

# In 100 Jahren vom Fritter zum Digitalempfänger

## Kurzgefasste Entwicklungsgeschichte der Prinzipien des Funkempfangs

Nachdem mein Beitrag über die Entwicklungsgeschichte der Funkpeilverfahren in Funkgeschichte Nr. 164 und 165 ein durchaus reges Interesse zu verzeichnen hatte – insbesondere durch Zugriff auf [www.radiomuseum.org](http://www.radiomuseum.org) - habe ich mich dazu entschlossen, auch die Entwicklung der technischen Verfahren zum Funkempfang hier kurz zusammengefasst vorzustellen. Dabei bin ich mir darüber im Klaren, dass Sie, die Mitglieder der GFGF, über dieses Thema sicherlich bereits gut informiert sind, aber dennoch mag eine solche Gesamtsicht vielleicht doch ganz gern gelesen werden – auch verbunden mit einem Blick auf zukünftige Anwendungen. Man möge mir allerdings verzeihen, dass ich nicht jede jemals angewendete oder auch nur beschriebene Variante (vor allem die überaus zahlreichen der 20er Jahre) hier darstellen kann – die Anzahl möglicher weiterer Quellen geht ohnehin in die Hunderte! Auch auf Antennen und Sonderlösungen (wie Radar, Autoradio und Fernsehempfang) wird hier nicht eingegangen. Während die weithin bekannte Technik des Rundfunkempfangs in ihren vielfältigen Variationen relativ kurz abgehandelt ist, stelle ich im letzten Kapitel die neuartigen digitalen und breitbandigen Empfangsverfahren vollständiger dar. Diese Verfahren, die derzeit vorwiegend in der hoheitlichen Funküberwachung sowie in militärischen Bereichen Anwendung finden, dürften mit Übergang zu freier Frequenzwahl und Codemodulation auch in weiteren Bereichen kommerzieller und öffentlicher Kommunikation Bedeutung erlangen – wobei abzuwarten ist, welche sich davon durchsetzen oder auch neu entwickelt werden.

Aufgabe eines Funkempfängers ist es, eine gewünschte Sendung aus dem RF-Spektrum herauszufiltern und das Signal, zumeist den Nachrichteninhalte, durch entsprechende Selektion, Verstärkung, Demodulation sowie Signalaufbereitung in der gewünschten Form für eine akustische oder auch optische Wiedergabe bzw. Signalverarbeitung bereitzustellen. Zu Zeiten der „Urväter des Funkbetriebs“ wie MARCONI und BRAUN verwendete man hierzu die damals verfügbaren technischen Mittel, vorzugsweise der Feinmechanik, um die per Funkensens-

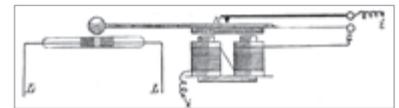
der ausgestrahlten Signale wieder aufzufangen und aufzuzeichnen. Man hatte herausgefunden, dass Eisenfeilspäne unter Einfluss hochfrequenten Stroms leitend wurden und als „Stromventil“ wirkten. Aufgrund dieses Erkenntnis entwickelte man den „Kohärer“ (auch „Fritter“ genannt, Bild 1), ein luftleeres Glasröhrchen mit zwei Silberkontakten, zwischen denen etwa ein Millimeter Metallfeilspäne (oder Metallgranulat, Graphitpulver) eingefüllt waren. ([18], dort auch entsprechende Abbildungen). Vor Eintreffen eines weiteren hochfrequenten Signals musste die Leitfähigkeit durch mechanische Erschütterung des Röhrchens wieder aufgehoben werden. Dies bewerkstelligte ein sogenannter Klopfer, der wie der Schwengel einer Klingel konstruiert war. Über ein Relais wurde ein Morseschreiber betätigt, der daraufhin einen oder mehrere „Punkte“ auf einen vorbeigeführten Papierstreifen niederschrieb. Dies reichte zunächst aus, da die damaligen, vorwiegend militärischen, Nutzer ausschließlich schriftliche Ausgabe erwarteten.

Der mechanisch aufwändige Kohärer wurde dann sehr bald von einem Detektor abgelöst, dessen flüssiges oder kristallines Material (wie Pyrit, Silizium, Molybdän) ebenfalls eine Gleichrichterwirkung besaß und keine mechanische Rückstellung mehr erforderte (Bilder 2, 3). Neben Schreibempfang war hiermit wegen der Funkenfolge des Senders auch behelfsmäßiger Hörempfang möglich. Eine Gleichstromvorspannung am Detektor (z. B. mit Carborund-Kristall) wurde benutzt, um dessen Kennlinie in den optimalen Bereich

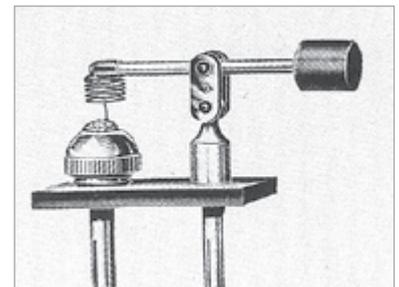
## AUTOR



RUDOLF GRABAU  
Much  
Tel. 02245 3471

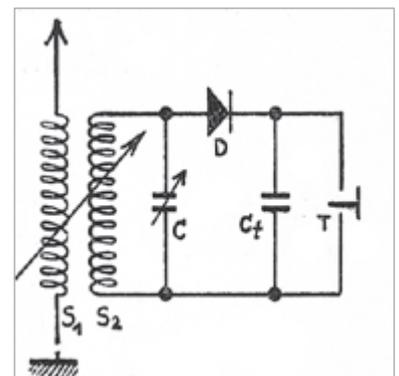


**Bild 1:** Der „Fritter“, ein luftleeres Glasröhrchen mit zwei Kontakten, zwischen denen Metallfeilspäne eingefüllt waren, die unter Einfluss hochfrequenten Stroms leitend wurden. Die Leitfähigkeit konnte durch mechanische Erschütterung mit einem „Klopfer“ wieder aufgehoben werden. Abb. aus [1].

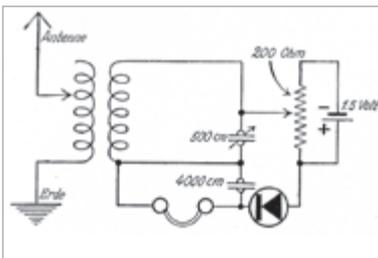


**Bild 2:** Kontakt-Detektor.

Abb. aus [1].

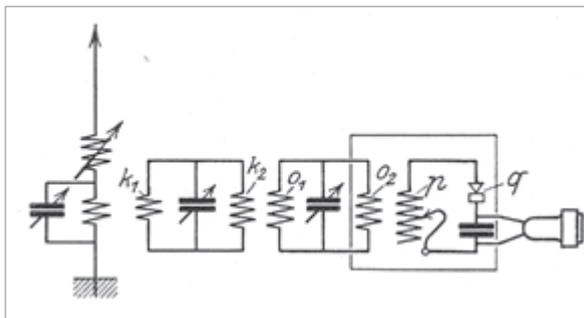


**Bild 3:** Einfacher Detektor-Empfänger. Abb. aus [8].

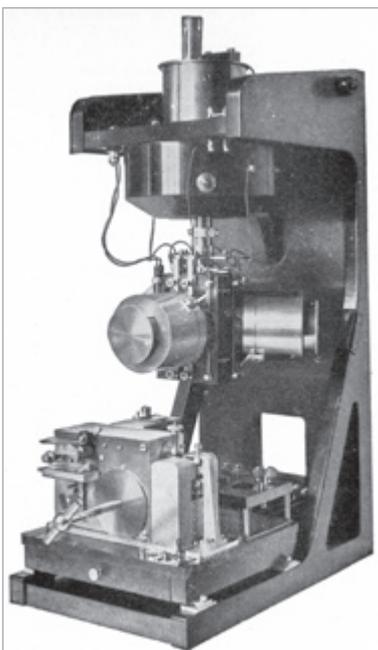


**Bild 4: Detektorempfänger mit regelbarer Vorspannung.**  
Abb. aus Archiv des Autors.

zu verschieben und so Stabilität und Empfindlichkeit zu erhöhen (Bild 4). Um verschiedene Sender empfangen oder voneinander trennen zu können, stattete man die Detektorempfänger mit umschalt- oder abstimmbaren Induktivitäten und Kapazitäten aus, zusammengesetzt in einem, zwei oder sogar drei Schwingkreisen (Primär-/Sekundär-/Ter-



**Bild 5: Primär-/Sekundär-/Tertiär-Detektorempfänger.**  
Abb. aus [4].

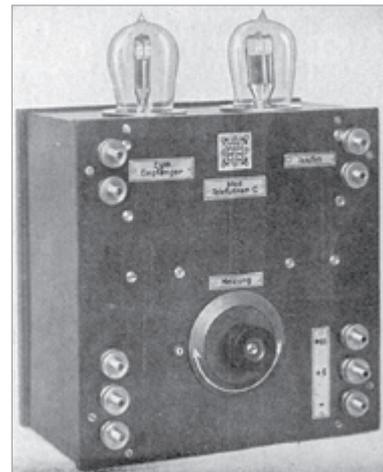
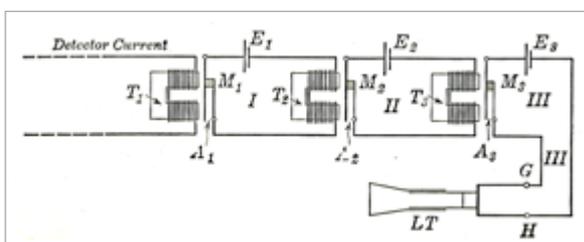


**Bild 6: Mechanisch-akustischer Lautverstärker.**  
Abb. aus [1].

tiärempfang, Bild 5); allein bei Lübben [9] finden sich elf Schaltungsvariationen von Empfängern mit Kristalldetektoren. Die Lautstärke konnte anfangs nur mithilfe elektromechanischer Vorrichtungen erhöht werden (Bilder 6 und 7), Ab Anfang der 20er Jahre fanden die neuen Elektronenröhren zunächst in ein- oder zumeist mehrstufigen Niederfrequenzverstärkern Anwendung (Bild 8+9). Da häufig die Lautstärke immer noch nicht ausreichend erschien, setzte man Elektronenröhren auch zur Verstärkung hochfrequenter Spannungen ein, also zwischen Antenne und dem eigentlichen Empfänger – zunächst aperiodisch, dann auch abgestimmt auf den zu empfangenden Sender (Bild 10).

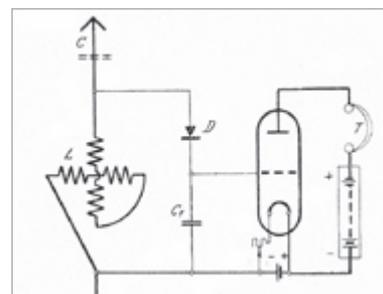
Bei Einführung ungedämpfter Schwingungen (mit

**Bild 7: Schaltbild des mechanisch-akustischen Lautverstärkers.**  
Abb. aus [1].

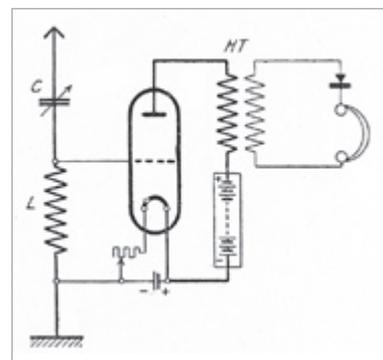


**Bild 8: Zweistufiger Niederfrequenzverstärker (Telefunken).**  
Abb. aus [3].

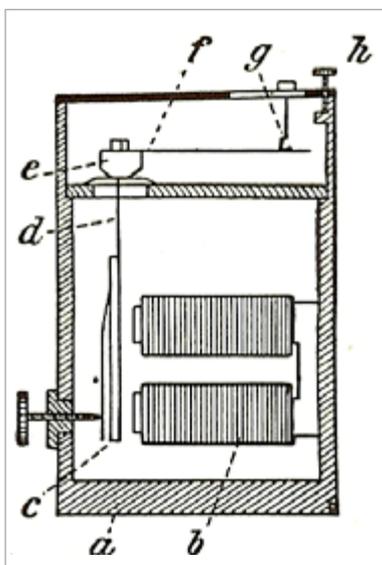
Poulsen- oder Maschinensender) traten beim Detektorgleichrichter allerdings Schwierigkeiten mit dem inzwischen bevorzugten akustischen Telegraphieempfang auf. Während die Funkenfolge gedämpfter Schwingungen mit einem einfachen Detektor und Kopfhörer deutlich vernehmbar gewesen war, hörte man bei ungedämpften Wellen nur am Anfang und Ende eines jeden Zeichens ein leises Knacken. Man ergänzte daher den Detektorempfänger entweder um einer Summerschaltung oder auch mit einem „Ticker“, bei welchem mittels einer Kontaktanordnung durch Verstimmen des Empfangskreises ein pulsierender Strom erzeugt wurde, den man im Kopfhörer als rauhen Ton wahrnehmen konnte (Bild 11). Dann half auch der Überlagerungsempfang weiter: sehr aufwändig mit einer Hochfrequenzmaschine als Oszillator, dann wesentlich einfacher mit einem Röhrenoszillator (Bild 12). Allerdings sorgten Löschkundensender und



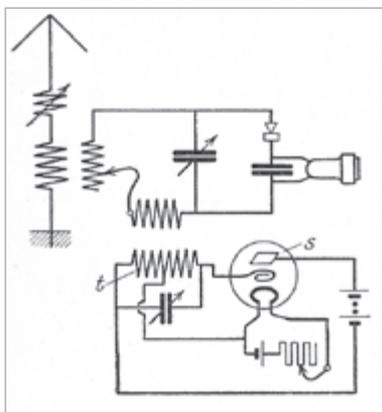
**Bild 9: Einfacher Detektorempfänger mit Niederfrequenz-Röhrenverstärker.**  
Abb. aus [9].



**Bild 10: Hochfrequenzverstärker vor einem einfachen Detektor.**  
Abb. aus [9].



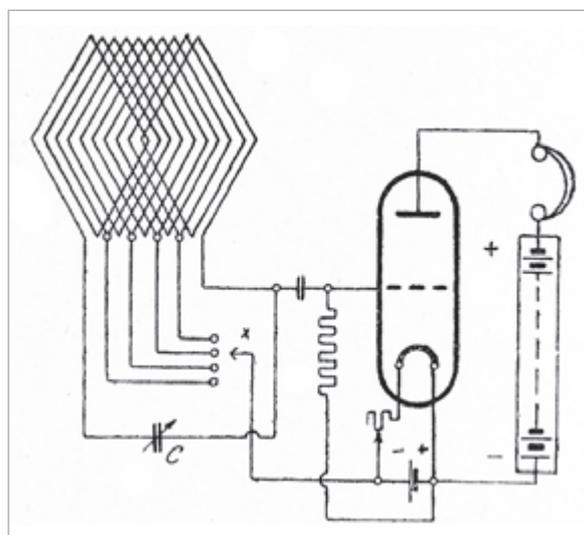
**Bild 11:**  
Ticker.  
Abb. aus  
Archiv des  
Autors.



**Bild 12:**  
Sekundär-  
Detektor-  
empfänger  
mit Röhren-  
überlagerer.  
Abb. aus [4].

Spannungsänderungen werden in derselben Röhre direkt weiterverstärkt. In den Anfangstagen des Rundfunks war gerade diese Doppelfunktion ein erheblicher Vorteil gegenüber einer Trennung von Gleichrichtung (Demodulation) und Verstärkung, da die Röhre seinerzeit ein teures Bauteil war.

Beim Geradeausempfänger wird das von der Antenne angelieferte RF-Signal mit mindestens einem Resonanzkreis ausgewählt und ohne Frequenzumsetzung verstärkt. Bei amplitudenmodulierten Signalen wird die Hüllkurve des RF-Signals durch Gleichrichtung von der Trägerwelle getrennt, hörbar gemacht und der Signalauswertung zugeführt. Der Aus-



**Bild 13:**  
Audionemp-  
fänger mit  
umschalt-  
barer Rah-  
menantenne.  
Abb. aus [9].

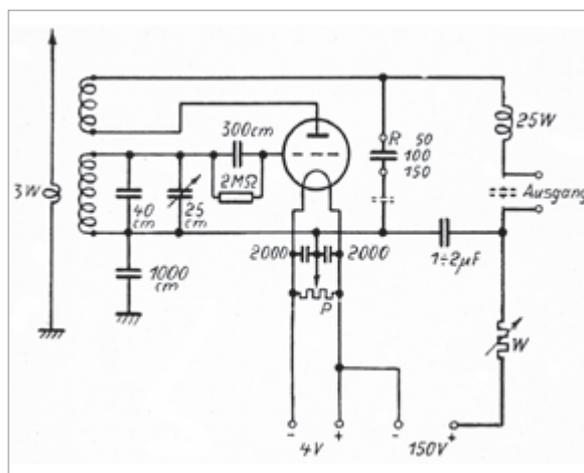
Poulsen-Mehrtonsender bald selbst für Abhilfe. Ihre „tönenden“ Morsesendungen waren nach einfacher Detektor-Gleichrichtung wieder ohne weitere Hilfsmittel im Kopfhörer aufnehmbar – ebenso die dann errichteten amplitudenmodulierten Rundfunksender auf Lang- und Mittelwelle. Einzelheiten dieser Entwicklung siehe auch in [18].

wahl der gewünschten Sendung dienen ein oder mehrere Selektionskreise, die auf die zu empfangende Frequenz abgestimmt werden. Je ein Selektionskreis und ein Verstärkerelement bilden jeweils eine Resonanzverstärkerstufe, von denen man mehrere zur Steigerung der Gesamtselektivität und -verstärkung hintereinander schalten konnte. So beschreibt Lübben [9] zehn Schaltungen, die sich im Wesentlichen durch unterschiedliche Schwingkreisvarian-

### Elektronenröhren revolutionieren mit dem Audion den Funkempfang

Als ab etwa 1914 die ersten Elektronenröhren verfügbar waren, wurden diese zunächst zur elektrischen Lautverstärkung anstelle der bisher verfügbaren mechanisch/akustischen Lösungen verwendet (s. o.). Einige Jahre später, ab etwa 1916, kamen die ersten Röhrenempfänger.

Das Audion (tuned radio frequency receiver, TRF receiver, Bild 13) ist das wesentliche Funktionselement des Geradeausempfängers: Es ist gekennzeichnet durch die Gleichrichtung einer empfangenen Hochfrequenz an der Gitter-Anoden-Strecke einer Elektronenröhre (Gittergleichrichtung). Die dabei entstehenden

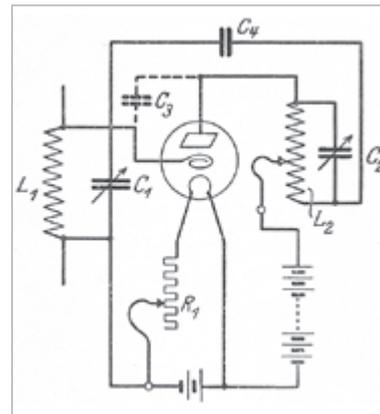


**Bild 14:**  
Rückge-  
koppeltes  
Audion.  
Abb. aus  
Archiv des  
Autors.

ten voneinander unterscheiden. Da der Anodenstrom auch von der Höhe des Stromflusses im Heizfaden abhängt, wurde dieser bei Verwendung direkt geheizter Gleichstromröhren bisweilen auch zur Lautstärkeregelung benutzt (z.B. in den Bildern 11, 12 und 13).

### Neutrodyne-Empfänger

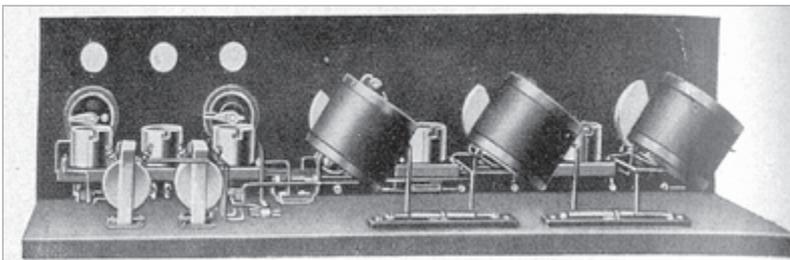
Bald versuchte man auch eine Verstärkung der hochfrequenten Spannungen, die bei den anfangs verwendeten langen Wellen kein Problem darstellte. Allerdings musste man nun der Neigung zu Eigenschwingungen entgegenwirken. Geradeausempfänger sind einfach im Aufbau, haben jedoch wegen der wenigen Selektionsmittel eine relativ große Bandbreite. Die mit der Zahl der Verstärkungsstufen wachsende Gefahr der Selbsterregung des Empfängers begrenzt die Möglichkeiten zur Verstärkung, außerdem ergeben sich Gleichlaufprobleme, wenn in einem mehrstufigen Empfänger eine Vielzahl von Schwingkreisen gleichzeitig abzustimmen ist. In den Anfangsjahren des (Rund-)Funks standen nur Dreipol-Röhren (Trioden) zur Verfügung, bei denen eine hohe Stufenverstärkung (insbesondere über mehrere Stufen in Geradeaus-Empfängern) schnell auch zur internen Rückkopplung innerhalb der Röhren führte, was „wildes Schwingen“ der Stufen



**Bild 16: Neutralisierung einer Hochfrequenzverstärkerstufe durch Anzapfung der Anodenspule.**

Abb. aus [7].

tige Lösungen, so unterscheidet Hamm [7] 17 Varianten. Nach Einführung der Mehrgitter-Röhren (mit zusätzlichem Schirmgitter) ließen diese Probleme deutlich nach.



**Bild 15: Konstruktive Entkopplung der Spulen eines Neutrodyneempfängers.**

Abb. aus [7].

zur Folge hatte. Um der Schwingneigung der RF-Verstärker entgegenzuwirken, behalf man sich anfangs mit einer Bedämpfung der Stufen (wodurch sich allerdings ein Verstärkungsverlust ergab) sowie durch Entkopplung der Verstärkerstufen voneinander. Zunächst versuchte man, die einzelnen Spulen hochfrequenten-technisch voneinander zu entkoppeln (Bild 15). Richtigen Erfolg brachten aber erst Mitte der 20er Jahre Neutralisierungsschaltungen zur Kompensation der Gitter-Anodenkapazität von 3-Pol-Röhren, bezeichnet als „Neutrodyne“ (Bild 16). Derartige Schaltungen fanden Verwendung vor allem in mehrstufigen Geradeausempfängern, aber auch in Zwischenfrequenz-Verstärkern von Superhets (s.u.) – selbst bei Reflexschaltung (s.u.) wurden RF- und NF-Verstärkungswege neutralisiert. Man fand vielfäl-

## QUELLEN (1)

- [1] Zenneck: Wireless Telegraphy, McGraw-Hill, New York 1915
- [2] Kappelmayer: Der ferne Klang, Scherl, Berlin 1924 (Empfangsprobleme der drahtlosen Telephonie)
- [3] Nesper: Der Radio-Amateur „Broadcasting“, Springer, Berlin 1924
- [4] Treyse: Schaltungsbuch für Radio-Amateure, Springer, Berlin 1924 (Bibliothek des Radio-Amateurs 3)
- [5] Baumgart: Praktischer Rahmen-Empfang, Springer, Berlin 1925 (Bibliothek des Radio-Amateurs 5)
- [6] Adorjan: Reflex-Empfänger, Springer, Berlin 1925 (Bibliothek des Radio-Amateurs 17)
- [7] Hamm: Hochfrequenz-Verstärker, Springer, Berlin 1926 (Bibliothek des Radio-Amateurs 24)
- [8] Lillge: Radio-Technik, Reclam, Leipzig 1927
- [9] Lübben: Röhren-Empfangsschaltungen für die Radiotechnik, Meusser, Berlin 1925 (Die Hochfrequenztechnik 1)
- [10] Banneitz (Hrsg.): Taschenbuch der drahtlosen Telegraphie und Telephonie, Springer, Berlin... 1927
- [11] Lertes: Der Radio-Amateur, Steinkopf, Dresden/Leipzig 1931
- [12] Schwandt: Funktechnisches Praktikum, Weidmann, Berlin 1935 und Ergänzungsband, Berlin 1936
- [13] Wigand: Der Superhet, Weidmannsche, Berlin 1936
- [14] Schneider (Hrsg.): Radio-Technischer Almanach 1947, Schneider, Berlin 1947 (Deutsche Radio-Bücherei 100)
- [15] Zeitschrift CQ des DARC, Hamburg Jahrgänge 1949/1950
- [16] Richter: UKW-FM, Franckh, Stuttgart 1950
- [17] Grabau: Funküberwachung und Elektronische Kampfführung, Franckh, Stuttgart 1986
- [18] Grabau: Technik der Funkentelegraphie mit gedämpften und ungedämpften Schwingungen/ Einführung der Glühkathodenröhre in die Funkgeräteausstattung des deutschen Heeres, in: FG, Nr. 167, 168 und 170; 2006