

Sonderdruck aus »Siemens-Zeitschrift«
45. Jahrgang · Juni 1971 · Heft 6 · Seite 391 bis 399
Verfasser: Hinrich Heynisch

Als Mikrowellenröhren werden hier alle Elektronenröhren bezeichnet, die für die Verstärkung oder Schwingungserzeugung im Frequenzbereich über 200 MHz bis zu den Submillimeterwellen geeignet sind. Das Gebiet der Mikrowellenröhren umfaßt folglich eine Vielzahl von Elektronenröhrenprinzipien: gittergesteuerte Scheibenröhren sowie alle Arten von Laufzeitröhren, z.B. Wanderfeldröhren, Klystrone, Rückwärtswellenröhren, Wanderfeldklystrone und Magnetrone.

Im weiteren Sinne müßte man zu den Mikrowellen-Elektronenröhren auch die Linearbeschleuniger und die Teilchen-Kreisbeschleuniger (Betatron, Zyklotron u.a.) rechnen. Letztlich gehören alle Elektronenröhren, deren Verstärkungsprinzip auf der Wechselwirkung höchstfrequenter elektrischer Felder mit im Hochvakuum bewegten Elektronen beruht, zu den Mikrowellenröhren.

Im folgenden wird ein Überblick über die Neuentwicklungen von Siemens-Mikrowellenröhren gegeben. Für alle diese Entwicklungen mußten die vorhandenen und erprobten Technologien weiter verfeinert und verbessert werden, für einige der neuesten Entwicklungen mußte die erforderliche Technologie erst geschaffen werden.

Neuzeitliche Mikrowellenröhren für Fernsehender

Sowohl für die Fernsehsumersetzer im VHF- und im UHF-Frequenzbereich bis zu Senderleistungen von 1 kW als auch für UHF-Fernsehender bis 40 kW wurden in den letzten zwei Jahren viele neue Verstärkerrohren entwickelt.

Zunächst entstanden neue *Scheibenröhren*, die eine Verstärkung von Fernsehsignalen (Bild und Ton gemeinsam) bis zu 20 dB Gewinn ermöglichen und ausgezeichnete Linearitätseigenschaften (rund 60 dB Intermodulationsabstand nach dem 3-Ton-Verfahren) haben. Es handelt sich hier um die Röhren der Typen YD 1104, YD 1270, YL 1052 und YL 1055 (Bild 1). Ihre wesentlichen Daten sind in Tafel 1 zusammengestellt. Zu diesen Röhren gibt es auch entsprechende Topfkreise.

Für den Fernsehsumsetzerbetrieb (Bild und Ton gemeinsam) stehen auch einige *Wanderfeldröhren* zur Ver-

fügung, die mit permanentmagnetischer Fokussierung ausgestattet und mit wenigen Handgriffen in den Magneten auswechselbar sind. Hierzu gehören die Röhren der Typen YH 1010, YH 1012, YH 1017 und YH 1018. Bild 2 zeigt einige solcher Röhren. Mit allen diesen Wanderfeldröhren erzielt man einen guten Betriebswirkungsgrad, wenn man den leistungsabhängigen Phasengang mit einem sogenannten Phasenkompensator, zum Beispiel vor dem Röhreneingang, kompensiert. Eine besondere Eigenschaft dieser Typenfamilie ist die ausgezeichnete Amplitudenlinearität (Linearitätsmaß über 95%). Deshalb kann man hier auch auf eine äußere Amplitudenkompensation verzichten. Die Röhrenkennlinien (Ausgangsleistung in Abhängigkeit von der Eingangsleistung) werden bei Fernsehsumsetzerbetrieb mit gemeinsamer Bild- und Tonverstärkung bis zur Hüllkurvenspitzenleistung angesteuert. Es ist also ganz wesentlich für das Linearitätsverhalten, daß die Sättigungsleistung der Wanderfeldröhre im ganzen Frequenzbereich der Anwendung einen genügend großen Abstand von der Hüllkurvenspitzenleistung hat. Der Betriebswirkungsgrad ist deshalb als Hüllkurvenspitzen-

Typ	Frequenzbereich MHz	Syn- chron- Aus- gangs- leistung W	Bild- Ton- Verhält- nis	Minimale Verstär- kung dB	Mini- maler 3-Ton- Intermo- dulations- abstand dB
Triode YD 1104	470 bis 860	1,25	10 : 1	11	58
Triode YD 1270	470 bis 860	25	10 : 1	18,5	58
Tetrode YL 1052	170 bis 230	580	10 : 1	14	59
Tetrode YL 1055	170 bis 860	220	10 : 1	16,5	59

Tafel 1 Kennwerte neuartiger Mikrowellen-Scheibenröhren für Fernsehender

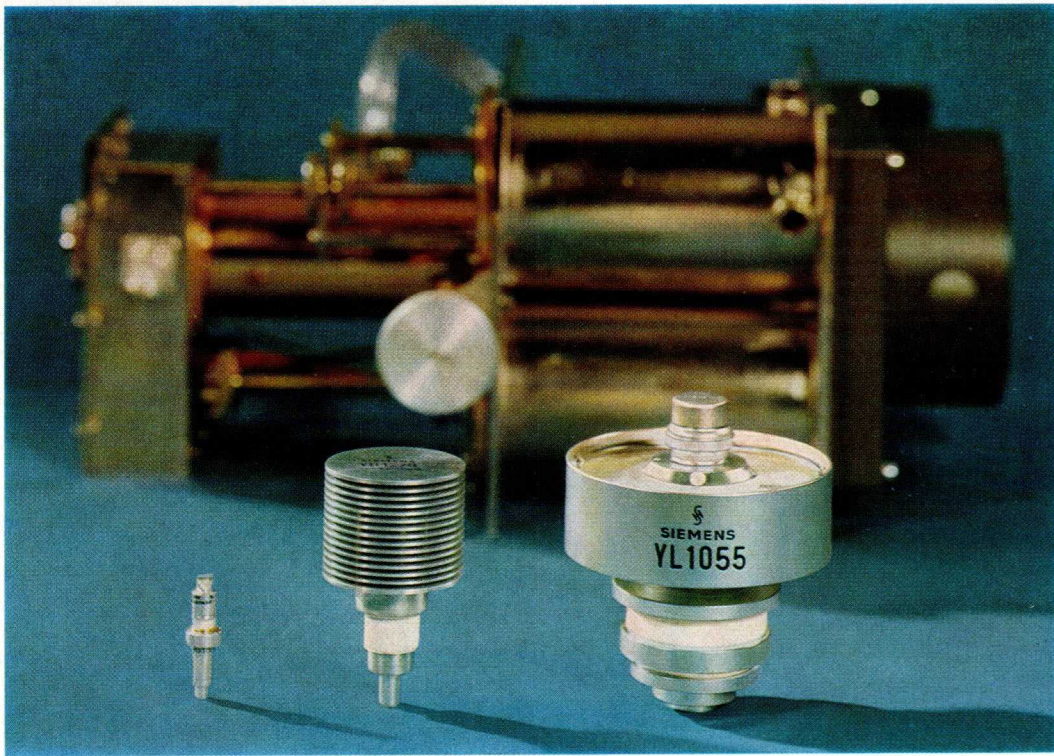


Bild 1
Triode YD 1104
(links) und
YD 1270 (Mitte)
sowie Tetrode
YL 1055
(der Durchmesser
des Anoden-
kühlers
der YL 1055
beträgt 95 mm)

leistung, bezogen auf die Kollektorverlustleistung, zu definieren. Für die Fernseh-Wanderfeldröhren YH 1012, YH 1017 und YH 1018 war eine technologische Verbesserung der Röhrenkonstruktion Voraussetzung. Die wesentlichen Eigenschaften sind in Tafel 2 zusammengefaßt. Es zeigte sich, daß für Fernsehumsetzer mit einer Senderleistung von beispielsweise 1 kW der Parallelbetrieb mehrerer Wanderfeldröhren ein betriebssicheres Konzept ergibt.

Für Fernsehsender größerer Leistungen wurden einige Laufzeitröhren entwickelt: Wanderfeldröhren für 1-kW-Tonsenderbetrieb (Bild 3) im Band IV/V (YH 1015 und YH 1016) und, ebenfalls für Band IV/V, die *Wanderfeldklystrone* mit einer stabilen Spulenfokussierung, einer sehr vorteilhaften Niederdruckluftkühlung und großem Betriebswirkungsgrad (*ohne* Abbremskolektor) für 20-kW-Bildsenderbetrieb (YK 1170 und YK 1180) sowie die dazugehörigen 4-kW- bzw. 2-kW-Tonbetriebe. Eine für nur 10-kW-Bildsenderbetrieb bestimmte Sonderausführung des Wanderfeldklystrons (YK 1171 und

YK 1181) ergibt mit den bereits genannten Wanderfeldröhren für den 1-kW-Tonbetrieb die Möglichkeit der Konstruktion eines optimalen 10-kW-Fernsehsenders für Band IV und V. Bild 4 zeigt das Wanderfeldklystron YK 1180. In Tafel 3 sind einige Daten zusammengestellt. Für einen 40-kW-Sender können zwei Wanderfeldklystrone parallel betrieben werden.

Zur Erweiterung der direkt ausgestrahlten Fernsehprogramme wird seit einiger Zeit der Frequenzbereich um 12 GHz auf seine Übertragungseigenschaften hin untersucht. Hier kann man entweder mit einem eng vermaschten Netz von Fernsehsendern kleiner Leistung arbeiten, wie es zum Versorgen von Ballungsgebieten mit zusätzlichen Fernsehprogrammen geeignet erscheint, oder man behält das Konzept der heutigen UHF-Fernsehversorgung bei und arbeitet mit Sendern mittlerer und großer Leistung für entsprechend größere Gebiete. Nach neuesten Erkenntnissen ist auch die Versorgung eines sehr großen Gebietes über einen Fernsehsatelliten mit einem 12-GHz-Bordsender und terrestrischen Ge-

Typ	Frequenzbereich MHz	Synchron-Ausgangsleistung W	Hüllkurven-spitzenleistung W	Bild-Ton-Verhältnis	Minimale Verstärkung dB	Minimaler 3-Ton-Intermodulationsabstand		
						Röhre dB	Röhre mit Phasen-kompensation dB	Linearitätsmaß
YH 1010	470 bis 600	160	340	5 : 1	32	40	56	0,9
	600 bis 860	200	430	5 : 1	30	37	54	0,9
YH 1012	470 bis 790	250	550	10 : 1	33	40	56	0,96
	790 bis 860	200	550	10 : 1	33	40	56	0,90
YH 1017	Unteres UHF-Band	330	700	5 : 1	30	35	55	0,95
YH 1018	Oberes UHF-Band	330	700	5 : 1	30	35	55	0,95

Tafel 2 Kennwerte der Wanderfeldröhren mit permanentmagnetischer Fokussierung für Fernsehsender

Typ	Frequenzbereich	Synchron-Ausgangsleistung	Maximale Synchron-Eingangsleistung	Zur Einhaltung der Fernseheigenschaften erforderliche Strahlleistung kW	Maximale Spannung kV	Kühlung
		kW	W			
YK1170	UHF-Band IV	23	0,5	60	15	Niederdruck, Luft
YK1180	UHF-Band V	23	0,5	60	15	Niederdruck, Luft

Tafel 3 Kennwerte der Hochleistungs-Wanderfeldklystrone für Fernsehsender

meinschaftsempfangsanlagen oder mit einem UHF-Bordsender und direktem Einzelempfang ein sehr wirtschaftliches System. Für alle diese neuen Fernsehübertragungskonzepte stehen neue Mikrowellenröhren zur Verfügung, weitere sind in Entwicklung. Es handelt sich dabei um 12-GHz-Wanderfeldröhren mit Ausgangsleistungen von 20 und 200 W (im Beispiel ist es die Wanderfeldröhre RW1120, Bild 5), um neuartige 12-GHz-Klystrone (z.B. mit Ausgangsleistungen von 1 bis 2 kW) und um UHF-Wanderfeldröhren mit Ausgangsleistungen von einigen Kilowatt.

Neuentwickelte Wanderfeldröhren für die Richtfunktechnik

Die Richtfunktechnik bedient sich bei der Nachrichtenübertragung mit vielen Gesprächskanälen (960, 1800

und 2700) der Wanderfeldröhren als Endverstärker. Der Grund dafür ist, daß die Richtfunk-Wanderfeldröhre zu einem sehr zuverlässigen Bauelement großer Bandbreite mit extrem langer Lebensdauer entwickelt werden konnte. Unter anderem wird diese Röhre auch in den Fernmeldesatelliten verwendet. Für einige Sonderfälle der Richtfunktechnik ist man auf größere Reichweiten angewiesen und benötigt hierzu eine Sendeleistung von etwa 1 kW. Man nutzt dafür den Effekt der Wellenstreuung aus (Scatterfunk).

Für die terrestrische Richtfunktechnik wurden einige neuartige Wanderfeldröhren entwickelt, bei denen eine Integrationstechnik angewandt wurde: Die Röhre wird im Herstellerwerk im Fokussiermagneten auf optimale Eigenschaften ausgerichtet und mit diesem mechanisch zu einer Einheit verbunden. Die Vorteile für den Anwender

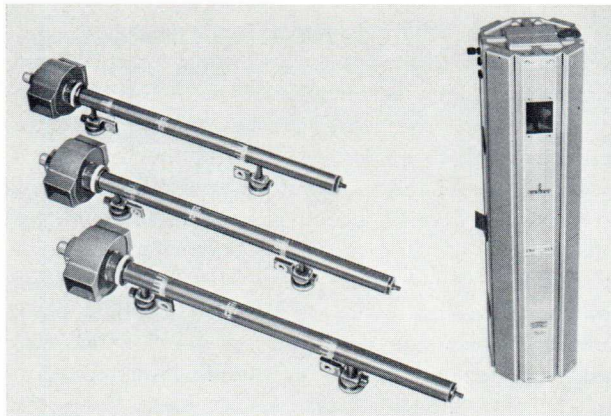


Bild 2 UHF-Wanderfeldröhren YH 1012, YH1014 und YH1015 sowie permanentmagnetisches Fokussiersystem (rechts) (Länge des Magneten 734 mm)

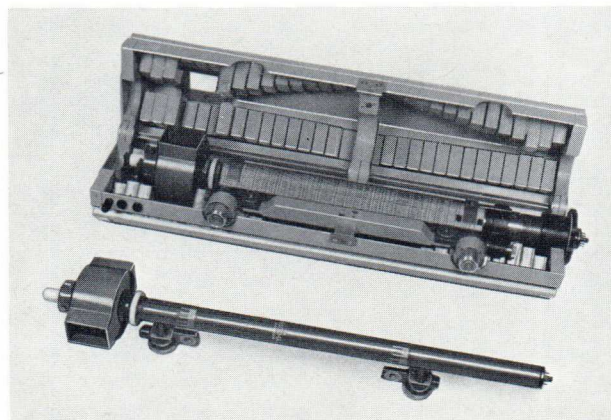


Bild 3 UHF-Wanderfeldröhre YH1015 und aufgeklapptes Fokussiermagnetsystem (Länge des Magnetsystems 734 mm)

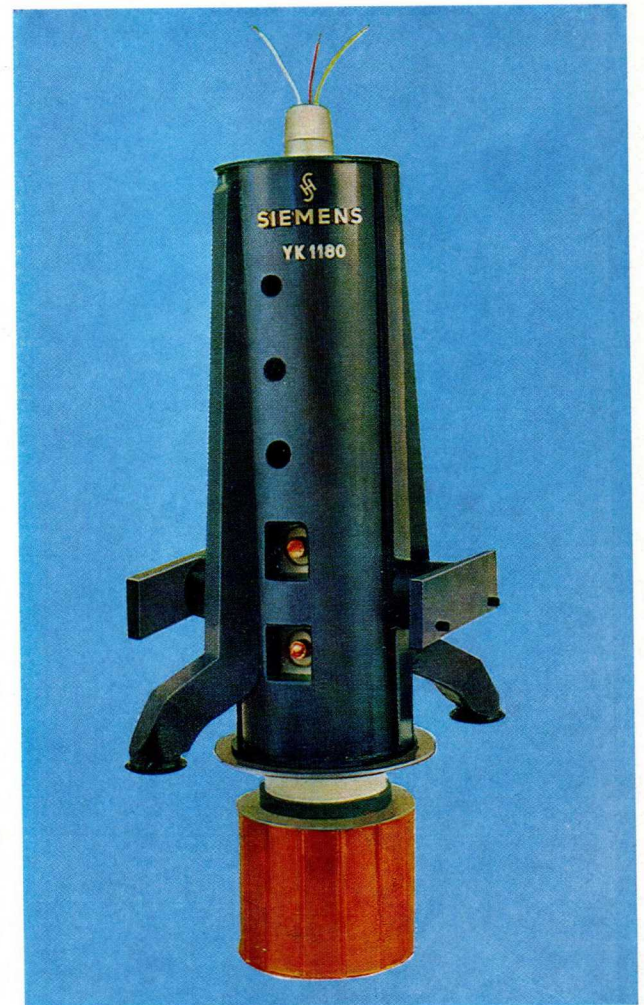


Bild 4 UHF-Wanderfeldklystron YK 1180 mit integrierter Fokussierspule (Länge des integrierten Systems etwa 1500 mm)

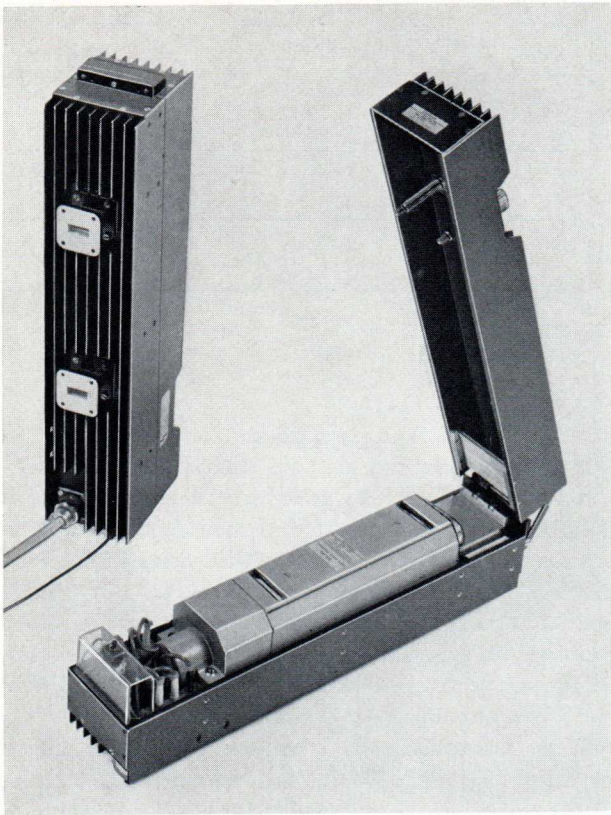


Bild 5 Wanderfeldröhre RW 1120 für den Frequenzbereich 10,7 bis 13,2 GHz mit Anschlußgehäuse (Länge des Anschlußgehäuses etwa 420 mm)

sind leichte Inbetriebnahme, erhöhte Zuverlässigkeit, großer Betriebswirkungsgrad und lange Lebensdauer. Bei einem Röhrenaustausch sind die Fokussiereinheiten wieder verwendbar (neue Justierung im Herstellerwerk), was für den Anwender auch wirtschaftlich von Interesse ist. Dieses Konzept ist eine Weiterentwicklung und Verbesserung der seit vielen Jahren erfolgreich eingesetzten Wanderfeldröhre RW 80, die ein besonders gutes Lebensdauerverhalten mit stabilen Hochfrequenzeigenschaften über mehr als 20000 Stunden hat. Bild 6 zeigt eine Röhre RW 80 mit Fokussiermagnet sowie damit im praktischen Einsatz erzielte Lebensdauerergebnisse.

Für den 12-GHz-Bereich gibt es die Röhren RW 1110 für 10-W-Betrieb und RW 1120 für 20-W-Betrieb. Die Röhre RW 1120 ist auch für Vielträgerbetrieb geeignet (z.B. Vielträger-Fernsehzwischenübertragung), weil wegen der hohen Strahlleistung die Linearitätseigenschaften sehr günstig sind. Beide Wanderfeldröhren haben die gleichen Abmessungen. Ein Anschlußgehäuse mit Sicherheitsvorrichtung und Hohlleiterverbindungen steht zur Verfügung (s. Bild 5).

Vor kurzem wurde die Entwicklung eines völlig neuen Röhrentyps (RW 86) für das Frequenzband 5,8 bis 8,5 GHz mit 15 W/10 W Ausgangsleistung abgeschlossen. Diese unter Verwendung der beschriebenen Integrationstechnik gebaute Wanderfeldröhre (Bild 7) hat den besonders guten Gesamtbetriebswirkungsgrad von 24,5%. Mit ähnlichen geometrischen Abmessungen entsteht ein abgewandelter Röhrentyp speziell für das Frequenzband 6,4 bis 7,2 GHz mit 22 W Ausgangsleistung. Diese Röhrenfamilie wird zur Zeit durch eine 4-GHz-Wanderfeldröhre mit 11 W Ausgangsleistung ergänzt. In Tafel 4 sind die wichtigsten Daten der neuen Siemens-Wanderfeldröhren für den Richtfunk zusammengestellt.

Eine neue Leistungswanderfeldröhre (YH 1014) ist für Anwendungen mit einer Ausgangsleistung von 1 kW bestimmt. Sie ist u.a. für Scatterfunk geeignet und arbeitet im Frequenzbereich von 790 bis 960 MHz mit einer Verstärkung von mindestens 30 dB. Die Röhre ist eine Weiterentwicklung innerhalb der auf der YH 1010 aufbauenden Röhrenfamilie (s. Bild 2).

Entwicklungen bei Mikrowellenröhren für die Radar-Impulstechnik

Bei der Impulstechnik für Radarsysteme kommt es – insbesondere für die Dopplerauswertung – auf äußerste spektrale Reinheit der Impulssender an. Diese Bedingung läßt sich technologisch sehr gut mit gittergesteuerten Scheibentrioden oder Tetroden erfüllen, wobei die Bandbreite klein ist. Für Breitbandsysteme ist man heute in der Lage, die Randbedingungen für die störungsfreie Verstärkung im Mikrowellenbereich bis zu den höchsten Frequenzen mit Impuls-Wanderfeldröhren zu erfüllen. Während Wanderfeldröhren dieser Art zur Zeit erst entwickelt werden, stehen einige neue Impulstrioden bereits zur Verfügung. Auch mit Impuls-Scheibentrioden ist man in der Lage, bis 6 GHz Oszillatoren und Verstärker aufzubauen.

Typ	Frequenzbereich GHz	Betriebs-Ausgangsleistung W	Minimale Verstärkung dB	AM-PM-Konversion Grad/dB	Rauschmaß dB	Kathodenstrom mA	Kollektorspannung kV	Wendelspannung kV
RW 80	5,9 bis 7,2	15	36	3,7	22	50	1,5	2,85
	7,2 bis 8,5	10	35	4,5	22	50	1,3	2,8
RW 48	3,6 bis 4,2	11	35	3,5	22	36	1,25	2
RW 85	6,425 bis 7,125	22	37	3	22	60	1,5	3
RW 86	5,8 bis 7,2	15	40	4	22	43	1,3	2,5
	7,2 bis 8,5	10	41	4	22	43	1,15	2,5
RW 1110	10,7 bis 13,2	10	35	3,5	25	43	2	3,5
RW 1120	10,7 bis 11,7	20	45	3	23	60 bis 70	3	4,2
	11,7 bis 12,2	20	42	3,5	23	60 bis 70	3	4,2
	12,2 bis 13,2	20	39	4	23	60 bis 70	3	4,2

Tafel 4 Kennwerte der Wanderfeldröhren für den Richtfunk

Mit der Triode YD 1103 wurde ein vollständiger Oszillator entwickelt, der bei einem Tastverhältnis von 0,001 und im Frequenzbereich von 5,6 bis 6 GHz mehr als 550 W Impulsleistung abgibt (Bild 8). Diese Röhre ist aus der vorher entwickelten Röhre YD 1102 entstanden, die bei 1 GHz im gittergetasteten Oszillatorbetrieb über 300 W und im Verstärkerbetrieb mehr als 450 W Impulsleistung (Tastverhältnis 0,0033) liefert.

Eine weitere Neuentwicklung mit sehr kleinen Abmessungen ist die Impulstriode YD 1047. Diese Röhre ist bis 3 GHz verwendbar. Bei 1 GHz und 1,1 kW Impulsleistung (Impulsverhältnis 0,003) ist sie im anodengestasteten Oszillatorbetrieb erprobt. Sie kann bis zu Impulsleistungen von 1,8 kW eingesetzt werden.

Ebenfalls bis 3 GHz ist die Impulstriode YD 1048 geeignet. Sie bietet mindestens 4 kW Impulsleistung (Tastverhältnis 0,025).

Bild 9 zeigt die beschriebenen vier Neuentwicklungen von Siemens-Impulstrioden.

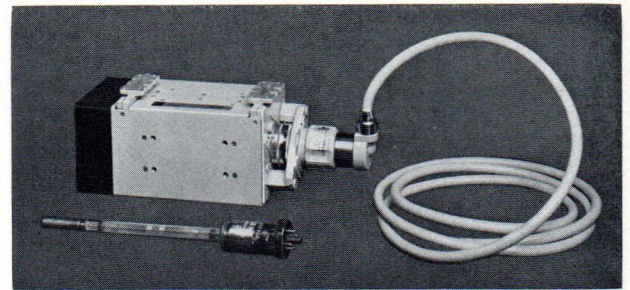
Satellitenfunk-Wanderfeldröhren für Bodenstationen

In Ergänzung des Typenprogramms der Hochleistungs-Wanderfeldröhren für die Satellitenfunk-Bodenstationen im 6-GHz-Band (YH 1041, YH 1045, YH 1046) kam jetzt die 1,2-kW-Wanderfeldröhre YH 1043 (Bild 10) zum Einsatz. Diese Röhre mit einer Verstärkung von mehr als 30 dB ist sowohl für Einträgerbetrieb als auch für Mehrträgerbetrieb geeignet und wird hauptsächlich für kleinere Bodenstationen des Intelsat-IV-Systems bevorzugt. Sie arbeitet mit einer äußerst stabilen Spulenfokussierung und wird vollständig mit Luft gekühlt. Es handelt sich um eine Wendelröhre mit einer neuartigen Technologie für die Abführung der Verlustwärme, Verhinderung von Störwellen auf der Wendel, hohem Wirkungsgrad, guten Linearitätseigenschaften und minimalem Reflexionskoeffizienten an der inneren Dämpfungsschicht sowie Unterdrückung von Oberwellen. Es gelang, eine Wanderfeldröhre mit sehr geringem Frequenzgang der Verstärkung (maximal 4 dB zwischen 5,925 und 6,425 GHz und maximal 0,05 dB/MHz) zu konstruieren. Bei Zweiträgerbetrieb mit je 75 W Leistung am Röhrenaussgang liegen die Intermodulationsprodukte dritter Ordnung mindestens 24 dB darunter.

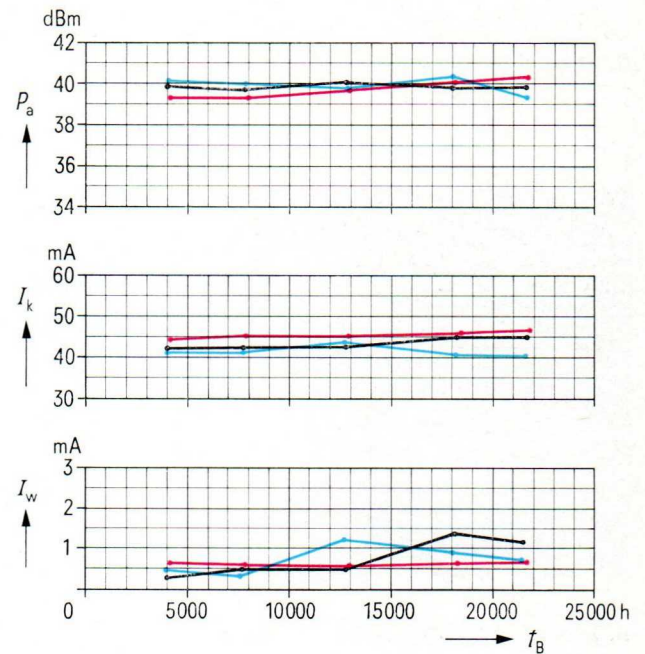
Weitere Hochleistungs-Wanderfeldröhren werden jetzt für Frequenzen bis zu den Millimeterwellen entwickelt. Auch hierfür wurden bereits neue technologische Verfahren erarbeitet.

Telemetrie-Senderöhren für Raumsonden

Für die Nachrichtenübermittlung über Satelliten setzte sich als Senderöhre extremer Lebensdauer und Zuverlässigkeit sowie großer Bandbreite die Wanderfeldröhre durch. Sie erfordert allerdings sehr konstante Versorgungsspannungen. Bei einer Reihe von Raumfahrtprojekten – den sogenannten Raumsonden zum Erforschen des Weltraums und der Planeten – wird für die Bahnverfolgung und die Übertragung von Meßdaten vom Bordsender nur ein schmales Frequenzband (beispielsweise 2,3 GHz) verlangt. Bei diesen Missionen steht für die Raumsonde meistens nur wenig Raum zur Verfügung, und das Sondengewicht ist sehr begrenzt. Die Bordsender müssen eine Leistung zwischen 10 und 100 W abgeben. Sie sollen möglichst keine Fokussiermagneten mit Streufeldern und extrem kleine Volumen und Gewichte haben. Dies bedeutet, daß man auch für



a) Röhre mit permanentmagnetischem Fokussiersystem (Länge der Röhre etwa 280 mm)



b) Lebensdauerprotokoll von drei (schwarz, rot und blau unterschiedenen) Röhren RW 80, die auf dem Olympiaturm in München eingesetzt sind. Bezogene Ausgangsleistung P_a , Kathodenstrom I_k und Wendelstrom I_w in Abhängigkeit von der Betriebsdauer t_B

Bild 6 Wanderfeldröhre RW 80 (a) und Lebensdauerprotokoll (b)

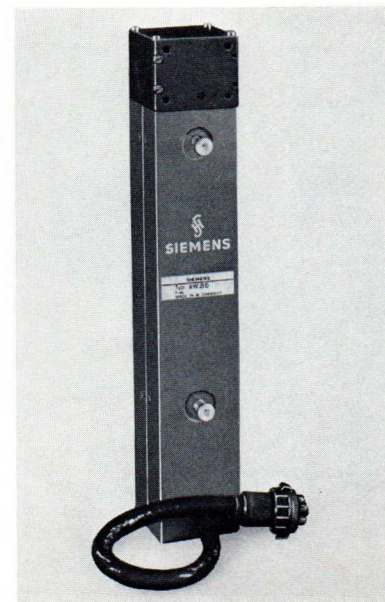


Bild 7 Wanderfeldröhre RW 86; integriertes System (Länge des Systems etwa 310 mm)

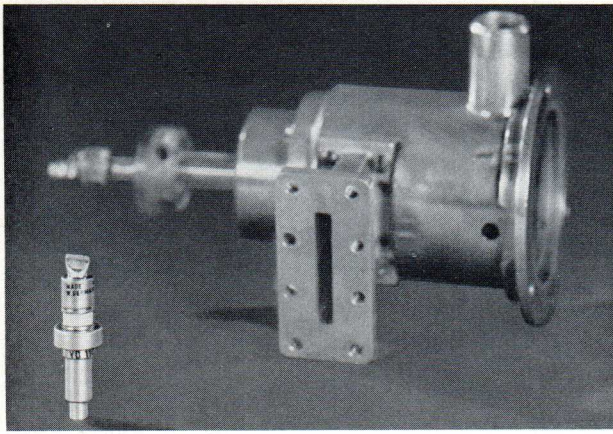


Bild 8 Impuls-Scheibentriode YD1103 und 6-GHz-Topfkreis (Länge der Röhre etwa 47 mm)

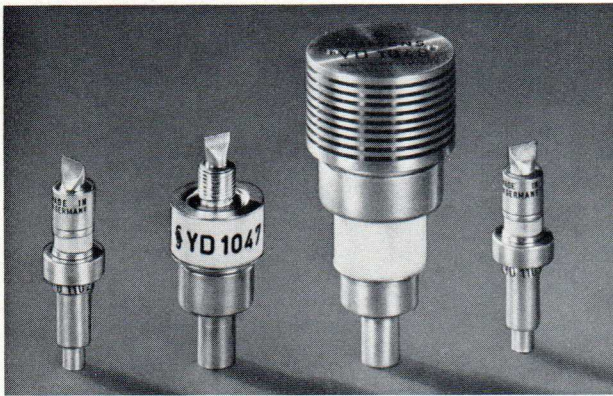


Bild 9 Impuls-Scheibentrioden YD1102, YD1047, YD1048 und YD1103

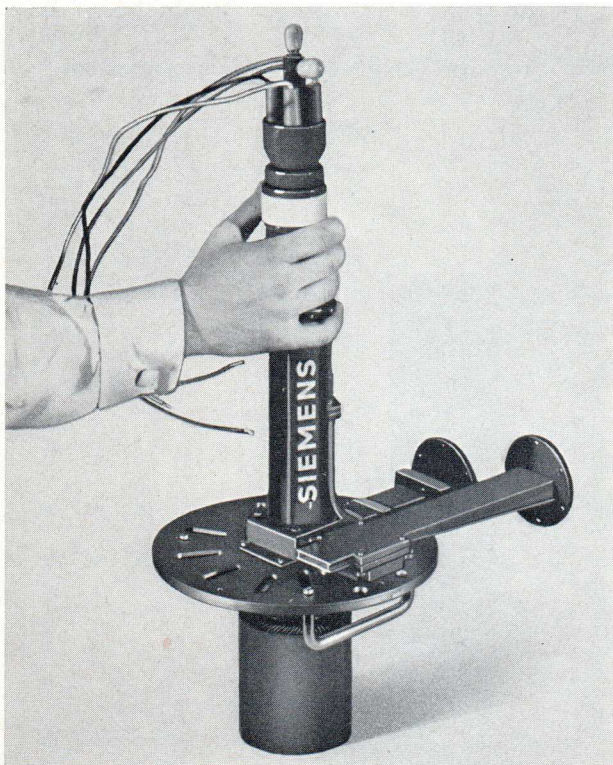


Bild 10 1,2-kW-Leistungswanderfeldröhre YH1043 für den Satellitenfunk (Länge der Röhre etwa 600 mm)

die Stromversorgung nur wenig Aufwand treiben kann, z.B. für die Spannungsstabilisierung. Eine Senderöhre, die selbst bei stark schwankender Spannung immer mit sehr gutem Wirkungsgrad arbeitet, ist die Triode. Sie hat auch dieselben, eben genannten Eigenschaften in besonderem Maß. Diese Art von Mikrowellenröhren hatte in der Vergangenheit nur den Nachteil einer geringen Lebensdauer. Bei Siemens wurde hierfür in den letzten Jahren sehr viel technologische Entwicklungsarbeit geleistet. So konnte schon im Jahre 1964 die 10-W-Triode RH7cc erfolgreich mit auf die Marsmission (Mariner IV) geschickt werden, wobei für diese Röhre eine Lebensdauer von mehr als 6000 Stunden gefordert war und auch erzielt wurde. Hierauf aufbauend, entwickelte Siemens in den letzten Jahren eine leistungsstärkere Triode*. Sie wurde insbesondere unter dem Gesichtspunkt der Zuverlässigkeit und für eine extrem lange Lebensdauer konstruiert und erprobt. Die Untersuchungen ergaben bisher ein äußerst stabiles Verhalten der Röhre in jeder Hinsicht über mehr als 12000 Stunden unter voller Ausnutzung der Leistung von 100 W bei 2,3 GHz. Die Versuche lassen erwarten, daß man mit dieser Triode bei einer Betriebsleistung zwischen 10 und 30 W mit Sicherheit eine Lebensdauer von mehr als 20000 Stunden erreichen wird. Ein Röhrentyp dieser Art steht unter der Bezeichnung YD 1380 (mit Konduktionskühlung) und YD 1381 (mit Luftkühlung) heute bereits zur Verfügung (Bild 11).

Oszillator-Laufzeitröhren mit großen Durchstimmbereichen

Mikrowellen-Oszillatorröhren mit sehr großem Frequenzumfang sind die Rückwärtswellenoszillatoren. Das dabei angewandte Prinzip der Schwingungserzeugung mit innerem elektronischen Rückkopplungseffekt durch Anwendung der Rückwärtswellen setzte sich besonders im Millimeterwellenbereich durch. Die Frequenz eines Rückwärtswellenoszillators ist allein durch die Geschwindigkeit des Elektronenstrahls, d.h. durch die angelegte Spannung, bestimmt. Man hat es also mit einem rein elektronisch durchstimmbaren Oszillator zu tun, wobei die Durchstimmgeschwindigkeit sehr groß sein kann. Bei Siemens wurden besondere technologische Voraussetzungen – speziell in bezug auf thermisch stabile Verzögerungs-Wellenleitungen – für Millimeterwellenoszillatoren geschaffen. Hiermit war es möglich, eine Typenfamilie für die Erschließung des Frequenzbereiches von 26 bis 90 GHz zu entwickeln (RWO 40, RWO 60, RWO 80). Diese Typenreihe wurde durch neue Entwicklungen ergänzt. Ein Rückwärtswellenoszillator von 50 bis 75 GHz (RWO 75) mit einer Ausgangsleistung von mehr als 5 mW (Bild 12) und eine Röhre für den Frequenzbereich von 90 bis 110 GHz (RWO 110) mit mehr als 1 mW (Bild 13) stehen jetzt zur Verfügung. Für den Typ RWO 110 waren wegen der hohen Frequenz Vorarbeiten zur weiteren Verbesserung der technologischen Verfahren erforderlich. Damit ist es nun möglich, weitere Oszillatorröhren mit noch höheren Frequenzen zu entwickeln.

Eine Abwandlung des Rückwärtswellenoszillators ist der Resonanz-Rückwärtswellenoszillator. Bei dieser Röhre ist die Verzögerungsleitung verkürzt und als Leitungsresonator ausgebildet: Die Verzögerungslei-

* Diese Arbeiten wurden mit Mitteln des Bundesministeriums für Bildung und Wissenschaft (Aktenzeichen RV1-624/35(23)/68) gefördert.

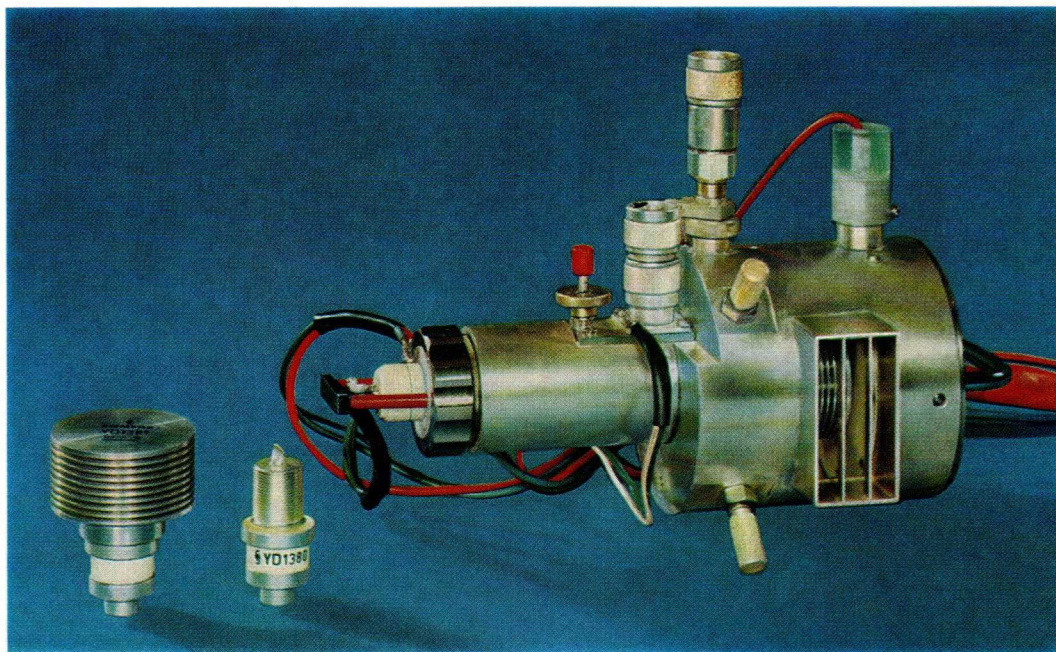


Bild 11
100-W- Scheiben-
triode YD 1380
und YD 1381
sowie 2,3-GHz-
Topfkreis
(Verstärker-
gewicht 4 g je Watt
Ausgangsleistung)

tung wird in der Röhre einseitig kurzgeschlossen, das andere Ende zunächst reflexionsfrei auf eine Auskoppelleitung (zum Beispiel einen Hohlleiter) transformiert und diese aus der Röhre über ein Vakuumfenster herausgeführt. Außerhalb des Vakuumraums wird in der Auskoppelleitung die für einen Leitungsresonator erforderliche zweite Kurzschlußebene in Form eines örtlich veränderbaren Kurzschlußschiebers mit Auskoppelpalt angeordnet. Mit diesem Schieber muß zwar der Resonator – zusätzlich zur elektronischen Abstimmung – mechanisch auf die entsprechende Eigenresonanz abgestimmt werden, jedoch werden der Wirkungsgrad der Röhre und die Signalgüte durch die Resonanzüberhöhung ebenfalls beträchtlich erhöht. Die wirksame Länge der Röhre wird kleiner und die Fokussierung dadurch vereinfacht; das Problem der inneren, reflexionsfreien Dämpfung entfällt. Dieses Prinzip eignet sich besonders für Oszillatoren, bei denen eine schnelle Frequenzänderung nicht erforderlich ist. Wegen der Vereinfachung des konstruktiven Aufbaus und wegen des hohen Wirkungsgrads ist es möglich, mit dem Resonanz-Rückwärtswellenoszillator auf wirtschaftliche Weise in das Gebiet der Submillimeterwellen vorzudringen.

Resonanz-Rückwärtswellenoszillatoren sind beispielsweise der R-RWO 10 (Bild 14) mit einer mittleren Leistung von 2 W im Frequenzbereich von 6,8 bis 12,7 GHz, der R-RWO 25 (Bild 15) mit einer mittleren Leistung von 1 W im Bereich 24 bis 26 GHz und erhöhter Frequenzstabilität sowie der R-RWO 40 (Bild 16) mit einer mittleren Leistung von 300 mW im Bereich von 30 bis 40 GHz.

Zukünftige Entwicklungstendenzen für Mikrowellenröhren

Bei *gittergesteuerten Röhren* wird man versuchen, unter Ausnutzung der hinsichtlich Wirkungsgrad, Linearität und spektraler Reinheit günstigen Eigenschaften mit der Verstärkung über 20 dB zu kommen und bei höheren Frequenzen durch Anwendung neuartiger Technologien zu größeren Leistungen vorzudringen.

Die *Wanderfeldröhren* werden weiter verbessert, insbesondere im Hinblick auf hohen Wirkungsgrad unter Aus-

nutzung der großen Bandbreite und der hohen Verstärkung. Eine große Zukunft wird die Wanderfeldröhre auf allen Gebieten der Breitband-Impulsverstärker haben. Auch der Bedarf an Verstärkerrohren für sehr breite Bänder mit Dauerleistungen bis in den Kilowattbereich und bis zu sehr hohen Frequenzen wird die weitere Entwicklung der Wanderfeldröhre entscheidend

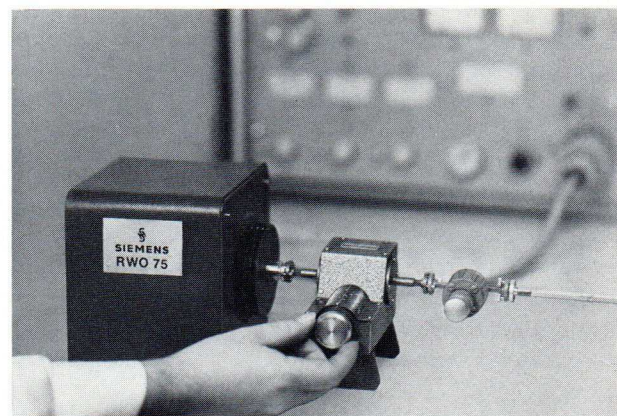


Bild 12 Rückwärtswellenoszillator RWO 75 mit Meßaufbau

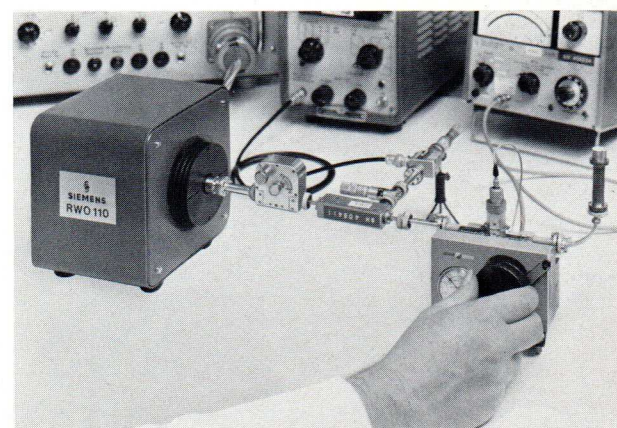


Bild 13 Rückwärtswellenoszillator RWO 110 mit Meßaufbau

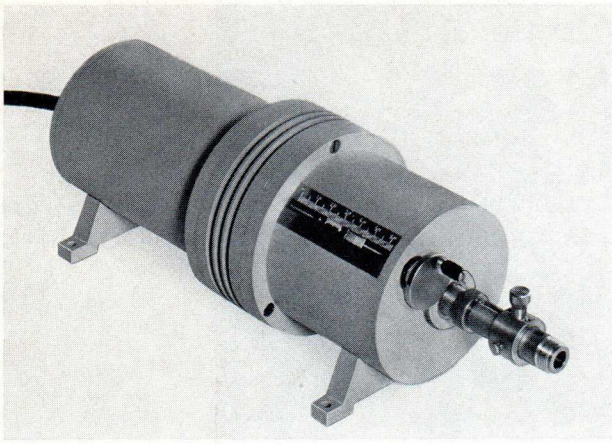


Bild 14 Resonanz-Rückwärtswellenoszillator R-RWO 10
(Gesamtlänge etwa 320 mm)

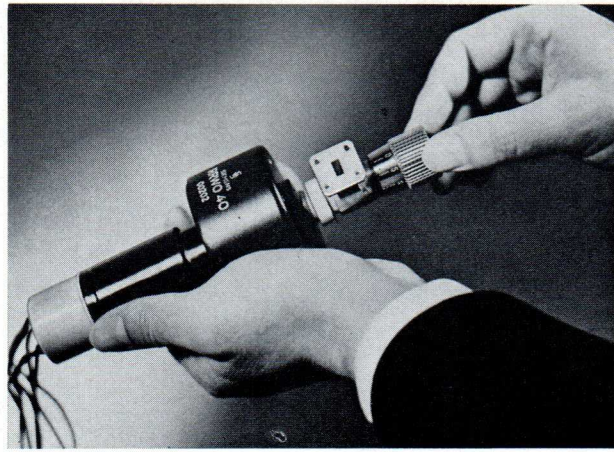


Bild 16 Resonanz-Rückwärtswellenoszillator R-RWO 40
(Gesamtlänge etwa 250 mm)

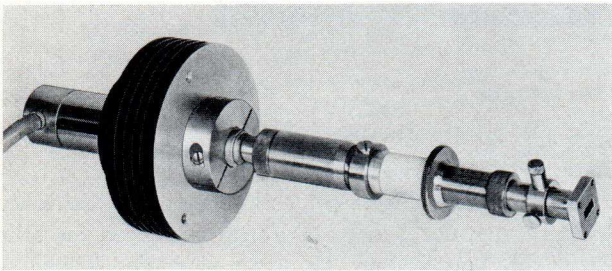


Bild 15 Resonanz-Rückwärtswellenoszillator R-RWO 25
(Gesamtlänge etwa 300 mm)

beeinflussen. Mit Wanderfeldröhren kleinerer Leistung wird man ebenfalls das Gebiet sehr hoher Frequenzen erschließen und diese Röhrenart für einen zuverlässigen Einsatz im Satellitenfunk besonders im Hinblick auf ihren Wirkungsgrad weiter verbessern.

Klystrone für sehr hohe Leistungen – sowohl Dauerleistung als auch Impulsleistung – werden für viele neue Anwendungen mit noch weiter verbessertem Wirkungsgrad bei verhältnismäßig niedrigen Betriebsspannungen benötigt. Auch mit diesem Röhrentyp können große Verstärkungswerte bis zu sehr hohen Frequenzen erzielt werden.

Sowohl für *Impulsklystrone* als auch für *Impulswanderfeldröhren* wird man technologische Entwicklungen auf dem Gebiet der gittergesteuerten Impulskanonen durchführen.

Bei den Laufzeitröhren werden die nächsten Jahre einen bedeutenden Aufschwung und Fortschritt für die Erzeugung von Submillimeterwellen bringen. Auch hierzu sind entsprechende technologische Entwicklungen nötig.

Für alle Laufzeitröhren wird eine weitere Verbesserung der Elektronenstrahlfokussierung durch Verwenden neuer Magnetwerkstoffe und Anwenden neuartiger Verfahren angestrebt.

Ein wesentlicher Ausbau der Berechnungsverfahren mit Hilfe der Computertechnik wird Voraussetzung für alle zukünftigen Entwicklungen von Mikrowellenröhren.

Das gesamte Gebiet der Mikrowellenröhren ist so vielfältig, daß es auch in den siebziger Jahren einen weiteren Aufschwung nehmen wird. Allerdings werden neuartige Anwendungen und Anforderungen die heutigen Schwerpunkte dieser Technik verlagern. Deutlich zu erkennen ist diese Verlagerung in Richtung zu höheren Frequenzen und größeren Leistungen. Aber auch heute noch nicht abzusehende spezielle Anwendungen der Mikrowellenröhrenprinzipien werden die Zukunft dieses großen Gebietes entscheidend mitbestimmen.