

Entwicklungsschritte im Bau von Fernsehsendern

Sonderdruck aus »Siemens-Zeitschrift«
46. Jahrgang · August 1972 · Heft 8
Seite 669 bis 673
Verfasser: Karl Etzrodt
und Friedrich Schlögel

An der Entwicklung von Fernsehsendern wurde in Deutschland schon in den dreißiger Jahren gearbeitet. Die dabei gewonnenen Erkenntnisse gingen aber durch die in den vierziger Jahren eingetretene Zwangspause weitgehend verloren, während vor allem in den USA, aber auch in Großbritannien, die Entwicklung große Fortschritte machte. Der Rückstand konnte trotz aller zunächst bestehenden Schwierigkeiten aber bald aufgeholt werden. Dazu leistete Siemens durch intensive Entwicklungstätigkeit, nicht zuletzt auf den Gebieten der Röhren- und Antennentechnik, einen wesentlichen Beitrag.

In den ersten Jahren nach 1945 waren in Deutschland die Möglichkeiten zu technischer Entwicklungsarbeit äußerst beschränkt. Trotzdem gründete Siemens bereits im Jahr 1946 ein Fernsehsenderlaboratorium und war damit Anfang 1950 in der Lage, vom Nordwestdeutschen Rundfunk (NWDR) in Hamburg den Auftrag über den ersten deutschen Nachkriegs-Fernsehsender entgegenzunehmen. Dieser kleine *Versuchssender* mit einer Bildleistung von 200 W und einer Tonleistung von 100 W nahm im Juni 1950 in Hamburg Sendungen im heutigen UKW-FM-Bereich nach der damals neuen, international empfohlenen 625-Zeilen-Norm auf, die heute in Europa vorherrscht. Mit ihm sammelten die Rundfunkgesellschaften Erfahrungen. An der Empfängerfertigung interessierte Firmen erprobten damit in Laboratorien, die sie in Hamburg einrichteten, ihre Empfänger unter echten Betriebsbedingungen.

Erste Fernseh-Richtfunk- und -Rundfunksender

Bereits im Herbst 1951 konnte der Deutschen Bundespost (DBP) ein 1-kW-Fernsehsender geliefert werden, den sie im Übereinkommen mit dem Nordwestdeutschen Rundfunk anlässlich der Industrieausstellung am Berliner Funkturm aufstellte. Außerdem erhielt die DBP einen 250-W-Fernsehsender und einen Fernseh-Ballempfänger für die erste Fernseh-Richtfunkverbindung. Damit konnte die DBP dem 1-kW-Sender am Funkturm Programme aus dem Postbehelfsstudio in Tempelhof zuführen. Diese Anlage war der Vorläufer der das Gebiet der heutigen DDR überbrückenden großen Richtfunkverbindung Berlin-Höhbeck-Hamburg, die das damals erst in der Planung befindliche westdeutsche Fernsehsendernetz mit

Berlin verbinden sollte. Im Jahr 1952 ging als Bestandteil dieser Fernsehbrücke der erste deutsche 10-kW-Fernsehsender in Berlin-Nikolassee mit Richtantennen nach Westdeutschland in Betrieb.

Etwas später als die Post erhielten die Rundfunkgesellschaften ihre ersten Sender. Vorreiter war der NWDR, an den der 10-kW-Sender Hamburg und der 1-kW-Sender Köln geliefert wurden. In Berlin hatte der NWDR bereits den seit 1951 am Funkturm von der Post betriebenen 1-kW-Sender übernommen. Die anderen deutschen Rundfunkgesellschaften folgten bald nach, und



Bild 1 Senderöhre RS 1011
der Fernsehsender der »Ersten Generation« (Band III)

es kamen auch schon die ersten Exporte zustande, vor allem nach Italien [1].

Ausbau der deutschen Fernsehsendernetze

Fernsehbänder I und III: erstes Programm

Für die genannten und die weiteren Erfolge waren außer dem frühzeitigen Entwicklungsbeginn die Fortschritte im Senderöhrenbau maßgebend.

Im international festgelegten Frequenzschema waren für Fernsehsender die Bereiche von 41 bis 68 MHz (Band I) – in diesem Bereich arbeiteten die deutschen Sender in den dreißiger Jahren und das schon stark ausgebaute englische Sendernetz – und von 174 bis 216 MHz (Band III) festgelegt. Dabei war Band III zunächst nur eine Zukunftshoffnung.

Als aber im Jahr 1950 Rundfunkgesellschaften und Industrie bei der Deutschen Bundespost als der Frequenzbehörde über die Frequenzeinteilung berieten und dabei feststellten, daß mit dem Frequenzbereich von 41 bis 68 MHz keine auch nur annähernd befriedigende Versorgung des Bundesgebietes erreichbar ist, konnte Siemens bereits die Miteinbeziehung des Frequenzbereichs von Band III vorschlagen: In den Röhrenlaboratorien war eine neue Technologie ausgereift, die den Bau leistungsstarker Röhren für Frequenzen bis 250 MHz ermöglichte (Sendetriode RS 1011, Bild 1). Für die Netzplanung standen jetzt zusätzlich zu den Kanälen von Band I sechs weitere Kanäle in Band III zur Verfügung. Die Entwicklungsarbeiten für die Sendetriode RS 1011, in der Maschenkathode, Maschengitter und Anode kon-

zentrisch angeordnet sind, sind heute noch richtungweisend beim Bau moderner Leistungsrohren [2].

Einen gewichtigen Beitrag zum schnellen und wirkungsvollen Ausbau des Fernsehnetzes lieferte neben der Röhrentechnik die Antennentechnik. Für die großen Richtantennen der Verbindung Berlin – Hamburg hatte man eine Bausteintechnik entwickelt, deren Baugruppen auch für den Aufbau von Rundstrahlantennen für die Flächenversorgung verwendbar waren. Diese Technik ließ eine bequeme Anpassung an besondere Versorgungsaufgaben zu. So strahlt z. B. die Antenne auf dem Wendelstein fast nur auf die vorgelagerte Ebene, nicht aber ins Gebirge, und die Antennen von Rom strahlen nur wenig in Richtung See, während die Antennen auf den Kordillerenbergen in Kolumbien und im Bergland von Jugoslawien überwiegend die bewohnten Täler beschicken [3 bis 7].

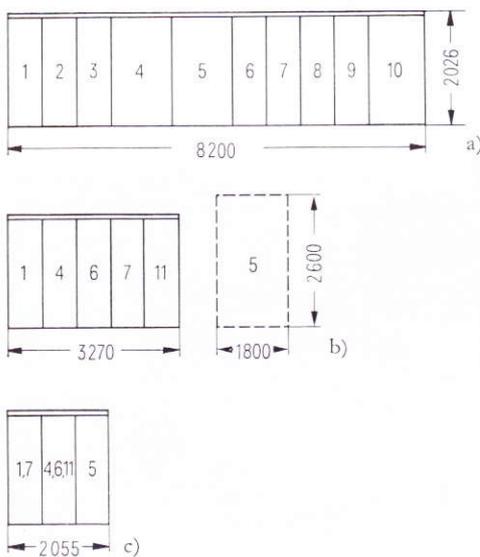
Die Folge dieser Fortschritte in der Entwicklung war eine starke Beteiligung am Ausbau des bundesdeutschen Sendernetzes: Bis in die sechziger Jahre hinein betrug der Siemens-Anteil am jeweiligen Ausbaustand mehr als 50%, wobei vom Jahr 1955 an für das Netz der ARD (Arbeitsgemeinschaft öffentlich-rechtlicher Rundfunkanstalten der Bundesrepublik Deutschland) Sender auch im Frequenzbereich 47 bis 68 MHz (Band I) gebaut wurden. Eine große Anzahl solcher Sender für die Bänder I und III wurde ins Ausland geliefert [8].

In Bild 2 sind 10-kW-Fernsehsender aus den fünfziger, den sechziger und den siebziger Jahren in ihren äußeren Abmessungen miteinander verglichen.

Der technische Aufwand für die *Sender der »Ersten Generation«* (Bilder 2a und 3a) war offensichtlich verhältnismäßig hoch. Die Sender waren noch ausschließlich in Röhrentechnik gebaut. Die Bildmodulation spielte sich in der Endstufe ab (Sendetriode RS 1011, s. Bild 1). Man mußte dabei die Bildsignale in einem technisch und räumlich aufwendigen Breitbandverstärker bis zum Leistungsniveau der Endstufe verstärken und die Stromversorgungseinheiten für diese Leistungen auslegen. Das zum Unterdrücken des für die Übertragung nicht benötigten Seitenbandes erforderliche Restseitenbandfilter [9] mußte ebenfalls für die hohe Leistung bemessen sein und hatte einen erheblichen Raumbedarf. Bautechnisch war es mit der Bild-Ton-Weiche vereint, die die Ausgänge von Bild- und Tonsender mit der Antennenleitung verband. Diese Kombinationen von konzentrischen Leitungskreisen mußten über alle Betriebskanäle durchstimbar sein; es waren mechanische Kunstwerke.

Sender der »Zweiten Generation«

Im Zuge der weiteren Entwicklung gelang es, manche räumlich aufwendige Bauteile kleiner zu gestalten (Bild 2b). So wurden bei der »Zweiten Generation« die Topfschwingkreise für die hier eingesetzte Senderöhre RS 1032 (Bild 4) und die koaxialen Filterkreise in der Antennenweiche sowie im Restseitenbandfilter erheblich verkleinert. Die bessere Beherrschung der Breitbandverstärkung machte es möglich, die Bildmodulation bereits im Endfrequenzverstärker des Vervielfachers, also vor den Leistungsverstärkern, auf dem gegenüber der Leistungsverstärker-Endstufe viel niedrigeren Leistungsniveau von 400 bis 600 W vorzunehmen (Bild 3b). Dadurch erübrigen sich die zum Verstärken des Bildsignals auf das Endleistungsniveau bisher benötigten aufwendigen Verstärker und deren Stromversorgung.



- a) »Erste Generation«: 1952 bis 1960 (Ton: 2 kW)
 b) »Zweite Generation«: 1961 bis 1970 (Ton: 2 kW)
 c) »Dritte Generation«: von 1971 an (Ton: 1 kW)

1 Bildvorstufe	6 Leistungsverstärker 2 kW, Ton
2 Bildmodulation	7 Tonvorstufe
3 Leistungsverstärker 1 kW, Bild	8 Stromversorgung 2 kW, Ton
4 Leistungsverstärker 10 kW, Bild	9 Stromversorgung 1 kW, Bild
5 Bild-Ton-Weiche	10 Stromversorgung 10 kW, Bild
	11 Stromversorgung für Bild und Ton

Bild 2 Größenvergleich von 10-kW-Fernsehsendern für Band III (Maße in mm)

Sender der »Dritten Generation«

Ab Mitte der sechziger Jahre fand die raumsparende Transistortechnik im Fernsehsenderbau Eingang. Heute sind alle Senderstufen niedriger Leistung mit Transistoren bestückt.

Gleichzeitig wurde die Modulation in die Zwischenfrequenzebene verlegt. Dies trug ebenfalls zur Verkleinerung bei, da sich viele Baugruppen nunmehr wegen der niedrigeren Frequenzlage mit herkömmlichen Bauelementen aufbauen ließen. So konnte auch das Restseitenbandfilter vom Ausgang des Bildsenders in die Zwischenfrequenzlage gebracht werden. Da das Leistungsniveau einer Zwischenfrequenzstufe sehr viel niedriger ist als das der Endstufe, kommt man mit räumlich kaum noch ins Gewicht fallenden Filtern aus. Auch das Restseitenbandfilter ist heute nur noch eine Baugruppe innerhalb der transistorierten Vorstufe.

Die Endverstärkung bis zu Leistungen von 1, 5, 10 oder 20 kW geschieht in *hochlinearen* Röhrenverstärkerstufen (Bilder 2c und 3c).

Die inzwischen entwickelte Röhre RS 2022 ermöglicht wegen ihrer hohen Verstärkung eine Einsparung von Zwischenstufen. Damit wird auch die Stromaufnahme niedriger, und die Netzstufen und -baugruppen lassen sich bei den zugehörigen Verstärkern unterbringen, d. h., es entfallen gesonderte Stromversorgungsschranke.

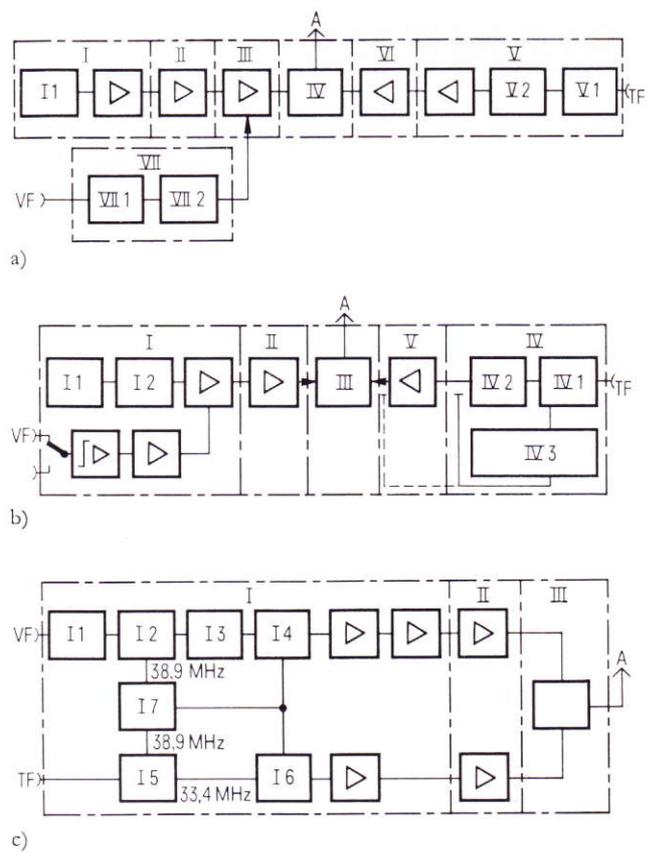
Die zunehmende Notwendigkeit einer Absicherung gegen Senderausfälle führte bei den Sendegesellschaften zu der Tendenz, einen zweiten Sender als Reserve aufzustellen, der bei Ausfall des Betriebssenders automatisch in Funktion tritt. Bild 2 zeigt, daß man auf dem Platz für einen Sender der »Ersten Generation« fast zwei Sender der »Zweiten Generation« unterbringen kann und daß zwei Sender der heutigen »Dritten Generation« nicht mehr Platz beanspruchen als ein Sender der »Zweiten Generation«. Wenn man also einen Sender der »Zweiten Generation« durch einen Sender der »Dritten Generation« ablöst, kann man ohne Gebäudeerweiterung einen vollständigen Sender als Betriebsreserve mit aufbauen.

Fernsehbänder IV und V: zweites und drittes Programm

Als gegen Ende der fünfziger Jahre das Verlangen nach einem zweiten und dritten Programm wuchs, konnte sich Siemens dank der mittlerweile im Röhren- und Antennenbau erzielten Fortschritte maßgebend am Ausbau dieser von der Deutschen Bundespost errichteten Sendernetze beteiligen [10 bis 15].

Ausgehend von einer 2-kW-Tetrode für den Frequenzbereich bis 900 MHz kam man mit der Technik der engen Gitter-Kathoden-Abstände zu Röhren mit Hochfrequenzleistungen bis zu 10 kW. Heute ist über die Hälfte aller Sender in diesem Frequenzbereich in der Bundesrepublik Deutschland mit der Leistungstetrode RS 1032 (s. Bild 4) ausgerüstet.

Die Antennen dieses Frequenzgebiets sind weiterhin Kombinationen aus Richtantennen, die jetzt aber wegen der kurzen Wellenlänge (etwa 40 bis 60 cm) so eng um die Mitte gruppiert sein müssen, daß es Schwierigkeiten bereitet, den tragenden Mast für die große erforderliche Bauhöhe mechanisch genügend fest zu machen. Das Problem wurde dadurch gelöst, daß man als Tragkonstruktion anstelle eines dünnen zentralen Stahlträgers ein schornsteinartiges Isolierstoffrohr (Fiberglas) benutzte, an dessen Innenseite die Antennenfelder wetter- und eisgeschützt angebracht sind. Mit solchen Antennen



a) Endstufenmodulierter Sender (»Erste Generation«)

- I Steuersender 400 W, Bild
- I1 Steuergerät
- II Leistungsverstärker 1 kW, Bild
- III Leistungsverstärker 10 kW, Bild
- IV Restseitenbandfilter, Weiche
- V Leistungsverstärker 400 W, Ton
- V1 Steuergerät
- V2 Vervielfacher
- VI Leistungsverstärker 2 kW, Ton
- VII Modulationsstufe
- VII1 Bildfrequenz-Vorverstärker
- VII2 Bildfrequenz-Endverstärker (600 W)

b) Vorstufenmodulierter Sender (»Zweite Generation«)

- I Bildsender, 600 W
- I1 Oszillator
- I2 Vervielfacher
- II Leistungsverstärker 10 kW, Bild
- III Restseitenbandfilter, Weiche
- IV Tonsender, 250 W
- IV1 Steuergerät
- IV2 Vervielfacher
- IV3 Nachstimm-Demodulator
- V Leistungsverstärker 2 kW, Ton

c) Zwischenfrequenzmodulierter Sender (»Dritte Generation«)

- I Bild- und Tonsender 1 kW/0,1 kW
- I1 Bildfrequenz-Vorentzerrung
- I2 Bildmodulation
- I3 Zwischenfrequenzverstärker
- I4 Umsetzer, Bild
- I5 Tonmodulation
- I6 Umsetzer, Ton
- I7 Steuergenerator
- II Bild- und Ton-Leistungsverstärker 10 kW/1 kW
- III Bild-Ton-Weiche

VF Bildfrequenzeingang TF Tonfrequenzeingang A Antenne

Bild 3 Blockschaltpläne für Siemens-Fernsehsender



Bild 4 Senderöhre RS 1032
der Fernsehsender der »Zweiten Generation«
(Bänder III, IV und V)

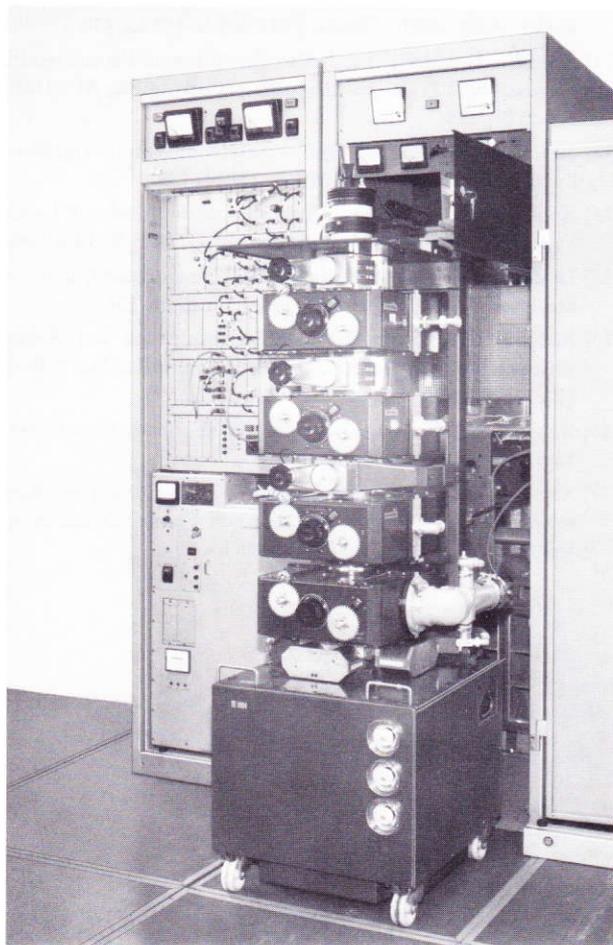


Bild 5 Klystron YK 1151 der modernen Fernsehsender
für die Bänder IV und V mit zugehörigem Senderschrank

ist ein großer Teil der deutschen Sendestationen dieses Frequenzbereichs ausgerüstet. Die Fiberglasrohre bewährten sich im Betrieb so gut, daß man dazu überging, auch Antennen, die sich durchaus noch an Stahlmasten aufbauen ließen, in Fiberglaszylinder einzubauen, zumal sich durch den Aufbau ohne Stahlmaste die elektrischen

Eigenschaften verbessern ließen. So wurden von Siemens »Superturndstile«-Rundstrahlantennen für die Bänder III, IV und V in Fiberglaszylinder eingesetzt. Sie sind in den bundesdeutschen Sendernetzen in Betrieb.

Aufgrund der konsequenten Weiterentwicklungen auf dem Gebiet des Senderbaus, der Röhren und der Antennen bestand in der Technik der hohen Frequenzbereiche der Bänder IV und V ein so großer Fertigungsvorlauf, daß beim Start des zweiten Programms der weit überwiegende Teil der betriebsbereiten Sender von Siemens stammte.

Der Ausbau für das zweite Fernsehprogramm schritt schnell voran, und es folgte eine Kette von Sendern für das dritte Programm mit Bildleistungen von 20 und 10 kW, in einigen Fällen 2 kW. Die Sendestationen für das zweite und das dritte Programm wurden zur Gewährleistung eines unterbrechungsfreien Betriebs schon von Anfang an mit automatisch umschaltbaren Reservestufen ausgerüstet. Im Lauf der Zeit setzte sich aufgrund der Betriebserfahrungen und wegen der Knappheit an Fachpersonal sowohl bei den Stationen der Bundespost als auch bei denen der ARD das Prinzip durch, zwei vollständige Sender aufzustellen und wechselweise den einen davon als Betriebssender und den anderen als Reservesender einzusetzen. Die Stationen selbst werden ferneingeschaltet und fernüberwacht; ihr technischer Betriebszustand wird registriert.

Farbfernsehen

In den sechziger Jahren rückte der Termin für die Einführung des Farbfernsehens in der Bundesrepublik Deutschland näher. Man beschäftigte sich mit der Auswahl des Farbsystems, machte Versuchssendungen und entschied sich schließlich für das PAL-System von AEG-Telefunken. Der Weg für die Ausstrahlung eines vollen Farbfernsehprogramms war damit frei.

Die einwandfreie Übertragung der zusätzlichen Farbinformation erforderte sendeseitig eine erhöhte Linearität und eine konstante Phasenlaufzeit. Bis Anfang 1971 waren dann alle Fernsehsendestationen mit den dafür nötigen Zusatzgeräten ausgestattet [16, 17].

Gegenwärtiger Stand und Ausblick

Die heute in der Bundesrepublik Deutschland betriebenen Fernsehstationen sind im wesentlichen mit farb-tüchtigen Sendern der »Zweiten Generation« ausgerüstet. Anlagen der »Dritten Generation« mit Transistoren in den Vorstufen und mit Zwischenfrequenzmodulation werden seit 1971 geliefert. Im Band III werden dort für den 10-kW-Bildsender-Zug nur noch zwei hochverstärkende Tetroden verwendet. Die Sender in den Bändern IV und V werden durch neue Anlagen mit dem luftgekühlten 20-kW-Klystron YK 1151 (Bild 5) ersetzt. Der Bildsender ist bis zum Ansteuerungsverstärker für das Klystron mit Transistoren bestückt, so daß er, abgesehen vom Klystron selbst, keine Röhren mehr enthält. Verstärkerstufen zwischen Vorstufe und Endverstärker sind nicht mehr erforderlich, was einen weiteren Fortschritt in der Senderentwicklung bedeutet. Der Schaltungsaufbau (Bild 6) ist den neuesten Betriebserfahrungen hinsichtlich leichter Bedienbarkeit und Wartungsfreundlichkeit bei großen Wartungsintervallen angepaßt. Die von 10-kW-Klystronverstärkern her bekannte Luftkühlung wurde wegen der betrieblichen und bauseitigen Vorteile beim 20-kW-Klystron beibehalten.

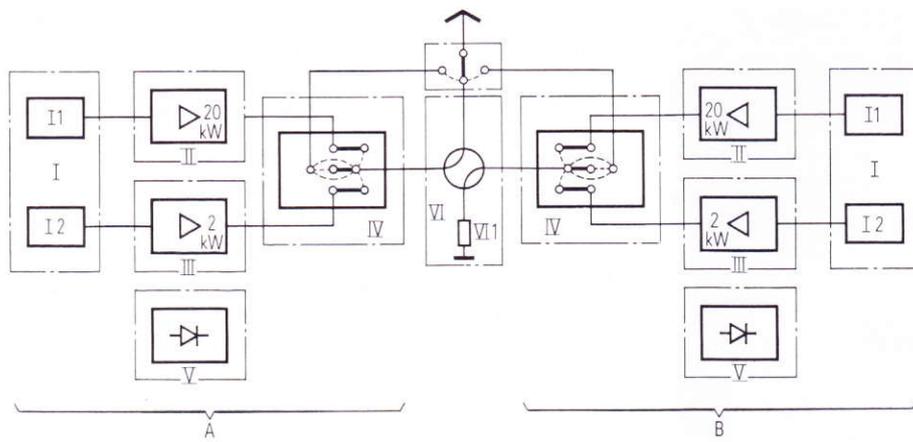


Bild 6
 Blockschaltplan eines Fernseh-
 senders mit Reservesender
 für die Bänder IV und V
 ($2 \times 20 \text{ kW} / 2 \text{ kW}$)

- A, B Betriebs- bzw. Reserve-
 sender
- I Vorstufen
 I1 Bild, I2 Ton
 - II 20-kW-Endstufe, Bild
 - III 2-kW-Endstufe, Ton
 - IV Bild-Ton-Weiche
 - V Hochspannungsnetzgerät
 - VI Umschaltautomatik
 - VII Künstliche Antenne

Im Zusammenhang mit dem Vorhaben, die Öffentlichkeit mit mehr als drei Fernsehprogrammen zu versorgen, werden verschiedene Systeme hinsichtlich ihres technischen und wirtschaftlichen Aufwands verglichen. Die Deutsche Bundespost macht in dieser Richtung Versuche mit 12-GHz-Sendern. Die Empfangsanlagen für diese 12-GHz-Sendungen werden in der Regel »Kopfstationen« von größeren Gemeinschaftsempfangsanlagen sein.

Man trägt sich auch mit dem Gedanken, Fernsehprogramme über Satelliten an Kopfstationen zu übertragen und so weite Gebiete zu erfassen.

Bei steigendem Bedarf an Fernsehkanälen bietet sich in weiterer Zukunft zusätzlich die Möglichkeit einer Verteilung über neue Kabelnetze an.

Schrifttum

[1] Arnous, H.: Deutscher Fernsehaufbau nach 1945. Siemens-Mitt. (1952) H. 3, S. 18 bis 22

[2] Müller, W.: Die Siemens-UKW- und -Fernseh-Senderröhren. Fernmeldetechn. Z. 5 (1952) S. 528 bis 533

[3] Körner, H.; Stöhr, W.: Breitbandantenne für UKW-Richtfunkverbindungen. Frequenz 6 (1952) S. 154 bis 162

[4] Kristkoiz, K.H.: Rundstrahlantennen nach dem Baukastenprinzip für Fernseh- und UKW-Rundfunksender. Radio Mentor 10 (1952) S. 484

[5] Stöhr, W.: Antennen für UKW-Rundfunk und Fernsehen. Frequenz 8 (1954) S. 240 bis 248

[6] Laub, H.: Fernseh-Sendeantennen. Siemens-Z. 32 (1958) S. 643 bis 649

[7] Laub, H.: Sendeantenne in selbsttragender Bauweise für den Fernsbereich III. Rundfunktechn. Mitt. 9 (1965) S. 308 bis 313

[8] Barthel, H.: Siemens-Fernsehsender-Technik im In- und Ausland. Siemens-Z. 29 (1955) S. 111 bis 114

[9] Holle, J.: Durchstimmbare Weichen konstanten Eingangswiderstandes und Restseitenbandfilter für Fernseh-Bildsender und -Tonsender. Frequenz 13 (1959) S. 102 bis 107

[10] Kleen, W.: Neue gittergesteuerte Röhren für UHF-Fernsehsender. Arch. elektr. Übertr. 13 (1959) S. 467 bis 474

[11] Finkbein, U.; Holle, J.; Tobies, S.: Tetroden-Fernsehsender für das Band IV/V. Elektrotechn. Z., Ausg. A, 81 (1960) S. 332 bis 338

[12] Simon, A.; Tobies, S.: UHF-Fernsehsender mit Tetroden. Rundfunktechn. Mitt. 5 (1961) S. 231 bis 239

[13] Kanberg, H.: Television transmitters with tetrodes in bands IV and V. Instn. electr. Engrs., Paper No. 4043 E, June 1963

[14] Laub, H.: Dipolgruppen für Sendeantennen in den Frequenzbereichen IV/V. Frequenz 14 (1960) S. 327 bis 334

[15] Künemund, F.; Laub, H.: Mehrfachausnutzung von Sendeantennen im Fernsbereich IV/V. Rundfunktechn. Mitt. 7 (1963) S. 253 bis 261

[16] Kanberg, H.; Tobies, S.: Fernsehsender für farbige Bilder. Siemens-Z. 41 (1967) S. 662 bis 667

[17] Kanberg, H.; Hübner-Kosney, R.: Transistorisierter Entzerrer für die differenzielle Phase von Fernseh-Bildsendern. Rundfunktechn. Mitt. 8 (1964) S. 96 bis 99