

# Entwicklung des UKW-Rundfunks

## Teil 6 : Zeitraum 1934 -1940, Folge 5

### Röhren-, Mess- und Schaltungstechnik

Gerhard Bogner, Neu-Ulm

Erst Anfang der 30er Jahre begann man, unter Hinzunahme der kurzen und ultrakurzen Wellen, mit der Schaffung der experimentellen und theoretischen Grundlagen für die Berechnung und den Bau von KW- bzw. Überlagerungsempfängern. Dadurch ergab sich zwangsläufig die Notwendigkeit, die Eigenschaften der vorhandenen Elektronenröhren für die Verwendung bei Kurz- und Ultrakurzwellen zu ermitteln. Eine

Voraussetzung dazu waren experimentelle Untersuchungen an Röhren, für die beim Übergang auf UKW größtenteils keine geeigneten höherfrequenten Meßmethoden existierten.

Die Anfänge waren - da man bei UKW Neuland betrat - schwierig. Zum einen handelte es sich bei den Mehrgitterröhren um komplizierte Kapazitätssysteme, zum anderen konnten Induktivitäten und Kapazitäten der Zuleitungen, Lage der

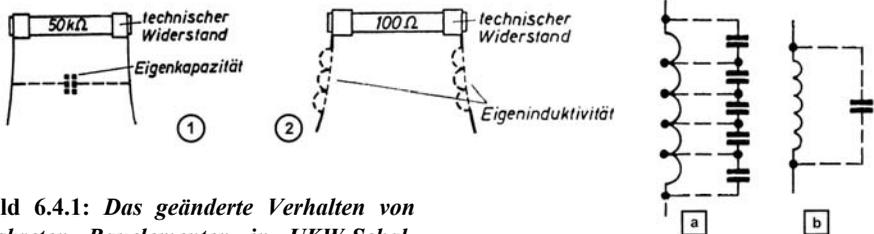
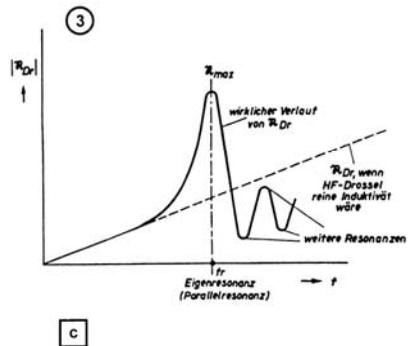
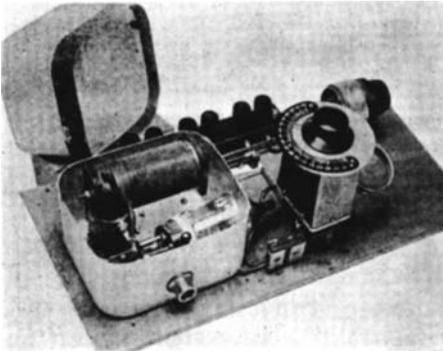


Bild 6.4.1: Das geänderte Verhalten von diskreten Bauelementen in UKW-Schaltungen führte zu neuen Betrachtungsweisen:

- (1) Widerstand mit Eigenkapazität (Parallelschaltung von R und C).
- (2) Widerstand mit Eigeninduktivität (Parallelschaltung von R und L).
- (3) Induktivität (HF-Drossel) mit Eigenkapazität(en) (a) und (b). Scheinwiderstandsverlauf einer HF-Drossel (c). Bei höheren Arbeitsfrequenzen verursachen die Teilkapazitäten (a) zwischen den Windungen weitere Resonanzstellen.





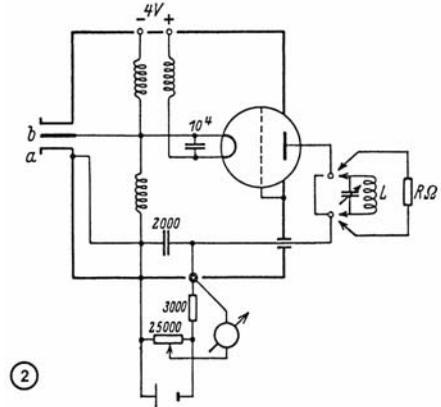
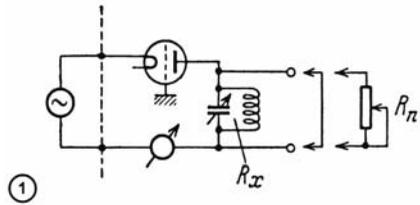
**Bild 6.4.2: Schwingkreis-Meßgerät.**

**(4) Prinzipdarstellung.**

*Der Resonanzwiderstand  $R_x$  wird durch den Vergleich mit  $R_n$  bei Tonfrequenz ermittelt (gleicher Richtstrom).*

**(5) Schaltungsmäßige Ausführung.**

*Stecker a, b = Anschluß für UKW- bzw. Ton-Generator.*



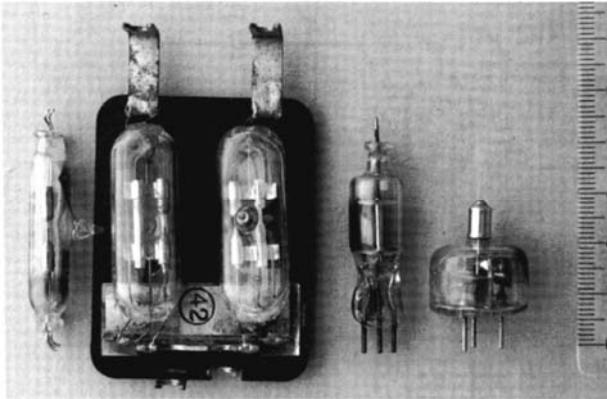
Erdungspunkte, mangelhafte Entkopplung oder Schirmung bei UKW leicht zu Fehlmessungen („Hausnummern“) führen. Darüber hinaus entstanden Probleme bei der Anwendung von Röhrenvoltmetern und Messverstärkern durch sich ändernde Röhreneigenschaften (Elektronenlaufzeit u.a.).

Die Messungen auf dem Gebiet der KW-, UKW- und Dezimeter-Wellen erstreckten sich vornehmlich auf die Bestimmung von Wellenlängen, Leistungen (Sender), Scheinwiderständen (Impedanzen „Z“), kleinsten Kapazitäten, Verstärkungs-, Rausch- und Selbsterregungseigenschaften von Röhren, Verlusten von Isolierstoffen und Leitern.

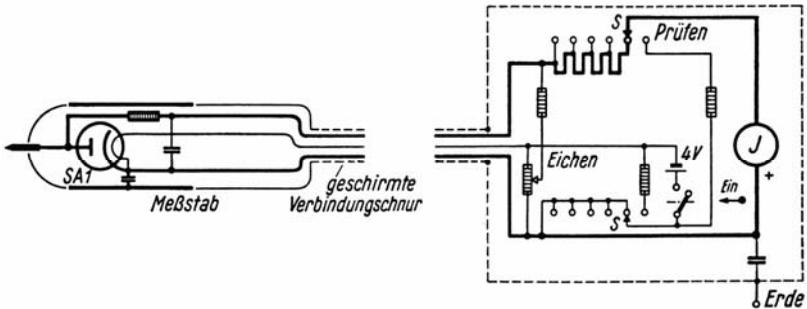
Beim Übergang zu Wellenlängen unterhalb vom  $\lambda = 1$  m stiegen die Schwierigkeiten, da man nirgends auch nur annähernd mit quasistationären Zuständen und konzentrierten Bauelementen (Kapazitäten, Induktivitäten und Widerständen) rechnen konnte.

Einen instruktiven Einblick in die frühen Verhältnisse (um 1931) von „Meßtechnik und Meßgeräten im Bereich der ultrakurzen Wellen“ vermittelt ein Bericht aus dem Laboratorium vom *M. v. Ardenne* [162].

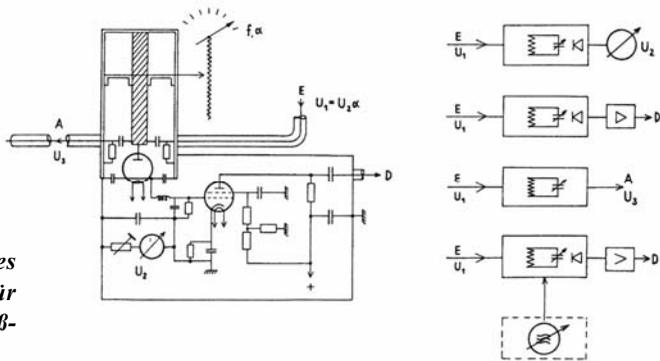
*O. Schmidt* (TH-Dresden) lieferte 1932 den Nachweis der vielseitigen Anwendungsmöglichkeiten der Lecher-Leitung als Meßanordnung in der KW-Technik (zur Bestimmung von Wellenwiderständen, Spannungen und Strömen nach



1) UKW- / Dezimeter-Dioden für Meßzwecke, von links: SA1, 2 × SA1 (Telefunken), EA50 (Philips/Valvo), SA102 (Telefunken).



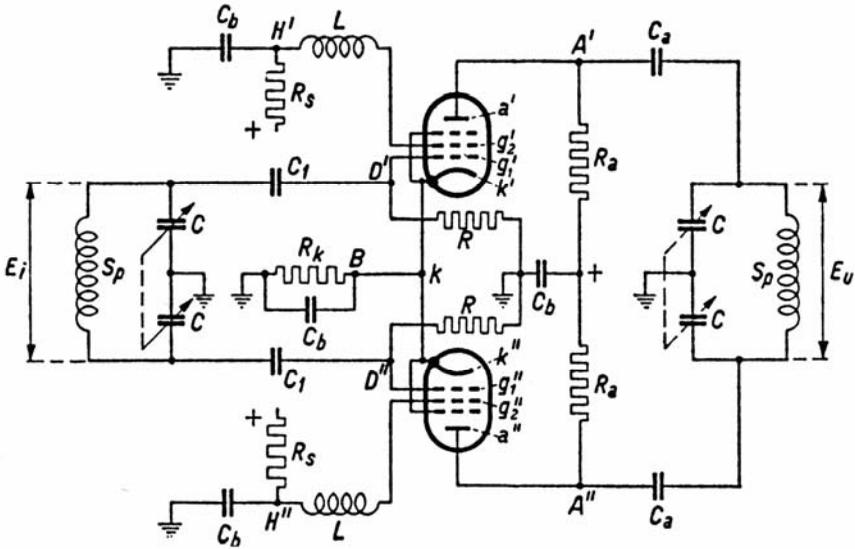
2a) Schaltung eines Tast-Diodenvoltmeters (Siemens, 1930).  
 Frequenzbereich: 50 Hz ... 200 MHz. Meßbereiche: 5-15-50-150-250 V.



2b) Schaltung eines Diodenvoltmeters für 300 ... 2000 MHz. Meßbereich 0,02... 6V.

Gleichzeitig als Resonanzfilter, Demodulator, Mischvorsatz und Wellenmesser ± 0,5% verwendbar (PTE/R.u.S., etwa 1943).

Bild 6.4.3: Serienmäßige Dioden und Meßgeräte für Messungen im UKW- und Dezimeterbereich.



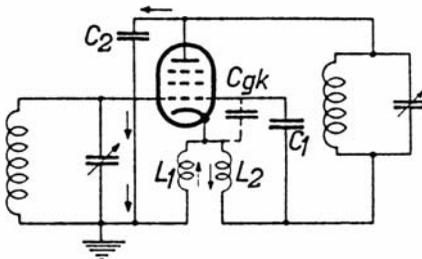
**Bild 6.4.4:** Schaltbild einer Hochfrequenzverstärkerstufe mit der Gegentaktendröhre EFF 50. Die Induktivitäten L verringern zusätzlich die Eingangsdämpfung. ( $E_i$  = Eingangskreis,  $E_u$  = Ausgangskreis.)

Betrag und Phase), bei der andere Methoden vielfach versagten [163]. Eine überragende Darstellung der UKW-Meßtechnik um 1935 gab H. E. Hollmann (Wiss. Mitarbeiter des HHI, bei Telefunken, bzw. Bera-

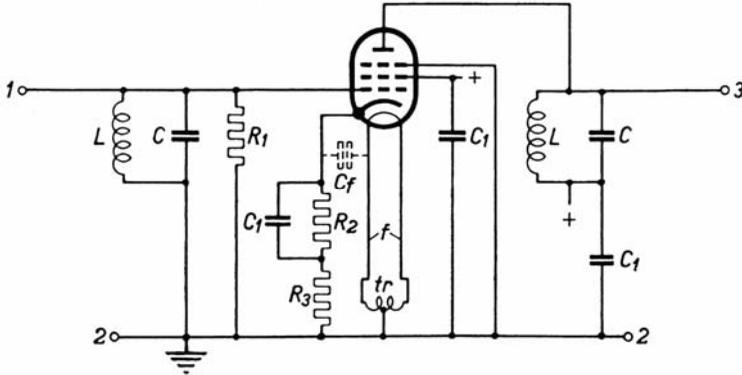
der GEMA) in [164]. Beiträge zur dynamischen Röhrenmeßtechnik zwischen 1935 und 1939 lieferte M. J. O. Strutt [133a und b, 144].

In den Jahren bis 1939 entwickelte man in den Laboratorien der Röhrenhersteller Meßmethoden, mit deren Hilfe Spannungen, Ströme und Impedanzen bis zu einer Wellenlänge von  $\lambda = 20$  cm genau bestimmt werden konnten. Diese Meßmethoden fanden in erster Linie Verwendung, um die HF-Eigenschaften von Elektronenröhren zu untersuchen.

Erst auf Grund der gewonnenen Einblicke ließen sich gezielt Röhren entwickeln, welche bei sehr hohen Frequenzen bessere Ergebnisse zeigten als die bisher benutzten



**Bild 6.4.5:** Schaltung mit zwei Katodenleitungen und zwei Hilfskondensatoren C1 und C2 zur Aufhebung der Eingangs- und Ausgangsdämpfung (Philips EF 51).



**Bild 6.4.6: Maßnahmen zur Vergrößerung des Eingangswiderstandes bei indirekt geheizten HF-Pentoden im KW-/ UKW-Gebiet ( $\lambda = 10 - 5 \text{ m}$ ).**

$C_f$  = innere Heizfaden-Katoden-Kapazität

$C_1$  = Blockkondensator (etwa 10 000 pF)

$R_2$  = Widerstand zur Erzeugung der negativen Gittervorspannung

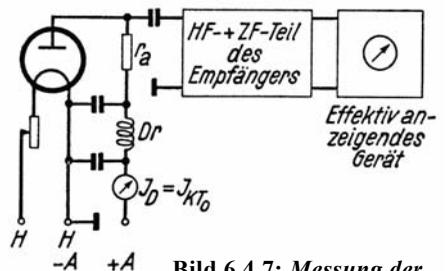
$R_3$  = Gegenkopplungs-Widerstand (10 - 100  $\Omega$ )

$t_r$  = Heiztransformator

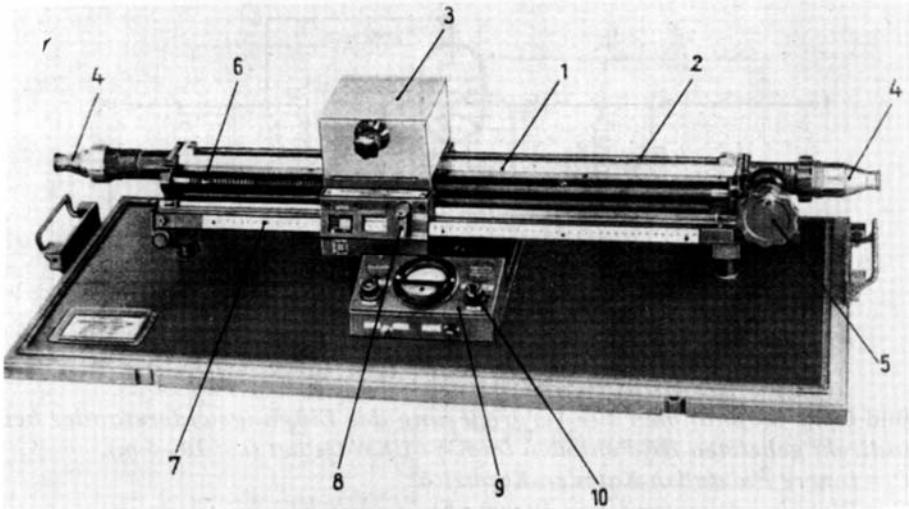
[133, 154a]. So führten die Erkenntnisse über die Auswirkungen der Katodenleitung bei hohen Frequenzen, über die Konstruktion von Gegentaktverstärkern mit  $2 \times \text{EF50}$ , 1940 zur Schaffung der Gegentaktverstärkerröhre EFF50 (Philips). Bei dieser Ausführung mit zwei gleichen Systemen heben sich die störenden Anodenwechselspannungsströme beider Systeme in der gemeinsamen Katodenleitung auf.

Da die Eingangsspannung zwischen den beiden Steuergittern gegenphasig anliegt und dadurch der negative Einfluß der gemeinsamen Katodenleitung kompensiert werden konnte, ließ sich der Eingangswiderstand um den Faktor fünf ( $2,5 / \text{System}$ ) erhöhen. Damit gelang unter Verwen-

dung von Topf- (Hohlraum-) Kreisen bei  $\lambda = 60 \text{ cm}$  eine 8fache Verstärkung. Der materielle Aufwand einer Gegentaktanordnung



**Bild 6.4.7: Messung der  $kt_0$ -Zahl mit gesättigter Rausch-Diode.**  
 $I_{kt_0}$  = Sättigungs-Gleichstrom der Diode, dessen Rauschen am Ausgang der HF- und ZF-Stufen die innere Rauschspannung des Empfangsteiles um den Faktor  $\sqrt{2}$  erhöht.



**Bild 6.4.8: Messleitung „Lotos“ (Telefunken) zur Messung der absoluten Wellenlänge, der Antennenanpassung, eines komplexen Abschlußwiderstandes und zur Beurteilung der Reflexionsfreiheit eines Koaxialkabels.**

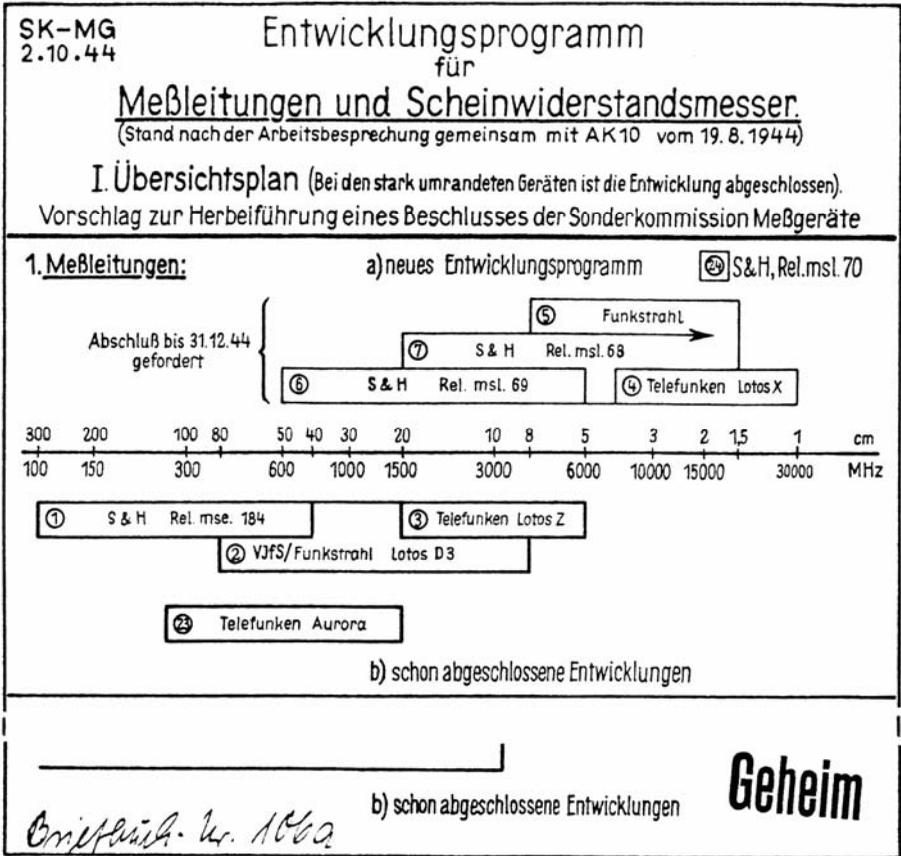
**1, 2 = Führungsschlitten mit geschlitzter Koaxialleitung; 3 = abstimmbare Abtastsonde m. Dezimeterdiode; 4 = koaxiale Anschlüsse; 5, 6 = Spindelantrieb; 7 = Ableseskala; 9 = Anzeigeeinheit.**

war jedoch verhältnismäßig hoch und nur für kommerzielle und militärische Geräte tragbar.

Hingegen konnte bei der Außenkontaktsockelröhre SP4/U1 (Tungsram, 1939) und der Allglasröhre EF51 (Philips, 1940) durch mehrfach (3- oder 2fach) herausgeführte Katodenanschlüsse der Nachteil einer gemeinsamen Anodenleitung für Ein- und Ausgang (Anstieg der Eingangsdämpfung) vermieden werden. Durch die getrennte Zuordnung je einer Katodenleitung zum Gitter bzw. Anodenkreis sowie einer zusätzlichen externen Beschaltung mit  $C_x$  und  $C_2$ , ließ sich die Dämpfung des Eingangskreis- und Ausgangskreis-

aufheben und überdies die Anodenrückwirkung günstig beeinflussen. Diese, nicht nur auf die Röhre beschränkte Maßnahme, ermöglichte immerhin eine Verwendung der EF51 bis herab zu  $\lambda = 1,5$  m [153a, 153b].

Die Messungen der Röhreneigenschaften führten in der Anwendung zur Untersuchung unterschiedlicher Schaltungen, und als Folge, wie bei der EF50 im Jahr 1939, zu schaltungstechnischen Verbesserungen. So konnte durch einfache (preiswerte) Schaltungskniffe, beispielsweise durch eine Gegenkopplung im Katodenkreis, bestehend aus  $R_3$  und  $C_f$  (Bild 6.4.6.), oder durch eine entdämpf-



**Bild 6.4.9:** *Auszug aus einem Programm für Prüf- und Meßgeräte (Funkmeßanlagen) vom November 1944.*

fende Maßnahme am Schirmgitter durch  $L_{g2}$  (Bild 6.4.4.) der Eingangswiderstand erhöht werden.

Mit der SP4/U1 ließ sich allein durch die richtige Beschaltung der drei Kathodenanschlüsse ein Eingangswiderstand von etwa 60 kΩ bei 40 MHz erzielen [151], [153a, 166].

Die Meßtechnik zwischen 1939 und 1944 wurde bestimmt von der

verstärkten militärischen Nutzung der Dezi- und Zentimeterwellen. Auf der Empfangsseite begrenzte das mit zunehmender Bandbreite ansteigende Rauschen erheblich die maximal erzielbare Ortungsentfernung der Funkmeßgeräte.

Für die eindeutige Ermittlung der (Grenz-) Empfindlichkeit, die vor allem bei Verstärker- und Mischstufen im Bereich der UKW-

und Dezimeterwellen große Bedeutung erlangte, fand hier *K. Franz* (Telefunken) in der  $kT_0$ -Zahl ( $1 kT_0 = 4 \times 10^{21}$  W/Hz) eine brauchbare Maßeinheit.

Bei einem von *J. Müller* (Telefunken) angegebenen alternative Verfahren verglich man unabhängig von der Bandbreite und Demodulationsart die Empfängerrauschleistung mit einer konstanten Rauschquelle. Rauschmeßgeräte nach diesem Prinzip, bei denen man eine im Sättigungsgebiet betriebene Diode (LG16) als Rauschgenerator benutzte, erleichterten den Serienabgleich, die Einstellung des Rauschfaktors und die Auswahl geeigneter Röhren [166, 167].

*L. Rothe* (R.u.S.) - der sich bereits 1931 in Jena mit der Spannungsmessung an Paralleldrahtsystemen bei  $\lambda = 1$  m beschäftigte - stellte Anfang 1944 ein umfangreiches Programm industriell hergestellter Meßgeräte vor, die teilweise bis  $\lambda = 10$  cm eingesetzt werden konnten [168].

Im Herbst 1944 waren die Konzernfirmen AEG, S & H. und Telefunken weitgehend in der Lage, mit lieferbaren Meßgeräten den Bereich bis herunter zu  $\lambda = 5$  cm abzudecken. Die bei der Industrie und einschlägigen Instituten in Entwicklung befindlichen Meßeinrichtungen reichten herab bis zu  $\lambda = 3$  cm, vereinzelt auch bis  $\lambda = 1$  cm [169].

Eine von *H. Meinke* (Telefunken) auf der Basis von Laborberichten erarbeitete Einführung in die

Dezimeterwellen-Technik, die auch die Meßtechnik berücksichtigte, vermittelt einen Einblick in den damaligen Wissensstand (1944) [169a].

## Literatur

- [162] Schlesinger, K.: Meßtechnik u. Meßgeräte im Bereich der ultrakurzen Wellen. H.u.E., Bd. 40 (1932), H. 2, S. 68-72.
- [163] Schmidt, O.: Das Paralleldrahtsystem als Meßinstrument in der KW-Technik. H.u.E., Bd. 41 (1933), H. 1, S. 2-16.
- [164] Hollmann, H. E.: Physik und Technik der ultrakurzen Wellen, Bd. II. Verlag J. Springer, Berlin, 1936, S. 210-292.
- [165] Strutt, M. J. O. u. Ziel, A. van der: Eine neue Gegentaktverstärkerröhre für Dezimeterwellen. Katodenleitung. Philips T. Rdsch., 5. Jg. (1940), H. 6, S. 167-177.
- [166] Kleen, W.: Verstärkung und Empfindlichkeit von UKW- und Dezimeter-Empfangsverstärkerröhren. Tfk-Röhre, 1941, H. 23, S. 274-296.
- [167] Franz, K.: Messung der Empfängerempfindlichkeit bei kurzen elektrischen Wellen. H. u. E., Bd. 59 (1942), H. 4, S. 105-112.
- [168] Rohde, L.: Grundelemente einer allgemeinen Dezimeßtechnik. TFT, Bd. 33 (1944), H. 5, S. 95-105.
- [169] o. Verf.: Prüf- und Meßgeräte für Funkmeßanlagen. Arbeitskommission 10 in der SKFM der Hauptkommission Elektrotechnik. Aug. Okt. 1944.
- [169a] Meinke, H.: Einführung in die Technik der Dezimeterwellen. Manuskript einer Vortragsreihe, gehalten in Leubus/Oder 1944.