfrequenzleistung zwischen 10 und 20 W.

Um diesen Oszillator verstimmbar zu machen, wurde die frequenzbestimmende Resonanzleitung nur an einem Ende kurzgeschlossen, während das andere Ende zu einem Pressglasteller mit 16 Durchführungstiften geführt wird. An diesen wurde außerhalb der Vakuumhülle eine Koaxialleitung mit Kurzschlußschieber angeschlossen. Zur Zeit der Entwicklung dieser Röh-

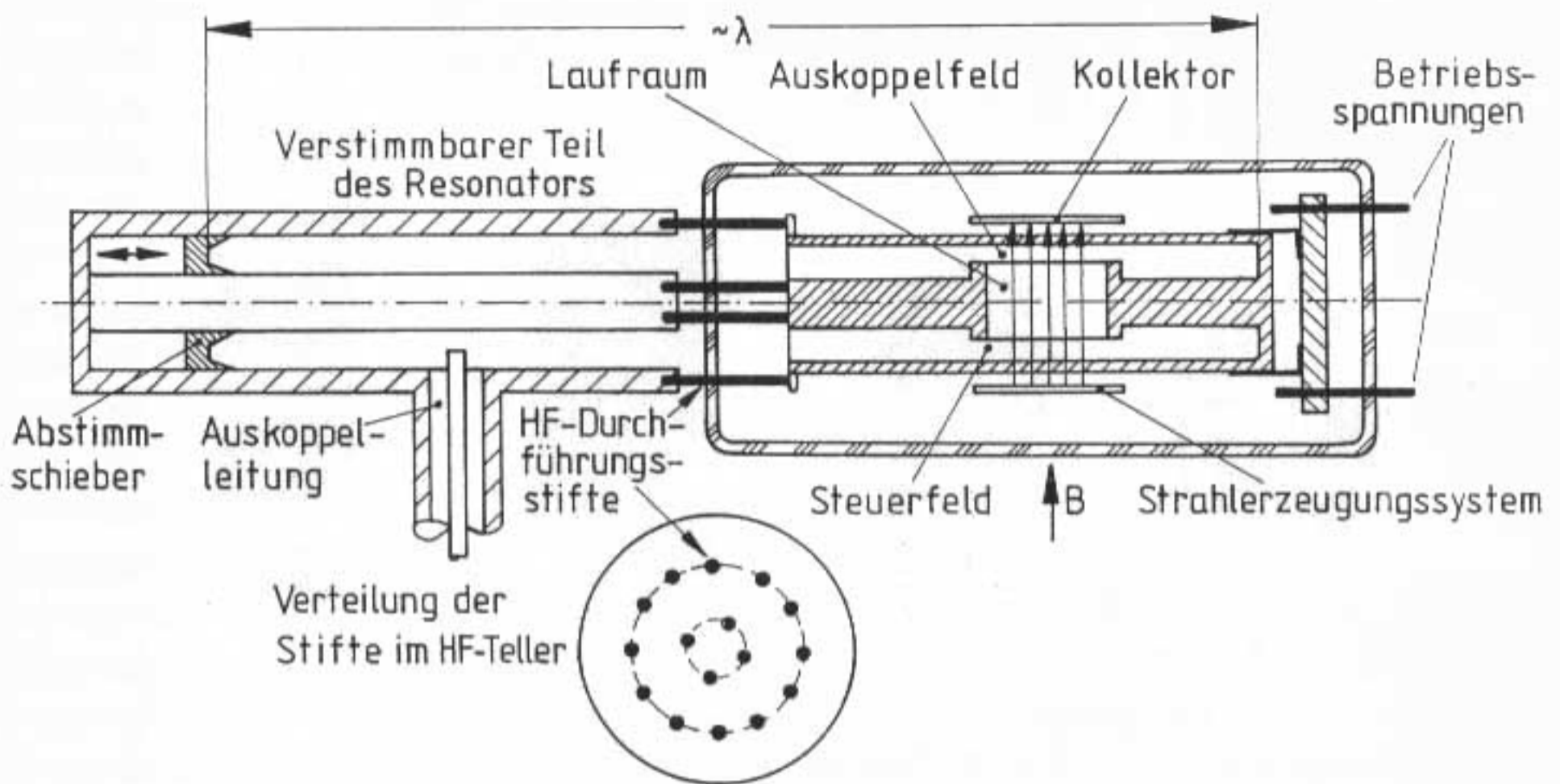


Bild 4: Längsschnitt durch einen Sender mit dem Heil'schen Generator RD12La.  $\lambda=21,5$  bis 24 cm,  $P_{HF}$  ca. 15W,  $U_0=500V$ ,  $I_0=200mA$ ,  $B$  ca. 1500G.

ren waren flächenhafte Durchführungen noch nicht fertigungsreif. *Bild 4* zeigt den schematischen Aufbau der Röhre, einschl. Resonator und Auskoppelleitung. Die Röhre war für den Wellenlängenbereich 21,5 - 24,5 cm entwickelt worden. In diesem Bereich lieferte sie eine Hochfrequenzleistung von etwa 15 W. Darüber hinaus arbeitete sie in einem viel größeren Wellenlängenbereich von 18 bis über 50 cm, der nur durch den vorhandenen, äußeren Resonatorteil begrenzt war, als Oszillator, allerdings bei reduzierter Hochfrequenzleistung.

*Bild 5* zeigt eine Ansicht dieser Röhre. Sie trägt an einem Ende einen Sockel für die Zuführung der Betriebsspannungen. Dieser besitzt ferner eine Nocke, damit die Röhre richtig orien-

tiert in das Magnetfeld eingesetzt werden kann und ebenso einen Handgriff, um einen Röhrenwechsel zu ermöglichen. Der Preßteller enthält 12 Stifte für den Anschluß des Außenleiters und 4 Stifte für den Innenleiter des außerhalb des Vakuums anzusetzenden Koaxialleitungsstückes. Im Strahlerzeugungssystem emittiert eine Kathodenhülse mit trapezförmigem Querschnitt zwei parallele Flachstrahlen unter dem Einfluß eines elektrischen Zugfeldes und des zu diesem senkrechten magnetischen Führungsfeldes (heute als „Magnetron Injection Gun“ bezeichnet).

Die Röhre erhielt als Wehrmachtströhre die Bezeichnung RD12La. Sie wurde für das Trägerfrequenzrichtfunkgerät „Stuttgart II“ der C. Lorenz AG ent-



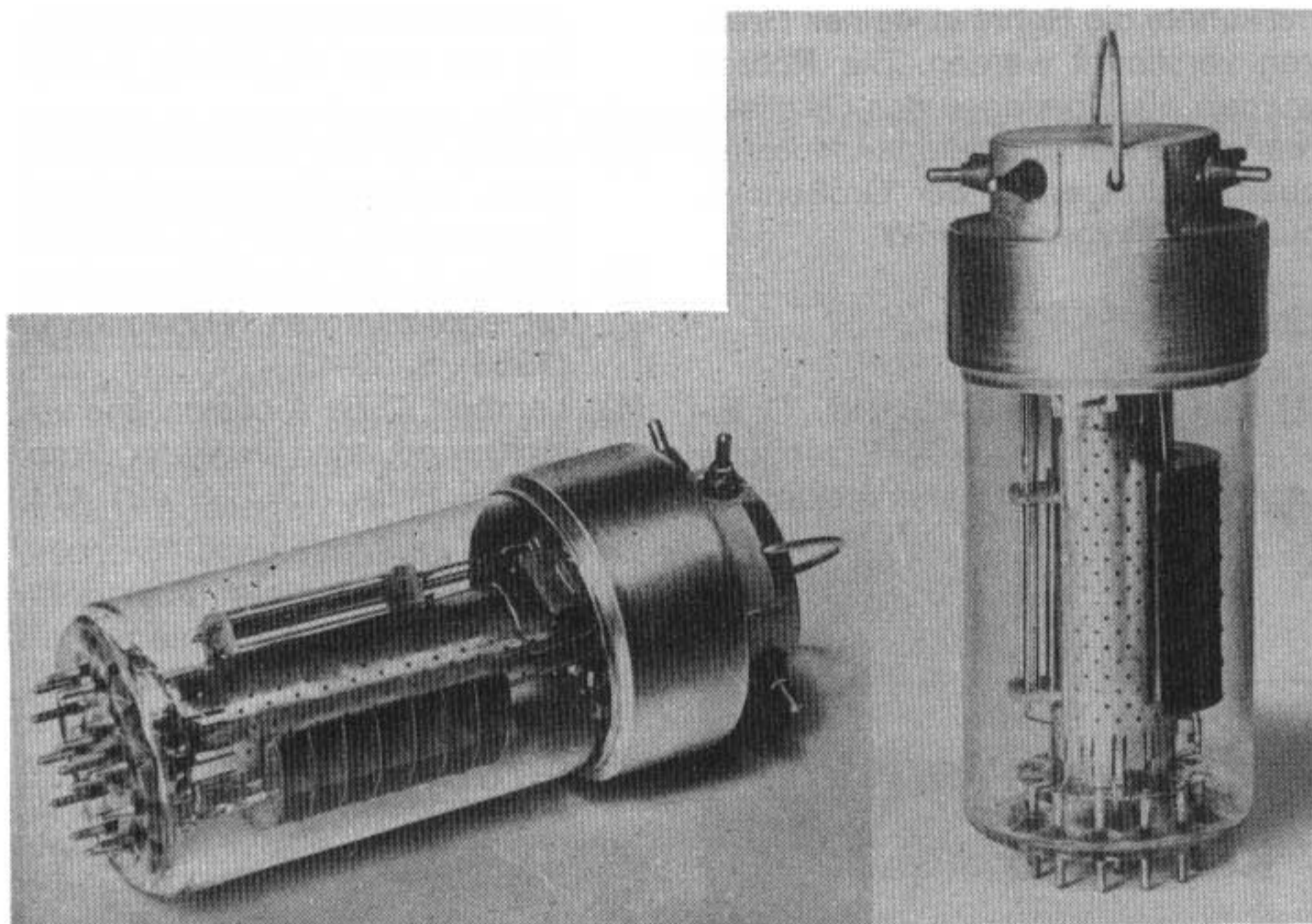


Bild 5: Ansicht der Wehrmachtströhre RD12La (1942)

wickelt an Stelle des in dem Gerät „Stuttgart I“ ursprünglich verwendeten Magnetrons. Diese 10-Kanal-Geräte arbeiteten mit Frequenzmodulation. Sie wurden in fahrbaren End- und Relaisstellen von Richtfunkverbindungen eingesetzt. Beide Typen "I und II" arbeiteten bei 21,5 - 24 cm Wellenlänge, jedoch lieferte das mit dem frequenzmodulierten Magnetron arbeitende Gerät nur eine Hochfrequenzleistung von 0,5 W an die Hornantenne. Das Gerät Stuttgart II soll in einer solchen Strecke während des 2. Weltkriegs bis zum Kaukasus gekommen sein. Im übrigen war die Röhre RD 12 La die einzige in Deutschland wäh-

rend des 2. Weltkrieges original entwickelte, fabrizierte und auch eingesetzte Klystronröhre.

Der Vollständigkeit halber sei erwähnt, daß nach dem 2. Weltkrieg eine Entwicklung des Heil'schen Generators für verschiedene Frequenzbereiche um 4 GHz bei der englischen Firma Standard Telephones and Cables Ltd (STC) bekannt wurde [4]. Bei diesen war der frequenzbestimmende Resonator ebenfalls nur an einem Ende kurzgeschlossen, während der Innenleiter des offenen Endes in einen von außen verstimmbaren Rechteck-Hohlraumresonator hereinragte. Da-

## Röhren

---

mit konnte die Röhre in kleinen Grenzen verstimmt werden. Die Röhren wurden als Überlagerungs-Oszillatoren verwendet und lieferten Hochfrequenzleistungen in der Größenordnung von einigen 100 mW.

### Literatur:

[1] Arsenjewa-Heil, A. u. Heil, O: Eine neue Methode zur Erzeugung kurzer, ungedämpfter elektroma-

gnetischer Wellen großer Intensität, Z. f. Phys. 95, (1935), S. 752-762.

- [2] Döring, H.: Der Heil'sche Generator, eine spezielles Klystron, Frequenz 41, (1987), S. 138-139.
- [3] Döring, H.: 60 Jahre Mikrowellenröhrenoszillatoren, NTZ-Archiv 5, (1983), S. 33-43.
- [4] Lambert, D.E.: A coaxial-line velocity-modulated Oscillator, Proc. IEE 99, Pt 3A, (1952) S. 421-426.