

Zeitschrift: Pionier : Zeitschrift für die Übermittlungstruppen
Herausgeber: Eidg. Verband der Übermittlungstruppen; Vereinigung Schweiz. Feld-
Telegraphen-Offiziere und -Unteroffiziere
Band: 43 (1970)
Heft: 2

Artikel: Wirtschaftliche Probleme im Grosssenderbau
Autor: Roos, Willi
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-560481>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. [Siehe Rechtliche Hinweise.](#)

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. [Voir Informations légales.](#)

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. [See Legal notice.](#)

Download PDF: 08.02.2025

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>

Wirtschaftliche Probleme im Grosssenderbau

Bei der Auslegung und Konstruktion von Sendern grosser Leistung sind eine Reihe von Einflussgrössen sorgfältig gegeneinander abzuwägen, um für die Investition und den Betrieb wirtschaftliche Lösungen zu finden. Die Einflussgrössen werden analysiert.

Einleitung

Die Entwicklung einer ersten Generation von Rundfunksendern höchster Leistung ist abgeschlossen. Sie wurden in unserem Versuchslokal eingehend durchgemessen und kommen jetzt an ihren Bestimmungsorten in Betrieb. Ausführliche Beschreibungen des 600-kW-Kurzwellen- und des 1000-kW-Mittelwellensenders folgen in späteren Ausgaben unserer Zeitschrift.

In den nachfolgenden Kapiteln sind allgemeine Überlegungen festgehalten, welche beim Bau von Grosssendern von erheblichem Einfluss sind. Die Wirtschaftlichkeit steht neben der technischen Qualität und der Betriebssicherheit beim Bau und Betrieb moderner Grosssender im Vordergrund. Dabei sind sowohl die Investitions- wie auch die Betriebskosten zu beachten.

Grundaufbau der Sender

Fig. 1 zeigt das Blockschema eines konventionellen Rundfunksenders. Das von einem Quarz abgeleitete hochfrequente Trägersignal wird in der Hochfrequenz-Kette auf die Ausgangsleistung verstärkt. Der Vorverstärker ist in der Regel breitbandig, dagegen werden die HF-Treiber und die Endstufe auf die Trägerfrequenz abgestimmt. Die Endstufe wird anodenmoduliert. Der Anodenkreis ermöglicht die Anpassung an die Impedanz des Ausgangsfeeders und dämpft die Oberwellen der Trägergrundwelle. In der Niederfrequenz-Kette wird das Studiosignal auf den für die Modulation notwendigen Pegel verstärkt. Durch die Modulationsmittel wird das NF-Signal der Anodengleichspannung der HF-Endstufe überlagert.

Investitionskosten

Wenn auch ein möglichst tiefer Verkaufspreis des Senders angestrebt wird, sind jedoch die Gebäudekosten und der Umfang anderer Hilfsanlagen gleichfalls zu berücksichtigen. Der Sender soll aus diesem Grunde nicht zu grosse Dimensionen aufweisen und möglichst wenige zusätzliche Hilfsbetriebe erfordern. Fig. 1 zeigt die kompakte Konstruktion einer Mittelwellensenderendstufe.

Mit zunehmender Leistung steigt der Preis des Grosssenders ungefähr proportional mit der Wurzel des Verhältnisses der Sendeleistungen. Die Belastbarkeit der Komponenten hat in den letzten Jahren zugenommen, wodurch Sender gleicher Leistungsfähigkeit gegenüber früheren Konstruktionen kleiner und billiger werden. Diese Tendenz könnte sich wirtschaftlich noch mehr auswirken, wenn die Anforderungen an den Bedienungskomfort und an die Übertragungsqualität nicht ständig steigen würden. Dabei könnten durch eine Beschränkung des übertragenen NF-Bandes nicht nur der Preis, sondern auch die Störungen in Nachbarkanälen herabgesetzt werden.

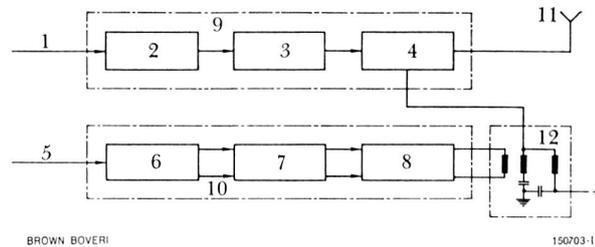


Fig. 1 Blockschema eines konventionellen Rundfunksenders

- | | |
|------------------------------|----------------------------|
| 1 = HF-Signal vom Oszillator | 7 = NF-Spannungsverstärker |
| 2 = HF-Vorverstärker | 8 = NF-Endstufe |
| 3 = HF-Treiber | 9 = HF-Kette |
| 4 = HF-Endstufe | 10 = NF-Kette |
| 5 = NF-Signal vom Studio | 11 = Antenne |
| 6 = NF-Vorverstärker | 12 = Modulationsmittel |

Der heute gebotene Bedienungskomfort ist sehr hoch. Die Entwicklung führt in letzter Konsequenz zum vollautomatisch betriebenen Sender. Der apparative Mehraufwand kann aber durch Personaleinsparungen amortisiert werden. Bei Kurzwellensendern, bei denen ein mehrmaliger Wechsel der Betriebsfrequenz pro Tag die Regel ist, wird der vollautomatische Frequenzwechsel erforderlich. Der dafür nötige Aufwand lässt sich begrenzen, indem man möglichst wenig abgestimmte Stufen, d. h. Röhren mit grosser Verstärkung, verwendet.

Die heute zur Verfügung stehenden Halbleiter ermöglichen eine bedeutende Erhöhung der Zuverlässigkeit und der Betriebssicherheit. Halbleiterelemente finden sich in der Steuerlogik, in den HF- und NF-Vorstufen und in den Gleichrichtern. In den Verstärkern mit erheblichen Leistungspegeln und für gesteuerte Hochspannungsgleichrichter können die Kosten der Lösung mit Halbleitern ein Mehrfaches der entsprechenden Ausführung mit Röhren betragen. Die Entwicklung der Halbleitertechnik kann aber diese Relation bereits in kurzer Zeit wesentlich verändern. Die Entwicklungsingenieure müssen sich deshalb trotz der herrschenden Preisverhältnisse intensiv mit der Halbleitertechnik befassen, um die entsprechenden Anwendungen realisieren zu können und die nötigen Erfahrungen zu besitzen, sobald die wirtschaftlichen Hindernisse wegfallen.

Betriebskosten

Personalkosten

Die auf einen Sender fallenden Personalaufwendungen sind je nach Anlage, Anzahl der Sender, Frequenzbereichen, Betriebszeiten usw. sehr verschieden. Das gute Fachpersonal ist jedoch teuer und immer schwerer zu beschaffen. Hier bietet sich vorerst die Lösung mit einer zentralisierten Überwachung mehrerer ferngesteuerter Sender an. Dazu müssen diese folgende Merkmale aufweisen:

- Automatische Folgesteuerung, so dass ein einziger Ein- oder Aus-Befehl genügt

- Rückmeldung des Betriebszustandes
- Automatische Wiedereinschaltung bei kurzzeitigen Störungen wie Röhrenüberschlägen, Feederkurzschlüssen und kurzen Netzunterbrüchen
- Selbständige Ausschaltung bei Defekten, welche eine Zerstörung weiterer Elemente verursachen würden
- Abstimmung bei Kurzwellensendern auf vorbestimmte Frequenzen mit Hilfe im Sender eingespeicherter Einstellwerte oder auf beliebige Frequenzen mit entsprechender Abstimmautomatik
- Grosse Zuverlässigkeit der Anlage und möglichst lange Zeitspanne zwischen den notwendigen Routine-Unterhaltsarbeiten (ein Monat oder mehr).

Im Laufe der Zeit ist jedoch damit zu rechnen, dass auch hier die Computertechnik zur Anwendung kommt und folgende Aufgaben übernimmt:

- Steuerung der Ein- oder Ausschaltung, der Frequenz- und der Antennenwahl bei Kurzwellen-Sendeanlagen
- Automatische Datenerfassung und laufende Überwachung der Messwerte der im Betrieb stehenden Sender, Meldungen über anormale Zustände und periodisches Drucken der Protokollwerte.

Eine unabdingbare Voraussetzung für eine ferngesteuerte und automatische Anlage ist ein hoher Grad an Zuverlässigkeit der Sender, um einen kontinuierlichen und störungsfreien Betrieb zu gewährleisten. Senderbetriebszeiten von 5000 Stunden pro Jahr sind heute üblich, und selbst 7000 Betriebsstunden pro Jahr sind keine Seltenheit. Für die Unterhaltsarbeiten und die Behebung von Störungen stehen deshalb nur wenige Nachtstunden zur Verfügung.

Der ausserordentlich dynamische Sendebetrieb bringt ganz verschiedene Belastungen der Bauteile je nach Programm, Aussteuerung usw. Eine hohe Betriebssicherheit erfordert deshalb eine sorgfältige Auswahl und reichliche Dimensionierung der einzelnen Teile, wobei der Platzbedarf durch Anwendung von forcierter Luft- oder Siedekühlung in vernünftigen Grenzen gehalten werden kann. Die Bemessung der Elemente im Senderbau erfolgt nach anderen Gesetzen als bei der Kleingerätfertigung. Die Grosselemente wie Spulen, Kapazitäten usw. werden nur in kleinen Stückzahlen fabriziert. Die bei kleinen Elementen übliche Ermittlung der Betriebszuverlässigkeit aus einer Grosszahl von Belastungs- und Alterungsversuchen ist infolgedessen wirtschaftlich nicht vertretbar. Die bei der Dimensionierung zu berücksichtigenden Sicherheitsfaktoren basieren deshalb weitgehend auf den Erfahrungen vorangehender Konstruktionen. Auch die Lieferanten der einzelnen Bestandteile ändern gelegentlich ihre Dimensionierungsvorschriften des Senderbauers.

Eine weitere Erhöhung der Betriebssicherheit lässt sich durch eine weitgehende Einschränkung von Bauteilen (Halbleiter statt Röhren und Schaltkontakte), die dem Verschleiss unterworfen sind, erreichen. Dabei ist, wie früher bereits angedeutet, eine Preissteigerung in Kauf zu nehmen. Für gewisse, dem Verschleiss unterworfenen Bauteile, welche einen mehr als einjährigen störungsfreien Betrieb garantieren, kann ein jährliches Auswechseln wirtschaftlicher sein als die Verwendung von Halbleitern. In jedem

einzelnen Fall sind daher die beeinflussenden Faktoren wie Preis der einzelnen Teile, Aufwand für die Auswechslung usw. immer gegeneinander abzuwägen.

Bei sehr teuren Elementen, wie zu B. Endröhren, wird möglichst die volle Lebensdauer ausgenützt. Eine sorgfältige Protokollierung der Ströme und die Auswertung ihrer Veränderungen lassen mit einer gewissen Sicherheit den Zeitpunkt des notwendigen Austausches vorausbestimmen. Trotzdem können aber Spontanausfälle auftreten, wobei durch konstruktive Massnahmen Sorge zu tragen ist, dass die Auswechslung rasch und sicher möglich ist. Um langwieriges Nachstimmen zu vermeiden, soll der Röhrenwechsel die Abstimmung so wenig als möglich beeinflussen. Auch schwierig auszuführende Arbeiten, wie z. B. das Abnehmen und Wiederanschliessen von Kühlwasserleitungen, sollten nicht nötig sein.

Durch Reservesender kann bei entsprechender Vergrösserung der Investition die Zuverlässigkeit des Betriebes um ein Mehrfaches gesteigert werden. Bei ferngesteuerten Anlagen mit langen und schwierigen Anfahrtswegen sind Reservesender unerlässlich.

Bei Sendern, welche dauernd mit der gleichen Betriebsfrequenz arbeiten, bietet sich die Lösung mit zwei parallel arbeitenden Sendern an. Beide Sender liefern ihre Hochfrequenzenergie über ein Entkopplungsnetzwerk auf die gleiche Antenne, und jede Einheit bildet die aktive Reserve der andern. Sendeunterbrüche können nur bei gleichzeitiger Störung beider Sender auftreten, was praktisch nur bei Netzausfall vorkommt.

Die Sender mit wechselnder Betriebsfrequenz eignen sich weniger für die Parallelschaltung, da die notwendigen Entkopplungsnetzwerke sehr aufwendig würden. In Kurzwellenanlagen mit mehreren Sendern führt deren Ausgang meistens über ein Hochfrequenzschaltfeld auf die verschiedenen Antennen. In diesem Fall kann ein einzelner Sender, welcher schnell auf die Arbeitsfrequenz des gestörten Senders abgestimmt werden kann, als passive Reserve dienen. Diese Reserveeinheit muss dazu dauernd in betriebsbereitem Zustand gehalten werden und steht normalerweise für eine andere Verwendung nicht zur Verfügung.

Material- und Energiekosten

Material

Die am Ende ihrer Lebensdauer zu ersetzenden Treiber- und Endröhren der HF- und NF-Kette verursachen die hauptsächlichsten Materialkosten. Die eingesetzten Röhren sollen also möglichst billig sein und hohe Brennstundenzahlen gewährleisten. Trioden sind infolge ihres einfacheren Aufbaues billiger und im Betrieb unkritischer als Tetroden, welche ihrerseits Vorteile aufweisen, die in einem späteren Abschnitt ausführlicher behandelt werden.

Energiekosten

Allgemeine Bemerkungen zum Wirkungsgrad

Das Diagramm, Fig. 2, zeigt den ungefähren Verlauf der Röhrenkosten, Amortisation, Energie- und Gesamtkosten. Die Amortisation nimmt in erster Annäherung proportional

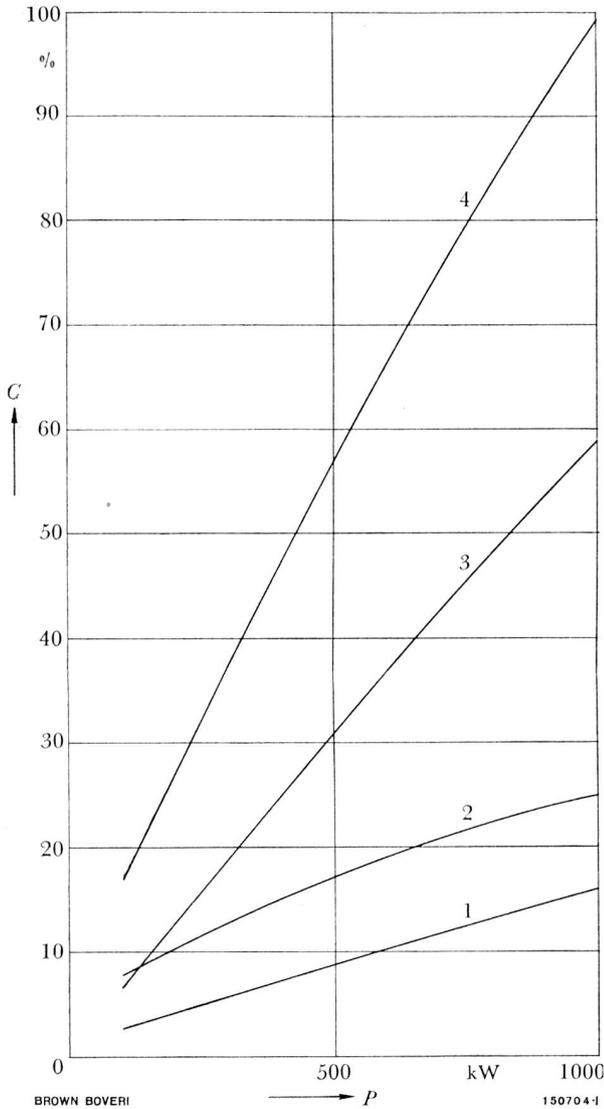


Fig. 2 Verlauf der Betriebskosten in Funktion der Sendeleistung für Mittelwellensender ohne Personalkosten)

P = Trägerleistung

C = Kosten pro Jahr in %

(100 % = Gesamtkosten für 1000-kW-Sender)

1 = Röhrenkosten für 5000 Betriebsstunden

2 = Amortisation

3 = Energiekosten für $m=60\%$ und 5000 Betriebsstunden

4 = Gesamtbetriebskosten für $m=60\%$ und 5000 Betriebsstunden

zur Wurzel aus dem Verhältnis der Sendeleistungen zu, dagegen steigen die Energiekosten annähernd proportional mit der Sendeleistung. Mit steigender Sendeleistung ergibt sich eine Verbesserung des Gesamtwirkungsgrades, weil die leistungsunabhängigen Hilfsbetriebe weniger ins Gewicht fallen. Bei einem Modulationsgrad $m=60\%$ wurde

der Wirkungsgrad mit 58% bei 100 kW, 60% bei 500 kW und 62% bei 1000 kW angenommen. Bei Sendeleistungen über 500 kW überwiegen jedoch die Energiekosten derart, dass der Verbesserung des Wirkungsgrades in diesem Leistungsbereich die grösste Aufmerksamkeit zu schenken ist. Der Gesamtwirkungsgrad wird im wesentlichen durch den Wirkungsgrad der HF-Endstufe bestimmt.

Spezielschaltungen zur Verbesserung des Wirkungsgrades

Neben den üblichen Regeln der optimalen Anpassung kann der Wirkungsgrad durch Beherrschung der Ströme und Spannungen der Harmonischen der Grundwelle verbessert werden. Durch geeignete Erregung und Wahl der Anodenimpedanz für die Oberwellen kann die Aussteuerung der Grundwellen an der Endröhrenanode erhöht werden. Dieser Wirkungsgradgewinn wird allerdings wieder durch das ungünstige durch die veränderte Aussteuerung bedingte Verhältnis von Anodengleichstrom zum Grundwellenstrom beeinträchtigt. Die verbleibende Verbesserung des Wirkungsgrades und die daraus resultierende Senkung der Energiekosten ist dennoch beachtenswert, auch wenn die höhere Amortisation für die kompliziertere Schaltung berücksichtigt wird. Eine leicht erschwerte Abstimmung muss in Kauf genommen werden, fällt aber bei Mittelwellensendern nicht ins Gewicht.

Die Wahl der Endröhre

Der Wirkungsgrad der HF-Endstufe wird stark von der Endröhre beeinflusst. Der vom Röhrenbauer angegebene Arbeitspunkt entspricht in der Regel der grössten Ausgangsleistung und nicht dem optimalen Wirkungsgrad. Bei Tetroden wird auf die grosse Leistungsverstärkung hingewiesen. Mit kleineren Anodenstromflusswinkeln und grösseren Anodenspannungs-Aussteuerungen kann der Wirkungsgrad der Endstufe gewöhnlich ganz erheblich gesteigert werden. Die dazu erforderlichen höheren Steuerleistungen werden durch die Verbesserung des Endstufen-Wirkungsgrades um ein Mehrfaches aufgewogen. Für einen derartigen Betrieb muss allerdings die Treiberstufe in der Lage sein, die notwendige Leistung zu liefern. Auch muss die Endröhre die gegenüber dem normalen Betrieb erhöhten Verlustleistungen am Steuer- und Schirmgitter und die höheren Anodenstromspitzen zulassen. Diese Bedingungen erfordern Endröhren, welche die Ausgangsleistung mit sehr viel Reserve abgeben können. Dabei kann sich auch die Parallelschaltung von zwei Röhren lohnen, um die Ausgangsleistung mit mehr Reserve zu erreichen. Die erzielte längere Lebensdauer beider Röhren und der Wirkungsgradgewinn können die höhere Investition rechtfertigen.

Grenzen der forcierten Kühlung

Mit forciertem Kühlung durch Beblasung und insbesondere durch die Siedekühlung der Endstufenspulen können die Abmessungen und somit der Preis dieser Elemente herabgesetzt werden. Dies ist natürlich nur dann sinnvoll, solange die grösseren Verlustleistungen den Gesamtwirkungsgrad des Senders nicht wesentlich beeinflussen.

Die Vorteile der Tetrode

Die höhere Leistungsverstärkung der Tetrode erlaubt kleinere Treiberstufen und entsprechende Kostensenkung. Das Schirmgitter trennt den Gitterkreis vom Anodenkreis. Trotzdem ist in den meisten Fällen eine Neutralisierung der Tetrode notwendig. Der dazu nötige Aufwand ist aber wesentlich kleiner als bei der Triode. Die Triode ist dagegen weniger kritisch im Betrieb. Sie verarbeitet grössere, bei automatischer Abstimmung weniger auftretende Lastwechsel und neigt wegen ihrer kleineren Steilheit weniger zu parasitären Schwingungen. Die Triode erlaubt ausserdem eine grössere Aussteuerung der Anode mit entsprechender Verbesserung des Wirkungsgrades, was allerdings nur bei grossen Leistungen ins Gewicht fällt. Die HF-Verstärkerkette (Fig. 1) für Sender im Leistungsbereich von 250...1000 kW kann heute aus einem transistorisierten Vorverstärker, einer Röhren-Treiberstufe und einer Röhren-Endstufe bestehen. Die beiden Röhrenstufen können entweder mit einer mittelgrossen Tetrode als Treiber und einer Triode als Endstufe oder einer kleinen Tetrode als Treiber und einer grossen Tetrode als Endstufe bestückt sein.

Für den 1000-kW-Mittelwellensender wurde folgender Vergleich angestellt:

Endstufe bestückt mit	Triode ¹	Tetrode ²
Endstufe		
Anodengleichspannung	15 kV	15 kV
Anodenrestspannung	1 kV	1,5 kV
Endstufe:		
Aufgenommene Anodenleistung	1163 kW	1206 kW
Aufgenommene Schirmgitterleistung		12 kW
Treiber:		
Aufgenommene Anoden- und Schirmgitterleistung	60 kW	12 kW
Heizleistung	1,5 kW	0,5 kW
Vorverstärker		
Aufgenommene Leistung	1,5 kW	0,5 kW
Total aufgenommene Leistung³		
	1226,0 kW	1231,0 kW

¹ Messwerte vom gebauten 1000-kW-Sender.

² Werte gemäss Röhrendaten.

³ Ohne Heizleistung der Endstufe, die für beide Fälle als gleich gross angenommen wurde.

Es zeigt sich ein etwas besserer Gesamtwirkungsgrad für die Lösung mit der Triode in der Endstufe. Je nach den zur Verfügung stehenden Röhren kann die eine oder andere Lösung zweckmässiger sein.

Die Anwendung der Tetroden im B-Verstärker der NF-Endstufe wird interessant, wenn die notwendige Ausgangsleistung ohne Aussteuerung des Endstufengitters in das positive Gebiet erreicht werden kann. Da damit der Gitterstromerinsatz vermieden wird und die Gitterimpedanz über den ganzen Aussteuerungsbereich konstant bleibt, kann die normalerweise notwendige und in der Regel aufwendige Kathodenfolgestufe vermieden werden. Die Endröhren werden über einen relativ kleinen Spannungsverstärker angesteuert. In diesem Fall ist die Vereinfachung und Verbilligung gegenüber der Schaltung mit Trioden in der Endstufe beträchtlich. Eine kleine Ruhestromerhöhung in der B-Endstufe muss allerdings in Kauf genommen werden.

Modulationssysteme

Die Anodenendstufenmodulation mit B-Verstärkern und Transformatoren bilden eine einfache und leicht zu beherrschende Lösung. Bei mittleren Modulationsgraden, mit welchen der Sender meistens betrieben wird, ist der Wirkungsgrad gegenüber Trägerbetrieb und Modulationsgrad von 100 % etwas reduziert. Es sind Methoden bekannt, diesen Nachteil und die teuren Modulationsmittel zu umgehen. Diese Lösungen sind aber mit erheblich kritischerer Abstimmung der HF-Endstufe behaftet. Mit der Anwendung der automatischen Abstimmung fällt dieser Umstand weniger ins Gewicht, da der Automat die komplizierten Abstimmungsvorgänge übernimmt. Viele Betriebsleute legen aber grossen Wert darauf, die automatisch abgestimmten Sender im Störfall auch in konventioneller Weise betreiben zu können. Die klassische Anodenmodulation mit einem B-Verstärker wird aus diesem Grunde bis heute noch verwendet.

Schlussbemerkungen

Auch im Senderbau schreitet die Technik rasch voran, und die Entwicklung zielt auf die vollständige Automatisierung der Sendeanlagen. Dazu ist eine Steigerung der Betriebssicherheit der Sender notwendig.

Die hohen Energiekosten der Hochleistungssender werden die Bemühungen um die Verbesserung des Wirkungsgrades weiter vorantreiben. Der Senderbauer muss aus den vielen sich zum Teil widersprechenden Forderungen den optimalen Kompromiss finden. Die beste Lösung ist jene, welche die an den Sender gestellten Anforderungen mit einem Minimum an Investitions- und Betriebskosten erreicht.

Willi Roos

Aus: Brown, Boveri-Mitteilungen 7/69