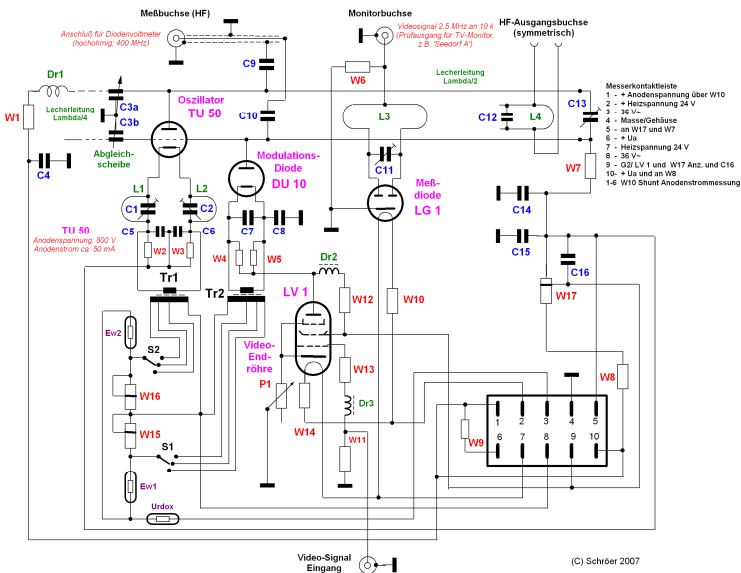
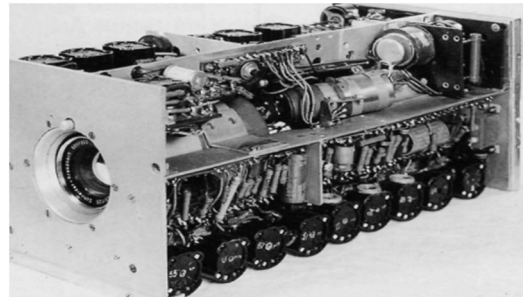
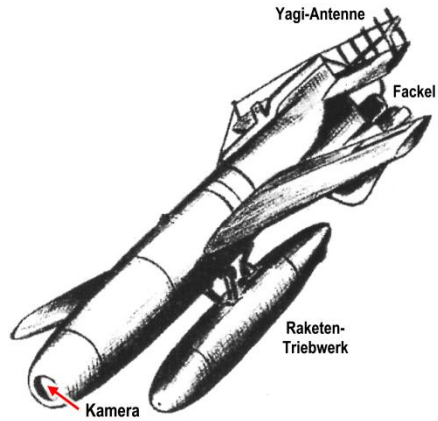
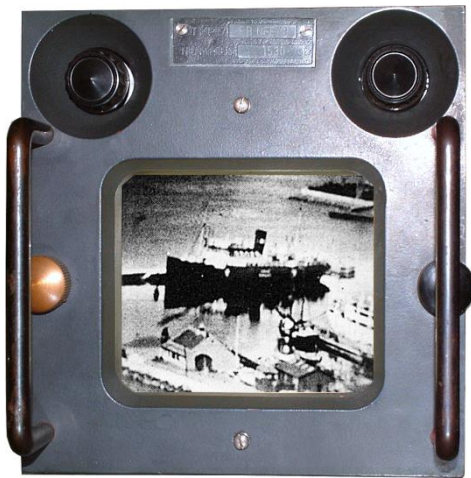


Wolfgang-D. Schröder

Lenkkörper und Zielweisungsgeräte der deutschen Luftwaffe



Teil II

Fernsehgestützte Zielweisung von Gleitbomben Das »Tonne-Seedorf«-System

ISBN 978-3-00-028549-3

Wolfgang-D. Schröer
DL7HZ

Lenkkörper und Zielweisungsgeräte der deutschen Luftwaffe

Das »Tonne-Seedorf«-Projekt
The »Tonne-Seedorf«-Project



Teil II **Technik-historischer Bericht:** **Fernsehgestützte Zielweisung von Gleitbomben**

**Television Aided Missile Guiding System
of German Airforce WW II (Luftwaffe)**

– Berlin 2005/2014 –

Impressum

Wolfgang-D. Schröer
Lenkkörper und Zielweisungssysteme
der Deutschen Luftwaffe

Das »Tonne - Seedorf«-System
The »Tonne - Seedorf« - Project

Teil II

Technikhistorischer Bericht:
Fersehgestützte Zielweisung von Gleitbomben

Television Aided Missile Guiding System
of the German Airforce (Luftwaffe)

Erweiterte und durchgesehene Auflage

Vers. 11.0 (Juni 2014)

ISBN 978-3-00-028549-3

Anmerkungen

Bilder, soweit nicht anders angegeben, vom Verfasser.

Mit (*) gekennzeichnetes Material stammt von einem Bildautor,
der nicht namentlich genannt werden möchte.

Abbildungen, denen der Hinweis *bearbeitet* beigefügt wurde,
sind in der Bildaussage unverändert, gleichen durch Freistellung
oder Retusche unterschiedlicher Art aber nicht mehr vollständig dem Original.

Kontakt:

Tel.: 030-404 81 63

eMail: dl7hz@wschroer.de oder dl7hz.publications@wschroer.de

Glambecker Weg 15a
13467 Berlin / Germany

© by Wolfgang-D. Schröer
2005-2014

Kein Teil dieser Publikation darf ohne vorherige schriftliche Genehmigung des Autors
in irgendeiner Form reproduziert oder unter Verwendung elektronischer Systeme verarbeitet,
vervielfältigt, verbreitet oder im Internet veröffentlicht werden!

All rights reserved.

No part of this publication may be reproduced, stored in a retrieval system, or transmitted,
in any form or by any means, electronic, mechanical, photocopying, recording or otherwise,
without the **prior written permission** of the author.

Inhalt Teil II

Vorbemerkungen

Kapitel 1

Fernsehgestützte Zielweisung – Das System »Tonne-Seedorf«	5
--	---

Kapitel 2

Entwicklungsgeschichte der Hs 293D	11
---	----

Zeittafel	19
------------------------	----

Kapitel 3

Komponenten des Zielweisungssystems »Tonne-Seedorf«	25
--	----

Systemübersicht	25
------------------------------	----

Die Kamera »Tonne«	26
---------------------------------	----

Vorbemerkungen	27
----------------------	----

Die Bildabtaströhre IS 9	28
--------------------------------	----

Die Aufbereitung des Ikonoskop-Signals	31
--	----

Der Bildsender der Hs 293D	40
---	----

Vorbemerkungen	40
----------------------	----

Übersicht	41
-----------------	----

Der mechanische Aufbau des Senders	43
--	----

Anordnung der elektronischen Bauteile auf dem Chassis	45
---	----

Baugruppen des Videosenders	46
-----------------------------------	----

Die Stromregelung	48
-------------------------	----

Die Oszillator-Baugruppe	52
--------------------------------	----

Das Lechersystem	54
------------------------	----

Der Monitorausgang	59
--------------------------	----

Bauelemente zur Arbeitspunkteinstellung	60
---	----

Schaltungsanalyse des Videosenders und Aufbaudetails	61
---	----

Übersicht	61
-----------------	----

Der Heizkreis	61
---------------------	----

Der Leistungsozillator	64
------------------------------	----

Die Videomodulation des Senders	71
---------------------------------------	----

Die Spezialröhren TU 50 und DU 10	77
---	----

Die Bildempfangsanlagen »Seedorf I« und »Seedorf III« - Mechanik	83
---	----

Das HF-Teil des Bildempfängers »Seedorf I« – Spekulationen	87
--	----

Das höhen- und tropfenfeste Sichtgerät »Seedorf III«	91
--	----

Der mechanische Aufbau des »Seedorf III«	95
--	----

Die Elektronik des Bildgerätes »Seedorf III«	102
---	-----

Die Röhrenbestückung: Bildröhre	102
---------------------------------------	-----

Die Verstärker- und Gleichrichterröhren	105
---	-----

Konzeptionsdetails des »Seedorf III«	113
--	-----

Kapitel 4

Einsatzerfolge und –Misserfolge der deutschen Lenkwaffensysteme	117
--	-----

Versenkung des italienischen Schlachtschiffes »Roma«	120
---	-----

Weitere Angriffe mit »Fritz X« und Hs 293	122
--	-----

Kapitel 5	
Alliierte Funk-Störversuche gegen deutsche Lenk Waffen	125
<i>Angriffe auf alliierte Flottenverbände mit ‚unbekannter‘ Fernwaffe</i>	125
<i>Alliierte Störsender gegen deutsche Lenkbombenangriffe</i>	127
<i>Sicherung des »Kehl-Straßburg«-Systems gegen alliierte Störsender</i>	132
<i>Verfahren alliierter Funk-Störmaßnahmen</i>	134
Stresslösung: Die „brute force“-Methode	134
Zwischenlösung: Die X CJ-Störgeräte	138
<i>Deutsche „smart bombs“ – Zeitzeugenbericht</i>	146

Kapitel 6	
Alliierte Lenk Waffen im 2. Weltkrieg	149
<i>Antriebslose Gleitbomben der USA</i>	149
<i>Das Projekt »Aphrodite I« – BQ7 mit Sichtsteuerung</i>	151
<i>Fernsehgestützte Zielweisung – Das Projekt »Aphrodite II«</i>	155
<i>Fernsehgestützte Zielweisung – Das Projekt »Anville« (,Amboss‘)</i>	157
<i>Die fernsehgesteuerte Minengleitbombe GB4</i>	158
<i>Nachsteuerbare Sturzbomben der VB-Serie (»Azon« – »Razon«)</i>	162
<i>Abschließende Bemerkungen</i>	167

Anhänge	
<i>Anhang 1: Daten der Hs 29D-Fernsehanalge</i>	169
<i>Anhang 2: Messungen am Fernseh-Sender</i>	170
<i>Anhang 3: Spezial-Röhrevoltmeter UDC</i>	173
<i>Anhang 4: Bauteilliste des Fernseh-Senders der Hs 293D</i>	174
<i>Anhang 5: Lecherleitungen</i>	176
<i>Anhang 6: Unretuschierte Großbilder</i>	177
<i>Anhang 7: Röhrendatenblätter</i>	188
<i>Anhang 8: Fernsehkamera der USAAF für Gleitbomben</i>	208
<i>Anhang 9: Fernsehzielverfahren für Gleitbomben</i>	210
<i>Anhang 10: Versuchsversion Hs 293D/V-6 / Querschnitt Gerätebrett</i>	217
<i>Anhang 11: Pioneers of UHF Television</i>	218
<i>Anhang 12: Zum Super-Ikonoskop</i>	220
<i>Anhang 13: Kleinst-Bildspeicherröhre</i>	223

Literatur und Quellen	225
------------------------------	-----

Vorbemerkungen

Vor etlichen Jahren fielen mir in einer Vitrine im *Deutschen Technik Museum Berlin*, DTMB, (früher: *Museum für Verkehr und Technik Berlin*) Geräte auf, die reichlich mit sog. Wehrmachtsröhren bestückt waren – dem Anschein nach RV12P2000. Ich hatte solcherlei noch nirgendwo gesehen, vielleicht in der einschlägigen Literatur übersehen.

Drei Baugruppen standen dort, offenbar eine Kamera, jedenfalls war ein Objektiv eingebaut, ein kompakter Monitor mit kleiner runder Bildröhre und darunter ein merkwürdiges Modul mit Lecherleitungen und etlichen Röhren, von denen zwei Bezeichnungen trugen, die mir völlig unbekannt waren und nicht zur üblichen Wehrmachtsnomenklatur passten.

Die Geräte wirkten irgendwie semiprofessionell was Chassis und Verdrahtung anbetraf, man konnte – offenbar für museale Zwecke – durch dickwandige Plexiglasabdeckungen ins Innere schauen; die einzelnen Stufen waren durch rote Gravur übersichtlich beschriftet. Zugehörige Informationstäfelchen wiesen die Geräte als Teile einer „Sehende Bombe“ mit Namen »Tonne« aus.

Durch die spiegelnden Scheiben der Vitrine und die Gehäuse aus Plexiglas würde die Herstellung brauchbarer Fotos dieser mir außerordentlich interessant erscheinenden Gerätegruppe kaum möglich sein, das war mir klar.

Der Kontakt zu *Ottmar Rücker* (DL7WF), der seit Jahren im Museum mit genau diesen Exponaten befasst war, ermöglichte mir die Herstellung eigener Bilder unter fototechnisch etwas besseren Bedingungen am geöffneten Fenster des Ausstellungsraumes. Nicht ideal aus Sicht des Fotografen, aber immerhin...Später eröffneten sich mir weitaus bessere Bedingungen für die Dokumentation.

Bilder allein sind interessant, sie bedürfen aber – vor allem bei so seltenen Stücken wie den Baugruppen der »Tonne« – der Erläuterung. Bei meiner Suche nach Informationsmaterial bin ich fündig geworden. Soweit es die historischen Ausführungen betrifft, beruhen sie zu einem Gutteil auf einem ausführlichen Bericht von *Joseph Hoppe* in einem Sammelband des *Museums für Verkehr und Technik* (1995), der ein umfangreiches Quellenverzeichnis enthält.

Später kam das inzwischen vergriffene, sehr detailreiche Buch von *Botho Stüwe* in meine Hände. Eigentlich ist darin (fast) alles in erschöpfender Ausführlichkeit behandelt, was ich gesucht hatte. Was aber fehlte, waren gute, auch Einzelheiten wiedergebende Bilder und Schaltungen, die selbst der separate Bildband dieses Autors nicht bietet¹. Gerade letztere aber interessieren den Elektroniker in besonderem Maße, verraten sie doch Einzelheiten über den Stand der damaligen Ingenieurtechnik.

Dazu war erforderlich, die wenigen mir zur Verfügung stehenden Schaltungsunterlagen durch Umzeichnen lesbar zu machen. Als Vorlage diente die ‚hundertste Kopie einer hundertsten Kopie‘ des Fernlenk-Empfängers »*Straßburg*«, die an vielen Stellen nahezu unleserlich war. Es kostete erhebliche Mühe, sie – hoffentlich fehlerlos – wieder verwendbar



¹ Selbst die an der Entwicklung der sog. Reportageanlagen zwischen 1938 bis 1945 unmittelbar Beteiligten, *Bähring, Dillenberger, von Felgel-Farnholz, Mulert, Rudert* und *Strübig*, bedauern in einer 1950 veröffentlichten Zusammenfassung, dass „*verschiedene Unterlagen verloren gingen*“, vor allem Bilder.

zu machen. Zu einem Teil ist es zudem gelungen, durch Ausmessen auch Bauteildimensionierungen vorliegender Geräte zu ergänzen und in die Schaltbilder zu übernehmen.

Diese ‚Nacharbeiten‘ wurden nur möglich, weil mir durch glücklichen Umstand einige Baugruppen des Funk-Fernlenk-Empfängers durch Ankauf in die Hände fielen, die ich nicht nur fotografieren, sondern durchmessen und durch Inbetriebnahme näher untersuchen konnte. Die originalen Bauteillisten sind leider verschollen, jedenfalls kenne ich keine Quelle.

Darüber hinaus kam es mir auf eine anschauliche Aufarbeitung des hier inzwischen vorhandenen umfangreichen Bildmaterials an, das in dieser Qualität und in Farbe noch nirgendwo publiziert worden ist. Dass sich die Arbeiten im Laufe der Zeit auf den nun vorliegenden Umfang ausweiten würden, hatte ich allerdings nicht erwartet.

Die 2003 begonnene Zusammenstellung war von Beginn an Teil eines Prozesses, sie ist noch immer vorläufig und bedarf ständiger Überprüfung und Präzisierung! Sie sollte deshalb vom Leser als ‚Baustelle‘ verstanden werden. Bei der von mir gewählten Vorgehensweise, aus unvollständigen Quellen und unzusammenhängenden Einzelinformationen ein zuverlässiges Bild zu rekonstruieren, stoße ich immer wieder an Grenzen. Dabei ist die Gefahr, Fehldeutungen zu unterliegen oder auch gröbere Fehler zu machen, methodenimmanent. Ich nehme das bewusst in Kauf!

Das gilt übrigens auch für die Rekonstruktion der Arbeitsweise von Geräten aus Bildern. Die Funktion der Einzelteile erschließt sich zwar in vielen Fällen aus deren Bau, das ist aber keineswegs in jedem Falle zwingend oder ohne Alternative. Solange die praktische Erprobung nicht möglich ist, muss es diesbezüglich notgedrungen bei Hypothesen bleiben!

Im Verlaufe meiner Nachforschungen und Bildanalysen hat sich eine weitere Problematik ergeben: Die Entwicklung der Geräte, Einrichtungen und Waffen, über die hier berichtet wird, wurde bereits in der Mitte der 30er Jahre begonnen und als sichtbar wurde, dass es zu kriegerischen Auseinandersetzungen kommen würde, massiv vorangetrieben. Das hat zur Folge, dass sich die verhältnismäßig wenigen erhaltenen Belegstücke nur sehr hypothetisch in eine zeitliche Reihenfolge bringen lassen. Man kann nicht sicherstellen, dass sich an einem Stück gewonnene technische Details für alle Geräte verallgemeinern lassen.

Versuchs- bzw. Entwicklungsversionen haben z. T. – das lässt sich an einigen wenigen Beispielen belegen – völlig anders ausgesehen als die späteren Serienexemplare, wenn es zu solchen überhaupt kam. Aber auch von denen hat es zwischen 1940 bis 1945 immer wieder Veränderungen, häufig Vereinfachungen (Stichwort ‚Entfeinerung‘) aufgrund der sich verschlechternden Rohstoffsituation, gegeben. Unter diesem Gesichtspunkt sollten die hier gemachten Informationen nicht unkritisch verallgemeinert werden.

Zur Quellenlage muss man wissen, dass die Alliierten nach Kriegsende zwar systematisch in den Firmen auffindbare geschäftliche und technische Unterlagen zur Auswertung sichergestellt haben, sie später aber an diese zu einem Teil zurückgaben. Die Sichtung der rückgeführten Dokumente stieß dort auf weitgehendes Desinteresse, man hatte keine Verwendung mehr dafür, so dass die Papiere – Schätzungen sprechen von 95 % – vernichtet wurden. Recherchen in diesen Firmen sind deshalb zumeist verlorene Zeit.

Zwar befinden sich wohl viele Unterlagen als Mikrofilmkopien noch in britischen und amerikanischen Archiven, sind – wenn man gezielt suchen möchte – aber kaum auffindbar. Das liegt nicht zuletzt daran, dass die Verschlagwortung in der Regel von technisch ungeschulten Bibliothekaren vorgenommen worden ist. Das gilt selbst für das renommierte *Smithsonian Institute* in den USA. Man ist also mehr oder weniger auf Zufallsfunde angewiesen. Das erschwert nicht nur die Arbeit, es beeinflusst auch die Zuverlässigkeit mancher nicht überprüfbarer Aussagen. Ich muss das in Kauf nehmen! Mögen Spätere die dadurch entstandenen Unzulänglichkeiten korrigieren.

Zudem soll nicht verschwiegen werden, dass auch weiterhin erhebliche Lücken bestehen bleiben, die das ins Einzelne gehende Verständnis der Systeme behindern. So konnte ich bei fast allen elektronischen Geräten weder über originale Konstruktions- noch über Schaltungsunterlagen für die Einzelkomponenten verfügen. Die Schaltungsaufnahme mit der damit verbundenen Notwendigkeit zur Zerlegung von äußerst seltenen, z. T. musealen Beleggeräten, verbietet sich von selbst. Hier bleiben Aufgaben für die Zukunft. Öffnung und leichtere Zugänglichkeit von britischen und amerikanischen Archiven könnten weitere Einsichten bringen, aber auch der Zufall, der mir schon in der Vergangenheit Geräte oder Unterlagen ‚zugespielt‘ hat. Die Chancen dafür sinken allerdings von Jahr zu Jahr.

Dass es neben den hier dargestellten noch eine große Anzahl weiterer Entwicklungen für deutsche Fernlenkwaffen gegeben hat, sei hier am Rande vermerkt, und auf die diesbezüglichen Ausführungen bei *Ferdinand Müller*, *Fritz Trenkle*, *Theodor Benecke* und *Botho Stüwe* verwiesen.

Zum Schluss eine Bemerkung zu meinem Veröffentlichungsverfahren und eine Bitte: Publikationen wie die vorliegende können nur im Selbstverlag hergestellt werden. Der Kreis der Interessenten ist überschaubar, Farbdarstellungen sind im Druck teuer und würden bei niedriger Auflage zu unbezahlbaren Preisen führen müssen, so man überhaupt einen Verleger fände. Der Vorteil, das Produkt ständig weiterentwickeln zu können, entfiel überdies; kein Verlag könnte sich darauf einlassen.

Herausgabe im Selbstverlag ist also unvermeidlich, mit viel Idealismus verbunden und von Hause aus ein ‚non profit‘-Unternehmen, bedenkt man die Aufwendungen für die erforderliche Hard- und Software. Benötigt werden eine leistungsfähige Fotoausrüstung, dazu ein ‚schneller‘ Computer (Bildbearbeitung) Bildbearbeitungsprogramme, Scanner und Drucker. Dabei ist natürlich die aufgewendete Zeit für die Bearbeitung der Bilder (Freistellen, Retuschieren, Beschriften) und Erstellung des Manuskripts noch nicht einmal einbezogen. Wer also glaubt, damit ließe sich Geld verdienen, hat nie den Versuch einer Eigenproduktion unternommen!

Und nun die Bitte:

Wer immer über Originalunterlagen zu den hier besprochenen Themen verfügt, ist herzlich gebeten, sie mir in Kopie zur Verfügung zu stellen. Die Materialien werden sorgfältig behandelt, postwendend zurückgeschickt und der Spender – wie sich das gehört – entsprechend genannt.

Aber auch jede konstruktive Kritik, die sich auf Ungenauigkeiten oder Fehler meiner Darstellung bezieht, ist herzlich willkommen. Nur wer nicht arbeitet, macht keine Fehler!

Danksagung

Ein Projekt wie die vorliegende Publikation bedarf nicht nur sorgfältiger Recherche, sondern vor allem der Unterstützung von Institutionen und interessierten Privatpersonen. So hätte die vorliegende Zusammenstellung kaum über das bisher in der einschlägigen Literatur vorhandene Bildmaterial hinausgehen können, wäre mir nicht die Möglichkeit eröffnet worden, die im *Deutschen Technikmuseum Berlin* (DTMB) vorhandenen Objekte, die Fernsehkamera einer frühen Reportage-Anlage, die in wenig abgewandelter Form auch in die ferngesteuerte Gleitbombe Hs 293D eingebaut worden ist (Tarnname »Tonne«), zwei Bildgeräte (»Seedorf I« und »Seedorf III«) und den zum System gehörenden Fernsehsender fotografisch zu dokumentieren und z. T. eingehend messtechnisch zu untersuchen. Ich verdanke dies der freundlichen Genehmigung des Leiters der Nachrichtenabteilung im DTMB, Herrn *Josef Hoppe*, dessen interessante historische Arbeit zum Thema im Übrigen

zu meinem Verständnis der politischen Hintergründe der hier behandelten Waffensysteme beigetragen hat.

In diesen Zusammenhang gehört auch die Unterstützung durch *Ottmar Rücker* (DL7WF), der mir schon zu Beginn meiner Untersuchungen Zugang zu den oben genannten Geräten zwecks Herstellung von Fotografien verschafft und mich mit Aufnahmen versorgt hat, die ich später durch eigene ergänzen oder ersetzen konnte.

In meinen Dank einschließen möchte ich *Wolfgang Thelen*, Mitarbeiter im DTMB, der viele Stunden für die Untersuchung des »Seedorf III« geduldig geopfert hat, und dem ich anregende technische Diskussionen verdanke.

Helmut Paschinger hat mich auf die grundlegenden frühen Veröffentlichungen des an der Entwicklung beteiligten *v. Felgel-Farnholz* aufmerksam gemacht und mir Kopien der Zeitschriftenbeiträge überlassen. Von *Dietrich Schudnagis* (DJ4YS) erhielt ich vorzügliche Bilder des in seiner Sammlung befindlichen Super-Ikonoskops IS 9, der Oszillatorröhre des Fernsehsenders der Hs 293D, TU 50, und einen seltenen Liststecker, den ich für die Messungen am Oszillator des »Straßburg« unbedingt benötigte.

Harry von Kroge (DL9VB) und *Günter König* (DJ8CY) haben schließlich in Zusammenarbeit mit mir wichtige Beiträge zur Aufklärung der Funktion des in die Hs 293 D eingebauten Fernsehsenders geliefert.

Bei der Analyse des mir vorliegenden dokumentarischen Materials konnte ich bereitwillige und interessierte Hilfestellung erhalten. So hat mir *Reiner Sigmund* (DH4FG), der in Usedom an der Hinterlassenschaft der Luftwaffen-Versuchseinrichtung Peenemünde forscht, bei der Zuordnung nicht eindeutig identifizierbarer Baugruppen geholfen und mich bei der ‚Entschlüsselung‘ interessanter Schaltungsdetails des »Straßburg« unterstützt.

Allen Genannten gilt mein herzlichster Dank!



Wolfgang-D. Schröer
Juli 2014

Kapitel 1

Das Fernseh-gestützte Zielweisungssystem »Tonne - Seedorf«

1939 wurde seitens der technischen Luftwaffenführung und der von dieser angesprochenen Postforschungsanstalt und Industrie die Möglichkeit, die Fernsehtechnik bei der Fernsteuerung von Gleitbomben einzusetzen, sehr pessimistisch beurteilt. Zwar konnten zu dieser Zeit bei guten Lichtverhältnissen Fernsehaufnahmen gemacht werden, die dazu eingesetzte Gerätschaft war aber für mobile Zwecke noch viel zu groß. Dafür hätte eine drastische Miniaturisierung aller Baugruppen vorgenommen werden müssen.

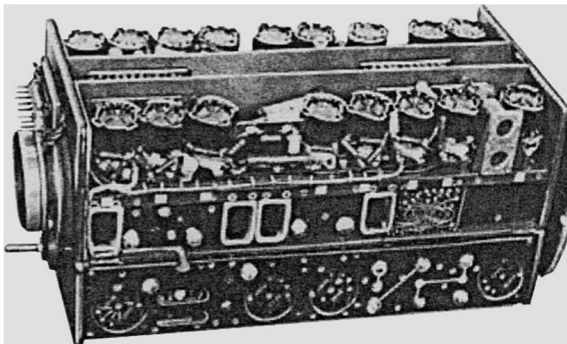
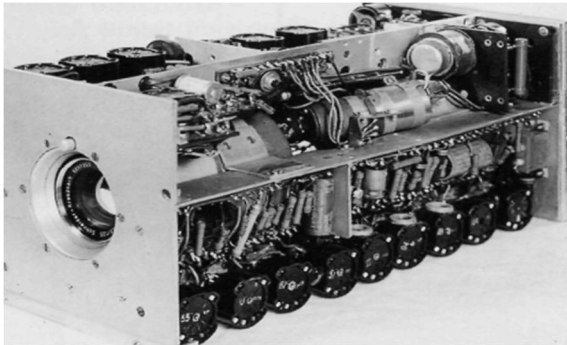


Bild 1 a/b

Reportage-Kamera K 8

Oben:

Vorläufer der für den Einbau in die *HS 293 D*
vorgesehenen »Tonne A« (= »Tonne I«)
(aus v. Felgel-Farnholz)

Unten:

FB 2-Fernseh-Kamera »Tonne«

links und Unterseite
Ausführung Ende 1942
(aus Schubert. 1942)

Nach der Olympiade von 1936 in Berlin waren Versuche unternommen worden, eine kleine, leistungsfähige Anlage für die Fernseh-Bildübertragung zu entwickeln, zunächst nur für transportable Reportagezwecke; das zeitraubende Zwischenbildverfahren sollte dadurch vermieden werden. Derartige Geräte mussten, das war den Auftraggebern klar, besondere Bedingungen erfüllen:

Kleine Abmessungen und geringes Gewicht, also Miniaturisierung, mechanische Robustheit gegen Stöße und Beschleunigungen, stabile Synchronisierung zwischen Sender und Empfänger.

Es kann deshalb nicht verwundern, dass sich vermutlich von Anbeginn Militärs für die Entwicklung dieser Geräte interessierten, wenn sie nicht sogar selbst die Initiatoren waren.

Eine Aussicht schien besonders verlockend: Ließ sich das Fernsehen nicht als Zielweisungssystem für ferngesteuerte Bomben nutzen, mit dem man die Trefferaussichten auf kleinflächige Ziele entscheidend verbessern konnte und sich zugleich die Gefährdung der werfenden Maschine durch Ver-

größerung der Entfernung zwischen Ort des Abwurfs und Ziel würde verringern lassen?!

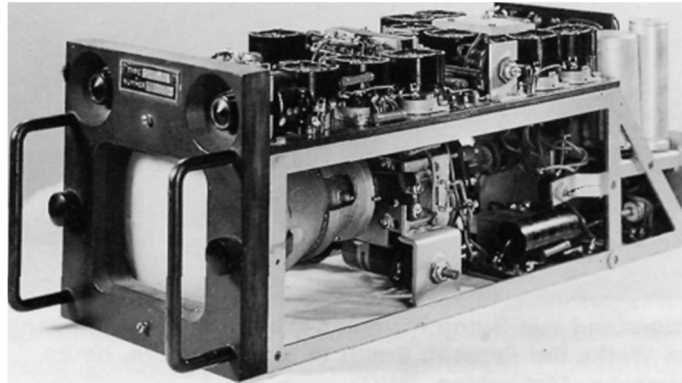
Voraussetzung dafür waren die seit 1935/36 stetig weiterentwickelten, mechanisch robusten und elektrisch leistungsfähigen sog. Behörden- oder Wehrmachtsröhren, aber auch die Verfügbarkeit einer hochauflösenden ‚Bildfängerröhre‘ (auch Bildspeicher- oder Bildwandlerröhre genannt) mit verbesserter Lichtempfindlichkeit.

Dadurch, und durch die Tatsache, dass bereits im Jahr 1941 ein relativ weit entwickeltes funktechnisches Fernsteuersystem für Gleitbomben zur Verfügung stand, das sich bei Probeabwürfen mit der Hs 293 bewährt hatte, ließ die Machbarkeit einer fernsehgestützten Zielweisung nun realistisch erscheinen.

Bild 2

**Universalempfänger
„Bildschreiber“
»Seedorf A«
zum Empfang
von Fernsehbildern
aus fernlenkbaren Waffen,
vermutlich zivile
Reportage-Version
(ohne Dezimeter-HF-Teil)**

(aus Müller)



Dies führte in der Folge zu einer enormen Aufwertung des Entwicklungsansatzes bei den Entscheidungsträgern, dies umso mehr, als man die taktischen Schwächen des Einsatzes rein sichtgesteuerter Sturz- und Gleitbomben vorhersehen konnte.

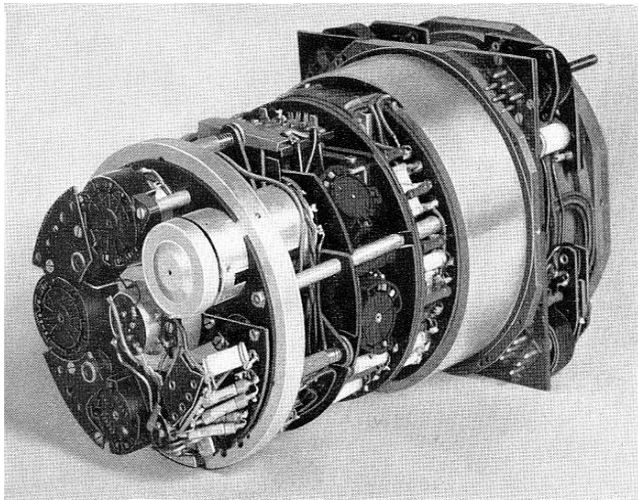


Bild 3

Hochleistungs-Bildschreiber »Seedorf III«

Fernseh GmbH, Berlin

(aus Müller)

1940 erging ein Auftrag für Zielweisungsgeräte an die *Reichspostforschungsanstalt (RPF)*, die im Bereich um 150 MHz arbeiten sollten. Eine für den Einbau in die in Entwicklung befindliche Hs 293-Gleitbombe geeignete kleine Fernsehkamera sollte dort und von der *Fernseh GmbH* (Berlin) konzipiert und gebaut werden. 1942 kam für diese Firma die Entwicklung des zugehörigen Senders, Empfängers und Sichtgerätes (Monitor) hinzu. Bereits Ende 1942 stand eine leistungsfähige Anlage mit allen erforderlichen Komponenten zur Verfügung (vgl. *Schubert*).

Das projektierte Zielweisungsgerät sollte aus drei Teilen bestehen:

- Einer Fernsehkamera-Baugruppe zum Einbau in den Lenkkörper (Tarnname »Tonne«, Bild 1¹),
- einem zur Kamera gehörenden Sender für drahtlose Übertragung des Fernsehsignals aus dem Lenkkörper und einem
- Sichtgerät, das ist ein Miniatur-Fernsehempfänger mit Hochfrequenzteil (Tarnname »Seedorf«, Bild 2²).

¹ Das im Bild gezeigte Gerät ist vermutlich der Nachbau eines Reportagegerätes, nicht die militärisch eingesetzte Fernsehkamera »Tonne«, ähnelt dieser aber stark.

² Gleiches wie das für die »Tonne« Gesagte gilt für den abgebildeten Pseudo-»Seedorf«

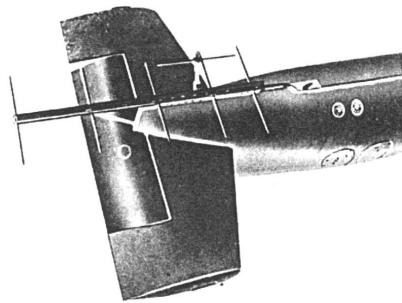
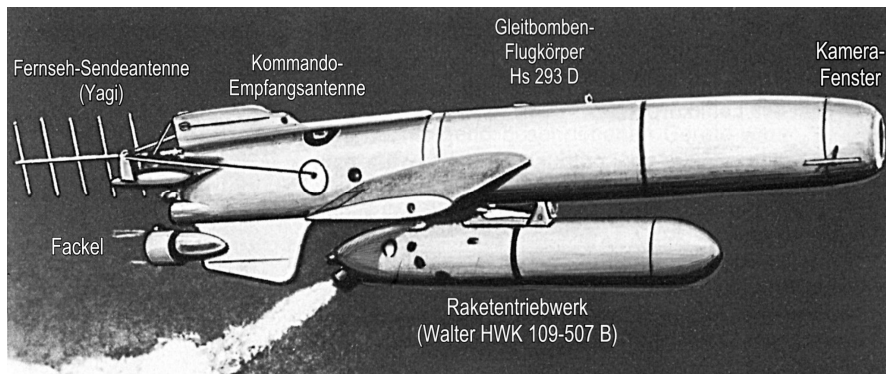


Bild 4 a/b
Fernsehgesteuerte Minengleitbombe
Hs 293 D

(aus: *Trenkle*, bearbeitet)

Links:

Fernseh-Sendeantenne auf einer Hs 293 D

Beachte Querstab am Strahlerelement und die anfänglich verwendete horizontal polarisierte Yagi-Antenne

Für den Einbau in die für das fernsehgestützte Zielweisungssystem vorgesehene Gleitbombe Hs 293 war die Verlängerung des Lenkkörpers an zwei Stellen erforderlich. Zum einen musste zur Unterbringung der elektronischen Kamera im Bug der Zelle entsprechender Raum geschaffen werden. Das geschah durch Vorsatz einer dem Bombenprofil angepassten, als ‚Vorschuh‘ bezeichneten Gusskappe aus *Elektron*, an deren stumpfer Vorderseite das Sichtfenster für den Kameradurchblick angeschraubt war (Bild 5a). Es wurde aus der Bordbatterie zwecks Vermeidung von Beschlag oder Vereisung beheizt. Die Länge dieser Vorsatzkappe bis zum Bombenkörper betrug 45 cm³.

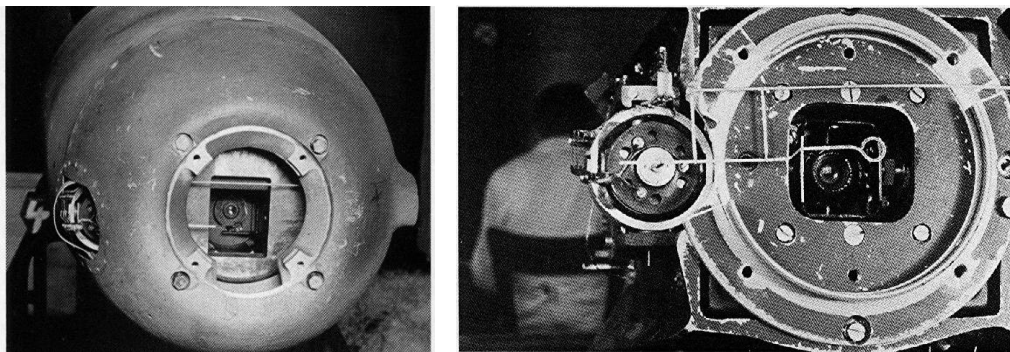


Bild 5 a/b

‚Vorschuh‘ mit eingebauter Kamera »Tonne« (links) und Korrekturkreis mit ‚Visieröse‘

(Bilder: Privatarchiv *Sigmund*)

Da auf dem Gerätebrett der Standard-Hs 293 dafür nicht ausreichend Platz zur Verfügung stand, musste in das Heckteil des Lenkkörpers ein Zwischenring eingefügt werden (Bild 6a), in dem der Fernsehsender und seine recht aufwendige Stromversorgung Platz finden

³ *Stüwe*, S. 381

konnten. Bild 6b zeigt die Einbaulage von Fernsehsender und dessen Netzteil auf dem nach vorn verlängerten Gerätebrett.

Die am Heck befestigte, horizontal, später vertikal angebrachte 5 Element *Yagi*-Antenne (Bild 4) strahlte das Fernsehsignal in Richtung Lenkflugzeug nach hinten gebündelt ab.

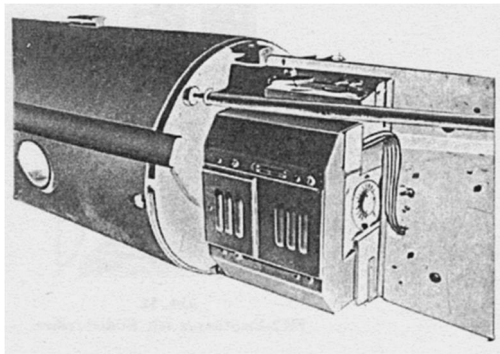


Bild 5 c

**Stromversorgungsgerät
für den Fernsehsender
am Gerätebrett einer Hs 293 D**

Der Sender ist auf der Gegenseite des Gerätebrettes
im Bereich des ‚Zwischenringes‘ montiert
(vgl. roter Pfeil in Bild 6a)

(aus *Schubert*, 1942)

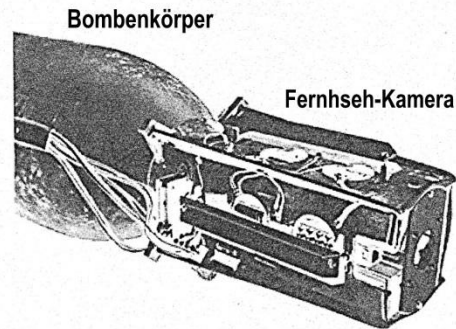


Bild 5 d

Kamera vor dem Bombenkörper (Bug)

(aus: *Schubert*, bearbeitet)

Um dem Lenkschützen die Zielhaltung des Projektils zu erleichtern, wurde direkt vor dem Objektiv – zunächst provisorisch – eine Visiereinrichtung so angebracht, dass ihr Abbild auf dem Fernsehbild sichtbar war. Im Vorschuh war dazu direkt vor dem Objektiv eine von einem Kreisel mechanisch gesteuerte Drahtöse angebracht, deren Umriss zusätzlich zur Umgebung auf der Bildfängerröhre abgebildet wurde (Bild 5b).

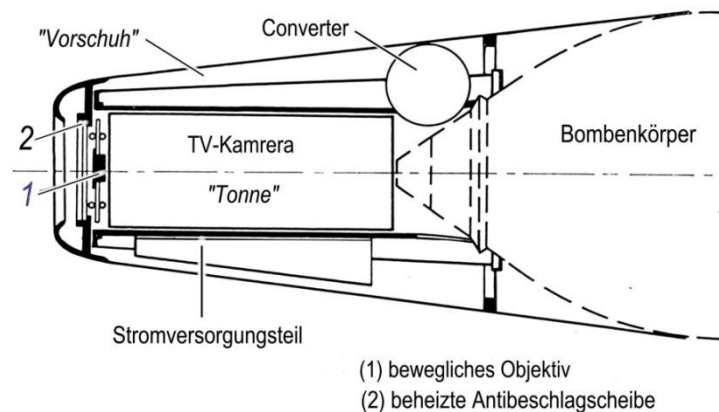


Bild 5 e

**Einbaulage der Fernseh-Kamera »Tonne«
im »Vorschuh« einer Hs 293 D**

(aus: *Münster*, verändert)

Die Marke diente dazu, das anzusteuern Ziel nach dem Abwurf des Gleitkörpers, besonders aber bei dessen Annäherung an das Zielobjekt, nicht aus dem Auge zu verlieren. Seitliche Abweichungen konnten vom Lenkschützen durch Rechts- oder Links-Signalgabe ohne Veränderung der Höhenlage rückgängig gemacht werden. Verlor er dagegen das Ziel durch Nickbewegungen des Gleitkörpers aus dem relativ engen ‚Gesichtsfeld‘ des Kameraobjektivs, dessen Bildwinkel nur etwa 7° betrug, war es bei der nur kurzen Flugzeit bis zum Ziel von entscheidender Bedeutung, unverzüglich die Richtungstendenz des Nickens zu erkennen und durch Gegensteuerung zu korrigieren, um Höhenhaltung zu gewährleisten. Der Kreisel steuerte die Visieröse derart, dass sie bei einer Nickbewegung um den Schwerpunkt nach unten im Kamerabild nach oben auswanderte. Der Lenkschütze konnte daran erkennen, dass er die

‚Nase‘ des Gleitkörpers nach oben steuern, also ‚Ziehen‘ musste und *vice versa* (‚Drücken‘). Zugleich diente die bei ‚glattem‘ Flug der Bombe im Bildzentrum liegende Kreis-
marke der Feinsteuerung ins Ziel (Bild 7).

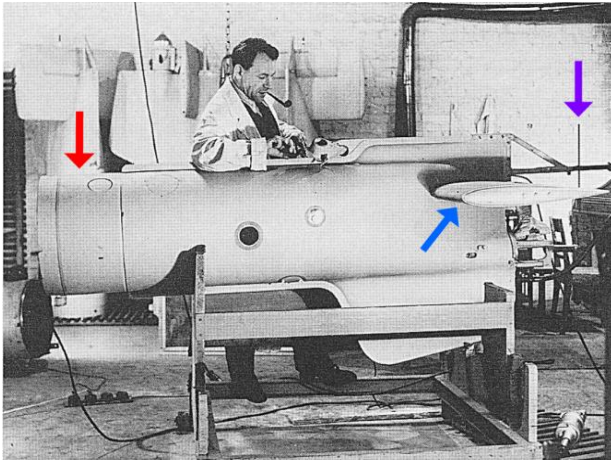


Bild 6
**Einbau der Fernseheinrichtung
in das Geräteteil einer Hs 293**
bei der Firma *Opto-Elektrik* in Teltow (1944)

Roter Pfeil:

Verlängerungsring vor dem Gerätebrett
zur Unterbringung des Fernseh-Senders
und Teilen der Stromversorgung

Violetter Pfeil:

Sendeantenne (Yagi)

Blauer Pfeil:

Heckleitwerk

(aus *Hoppe*,
Deutsches Technikmuseum Berlin DTMB)

Bei einem so engen Blickwinkel hat man später ein überlegenes Verfahren angewendet. Dazu wurde das Objektiv nicht starr in den Vorschuh eingebaut, es war nun in Richtung der Hochachse des Lenkkörpers verschiebbar. Die Einstellung regelte eine Windfahne, so dass die Blickrichtung der Kamera stets ‚flugwindfest‘ in Flugrichtung lag. Der Bildwinkel konnte dadurch auf 15 bis 30° ausgedehnt werden⁴.

Stüwe beschreibt die gesamte Einrichtung wie folgt:

„Über das [dem Bombenkörper aufgesetzte... d. Verf] Gestell war eine aerodynamische, zylindrische Blechverkleidung gestülpt, die formschlüssig auf den Bombenkörper überging. Als vorderer Abschluss der Verkleidung diente eine Klarsichtscheibe, welche durch die Batteriespannung gegen Beschlagen und Vereisung beheizt wurde. Auf der Steuerbordseite der Kappe war parallel zur Rumpfmittellinie eine Windfahne gelagert, deren Achse über Zahnsegmente im Kamerainneren eine Verschiebung des Kameraobjektivs in Richtung der Flugkörper-Hochachse bewirken konnte. Diese mechanische Objektivverstellung ist auch durch eine optische Lösung mit Hilfe eines Doveschen Prismas erreicht worden. Damit zeigte das Objektiv beziehungsweise dessen optische Achse immer in Flugrichtung, womit ihr eine Flugwindfestigkeit gegeben war. Die Verlängerung des Rumpfvorderteils durch die Kamera betrug 450 mm.



Bild 7
Sonderwaffen-Abwurf-Schalthebel
in einer He 111

⁴ Für einwandfreie fernsehgestützte Zielweisung war es wegen der ausgezeichneten Gierstabilität des Flugkörpers mit sehr geringem Schiebewinkel ausreichend, das Kameraobjektiv in Nickrichtung nachzuführen. Dies geschah zunächst mit Hilfe einer seitlichen Windfahne, die das Objektiv der Kamera über ein Getriebe in diesem Sinne auf- und abwärts bewegen konnte. Nachteil war das dazu erforderliche große Frontfenster mit nicht zu vernachlässigendem Luftwiderstand. Es wurde später deshalb mit einem Prisma gearbeitet, für das ein sehr viel kleineres Fenster genügte. Nach einer Reihe von Versuchen erwies sich die Kombination von Flugwindstabilisation mit einer kreiselgesteuerten Visiermarke (Öse, siehe Bild oben), die mit dem Fernsehbild übertragen wurde, als überlegen. Sie diente dem Lenkschützen als Orientierung. „Diese Marke wanderte aus der Bildmitte aus, wenn der Flugkörper vom ursprünglichen Kurs in Richtung Ziel abwich. Lenkte man ihn so, daß das Ziel sich mit der Visiermarke deckte, so flog er annähernd auf der Bahn, die man mit Proportional-Navigation erhalten würde. Da der Flugkörper in Richtung auf das Ziel abgeworfen wurde, konnte er so lange, bis das Ziel im Fernsehbild erkennbar wurde, allein nach dieser Marke gelenkt werden, auch durch Wolken hindurch (Trenkle in: Benecke, S. 33)

In das die Bombe tragende Flugzeug war eine Zielweisungs-Empfangseinrichtung eingebaut, die aus der Antenne, einem Empfangsteil für das HF-Fernsignal und dem als Bildschreiber bezeichneten Sichtgerät (»Seedorf A« = »Seedorf I«) mit einer Bildgröße von 8 x 9 cm (bzw. 11x12 cm beim »Seedorf III«; unsichere Angabe Red.) bestand.

1944 wurde davon eine höhen- und tropfenfeste Variante mit größerem Sichtfenster (12x15 cm) gebaut, um auch in größeren Höhen operieren zu können (»Seedorf III«) (Bild 3). Vor allem diese Weiterentwicklung war geeignet, dem Lenkschützen ein helles, hinreichend scharfes, stabil synchronisiertes Bild des vor dem Lenkkörper liegenden Zielraumes zu vermitteln.

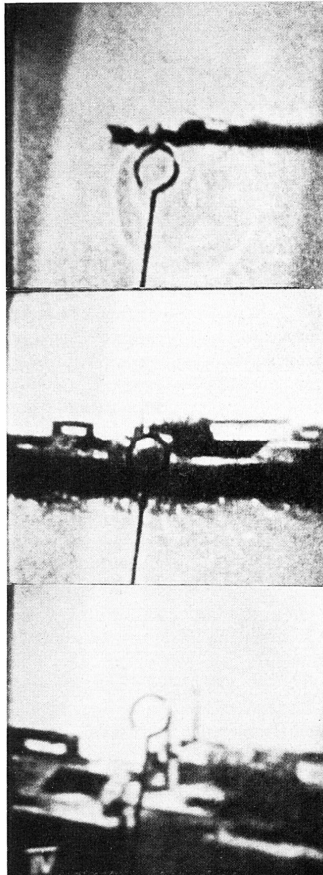


Bild 8 a
Kreiselgesteuertes
Provisorisches Visier (HS 293 D)
(Einzelheiten im Text)

zu Bild 8a (links):

Zielvisier unterhalb Objekt: Kommando ‚Ziehen‘,
Zielvisier auf Objekt: Kein Kommando,
Zielvisier oberhalb Objekt: Kommando ‚Drücken‘.

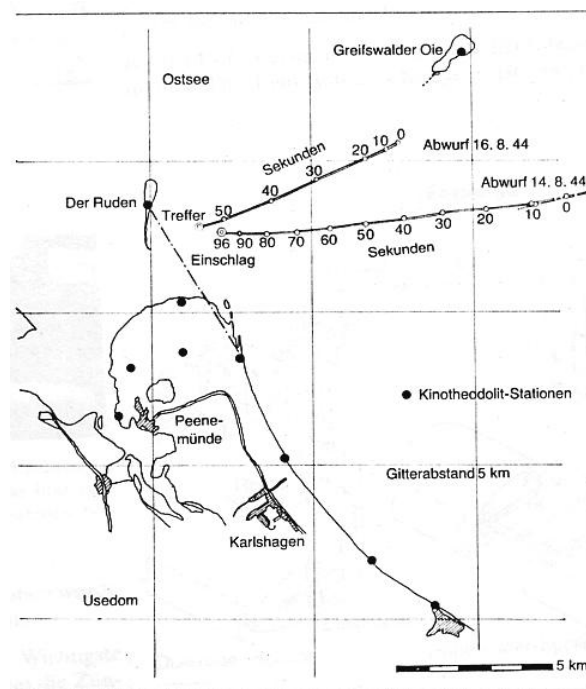


Bild 8 b
Versuchsanflüge mit der HS 293 D (14.8.1944)
(Abbildung aus Herrmann)

Zielabwürfe vor *Useedom* erbrachten zwar den Nachweis prinzipieller Tauglichkeit der neuen Waffe (Bild 8), zeigten bis 1944 jedoch noch erhebliche Systemschwächen, besonders im zielnahen Bereich.

Erstaunlich die Reichweite: Es wird berichtet, dass bei Tests zwischen zwei Flugzeugen mit eingebauter Fernseh-Anlage über 100 km bei guter Bildqualität überbrückt werden konnten (Anwendung von Richtantennen auf Sender und Empfängerseite, 10 Watt Antennenleistung des Senders bei einer Frequenz im Bereich um 450 MHz).

War das die Lösung der durch feindliche Abwehr hervorgerufenen Probleme, war damit eine weitgehend unverletzliche „Superwaffe“ verfügbar?

Kapitel 2

Kurze Entwicklungsgeschichte der Fernseh-Zielweisung der Gleitbombe Hs 293 D

Nachdem in Deutschland, aber auch in Amerika, in den späten 20er Jahren durch Versuche zur elektronischen Bilderzeugung die Fernsehtechnik raschen Aufschwung genommen hatte, sind, wie in der Literatur berichtet, schon bald Bestrebungen erkennbar, diese Technik auch für militärische Zwecke einzusetzen.

1937 wurde vom Reichspostminister *Ohnesorge* die *Forschungsanstalt der Deutschen Reichspost (RPF)* gegründet. Im Verlaufe des Krieges standen dieser Einrichtung fast unbegrenzte Mittel zur Verfügung (Personalbestand 1945: 1124 Mitarbeiter). In *Kleinmachnow* bei *Berlin* wurden bis 1942 auf einem Gelände von über 50 ha sechs Institutsgebäude, ein Maschinenhaus, fünf Wohnhäuser und drei Baracken errichtet. Hier trieb man Entwicklungen zur militärisch nutzbaren Fernsehtechnik mit erheblichem Personaleinsatz voran.

Hoppe nennt als Gründe für das militärische Interesse an der neuen elektronischen Technik die erhoffte Möglichkeit zur Auskundschaftung des Gegners mit Hilfe einer in einem Flugzeug montierten „Bildaufnahmestation“, z. B. um damit über eine präzisere Ziel lenkung eigener Artillerie-Geschosse (Einschießen) zu verfügen. *Mihaly* hatte bereits 1929 auf die Realisierbarkeit hingewiesen.

Des Weiteren soll es eine Patentanmeldung des Postrates *Weiß* vom Juli 1935, zuständig für die Fernsehentwicklung in der *Reichpost-Forschungsstelle*, gegeben haben. Gegenstand: Ein ferngelenktes Torpedo mit Fernseh-Zielweisung. Bei den Patentämtern ist ein solches Papier allerdings nicht auffindbar, vielleicht wegen amtlicherseits befohlener Geheimhaltung¹.

1938 nahm sowohl das *Oberkommando der Wehrmacht* als auch das *Reichspostministerium* (RPM) ein Beitrag in einer französischen Militärzeitschrift zur Kenntnis, der sich damit beschäftigte, mit dem Medium des Fernsehens „*Kartenausschnitte, schriftliche Befehle, Photos von Landschaften, Personen und dergleichen*“ als Fernsbilder über Funk zu übertragen und auf der Empfangsseite zu speichern. Dabei wurden als besondere Vorteile die Schnelligkeit der Übermittlung und die Schwierigkeiten der Dechiffrierung durch den Feind genannt².

Natürlich waren das für militärische Anwendung reizvolle Aussichten, deren Realisierung beim damaligen Entwicklungsstand des elektronischen Fernsehens, mit Bildern mit nur 180 Zeilen, an der zu geringen Auflösung ihre Grenze fand. Und auch zur Geländeaufklärung taugten die Kameras ihrer geringen Lichtausbeute wegen noch nicht, sie lieferten – so wird berichtet – schon bei wenig bedecktem Himmel kontrastarme, flauere Bilder.

Beim ‚öffentlichen‘ Fernsehen konnten diese Nachteile z. T. durch das sog. Zwischenbildverfahren abgemildert werden, bei dem die Szenen zunächst auf normalen 36 mm-Film aufgenommen, fotochemisch entwickelt und anschließend – noch nass aus dem Fixierbad kommend – elektronisch abgetastet wurden. Aber dieses Verfahren war umständlich,

¹ *Hoppe, 1995*

² ebd.

Echtzeitbilder nicht darstellbar, obwohl der Zeitaufwand für die Entwicklung und Abtastung der Filme im Laufe der Zeit auf weniger als eine Minute verkürzt werden konnte³.

Das wenig elegante Verfahren war Grund genug, an diesen Problemen intensiv zu arbeiten. Bereits zur *Großen Deutschen Rundfunkausstellung 1938* konnten sowohl von *Telefunken* als auch von der *Fernseh AG* (ab 1939 umbenannt in *Fernseh GmbH*) Kameras mit 441 Zeilen gezeigt werden, ein Jahr später – zur jetzt in *16. Große Rundfunk- und Fernseh Rundfunk-Ausstellung* umbenannten Veranstaltung, wurde für 650 Reichsmark der Fernseh-Einheitsempfänger *E 1* vorgestellt, der wegen des Kriegsausbruchs über eine Vorserie dann allerdings nicht mehr hinauskam.

Der Beginn des Krieges führte zu einer klaren Zweiteilung der Fernsehentwicklung:

Einerseits hatte *Joseph Goebbels* das neue Medium schnell als Propagandawaffe erkannt und versucht, seinen Einfluss diesbezüglich geltend zu machen. Er hatte allerdings machtvolle Konkurrenten. Bereits 1935 hatte *Hermann Göring* vom *Reichsluftfahrtministerium* (RLM) gut begründet seinen Zuständigkeitsanspruch für das Fernsehen angemeldet, was zu einem Erlass des »Führers und Reichskanzlers« *Adolf Hitler* vom 12. Juli 1935 führte⁴:

„Die weitere Entwicklung des Fernsehwesens erfordert dringend eine Zusammenfassung der staatlichen Zuständigkeiten in einer Hand. Mit Rücksicht auf die besondere Bedeutung des Fernsehens für die Flugsicherung und den nationalen Luftschutz ordne ich daher an: Die Zuständigkeiten auf dem Gebiete des Fernsehwesens gehen auf den Reichsminister der Luftfahrt über, der sie im Benehmen mit dem Reichspostminister ausübt.“

Damit war *Goebbels* – wenigstens für einige Zeit – ausgeschaltet.

Die private Nutzung des Fernsehens wurde kein Geschäft, so dass Rundfunkfirmen wie die Berliner *C. Lorenz A.G* und die *D.S. Loewe A.G.*, ebenso wie die Nürnberger *TeKaDe* aus dem ‚Rennen‘ fielen. Lediglich die von der Reichspost geförderten Konzerne *Telefunken* und die *Ferseh A.G.* profitierten fortan von der militärischen Ausrichtung der Fernsehtechnik⁵.

Wesentlichen Einfluss auf die Weiterentwicklung des elektronischen Fernsehens lag nun bei der *Forschungsanstalt der Reichspost*, sie konnte die beteiligten Fernsehfirmen geschäftlich und technisch kontrollieren. Im September 1939 – der Krieg gegen Polen hatte begonnen – fand eine Besprechung zwischen Vertretern der *Reichspostforschungsanstalt* (RPF), der *Fernseh GmbH* und der Luftwaffe statt, bei der Möglichkeiten der Waffenentwicklung unter Nutzung der technischen Möglichkeiten des Fernsehens diskutiert wurden.

³ Dazu war die Entwicklung speziellen Filmmaterials erforderlich. Dem Filmwerk *Zeiss-Ikon* gelang es, Filme mit extrem steiler Kennlinie und dünnster Schicht (Emulsion) herzustellen, die mit hochkonzentriertem Entwickler bearbeitet und anschließend äußerst schnell fixiert werden konnten (Quelle: *Deutsches Fernsehmuseum Wiesbaden*, via Internet).

⁴ Zitat bei *Hoppe*

⁵ *Hoppe*: „*Telefunken*, 1903 als Tochterfirma von *AEG* und *Siemens* gegründet, hatte sich schon in den 20er Jahren mit der Fernsehtechnik befaßt und hielt etliche Patente auf diesem Gebiet. Die *Fernseh A.G.* wurde mit Unterstützung durch das Reichspostzentralamt 1929 gegründet als Gegenpart der mächtigen *Telefunken*. Sie hatte vier Teilhaber mit Fernseh-Erfahrung: Die *Bosch AG*, Stuttgart, genöß Weltruf auf dem Gebiet der Elektrotechnik, die *Zeiss-Ikon A.G.*, Dresden, besaß auf optischem und kinematographischem Gebiet eine führende Stellung, die *D.S. Loewe A.G.*, Berlin, war eine der innovativsten deutschen Rundfunk- und Röhrenfirmen, und die britische *Baird Television Ltd.*, London, gehörte dem Fernsehpionier *John Logie Baird*, der schon 1924 erste Fernsehbilder demonstriert hatte. Die vollständige Übernahme der Geschäftsanteile der *Fernseh AG* durch *Bosch* wurde am 19. Oktober 1939 durch den Eintrag einer *Fernseh GmbH* beim Amtsgericht Berlin besiegelt. Kurz vor Beginn des Kriegs stand der Reichspost damit eine leistungsfähige und in ihren rechtlichen Verhältnissen überschaubare Firma als Forschungs- und Geschäftspartner in Fernsehfragen zur Verfügung. Die *Fernseh GmbH* hatte keine aus Ministersicht ‚verdächtigen‘ jüdischen Eigner mehr und war auch frei von jeglichem Einfluß ausländischen Kapitals“.

Es ist in diesem Zusammenhang interessant, dass der Präsident der RPF unmittelbar nach diesem Zusammentreffen über außergewöhnlich hohe Haushaltsmittel verfügen konnte:

„Ich beabsichtige, gemeinsam mit dem Reichsluftfahrtministerium und der Fernseh-AG eine Kleinbild-Übertragungsanlage zu entwickeln, die für die Reichsverteidigung von außerordentlicher Wichtigkeit sein kann. Nähere Ausführungen kann ich an dieser Stelle nicht machen. Ich habe jedoch dem Herrn Reichspostminister hierüber mündlichen Vortrag gehalten (21.9.1939), der sich mit der Ausführung dieses Vorhabens und mit der Höhe der hierfür aufzuwendenden Kosten einverstanden erklärt hat.“⁶

Die von Seiten der Luftwaffe eingeschaltete *Luftwaffen-Erprobungsstelle Peenemünde* bezeichnet als Zweck einer zukünftigen Bemühung die Entwicklung einer *„automatische[n] Steuerung vom Flugzeug abgeworfener Körper ins Ziel“*, also – wie Postminister Ohnesorge das nannte, eine *»sehende Bombe«*.

Die Zielweisung sollte durch *„Fernsteuerung, d. h. durch Kombination einer Fernsehübertragung des vom abgeworfenen Körper gesehenen Blickfeldes auf das Trägerflugzeug mit einer Fernsteuerung“* erfolgen.

Im Prinzip ist das die vollständige Beschreibung eines Konzeptes, das später mit dem *»Tonne-Seedorf«*-Projekt realisiert worden ist. Bei *Hoppe* findet sich das Zitat einer sehr klaren Funktionsbeschreibung:

„Ein in die Fall- oder Gleitbombe eingebauter Bildfänger mit Sender (Fernsehsender) überträgt zum Trägerflugzeug dauernd das in Flugrichtung der Bombe vorausliegende Blickfeld. Die Steuerung des Körpers erfolgt in bekannter Weise auf dem F.T.-[funktechnischen] Wege durch eine Knüppelsteuerung. Durch den zusätzlichen Einbau der Fernsehübertragung entfallen die der Knüppelsteuerung bislang anhaftenden Nachteile, die darin bestehen, daß mit zunehmender Entfernung die Bombe vom Träger, deren Erkennung und Beurteilung ihrer Lage zum Ziel immer schwieriger und schließlich unmöglich wird. Die Begrenzung der Angriffsentfernung ist bei reiner Knüppel-Fernsteuerung gegeben durch das begrenzte Auflösungsvermögen des Auges und durch die optische Sicht (Wetterlage). Im Gegensatz hierzu wird bei der Fernsehsteuerung mit zunehmender Annäherung der Bombe ans Ziel das Bild desselben im Empfänger größer und deutlicher. Dem Bombenschützen wird dadurch eine immer genauere Einsteuerung möglich, da der Beobachtungsort gleichsam vom Flugzeug in die Bombe verlegt ist. Außerordentlich vorteilhaft bei diesem Verfahren ist, daß das Trägerflugzeug sofort nach dem Abwurf der Bombe seine volle Bewegungsfreiheit wieder erlangt und z.B. eine schützende Wolkendecke aufsuchen kann“⁷

Verfolgen wir die weitere Entwicklung der Bombensteuerung:

1940 hatte die *Fernseh GmbH* erste Muster einer nur 16x16x32cm messenden Fernsehkamera gebaut und dem Reichspostminister vorgestellt, der *Hitler* unverzüglich von diesem Erfolg Bericht erstattete. Was noch fehlte waren ein möglichst kleiner, leichter Sender zum Einbau in die Bombe und ein ebenso handliches Bildsichtgerät zum Einsatz in der engen Kanzel eines Bombenflugzeugs. Überdies war auch das damit zu bestückende Projektil – eine Gleitbombe – noch nicht serienreif erprobt.

Andererseits drängte die Zeit. Die Verluste der Luftwaffe beim Einsatz gegen Seeziele im Mittelmeer stiegen 1942 als Folge des flächendeckenden Radareinsatzes der Alliierten dramatisch an. Die von *Dönitz* geforderte Seeüberlegenheit konnte – wenn überhaupt – nur durch eine neue, effektivere Waffe zur Zerstörung von Schiffstonnage annähernd errungen werden⁸.

⁶ Zitat bei *Hoppe*

⁷ vgl. *Benecke, Hedwig und Hermann: Flugkörper und Lenkraketen*, Koblenz (1987)

⁸ Nach *Dönitz* bestand strategisch gesehen die Aufgabe der Kriegsmarine – vor allem der U-Bootwaffe – darin, die gegnerische Gesamttonnage durch Versenkung so zu beeinflussen, dass die Zunahme durch Neubauten oder Modifikation kontinuierlich reduziert werden konnte (vgl. *Böndel*).

Genau diese Sachlage war Gegenstand einer streng geheimen Konferenz im November 1942 bei der *Deutschen Akademie für Luftfahrtforschung* in Berlin (*gKdos Schr 1054/42*), auf der u. a. die Vorteile einer Fernseh-gesteuerten Gleitbombe zur Sprache kamen (vgl. Quellenverzeichnis).

Für den Bau von Gleitbomben konnten nun Erfahrungen nutzbar gemacht werden, die aus der Zeit stammten, als Deutschland aufgrund des ‚Versailler Vertrages‘ der Bau von Kriegsflugzeugen untersagt war. In dieser Zeit entwickelte man hier ‚ersatzweise‘ eine technisch und wissenschaftlich hochstehende Technik des Gleit- und Segelfluges. Bereits 1932 erwachsen daraus Tests mit unbemannten Flugkörpern mit ausgezeichneten Gleiteigenschaften, die auch als Träger von Explosivstoffen geeignet schienen.

Eine diese Kenntnisse nutzende Gleitbombe war u. a. die schon erwähnte Hs 293 der Firma *Henschel (Berlin-Schönefeld)*. In ihrer Grundkonzeption durchentwickelt, fand am 16. Dezember 1940 ein erster Abwurf von einem Flugzeug statt. Es war ein Misserfolg. Bei einem zweiten Versuch nur zwei Tage später verfehlte der Lenkkörper das Ziel – eine kleine Scheune – nur knapp, diesmal ein vollständiger Erfolg (*Wagner, 1957*).



Bild 9

Henschel Hs 293A mit Walter-Raketen-Triebwerk HWK 109-507 B

(Foto: *Schröder*; Ausstellungsobjekt DTMB)

Die Hs 293 ähnelte mit ihren Tragflächen (Spannweite 310 cm) einem Flugzeug (Bild 9), die Gesamtlänge über alles betrug 380 cm. Das Problem der geringen Reichweite bei vorgegebener Gleitkurve wurde dadurch gelöst, dass man unter der Gleitbombe eine *Walter*-Rakete montierte, die das Projektil bis auf fast 1000 km/h zu beschleunigen und damit ihren Aktionsradius deutlich zu vergrößern vermochte. Der Sicherheitsabstand zum Ziel konnte so, je nach Flughöhe des werfenden Flugzeuges, bis zur ‚Sichtgrenze‘ des Lenkschützen, theoretisch bis auf 18 Kilometer⁹ erweitert werden.

Ab 1940 wurden seitens der *Reichspostforschungsanstalt* die Bemühungen verstärkt, fernsehtechnische Verfahren, die bei der Entwicklung von sog. ‚Reportagegeräten‘ bereits

⁹ In diesem Zusammenhang interessant ist die Tatsache, dass die Hs 293 zunächst per Funkfernsteuerung und bei optischer Sichtverbindung, die durch eine Heckfackel verbessert wurde, ins Ziel manövriert werden musste. Später sollte, wegen befürchteter Anfälligkeit gegen funktechnische Störungen des Gegners, auch Drahtsteuerung angewendet werden. Die Gefahr wurde auf deutscher Seite möglicherweise überschätzt, bei der Entwicklung der Geräte indessen alle denkbaren Störmöglichkeiten bedacht und durch Schutz- und Tarnvorrichtungen berücksichtigt (vgl. dazu *Stüwe*, S. 400)

erfolgreich erprobt worden waren, zur Zielweisung von Bomben dem Zweck entsprechend anzupassen.

Hauptentwicklungsziele mussten dabei weitere Miniaturisierung der Sende- und Empfangsgeräte sein, so dass sie in die Bombe und die für den Abwurf vorgesehenen Flugzeuge passten. Die besonderen Einsatzbedingungen erforderten überdies hohe Rüttel- und Beschleunigungsfestigkeit der Fernsteuer- und Fernseh-Komponenten.

Mit Versuchsanlagen wurden sodann Reichweitenversuche unternommen, die zeigen sollten, unter welchen Umständen und auf welche Entfernungen sich auswertbare Fernseh-Bilder übermitteln lassen und welcher Frequenzbereich dazu am besten geeignet ist. Für solche Untersuchungen verwendete man Flugzeuge, die im Raum *Berlin* – bei *Johannesthal* und *Werneuchen* – stationiert waren.

Die Forschungsarbeiten nahmen – trotz der Eilbedürftigkeit (sie waren mit der Kennzeichnung SS = höchste Dringlichkeitsstufe versehen) – wegen der Komplexität der Problemstellungen bis in die zweite Hälfte 1942 in Anspruch. Erst jetzt konnte die *prinzipielle* Machbarkeit einer fernsegeführten Bombe belegt werden¹⁰, wenngleich die Erprobungsstelle der Luftwaffe mit der zwar kleinen, aber nur 224 Zeilen bei 50 Halbbildern liefernden Kamera keineswegs zufriedengestellt werden konnte.

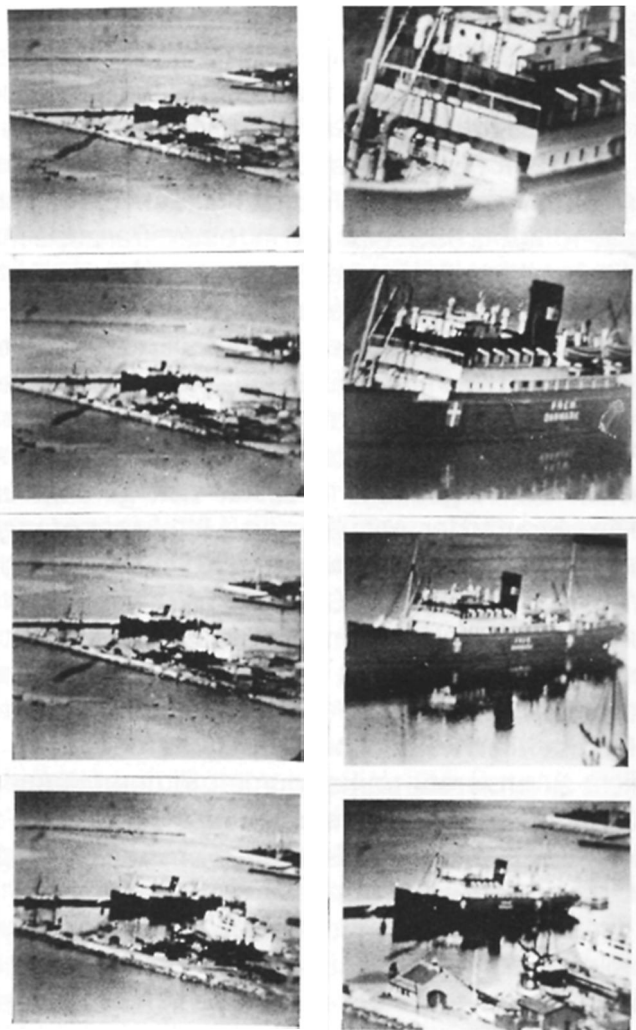


Bild 10
Bilder von einem simulierten Anflug
einer Fernseh-Gleitbombe auf ein Schiff, entstanden 1942

In einem Vortrag von *Georg Schubert*, gehalten anlässlich der Arbeitstagung der *Deutschen Akademie der Luftfahrtforschung* am 5. November 1942¹¹, berichtet dieser, dass in absehbarer Zeit der erste Probewurf einer Hs 293 D nach dem Fernseh-Zielweisungsverfahren stattfinden würde, und er beschreibt das technische Prinzip so:

„Die zur Fernsehsteuerung verwendete Fernsehapparatur besteht grundsätzlich aus der Aufnahmekamera und dem drahtlosen Sender in der Bombe und der Empfangsanlage im angreifenden Flugzeug. Die Kamera enthält neben der Optik, welche auf der Photokathode des Bildspeicherrohres mit Vorabbildung (*Super-Ikonoskop*) das zu übertragende Bild entwirft, die zum Bildspeicherrohr

¹⁰ Versuchsstelle der Luftwaffe *Peenemünde-West*, Entwicklung und Erprobung von Fernsehgeräten für ferngesteuerte Körper. 1. Teilbericht, *Archiv Deutsches Museum*, München.

¹¹ vgl. *Schubert* (1942)

gehörige Elektronenoptik, die Ablenkorgane, die Hochspannungserzeugung, einen Kleinsttaktgeber zur Erzeugung der Synchronisierimpulse und den Bildverstärker, welcher das Einkanalgemisch für den drahtlosen Sender liefert. Der drahtlose Sender enthält außer dem einstufigen Nachverstärker lediglich die eigenerregte Senderöhre, die mit Hilfe einer besonders einfachen Gitterdiodensteuerung moduliert wird [...] Die Empfangsanlage besteht zur Zeit ebenfalls aus einer Yagi-Richtantenne, dem UKW-Empfänger, dem Zwischenfrequenzverstärker und wahlweise einem oder zwei niederfrequenten Empfängern mit Bildwiedergaberohr, so daß gleichzeitig 2 Beobachter das Bild sehen können“...

Diese und weitere Ausführungen *Schuberts* (vgl. Anhang 8) zeigen, dass der elektronische- und offenbar auch der mechanische Teil des Flugkörpers zu diesem Zeitpunkt bereits weitgehend ‚durchentwickelt‘ war, die gemeinsame Erprobung der Komponenten aber noch ausstand.

Durch Versuche hatte man festgestellt, dass der zugehörige Sender – er arbeitete anfangs im 140 MHz-(2m)Band – bei Leistungen zwischen 10 und 20 Watt brauchbare Bilder über eine Strecke von bis zu 30 km übertragen konnte. Wegen aber noch nicht voll befriedigender Ergebnisse mit diesem ersten Gerätesatz – insbesondere zu geringerer Bildauflösung – stellte die Luftwaffe weitere praktische Erprobungen zunächst wieder ein.

Demgegenüber hatte die auf diesem Gebiet führende *Fernseh GmbH* nach *Peenemünde* Geräte zur Erprobung liefern können, die sich sowohl von ihrer Größe her für den Einbau in eine Gleitbombe des Typs *Hs 293* eigneten, wie auch eine deutlich höhere Auflösung mit 441 Zeilen bei 50 Bildwechseln nach dem Zeilensprungverfahren¹² boten. Damit ergab sich eine neue Situation:

Der Sender arbeitete nun auf einer wesentlich höheren Frequenz als der der *Reichspostforschungsstelle*, nämlich oberhalb 400 MHz. Damit wurde zwar wegen der geringeren erreichbaren Sendeleistung nicht ganz die Reichweite des ersteren erreicht, trotzdem bestellte *Peenemünde* Anfang 1942 hundert derartige Anlagen für Versuchszwecke bei der *Fernseh GmbH*.

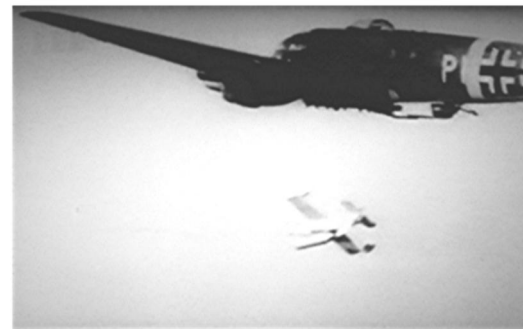
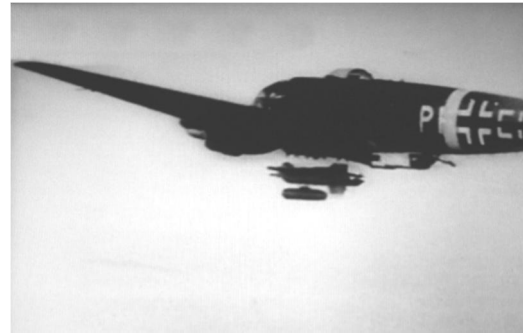


Bild 11 a-c
Probeabwurf einer HS 293A
von einer He 111
Abwurfgebiet vor Usedom

(Auskopplung aus Peenemünde-Dokumentation der Luftwaffe)

¹² Überträgt man die z. B. 441 Zeilen eines gerasterten Bildes nach dem Zeilensprungverfahren, so wird bei einem Rasterwechsel beispielsweise die 1., 3., 5., 7. usw. und beim darauffolgenden Rasterwechsel die 2., 4., 6., 8. usw. Zeile abgetastet. Für das Auge entsteht auf diese Weise zwar durch 50 Rasterwechsel ein flimmerfreies Bild, hinsichtlich der Berechnung des erforderlichen Frequenzbedarfs aber lediglich 25 ‚echte‘ Bildwechsel. Daraus ergibt sich eine Bandbreite für die übermittelten Bilder von nur 2.5 MHz!

Allerdings hatte man auch mit Geräten, die in diesem hohen Frequenzbereich arbeiteten, mit Problemen unzureichenden Bildstandes (Synchronisation) zu kämpfen, verursacht durch ‚Spiegelungen‘ an der Wasseroberfläche und Metallteilen des Zielobjektes. Zudem kam es zu Interferenzen zwischen Bildsignalen, die auf direktem und reflektiertem Wege das Empfangsgerät erreichten, was zur Entstehung sog. Geisterbilder führen konnte.

Diese für die Übertragung negativen Effekte reflexionsbedingter Bildausfälle ließen sich bei weiteren Versuchen durch Einsatz von Richtantennen mit mehreren Elementen, die im Dezimeterbereich akzeptable Abmessungen haben und deren Vorteil starke Bündelung des Funkstrahls ist, wenigstens zu einem Teil beseitigen. Durch geeignete Wahl der mechanischen (oder auch elektrischen) Ausrichtung (Polarisationsebene, ggf. zirkulare Polarisation) ließen sich weitere Fortschritte erzielen, restlos bekam man aber auch durch diese Maßnahmen die Probleme nicht in den Griff.

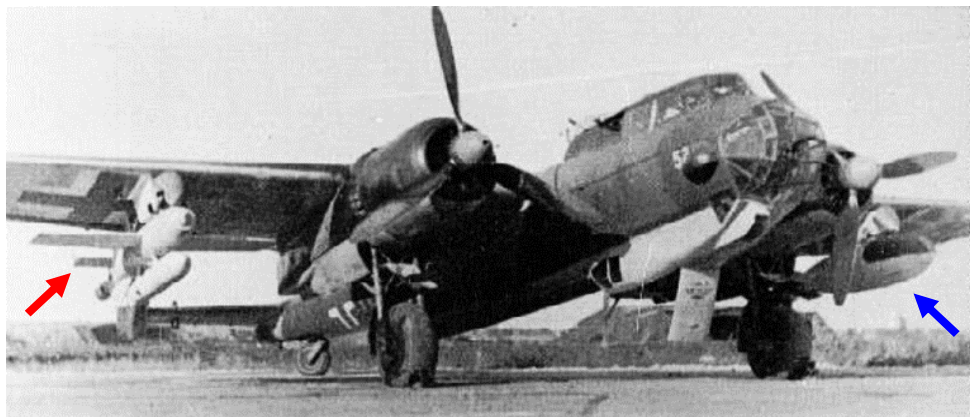


Bild 12

**Bomber *Dornier Do 217K*
mit HS 293 (roter Pfeil) und Stabilitäts-Ausgleichstank (900 Liter)**

(Foto: Luftwaffenaufnahme)

Als Folge erprobte man neue Verfahren zur Stabilisierung der Synchronisation zwischen dem Sendersignal der Gleitbombe und dem Empfänger im Trägerflugzeug. Versuche hatten ergeben, dass die zur Übertragung des Fernsehbildes erforderlichen Synchronisiersignale am stör anfälligsten sind. Um hier Verbesserungen durch starre Kopplung von Sender und Empfänger zu erreichen, wurden durch von einem in beide eingebauten quarzstabilen Taktgeber durch Teilerschaltungen die Synchronfrequenzen für Bild und Zeile gewonnen und so der Gleichlauf erzwungen. Das erforderte allerdings höchste Genauigkeit der Quarzfrequenzen (10^{-6}). Obwohl sich das Verfahren als voll funktionsfähig erwies, wurde versucht, die teuren Quarze durch billigere Mittel zu ersetzen. Weiter unten wird die sog. Mitnahmesynchronisation näher beschrieben werden, die sich in Versuchsreihen als sehr leistungsfähig erwiesen hatte.

Auch an einer ferngesteuerten Ausregelung dennoch auftretender Bildverschiebungen an der Kamera soll gearbeitet worden sein.

Es gab weitere Probleme. Die bis dahin verwendeten Bildaufnahmeröhren waren für den Anwendungszweck zu lichtschrach. Durch ein neues, mit wesentlich lichtsensiblerer Spezialbeschichtung versehenes Rohr, dem von der *Fernseh GmbH* entwickelten sog. *Super-Ikonoskop IS 9*, konnten in dieser Hinsicht entscheidende Fortschritte erzielt

werden; mit ihm ließen sich kontrastreiche Bilder selbst noch bei so geringen Lichtstärken wie 50 Lux erzeugen.

Dem Bombenschützen im Flugzeug standen – je nach vorhandenem Platzangebot – alternativ einer von zwei verschiedenen sog. Bildschreibern zur Verfügung. Ein kleinerer Universalempfänger »Seedorf I« mit einer Bildröhre mit 8x9 cm-nutzbarer Schirmfläche (vermutlich *RK 12 MS 1* der *Fernseh GmbH*) (Bild 2), oder ein größerer, der ein Bild von 11x12 cm geliefert haben soll (»Seedorf II«?). Bilder von letzterem sind hier nicht verfügbar.



Bild 13 a/b

Zielweisungs-Sichtgerät, ähnlich »Seedorf I«

Links: Frontansicht **Rechts:** Typenschild
(RB NFE/3 - Niederfrequenz-Empfänger/3 (?))

Ein später (1944?) einsatzreif entwickelter, höhen- und tropenfester Bildempfänger, »Seedorf III« (Bild 3), ebenfalls mit runder Bildröhre, hatte ein Bildfenster von 12x15 cm (Bildröhre LB 20, eine Spezialentwicklung der *Fernseh GmbH* eigens für diesen Anwendungszweck) und lieferte ein sehr helles, auch bei Tageslicht ‚lesbares‘, Bild. Für den Betrieb der genannten Geräte wurde die Bordspannung des Trägerflugzeugs (24 Volt Gleichspannung) herangezogen.

Über weitere Versuche mit geringer auflösenden Bildaufnahmeröhren und deren Ergebnisse finden sich bei *Hoppe* nähere Einzelheiten:

„Die ersten Versuche mit einem 50-Zeilen-Gerät¹³, über die der Bericht der Luftwaffenerprobungsstelle Auskunft gibt, bestanden aus simulierten Zielanflügen über dem Meer auf ein vor der Insel Usedom gelegenes Wrack. Dabei hatte sich als grundlegendes Empfangsproblem herausgestellt, daß die horizontal polarisierten Wellen in der Nähe der Meeresoberfläche sehr starke Reflexionen zeigten, die den Zusammenbruch des Empfangsbildes bewirkten. Bei vertikaler Polarisation waren diese Störungen wesentlich geringer.

Weitere Tests galten der Betriebssicherheit der Anlage unter den besonderen klimatischen Bedingungen eines Einsatzfluges. Dabei wurde ihr Verhalten bei schwankender Batteriespannung sowie großen Temperatur- und Luftfeuchtigkeitsunterschieden beobachtet. Es stellte sich heraus, daß die Kamera/Sender-Einheit nicht ohne Klimatisierung auskommen würde; außerdem mußte die

¹³ Es handelte sich dabei um die stark vereinfachte Fernsehübertragungsanlage *FB 50*, die in der Aufnahmekamera nicht mit einer Bildspeicherröhre (Bildwandler), sondern einer Spirallochscheibe in Verbindung mit einer hochempfindlichen Sekundärelektronen-Fotozelle arbeitete. Sie sollte gegen Schiffsziele eingesetzt werden. Man ging für diesen Einsatzzweck davon aus, dass es beim Anflug genüge, wenn sich das Ziel zunächst lediglich als Kontrast vor dem Hintergrund abhebt und erst bei geringer Entfernung Bilddetails erkennbar sein sollten.

Scheibe vor der Kameraoptik beheizbar sein, um die Bildung von Kondensfeuchtigkeit zu verhindern.

Diese und viele andere Verbesserungen im Detail, die der Leiter der Peenemünder Arbeitsgruppe, Kurt Wemheuer, in seinem Bericht vom 10. Oktober 1942 anmahnte, ließen ihn eine weitere Erprobungsphase von zwei Jahren erwarten. Daneben formulierte Wemheuer eine Reihe von offenen Fragen, die nicht unmittelbar mit dem technischen Subsystem Fernsehsteuerung zu tun hatten, jedoch geklärt werden mußten, wenn es zu einem Einsatz des Gesamtsystems Fernsehlenkwaffe kommen sollte. Er wies darauf hin, daß es schon jetzt Probleme mit den zur Verfügung stehenden Trägerflugzeugen gebe, weil die Anbringung der Gleitbombe mit der Fernsehantenne und dem erhöhten Gewicht schwer möglich sei. Weiterhin schien ihm die Frage noch ungeklärt, ob es überhaupt möglich sei, allein nach einem Fernsehbild ein Projektil mit der geforderten Präzision ins Ziel zu steuern...“

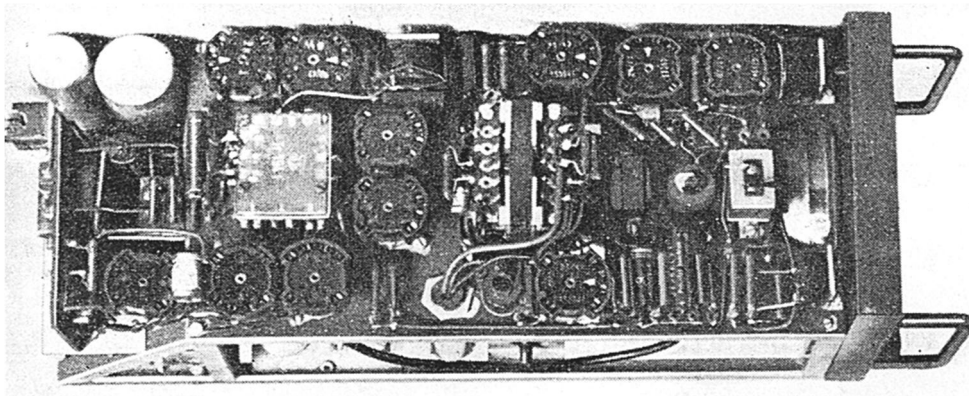


Bild 14

**Universal-Fernsehempfänger für mobile Reportage-Anlagen,
,Vorläufer' des in Gleitbomben-Trägerflugzeugen als Monitor eingesetzten »Seedorf A«**

(aus v. Felgel-Farnholz)

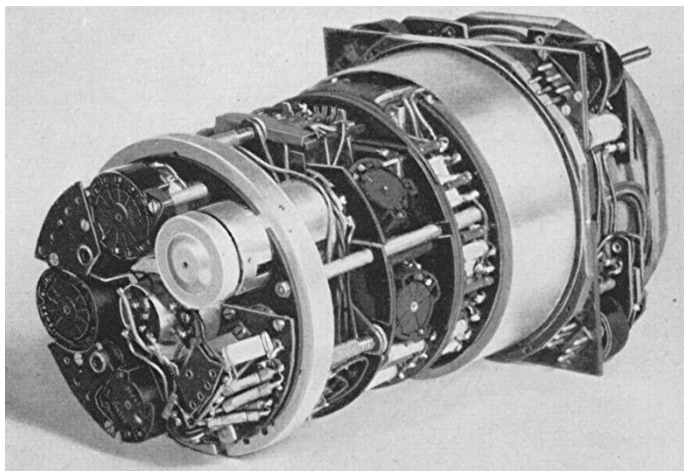


Bild 15

**Tropen- und höhenfestes
Sichtgerät („Bildschreiber“)
»Seedorf III«**

(aus: Münster)

Trotz der erwähnten Schwierigkeiten wurde von der *Fernseh GmbH* 1943 die Serienproduktion von Kameras, Sendern und Sichtgeräten aufgenommen und damit realistischere Versuche von der renommierten *Forschungsanstalt für Segelflug, Ainring* (DFS), durchgeführt. Die Arbeit dort konzentrierte sich nun auf die Untersuchung der äußerst komplizierten Steuerung einer Gleitbombe nach einem Fernsehbild aus einem sich bewegenden Flugzeug^{14,15}. Immerhin waren hier die Bewegungen von drei Objekten im

¹⁴ Staiger: Das Zielen mit Flugbomben nach dem Fernsehverfahren im Modellversuch, DFS-Forschungsbericht Nr. 1897, Dezember 1943, *Archiv Deutsches Museum*, München. Zitat bei Hoppe. (DFS – Deutsche

Raum – die des Bombenträgers (Flugzeug), des auf ‚selbständiger‘ Bahn fliegenden ausgeklinkten Lenkkörpers und des zu zerstörenden Zielobjektes – miteinander in Zusammenhang zu bringen, ein auch mathematisch kompliziertes Dreikörper-Problem.

Die Schwachstelle in diesem verwickelten System war der Bombenschütze. Er sollte seine zweidimensionalen Wahrnehmungen auf dem Fernsehschirm mit den realen, sich im dreidimensionalen Raum abspielenden Verhältnissen ‚verrechnen‘, eine ohne individuelle Eignung und ausgiebigem Training kaum lösbare Aufgabe. Eine praktische Theorie dafür gab es nicht. Was ihm zur Verfügung stand, war allein das Fernsehbild der sich dem Zielobjekt nähernden Bombe und häufig nicht einmal das, weil diese nicht vollständig kontrollierbare Eigenbewegungen ausführte und in einer langgezogenen Kurve auf das Objekt zuflog, das Ziel deshalb nicht selten trotz des 28 mm-Weitwinkelobjektivs aus dem begrenztem ‚Blickfeld‘ (ca. 13°) geriet.

Bei Hoppe werden diese und weitere Schwierigkeiten anschaulich beschrieben:

[Zudem] ...“ mußte vom Bombenschützen ständig die Differenz von Blickachse und Längsachse des Flugkörpers berücksichtigt werden. Obendrein vollzog die Kamera auch alle Bewegungen des Flugkörpers in der Querlage mit und lieferte bei stärkerer Kurvenneigung ein schrägliegendes Bild¹⁶. Auch diese komplizierten flugmechanischen Bewegungen konnten bei der DFS in einer verbesserten Modellanlage nachvollzogen werden. Der Sinn einer solch aufwendigen Installation bestand nicht nur darin, die Flugmanöver zu erforschen; sie sollte auch den späteren Bombenschützen für die Ausbildung an die Hand gegeben werden, da das Lernen am realen Flugkörper unweigerlich mit dem Verlust teurer Waffen verbunden war.

Über Flugversuche mit den Kleinbildgeräten der Fernseh GmbH berichtet einer der beteiligten Testpiloten, Erich Klöckner, in biographischen Aufzeichnungen:

„Man rüstete einen Lastensegler DFS 230 mit einem Fernsehsender aus und eine Ju 52 mit einem Bildempfänger. Nach dem Ausklinken des Lastenseglers konnte dieser von der Ju 52 aus über ein Fernsehbild auf ein Ziel zugesteuert werden.

Ein Großteil der Flugerprobung wurde nach einem Start von Peenemünde oder Kolberg aus durchgeführt. Ich hatte Anteil an diesen Flügen als Pilot in der He 111, Ju 52 oder Do 17. Um möglichst wenig durch zivilen oder militärischen Funkverkehr, Rundfunksender oder dergleichen gestört zu werden, führten unsere Kurse vorwiegend über die Ostsee hinaus. Vornehmlich in der zweiten Jahreshälfte 1943 waren wir fast täglich weit draußen über der See mit der He 111 CQ + VZ und der Do 17 AO+AI unterwegs. Hierbei kamen noch Fernsehbilder bis über 400 km Entfernung zustande und ferngelenkte Zielflüge bis zu 50 km. Das war für damalige Verhältnisse eine Sensation! Bei Gleitbomben mit einem Gleitwinkel von 1:10 bedeutete dies, daß sie aus einer Höhe von 4000 m geworfen auf eine Entfernung von 40 km ins Ziel gelenkt werden konnten.“¹⁷

Die leichte Euphorie, die aus dem Bericht spricht, darf nicht darüber hinwegtäuschen, dass es schon einen entscheidenden Unterschied macht, ob eine Gleitbombe mit 540 bis fast 1000 km/h oder ein Lastensegler mit einem Zehntel davon in ein Ziel gesteuert werden soll! Jedenfalls ergibt sich aus Berichten die Tatsache, dass auch nach drei Jahren intensiver Forschung kein einsatzfähiges ferngesteuertes Zielweisungssystem für die Luftwaffe zur

Forschungsanstalt für Segelflug, Ainring)

¹⁵ vgl. Münster in: History of German Guided Missiles Development (1957)

¹⁶ Klöckner: Fernseh-Lenkung gesteuerter Gleitbomben, in: Späte (Hrsg.): Testpiloten, Planegg (1993) S.104.

¹⁷ Fölsche: Die Erkennbarkeit von Land- und Seezielen mit rot- und blauempfindlichen Ikonoskopen bei natürlichen Beleuchtungs- und Dunstverhältnissen; DFS-Forschungsbericht, 15.7.1943, Deutsche Luftfahrtforschung, Untersuchungen und Mitteilungen Nr. 3506, Archiv Deutsches Museum, München.

Verfügung stand. Noch immer wurde an den Komponenten geforscht, ihre Verkleinerung angestrebt, die Bildaufnahmeröhre z. B. so modifiziert, dass sie eine besondere Empfindlichkeit für die roten oder blauen Lichtanteile aufwies, um damit atmosphärischen Dunst besser zu durchdringen und auch unter widrigen Umständen brauchbare Bilder zu erhalten¹⁸.

Anfang 1943 wurde dann trotz aller erkennbaren Schwierigkeiten damit begonnen, für die fernsehgestützte Steuerung umgebaute Gleitbomben vom Typ Hs 293 D in Zusammenarbeit zwischen den *Henschel-Flugzeug-Werken Berlin-Schönefeld* und der *Elektro-Optik GmbH Teltow* für den Einsatz zu bestücken und 1944 zwecks Erprobung zur *Luftwaffenerprobungsstelle Karlshagen (Usedom)* zu schaffen.

Einsatzversuche am *Madusee bei Stargard* und in *Jesau bei Königsberg* waren zuvor zwar wenig erfolgversprechend verlaufen. Ihre Erfolgsquote erreichte bei weitem nicht die der rein sichtgesteuerten Hs 293, mit der man im Mittelmeerraum gute Abschussergebnisse feindlicher Schiffe hatte erzielen können, jedenfalls solange, wie die Alliierten die Trägerflugzeuge nicht schon lange vor dem Abwurf orten (RADAR) und durch ihre inzwischen auch zahlenmäßig überlegene Flugabwehr attackieren konnten (Flak, Jäger).

Für Steuerung nach optischer Sicht wurde das Zeitfenster zwischen Abwurf und dem Entkommen vor der gegnerischen Abwehr immer schmaler. Deshalb knüpfte man, trotz der wenig ermutigenden Ergebnisse, die Hoffnungen an das Zielweisungsverfahren mit Hilfe der Fernsichttechnik, was bei einwandfreiem Funktionieren durch Fernwürfe ein sehr viel früheres Abdrehen des Trägerflugzeugs hätte ermöglichen können.

Bei *Hoppe* finden sich zu den erwähnten Tests weitere Details:

„Die unter den Bedingungen eines militärischen Einsatzes erfolgenden Probeläufe mit den neuen Fernsichtwaffen fielen jedoch nicht so aus, wie man nach den langen Vorarbeiten hätte erwarten können. So wurden in Karlshagen in der Zeit vom 7. bis zum 20. August 1944 fünf Abwürfe einer Gleitbombe Hs 293 mit dem Fernsichtkopf »Tonne 4a« und der Empfängereinheit »Seedorf 3« [Hervorhebungen durch Verf.] vorgenommen. Immerhin traten bei diesen Abwürfen keine Ausfälle der Fernsichtanlage auf, doch nur einer der Abwürfe endete mit einem Treffer auf das vor der Insel Usedom gelegene Ziel, ein Schiffswrack. Diesen Abwurf steuerte der Chefentwickler der Gleitbombe, Herbert Wagner von den Henschel-Flugzeug-Werken, persönlich. In den nächsten Tagen kamen weitere sieben Gleitbomben zum Abwurf. Dabei stellten sich deutlicher verschiedene Schwachpunkte heraus, [die von Wagner so beschrieben werden]:

„Die FB-Übertragungsverhältnisse bei Geradeauswurf sind stark abhängig von dem Einbauort der FB-Empfangsantennen sowie der Antennenbauart selbst und lassen sich voraussichtlich noch verbessern. Die Betriebssicherheit der FB-Geräte ist, verglichen mit den Geräten der Fernlenkanlage, befriedigend. Von 12 Abwürfen stürzten 2 Körper ab, 8 Körper waren fernlenkseitig, fernseh- und übertragungsmäßig vollkommen in Ordnung und konnten nach FB auf das Zielschiff gelenkt werden. Es wurde ein Volltreffer erzielt, alle anderen Einschläge lagen mehr als 100 m vom Ziel.

Die durch den Einfluß von Seitenwind sowie durch Justierfehler des Bildfängers einschl. Verstelloptik bedingte Abweichung von der

¹⁸ Zur Technik informiert *Trenkle*: Die deutschen Funklenkverfahren bis 1945, Heidelberg 1987. Zur Anwendung vgl. *T. Benecke, K.-H. Hedwig und J. Hermann*. Die beste Darstellung im Rahmen der Fernsehgeschichtsschreibung findet sich bei *Goebel*: Das Fernsehen in Deutschland bis zum Jahre 1953, in: Archiv für das Post- und Fernmeldewesen, 5/1953, S. 259 ff. Vgl. auch *Ferdinand Müller*: Leitfaden der Fernlenkung. Eine systematische Zusammenstellung der Verfahren und Anlagen der Fernlenkung, Band 2: Lehrbücherei der Funk-Ortung, Deutsche RADAR-Verlagsgesellschaft Garmisch-Partenkirchen (1955)

gradlinigen Flugbahn erschwert den Lenkvorgang kurz vor dem Einschlag wegen der stark zunehmenden Krümmung der Flugbahn (Hundekurve) und ist neben der erforderlichen Umschulung des Bombenschützen vom Beschleunigungsprinzip des Fernseh-Zielverfahrens der Hauptgrund für die schlechten Trefferergebnisse. In einer zusammenfassenden Stellungnahme zur FB-Erprobung verneint die E-Stelle die Einsatzfähigkeit der Hs 293 D bei der Truppe oder im Sondereinsatz für die nächste Zeit.“

In verschiedenen Quellen findet sich die Angabe, dass bis zum Jahr 1944 vor der Insel *Usedom* zwischen 70 und 80 Fernseh-Gleitbomben-Testabwürfe stattgefunden haben sollen, deren Ergebnisse nicht erfolgreicher verliefen, als die oben beschriebenen. Eine ‚Wunderwaffe‘ gab es damit nicht! Vermutlich lag das nicht in erster Linie an der Unzuverlässigkeit der technischen Einrichtungen, als vielmehr – wie schon erwähnt – an der Überforderung der Bombenschützen im Flugzeug. Das Projekt musste für den geschilderten Zweck bei den obwaltenden Bedingungen und der Kriegslage als noch nicht einsatzreif entwickelt angesehen werden!

Nebenbei interessant ist, dass das System »Tonne-Seedorf« gegen Ende des Krieges in einen fernsteuerbaren Panzer vom Typ »Goliath« eingebaut werden sollte, der mit dessen Hilfe Sprengladungen an kriegswichtige Ziele des Gegners transportieren und dort zur Detonation bringen sollte. Über die Realisierung dieses Vorhabens ist wenig bekannt. Ebenso wird gemutmaßt, man habe das Zielweisungssystem in gegen Ende des Krieges entwickelte Flugabwehr-Raketen einbauen wollen (s. w. u.). Näheres dazu findet sich bei *Stüwe*.

Im Laufe des Krieges waren Produktionsstätten der *Fernseh GmbH* aus *Berlin* in weniger bombengefährdete Teile Deutschlands (u. a. nach *Morchenstern*, seinerzeit Sudetenland, heute Smržovka, Tschechische Republik) verlagert worden. Bei Anrücken der »Roten Armee« und absehbarem Kriegsausgang transportierten Mitarbeiter Geräte und Unterlagen dann nach Niederbayern, wo eine Niederlassung der zum *Bosch*-Konzern gehörenden Firma *Blaupunkt* ihren Sitz hatte. An den gleichen Ort wurden auch erhebliche Mengen Materials aus *Peenemünde* verbracht, um sie dem Zugriff der Sowjets zu entziehen. Alle diese Unterlagen fielen deshalb wohl den Amerikanern in die Hände, die mit ihrem *Combined Intelligence Objective Subcommittee (CIOS)* systematisch nach derartigen Hinterlassenschaften, die für sie von wissenschaftlichem oder militärtechnischem Interesse sein konnten, und natürlich auch nach den Wissenschaftlern selbst, fahndeten¹⁹. Bekannt ist, dass sich die Alliierten vom Fernsehaffen-Spezialisten wie *Dr. Weiß* ein funktionierendes »Tonne-Seedorf«-System vorführen und erläutern ließen.

Schlussfolgerung der Untersuchungskommission:

»The picture was very steady and phase adjustment appeared to be easy. Contrast on the receiver tube was good«²⁰

¹⁹ Näheres und reichhaltige Quellenangaben dazu bei *Hoppe*, 1995

²⁰ ebenda

Zeittafel

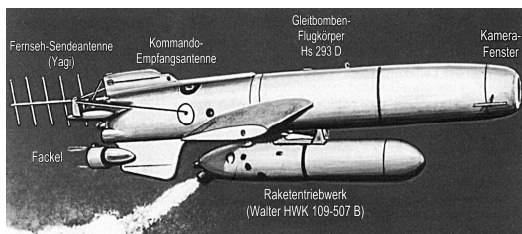
20er Jahre	Entwicklung der elektronischen Fernsehtechnik in Amerika, England und Deutschland etwa synchron.
1929	<i>Mihaly</i> weist als erster auf den militärischen Nutzen der Fernsehtechnik hin: Auskundschaftung des Gegners mit Hilfe einer im Flugzeug montierten „Bildaufnahmestation“ und zur präzisen Zielenkung von Artillerie-Geschossen („Einschießen“).
1935	Postrat <i>Weiß</i> – zuständig bei der Reichspost-Forschungsstelle (RPF) für die Fernsehentwicklung – meldet ein Patent an: Entwurf eines Fernseh-Torpedos
1935	Fernsehtechnik mit 180 Zeilen
1935	Streit zwischen <i>Goebbels</i> (Propaganda), <i>Göring</i> (Reichsluftfahrtministerium RLM) und <i>Ohnesorge</i> (Reichspostminister) um die Zuständigkeit in Sachen Fernsehen. <i>Hitler</i> entscheidet zugunsten Görings und des Postministers.
1935	Zivile Nutzung des Fernsehgeschäfts nicht lukrativ; <i>C. Lorenz AG</i> , <i>D.S. Loewe AG</i> , <i>TeKaDe</i> fallen aus dem Kreis der Konkurrenten zugunsten von <i>Telefunken</i> und der <i>Fernseh AG</i>
1936	Fernseh-Übertragungen in Fernseh-Stuben nach dem Zwischenbildverfahren.
1938	Französische Militärzeitschrift stellt Überlegungen an zur Verwendung des Fernsehens zur Übermittlung von Kartenausschnitten, schriftlichen Befehlen, Fotos von Landschaftsprofilen u. dgl.
1938	In Deutschland wird ein Fernsehsystem mit 441 Zeilen bei 50 Halbbildern zum Standard erklärt. Geräte nach dieser Norm werden auf der Großen Rundfunk- und Fernseh Rundfunk-Ausstellung (<i>Berlin</i>) mit dem Empfänger E1 vorgestellt.
1939 (IX)	Besprechung zwischen Vertretern der <i>Reichspostforschungsanstalt</i> , der <i>Fernseh GmbH</i> (zuvor <i>Fernseh AG</i>) und der Luftwaffe über Möglichkeiten der Waffenentwicklung unter Nutzung des Fernsehens.
1939	Die <i>Luftwaffen-Erprobungsstelle Peenemünde</i> schlägt die Entwicklung der „automatischen Steuerung vom Flugzeug abgeworfener Körper ins Ziel“ unter Nutzung der Fernsehtechnik vor; <i>Ohnesorge</i> nennt das „sehende Bombe“.
1939/40	Vorversuche zur fernsehgestützten Lenkung von Flugkörpern bei der Reichspostforschungsanstalt und der <i>Fernseh GmbH</i> . Bau ortsbeweglicher Fernseh-Reportageanlagen in Tornisterbauweise. Testgeräte entstanden mit 441 Zeilen und einem 10 Watt-Sender.
1940	Die <i>Fernseh GmbH</i> stellt <i>Hitler</i> das Muster einer nur 16x16x32cm messenden Fernsehkamera vor.
1940	Erteilung eines offiziellen Entwicklungsauftrages des Reichsluftfahrtministeriums (E-Nr. 415/40) an die Reichspost-

	forschungsanstalt, die <i>Fernseh GmbH</i> und die Firma Loewe-Radiowerke Berlin (LRB) zur Entwicklung einer transportablen Fernseheinrichtung
1940	Entwickelt die Fa. <i>Henschel Flugzeugwerke (Berlin-Schönefeld)</i> die fernsteuerbare Minen-Gleitbombe Hs 293
1940	Reichweiten- und Frequenzversuche mit in Flugzeugen montierten Fernsehseindern Raum <i>Berlin: Johannesthal</i> und <i>Werneuchen</i>).
1942	<i>Fernseh GmbH</i> liefert Versuchsgeräte nach <i>Peenemünde</i> für den Einbau in Gleitbomben mit 441 Zeilen und 50 Bildwechsellern mit Zeilensprungsverfahren. Sender arbeitet auf 73 cm Wellenlänge. Probleme: Synchronisation Sender-Empfänger (Dopplerproblematik); Abhilfe: quarzstabiler Taktgeber. Zu lichtschwache Aufnahmeröhre (Ikonoskop) führt zur Entwicklung des empfindlicheren Super-Ikonoskops (Bilder noch bei 50 Lux)
1943	August/September: Die Initiatoren des Systems »Tonne-Seedorf« führen <i>Hitler</i> in der Wolfsschanze einen Erprobungsfilm eines Hs 293-Abwurfs vor, der u.a. das Monitorbild des Zielanfluges zeigt.
1943	Test-Zielanflüge auf ein Wrack vor <i>Usedom</i> ; Probleme mit Polarisationsdrehungen durch die spiegelnde Wasseroberfläche; Versuche zur Empfangsantennen-Polarisation.
1943	Serienproduktion der Kamera, des Senders und Bildempfängers durch die <i>Fernseh GmbH</i> für die <i>Forschungsanstalt für Segelflug (DFS)</i> . Untersuchung zur Steuerung der Gleitbombe. ‚Dreikörperproblem‘ für den Lenkschützen.
1943	Zielanflüge mit Lastenseglern; Bildempfang in JU 52
1943	Hauptsächliche Tests bei <i>Peenemünde</i> und <i>Kolberg</i> (He 111 und Do 17) über der Ostsee. Fernsehbild-Übermittlung bis zu 400 km, ferngelenkte Zielanflüge bis 50 km (werfendes Flugzeug in 4000 m Höhe).
1943	Umbau der Fernsteuerbaren Gleitbomben Hs 293 in Zusammenarbeit zwischen <i>Henschel-Flugzeugwerke Berlin-Schönefeld</i> und <i>Elektro-Optik GmbH Teltow</i> zur Hs 293 D (Fernseh-Zielweisung).

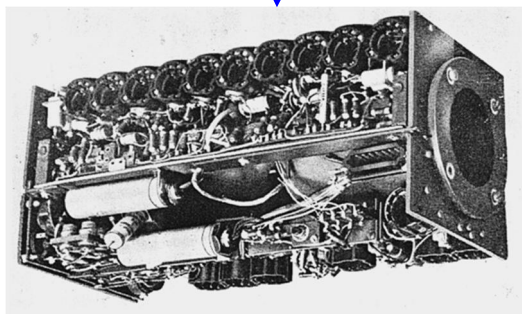
Kapitel 3

**Komponenten des Zielweisungssystems
»Tonne - Seedorf«**

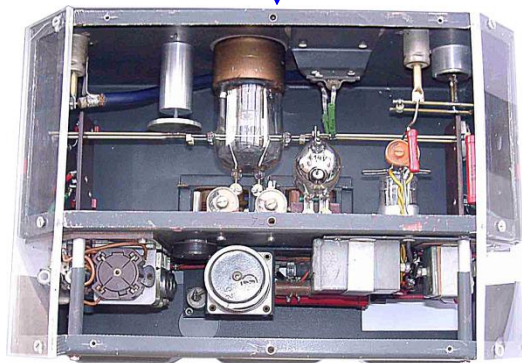
Systemübersicht



Linsenobjektiv zur Ansteuerung des Bildwandlers



Fernseh-Kamera »Tonne« mit Vorverstärker für das Videosignal



Video-Endstufe, TV-Sender und Betriebsspannungsaufbereitung

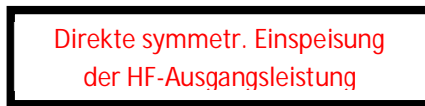


Bild 16

Darstellung des ‚Signalflusses‘ von der Bildaufnahme bis zur Abstrahlung über die Antenne des Fernsehenders im Lenkkörper

In der historischen Kurzbeschreibung der Motivation zur Entwicklung eines fernsehgestützten Zielweisungssystems durch die Luftwaffe wurde bereits über die dazu erforderlichen Komponenten berichtet. Leider sind in der verfügbaren Literatur sehr unterschiedliche, z. T. widersprüchliche Gerätebezeichnungen verwendet worden, sowohl was

die in die Gleitbombe Hs 293 D als auch die in das Trägerflugzeug eingebauten Einrichtungen anbetrifft. Das hat seine Ursache möglicherweise in der Tatsache, dass an der Verbesserung des Gesamtsystems in den Jahren ab 1940/41 fieberhaft gearbeitet wurde, und dabei im Laufe der Zeit eine große Zahl von Vorserienvarianten entstand, die teilweise nachgewiesen und auch datiert werden können.

Es scheint deshalb sinnvoll, dazu einige Anmerkungen zu machen, wobei darauf hingewiesen wird, dass sie möglicherweise mit den damals verwendeten Zuordnungen nicht übereinstimmen. Geheimhaltungsgründe und die Beschlagnahme durch die Alliierten haben in Deutschland nur wenige Originalunterlagen belassen, endgültige Klärungen werden deshalb erst bei Öffnung und verbesserter Zugänglichkeit US-amerikanischer, britischer und wohl auch russischer (sowjetischer) Archive möglich sein.

Das Zielweisungssystem der Hs 293 D bestand im Wesentlichen aus folgenden Geräte-Einheiten:

In der Gleitbombe

- (1) Einer automatischen, bedienungsfreien *Fernsehkamera* mit Weitwinkeloptik und vollständiger Signalaufbereitung im Basisbandbereich (Bandbreite 2.5 MHz),
- (2) einem *Dezimeter-Sender* mit Fernseh-Endverstärker, Modulationseinrichtung, Antennenauskopplung und der TV-Sendeantenne,
- (3) den zum Betrieb erforderlichen Batterien und Umformern.

Im Trägerflugzeug

- (4) Einer *Dezimeter-Empfänger-Baugruppe* zum Empfang des amplitudenmodulierten, von der Bombe drahtlos übertragenen Fernseh-Signals,
- (5) einem *Fernseh-Sichtgerät* (damals als Bildschreiber bezeichnet) mit den zugehörigen Signalaufbereitungs- und Ablenkeinheiten,
- (6) den für den Betrieb erforderlichen Batterien und Umformern der Bordelektronik.

Bei *Stüwe* [S. 375] wird der Fernsehkamera (1) der Tarnname »Tonne« zugeordnet¹, der DMW-Sender (2) trägt – folgt man dem Autor – den Namen »Seedorf«, ebenso wie das separate HF-Empfangsteil (4) und das Sichtgerät (5).

Diese Namenszuordnungen sind nicht schlüssig und werden bei anderen Autoren [*Müller, v. Felgel-Farnholz*] so auch nicht verwendet. Mir scheint logischer, die Namen »Tonne« und »Seedorf« mit dem Zusatz ‚System‘ für die beiden Funktionseinheiten, bestehend aus

- der Kamera (1) und DM-HF-Sender (2), beide im Lenkkörper, (System »Tonne«),
- der HF-Empfänger-Baugruppe (HF- und ZF-Teil, Demodulator) (4) und dem angeschlossenen Sichtgerät (NF-Teil) (5), beide im Trägerflugzeug (System »Seedorf«),

zu vergeben.

Im Folgenden werden die beiden Dezimeterwellen (DMW)-Geräte (2) und (4) ohne Zuordnung zu den beiden Funktionseinheiten als Sender bzw. HF-Empfänger bezeichnet.

Die Kamera (»Tonne«)

Im Folgenden wird zunächst als wichtigstes Element der bildproduzierenden Kamera »Tonne« die Bildabtaströhre mit Bildwandler, in unserem Falle ein Superikonoskop, in

¹ Offenbar gab es eine größere Anzahl unterschiedlicher Entwicklungen und nachfolgend eine größere Anzahl Labor- und Versuchsmustern (V). In der Literatur finden sich ohne weitere Erläuterung Bezeichnungen wie »Tonne 1a«, »Tonne 4a« und »Tonne 1«.

Bau und Funktion detailliert dargestellt. Danach folgt, soweit möglich, die Beschreibung der Peripherie, also der für die Entstehung des ‚elektronischen Bildes‘ erforderlichen Einrichtungen.

Vorbemerkungen

Die Verwendung einer Fernsehkamera in einem Zielweisungssystem zur Steuerung von Gleitbomben ist aus technischer Sicht heikel. Mit ihrer mechanisch empfindlichen Bildwandlerröhre werden besondere Maßnahmen zu deren Schutz erforderlich, nicht nur, weil sie starken Vibrationen des Trägerflugzeugs beim Transport ausgesetzt ist, sondern auch extremen Beschleunigungen nach Abwurf – vor allem beim plötzlichen Zünden des *Walter*-Raketentriebwerks der Hs 293 D (vgl. Teil I).

Weiterhin treten nicht unerhebliche thermische Probleme auf, weil die ‚sehende Bombe‘ auch in großen Höhen ausgeklinkt werden sollte, um Abwehrfeuer des Gegners zu entgehen. Temperaturen in 4000 bis 7000 m Höhe liegen nicht selten 30° bis 70° unter Bodentemperatur:

Um die Gefahr der Vereisung oder des Beschlagens des Glasfensters auszuschließen, hinter dem das Kamera-Objektiv lag, wurde es separat beheizt, ebenso wie die Bombenzelle während des Transports vor Abwurf.

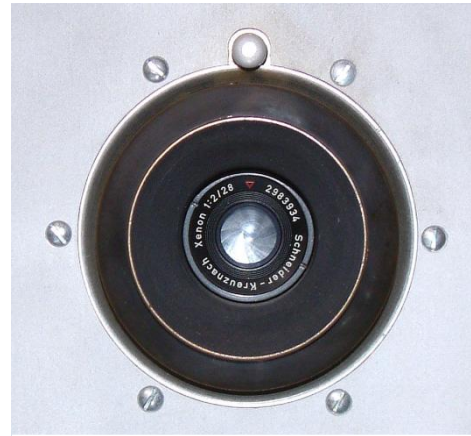


Bild 17

»Tonne«-Objektiv: Xenon 1:2/28 mm
Schneider/Kreuznach

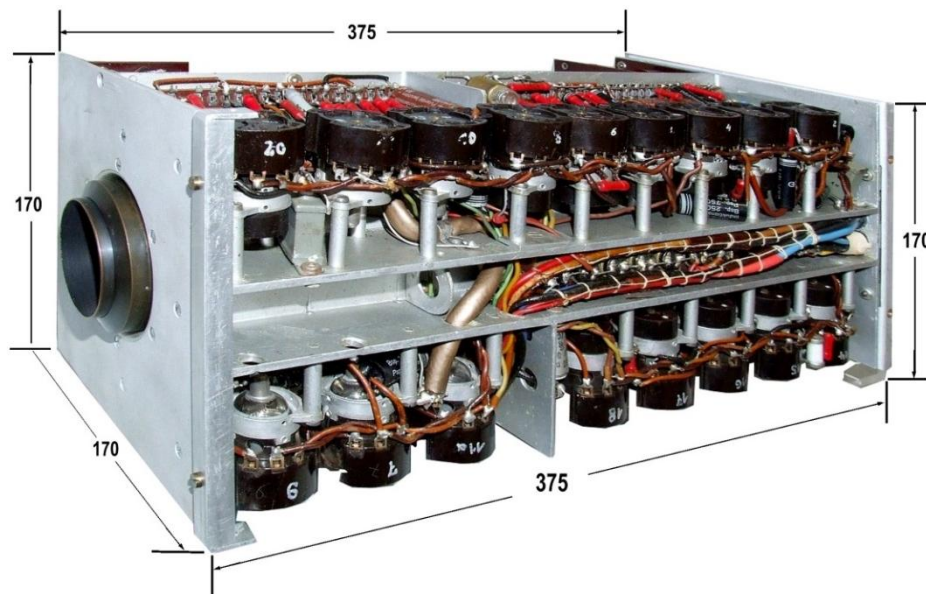


Bild 18

Fernsehkamera, ähnlich »Tonne I« (= »Tonne A«)
Unterseite perspektivisch - Abmessungen

Zudem musste ein optisches Problem bewältigt werden:

Es war vorgesehen, die Gleitbombe aus unterschiedlichen, darunter auch sehr flachen Anflugwinkeln abzuwerfen. Das bedingte ein System, welches auf wechselnde Helligkeiten

automatisch reagieren kann. Dazu ist – wie bei heute üblichen Kameras – eine sich nach den jeweiligen Lichtbedingungen selbsteinstellende Blende erforderlich. Das hätte mit einer Fotozelle, die auf einen Servomotor arbeitet, bewerkstelligt werden können.

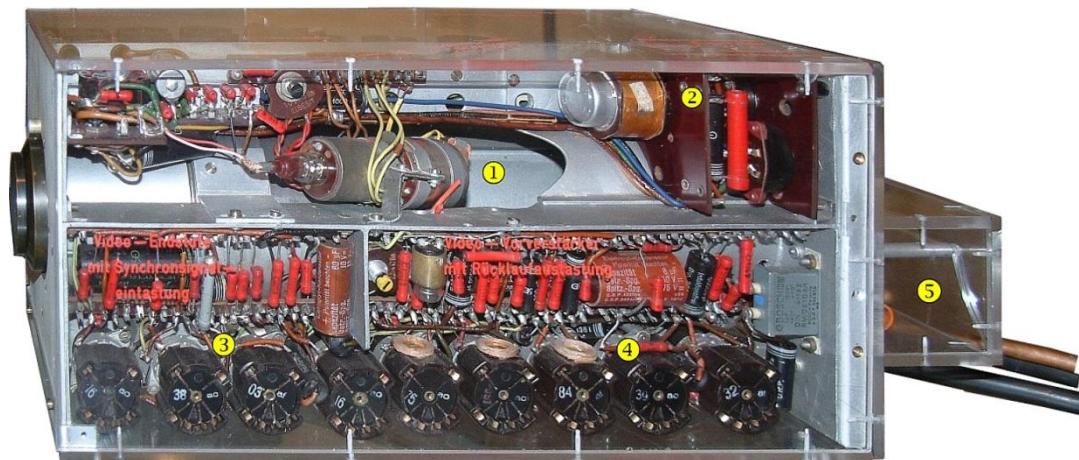


Bild 19

Fernsehkamera (K 11 ?), ähnlich »Tonne I« (= »Tonne A«)
Rechte Geräteseite

- ① Superikonoskop IS 9 ② Glimmstabilisator ③ Video-Endstufe ④ Video-Vorverstärker
⑤ Anbau für den Mitnahmegenerator

Bei der »Tonne« wurde, abgesehen von der mechanischen Blendenregelung (Irisblende des Objektivs), ein raffiniertes, rein elektronisches Verfahren eingesetzt. Man nutzte den Fotostrom der Fotokathode der Bildspeicherröhre als Kriterium für die Anpassung der Blendenöffnung an wechselnde Helligkeitsverhältnisse.²

Die Bildabtaströhre IS 9

Die in die Hs 293 D eingebaute Kamera (»Tonne A« = »Tonne I«) war mit der von der Firma *Fernseh GmbH* entwickelten und ab 1939 dort auch gebauten Bildabtaströhre, auch als Bildzerleger oder Bildwandler bezeichnet, Typ ‚*Super-Ikonoskop*‘ IS 9, ausgestattet. Der Name bedeutet Bildbetrachter von griechisch: εἰκών = Eikon = Bild, σκοπεῖν = skopein = betrachten.

Es handelte sich dabei um eine aus einer *Braun*'schen Röhre abgeleitete Bildabtaströhre mit Vorabbildungssystem. Mit ihrer Hilfe wurde das zu übertragende Bild von einer Aufnahmeoptik – zu meist ein *Biogon* der Firma *Zeiss*, 1:2,8/35 mm (Bildwinkel 13°), später (?) einem lichtstärkeren und weitwinkligeren *Xenon* von *Schneider Bad Kreuznach*, 1:2,0/28 mm (Bild 17)³,

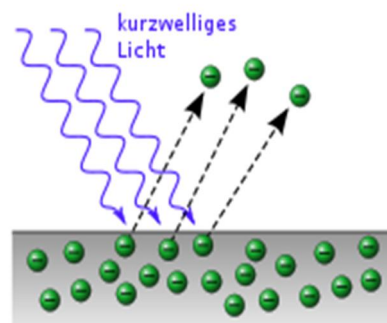


Bild 20

Foto-Elektrischer Effekt
(Wikipedia)

² Beim Beleggerät ist davon abweichend Handregelung für Fokus und Blende vorgesehen (vgl. Bild 24a).

³ Es ist denkbar, dass dieses Objektiv, falls es sich beim Beleggerät des DTMB um einen Nachkriegs-Nachbau handelt, wegen Nichtverfügbarkeit des Originalobjektivs Verwendung fand.

auf das an der Vorderseite der Bildspeicherröhre liegende Planglasfenster geworfen. Das dort entstehende sehr kleine, aber scharfe Abbild maß nur etwa 7x7 mm.

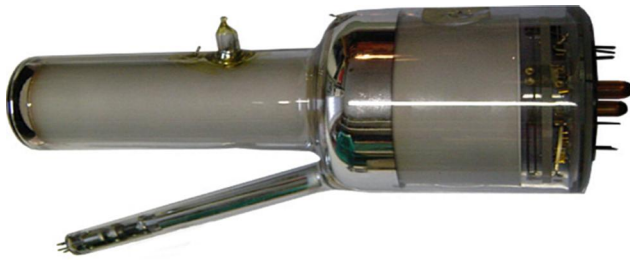


Bild 21 a
Realbild
eines Super-Ikonoskops IS 9
der Fernseh GmbH
für die Kamera des
»Tonne-Seedorf«-Systems
(Foto: Schudnagis, bearbeitet)

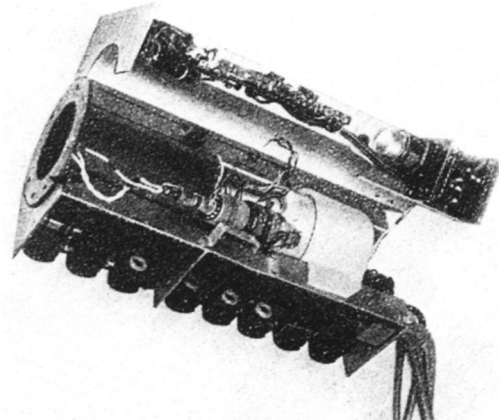
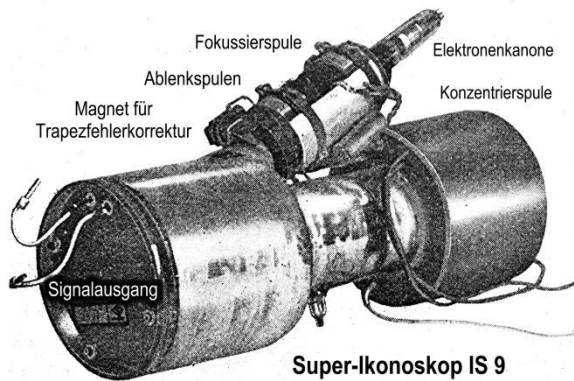


Bild 21 b/c

**Fernsehkamera »Tonne«
Bildspeicherröhren Typ Super-Ikonoskop IS 9**

Links: Bildspeicherröhre mit eisengeschirmter Konzentrierspule um die Fotokathode

Rechts: Eingebautes Ikonoskop mit wegklappbarem Subchassis

Auf der Innenseite des Fensters war eine dünne Silber-Cäsium-Schicht aufgedampft, aus der das Licht, je nach Helligkeit der beleuchteten Stelle, eine mehr oder weniger große Anzahl von Primärelektronen herauslöst, die – im Feld einer als Elektronenlinse wirkenden Konzentrierspule gebündelt – zur positiv vorgespannten Speicherplatte (Mosaikplatte) fliegen (Bild 22). Auf ihr entsteht ein im Verhältnis 1:5 vergrößertes Ladungsabbild (35x35 mm). Ursache für die Wandlung sichtbaren Lichts in Fotoelektronen ist der sog. „äußere Fotoeffekt“⁴ (Bild 20).

Die beim Aufprall der Primärelektronen aus der Speicherplatte herausgeschlagenen Sekundärelektronen werden durch die seitlich im Röhrenkolben angebrachte, umlaufende Metallisierung, die auf positivem Potential liegt (Anode), abgesaugt und auf diese Weise größtenteils unschädlich gemacht.

⁴ Beim *äußeren photoelektrischen Effekt*, kurz als *Photoeffekt* bezeichnet, werden durch Licht – das ist kurzwellige elektromagnetische Strahlung – aus einer nicht oxidierten, negativ ‚vorgeladenen‘ Metalloberfläche (vor allem ‚unedle‘ Alkalimetalle Lithium, Cäsium etc., aber auch Zink) ohne Zeitverzug Elektronen freigesetzt. Die im Ikonoskop vorhandene fotosensible Metallschicht wird deshalb als Fotokathode bezeichnet. Dabei bestimmt die Intensität des auf das licht sensible Metall auftreffenden Lichtes die Anzahl der aus dem Atomverband gelösten Elektronen, die Frequenz, also die Farbe des Lichts, deren kinetische Energie. Da die Grenzwellenlänge, bei der die eingestrahlte Energie der Photonen noch gerade die Austrittsarbeit der Fotoelektronen erreicht, vom Material abhängig ist, muss bei der Auswahl für technische Anwendung hierauf Rücksicht genommen werden. Bei der IS 9 hat sich aus technologischen Gründen Caesium/Silber besonders bewährt, die Aufdampfbarkeit im Vakuum ist damit gut beherrschbar.

Die Speicherplatte besteht aus drei Schichten: Träger ist ein hauchdünnes Glimmerplättchen, auf dessen Vorderseite eine dünne Lage eines Metalloxids mit feinsten Silberpartikeln aufgebracht ist. Deren mosaikartige Verteilung wirkt gegen die rückseitig angebrachte, durch die Glimmerscheibe isolierte metallische Gegenelektrode wie eine ‚hochauflösende‘ Anordnung kleinster, gegeneinander isolierter (distinkter) Kondensatoren⁵. Die auf die Speicherplatte treffenden Primärelektronen lassen dort ein Ladungsrelief dadurch entstehen, dass sich jeder ‚Elementarkondensator‘ (Mosaikelement) – je nach Intensität des Beschusses mit Fotoelektronen – auf ein der Bildpunkt-Helligkeit entsprechendes positives Potential auflädt, maximal auf +3 Volt. Von dunklen Stellen des Bildes wandern keine Elektronen zur Speicherplatte, ihr Potential bleibt deshalb unverändert.

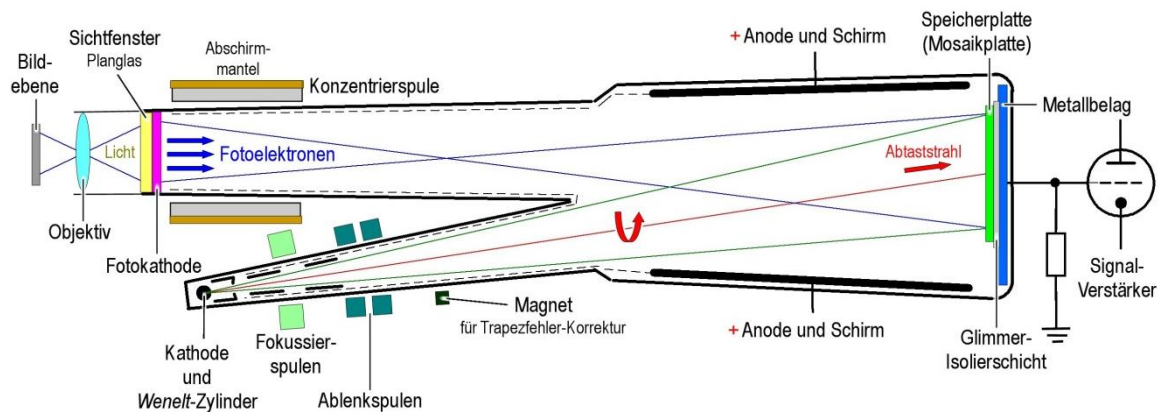


Bild 22

Aufbau eines Super-Ikonoskops IS 9 der Fernseh GmbH
(Funktionsbeschreibung im Text)

Das der Helligkeitsverteilung des Objektbildes entsprechende elektronische Abbild auf der Speicherplatte wird nun vom extrem scharf gebündelten Elektronenstrahl der ‚Elektronenkanone‘ – sie liegt in dem seitlich an den Tubus angesetzten Sporn (Bild 21a-c, Bild 22) – zeilenweise abgetastet. Der Elektronenbeschuss führt an der jeweiligen Stelle des Strahls zur Umladung (‚Neutralisation‘) der getroffenen Elementarzellen auf der Speicherplatte, wobei der Ladungsausgleich eines jeden Elementarkondensators an einem an die Gegenelektrode angeschlossenen, hochohmigen Widerstand (1 M Ω) (Bild 22) durch den Entladungsimpuls eine äußerst kleine Spannungsspitze hervorruft. Diese, beim zeilenweisen Abtasten des Ladungsreliefs der Speicherplatte registrierten Impulse werden durch die gewählten Ablenkbedingungen zeitlich so zusammengefasst, dass daraus das gerasterte elektronische Potential-Äquivalent des Lichtbildes entsteht. Die Impulshöhe (Amplitude) reicht zur Ansteuerung eines nachgeschalteten Signalverstärkers aus.

Zur Erzielung einer hohen Bildauflösung muss der das Bild abtastende Elektronenstrahl durch Einsatz präziser elektromagnetischer Linsen (Fokussierspulen in Bild 22) äußerst scharf gebündelt werden. Bei der IS 9 konnten Bildfleckdurchmesser von nur 0.02 bis 0.04 mm erzielt werden, letzterer Wert bei stärkster Auslenkung des Strahls im Randbereich des Ladungsreliefs, dem ‚unwichtigsten‘ Teil des Bildes.

⁵ Der Vergleich mit den Halbleiter-Sensoren moderner digitaler Kameras ist keineswegs abwegig. Das Prinzip der Aufrasterung des Bildes ist in beiden Fällen ähnlich, die technische Realisierung unterscheidet sich allerdings grundsätzlich.

Die Führung des Elektronenstrahls über die Speicherplatte wird von Ablenkspulen besorgt, die auf dem Hals des Sporns liegen. Davon gibt es zwei rechtwinklig zueinander angeordnete Magnetlinsen mit insgesamt vier Spulen, die durch sägezahnförmige Spannungen aus je einem horizontal- und einem vertikal-ablenkenden Generator angesteuert werden (Bild 22; Weiteres dazu w. u.).

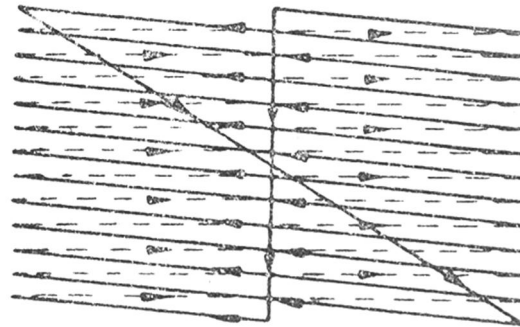


Bild 23

**Beispiel des Zwischenzeilenrasters
eines Fernsehbildes mit 19 Zeilen**

Zeilensprungverfahren
(Einzelheiten im Text)

Die hier gemachten Ausführungen sind Beleg dafür, welche Präzision erforderlich war, um ein leistungsfähiges Bildwandlersystem zu bauen. Das beginnt mit dem optisch vollständig planen Einschmelzen des Sichtfensters in den Röhrenkolben, erforderlich, um Streuungen der Primärelektronen zu verhindern. Um im Folgenden Abbildungsfehler zu vermeiden, sind exakt arbeitende Elektronenlinsen (Konzentrierspule, Fokussier- und Ablenkspulen) zu realisieren und die Fokussierung des Abtaststrahls muss diejenige normaler Oszillografenröhren bei weitem übertreffen. All das erfordert bis an die damaligen Grenzen gehende Produktionspräzision. Der Betrachter steht bewundernd vor dieser technologischen Meisterleistung.

Die Aufbereitung des Ikonoskop-Signals

Um im Bildschreiber (Monitor) ein für unser Auge flimmerfreies Bild rekonstruieren zu können, müssen zumindest 50 Halbbilder erzeugt werden. Dazu tastet der Elektronenstrahl während der ersten 1/50 Sekunde alle ungeradzahigen Zeilen ab, dann erfolgt der Rücksprung des Strahls an den Ausgangspunkt (Zeilensprungverfahren), um in der folgenden 1/50 Sekunde alle geradzahigen Zeilen abzutasten. Dadurch entstehen in einer Sekunde 25 Vollbilder, unser Auge nimmt ein stehendes Bild wahr, bedingt durch die Verschmelzungsfrequenz des menschlichen Auges (25 Hz). Für gute Auflösung wurde die Zeilenzahl mit 441 recht hoch gewählt, der Ablenkstrahl muss also in jeder Sekunde 11 025 Mal (25 Halbbilder x 441 Zeilen = 11 025) über das Ladungsprofil der Speicherplatte geführt werden. Das Prinzip ist in Bild 23 dargestellt.

Anmerkung:

Bei *Stüwe* finden sich detaillierte Ausführungen zur Funktionsweise der Bildspeicherröhre der Fernsehkamera »Tonne«. Sie illustrieren ein Ikonoskop, dem er im Text die Typenbezeichnung IS 9 zuordnet. Sowohl der erläuternde Text als auch die beigefügte Abbildung zeigen, dass es sich dabei aber um ein frühes *Zworykin*'sches Ikonoskop unbekanntem Typs

handelt (vgl. Fundgrube S. 206). Das von *Stüwe* beschriebene Bauelement unterscheidet sich vom IS 9 ganz wesentlich im mechanischen und elektrischen Aufbau⁶. Sehr wahrscheinlich beziehen sich seine Ausführungen auf eine frühe Vorserienversion der Kamera. Dafür sprechen sowohl die elektrostatische Ablenkung der ‚Elektronenkanone‘ als auch die gegenüber der ‚militärischen‘ »Tonne« geringere Auflösung von nur 224 Zeilen. Das ‚Serienmodell‘ der »Tonne A« (1944) war – so viel darf nach allen hier verfügbaren Quellen als sicher gelten (v. *Felgel-Farnholz, Müller, Bähring et al.*) – mit einem mit magnetischer Ablenkung ausgestatteten Super-Ikonoskop bestückt, mit dem 441 Zeilen bei 50 Halbbildern geschrieben wurden.

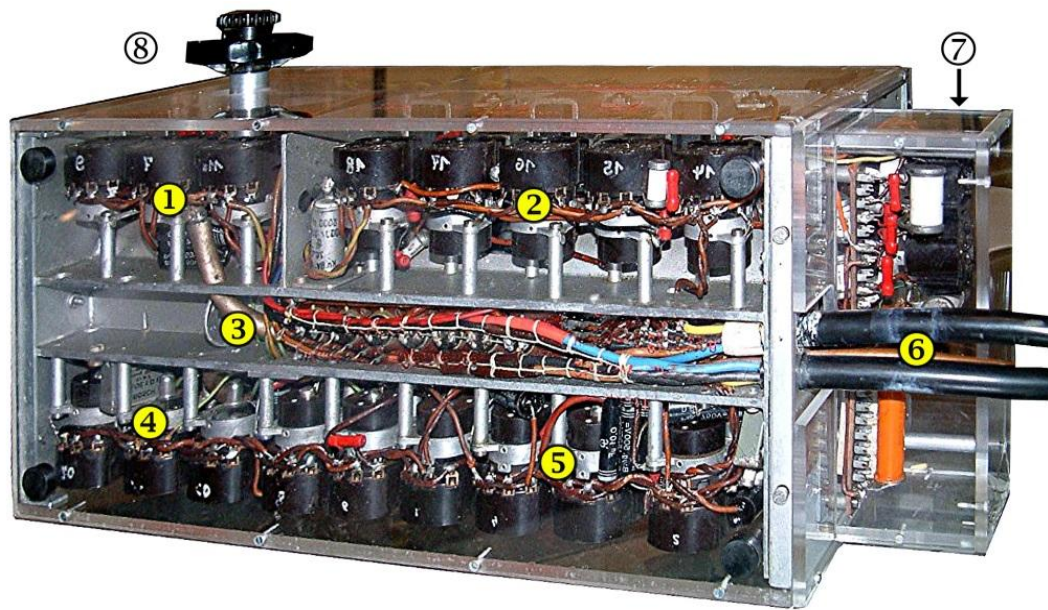


Bild 24 a

**Fernsehkamera »Tonne I«
Unterseite**

- ① Generator Vertikalablenkung ② Generator Horizontalablenkung
- ③ HV-Glimmstabilisator-kette ④ Video-Endstufe mit Synchronsignal-Eintastung
- ⑤ Video-Vorverstärker mit Rücklauf-Austastung ⑥ Stromversorgungs- und Signalkabel
- ⑦ Mitnahme-Generatorfach ⑧ Manuelle Blenden- und Schärfe-Einstellung

Des ungeachtet sind die Ausführungen *Stüwe*s in unserem Zusammenhang außerordentlich interessant, illustrieren sie doch den Technologiesprung von einem ‚Vorgänger-Ikonoskop‘ zum weit überlegenen IS 9.

Eine Schaltung der »Tonne« gibt es nicht, jedenfalls ist sie nicht verfügbar! Sei es, dass die Geheimhaltung des Projektes oder die Vernichtung streng geheimer Produktionsunterlagen bei Kriegsende deren Überlieferung verhindert hat, sei es, dass vorhandene Papiere den amerikanischen Fahndern kurz nach Kriegsende in die Hände gefallen und als Kriegsbeute in die USA verbracht worden sind. Wäre letzteres der Fall, stünden dem Auffinden solcher

⁶ Beim *Ikonoskop* entsteht das Ladungsbild durch eine Anordnung kleinster Kondensatoren, die aus lichtempfindlichem Material bestehen. Fotokathode und Speicherplatte fallen hier zusammen. Das Ikonoskop erzeugt konstruktionsbedingt störende Sekundärelektronen, welche die Empfindlichkeit begrenzen. Abhilfe wurde durch das *Super-Ikonoskop* geschaffen. Bei ihm liegt die Fotokathode räumlich weit vor der Speicherschicht, Sekundärelektronen werden über einen innen liegenden, positiv vorgespannten Metallbelag (Anode) abgesaugt. Hier wird das optische Bild in der Fotokathode zunächst in sog. Primärelektronen gewandelt und über diese elektronenoptisch (Konzentrierspule) auf die Speicherplatte übertragen. Durch ihre Beschleunigung wird eine höhere Empfindlichkeit des Bildwandlers erreicht.

Materialien erhebliche Widerstände entgegen. Zwar wurde alles schriftliche Beutegut akribisch auf Mikrofilm übertragen, sinnvoll ordnende Findbücher scheint es aber nicht zu geben und etliche Dokumente unterliegen offenbar noch immer der Geheimhaltung.

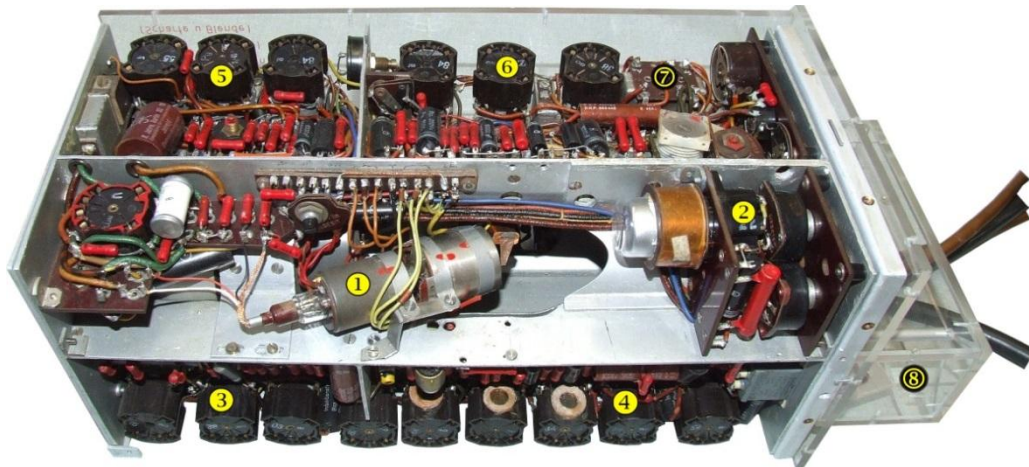


Bild 24 b

Fernsehkamera, ähnlich »Tonne I« (Oberseite)

- ① Superikonoskop IS 9 (in situ, Bildwandler abgebrochen)
- ② Stabilisator
- ③ Video-Endstufe mit Synchronsignal-Eintastung
- ④ Video-Vorverstärker mit Rücklauf-Austastung
- ⑤ Generator Vertikalablenkung
- ⑥ Generator Horizontalablenkung
- ⑦ Horizontaler Kipptrafo
- ⑧ Gehäuse des Mitnahmegenerators

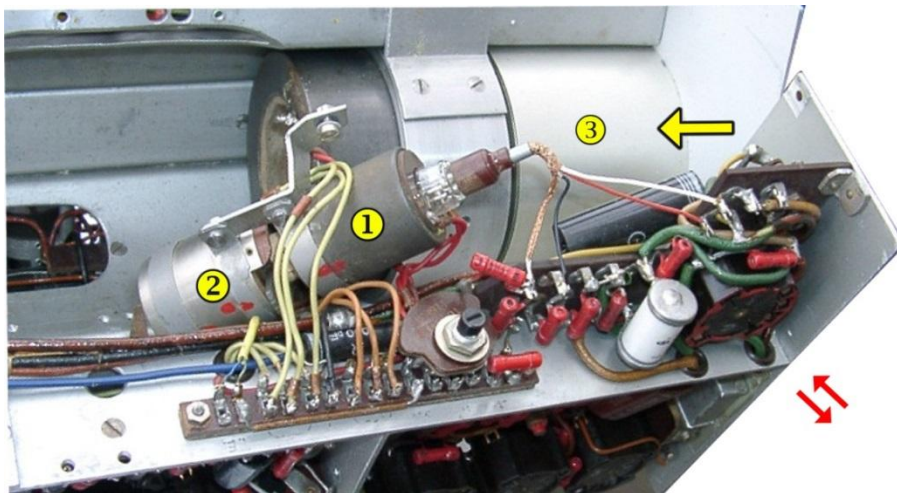


Bild 24 c

Fernsehkamera, ähnlich »Tonne I«
Detailbild Iconoskopfach

- ① Fokussierspule
- ② Ablenkspule, Trapez-Entzerrungsspule fehlt
- ③ Objektivtubus

Rote Pfeile: Wegklappbares Iconoskop-Subchassis

Gelber Pfeil: Lichteinfallrichtung

(Röhrentubus mit Fotokathode ist abgebrochen)

Der Autor hat versucht, von hier aus Zugang zu den Materialien der *Smithsonian Institution* (z. B. *National Air and Space Museum*) zu erhalten. In den dortigen Archiven lagern alle Materialien der deutschen und japanischen Luftwaffe des 2. Weltkrieges. Ein bibliothekarisch schlecht aufgearbeitetes, unübersichtliches und kostenträchtiges Zugangssystem stand dem entgegen. So bleibt hier nur die sorgfältige Inaugenscheinnahme des Belegexemplars aus dem *Deutschen Technikmuseum Berlin* (DTMB), das nachfolgend in verschiedenen An-

sichten wiedergegeben wird. Dabei besteht das Problem, dass es sich bei diesem Gerät um eine Version handelt, die sicherlich nicht für den Einbau in eine mit Fernseh-Zielweisungssystem ausgestattete Hs 293 D vorgesehen war, gottlob aber bis auf kleinere Details dem für militärischen Einsatz vorgesehenen ‚Serienmodell‘ zu entsprechen scheint.

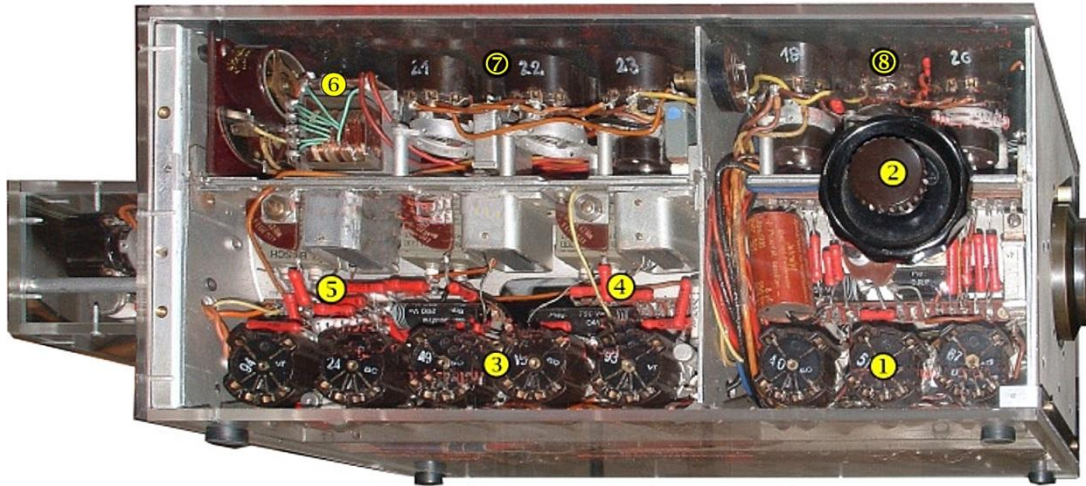


Bild 24 d
Fernsehkamera, ähnlich »Tonne I«
Baugruppen (linke Geräteseite, Gerät kopfstehend)

- ① Impulsformerstufen ② Optiksteuerung (Schärfe und Blende über fernbedienbaren Antrieb)
③ Teilerstufen ④ V-Signal, 50 Hz ⑤ H-Signal, 11025 Hz H/7x7x9 und HxH/7x7x7
⑥ Horizontaler Kipprafo ⑦ Generator für die Horizontalablenkung ⑧ Generator für Vertikalablenkung
(Taktgeber für 441 Zeilen und 50 Halbbildwechsel → 25 Vollbilder)

Das Gerät sei nach dem Kriege – so berichtet *Gerhard Salzmann* (mündl. Mitt.) – bei der

Firma *Bosch*, zu der die *Fernseh GmbH* in dieser Zeit gehörte, für museale Zwecke soweit erforderlich ergänzt und in ein Gehäuse aus dickem Plexiglas ‚verpackt‘ worden. Auf dieser Schutzhülle finden sich für die Stufenzuordnung hilfreichen Gravierungen. Unter anderem auf sie wird im Folgenden Bezug genommen.

Zur Technik: Bild 18 zeigt die Maße des sehr kompakten, ohne Ikonoskop und dessen Ablenkspulen etwas mehr als 10 kg wiegenden Gerätes. Gewissermaßen das stabilisierende Rückgrat wird von einer aus einem Stück gegossenen Wanne aus Elektron-Spritzguss auf der Unterseite des Gerätes gebildet⁷. Gegen in ihrer Mitte verlaufende Längswände sind die Röhren der Ablenkgeneratoren (①②, in Bild 24a oben) und des Video-Verstärkers (④⑤, in Bild 24a unten) über Distanzstücke geschraubt. In der zwischen diesen Fächern liegenden Mittelrinne werden Stromversorgungs- und Signalleitungen ⑥ geführt.

Der Aufbau ist teilweise in Blechbiegetechnik ausgeführt (Front- und Rückplatte, Abschirmungen zwischen den Fächern), z. T. aber auch in *Elektron-Spritzgusstechnik*. Letzteres betrifft im Wesentlichen das stabilisierende, aus einem Stück gegossene, ‚Längschassis‘ (Bild 18, Bild 24a).

⁷ In der Beschreibung von v. *Felgel-Farnholz* (1948) besteht die stützende Struktur aus dem das Ikonoskop umhüllenden Eisenrohr zu dessen Abschirmung. Alle Funktionsgruppen sind, abweichend vom hier beschriebenen Beleggerät, als steckbare Module auf separaten Subchassis untergebracht.

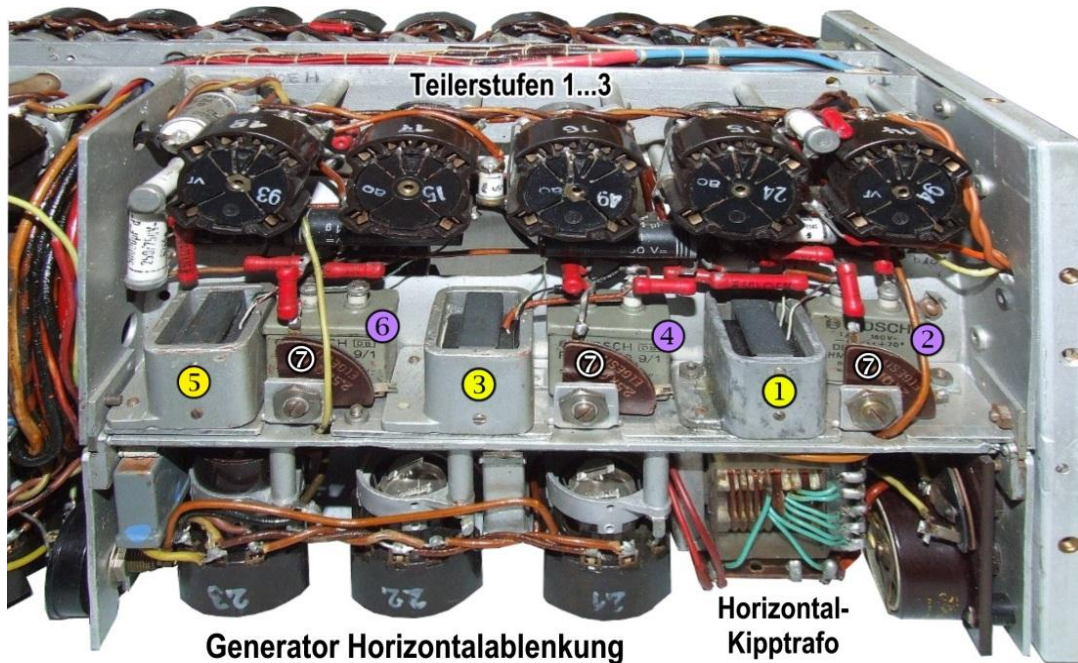


Bild 24 e

Teilerstufen zur Gewinnung der Bildwechselfrequenz

- ①② Teilerkreis 1 ③④ Teilerkreis 2 ⑤⑥ Teilerkreis 3 ⑦ Einstellregler für Teilerpegel

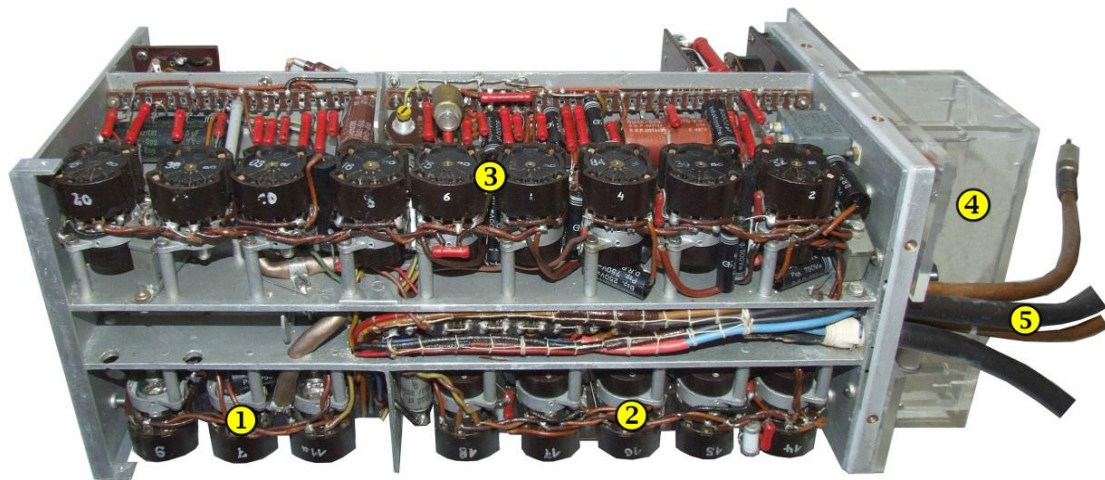


Bild 24 f

Fernsehkamera »Tonne I«
Unterseite/rechte Seite (perspektivisch)

- ① Impulsformerstufen ② Teilerstufen H- und V-Signal
③ Video-Vorverstärker mit Rücklauf-Austattung (rechts) und
Video-Endstufe mit Synchronsignal-Eintastung (links)
④ Mitnahmegenerator ⑤ Stromversorgungs- und Signalkabel (braun)

Die Lichtoptik für die Aufnahme des Bildes – hier das zuvor erwähnte Objektiv der Firma *Schneider*, Bad Kreuznach – befindet sich an der 170x170 mm messenden Stirnseite der Einheit. In seinem Strahlengang liegt auf der oberen rechten Seite des Gerätes das Fach für die Bildzerlegerröhre IS 9, zusammen mit Vorrichtungen zur Spannungstabilisierung und einigen Einstellgliedern (Bild 19 und 24b).

Am Ausgang des Ikonoskops steht das ‚niederfrequente‘ Videosignal (Basisband, ca. 0...2.5 MHz) zur Verfügung. Es besteht gewissermaßen aus einer Aneinanderreihung der in schneller zeitlicher Abfolge vom Ikonoskop gelieferten Augenblicksspannungen eines Bildes. Darin sind bis hierhin nur die Bildhelligkeitsinformationen enthalten. Sie werden zur Weiterverarbeitung dem Video-Vorverstärker zugeführt. Er liegt von der Seite gesehen rechts, von der in einem Metallrohr liegenden Bildzerlegerröhre sorgfältig abgeschirmt, unter dieser. Die zugehörigen Elektronenröhren, wohl ausnahmslos Universalpentoden des Typs RV 12 P 2000, sind in Längsreihe angeordnet (Bild 24b).

Dem Vorverstärker kommt neben der Signalanhebung die Aufgabe zu, das Frequenzband des Videosignals von der tiefsten zur Übertragung notwendigen bis zur höchsten im Bild enthaltenen Frequenz zu übertragen, und das möglichst linear. Die tiefste Frequenz stellt mit 0 Hz (‚Schwarzwert‘) nun aber gewissermaßen einen Gleichstromwert dar, der von einem RC-gekoppelten Verstärker nicht übertragen werden kann.

Andererseits sind mehrstufige Gleichstromverstärker hinreichender Verstärkung nur mit hohem Aufwand zu realisieren. Ausweg ist die untere Begrenzung des zu übertragenden Frequenzbandes auf etwa 10 Hz, und nachfolgend der Einsatz frequenzabhängiger Gegenkopplungen für darüber liegende höhere Frequenzen⁸. Die durch die Gegenkopplungen ‚gedämpfte‘ Verstärkung kann durch Hintereinanderschalten mehrerer Verstärkerstufen ausgeglichen werden.

Bei der »Tonne« war durch Gegenkopplung in mehreren Stufen und – so kann vermutet werden – weiteren linearisierenden Kompensationsmaßnahmen, aufgrund der vorliegenden Zeilen- und Bildwechselzahlen ein gleichmäßiger Amplitudengang des vom Ikonoskop kommenden Signals bis etwa 3 MHz zu gewährleisten. Dass dafür ein hoher Aufwand getrieben worden ist, kann man allein schon aus der eingesetzten Röhrenzahl (6) ablesen (Bild 24a und 24b). Nicht alle dienen allerdings der Signalverstärkung: So wird in einer der Stufen die Austastung des Rücklaufimpulses vorgenommen.

Die Verarbeitung des Videosignals erfolgt im Übrigen so, dass helle Bildstellen geringe, dunkle hohe Signalpotentiale ergeben (auch diese Aufgabe muss innerhalb des Vorverstärkers erledigt werden). Diese als Dunkelsteuerung bezeichnete Methode hat wesentliche Vorteile für eine stabile Bildübertragung zum Bildschreiber (Monitor):

Bei niedrigen Empfangsfeldstärken ergibt sich nämlich eine bessere Bildqualität dadurch, dass Störungen – z.B. durch Mehrwegempfang – nicht zu überstrahlenden hellen Lichtflecken auf dem Bildschirm führen, sondern zu Dunkelstellen, die vom Auge eher ‚toleriert‘ werden, und die bei nur leicht nachleuchtenden Bildschirmen nicht so lange ‚stehenbleiben‘.

Ein weiterer Vorteil ergibt sich aus der Tatsache, dass im Empfangsgerät die Maximalamplitude des Videosignals während der Synchronimpulse problemlos ‚erkannt‘ werden kann. Das eröffnet die Möglichkeit des Einsatzes einer automatischen Verstärkungsregelung (AGC), die Übersteuerungen zu vermeiden hilft.

Auf Bild 24f oben links befindet sich die Video-Endstufe. Hier werden dem Signal die Synchronimpulse für Zeile und Bild durch Modulation im Bremsgitter zugemischt (Bähring et al.), so jedenfalls, wenn man der Gravur auf der Plexiglas-Abdeckung folgt.

⁸ Da der Arbeitswiderstand der Bildabströhre mit 1 M Ω sehr hoch gewählt werden musste, werden die hohen Frequenzen andererseits stark benachteiligt, was ebenso durch geeignete Gegenkopplungsmaßnahmen ausgeglichen werden muss. Hier wirken also zwei gegenläufige Übertragungsparameter.

Dreht man die Kamera um 180°, wie in Bild 24d gezeigt, fällt zunächst der große Doppeldrehknopf ② auf. Er dient der manuellen Einstellung von Bildschärfe (Fokus) und Blende⁹.

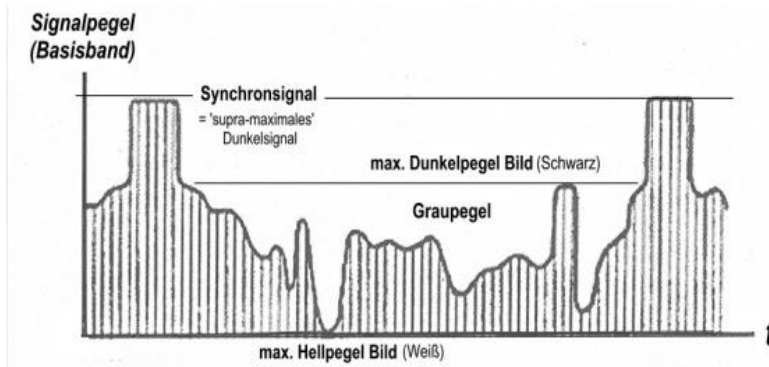


Bild 25
Basisband-Videosignal
mit Synchronsignalen
am Ausgang
des Video-Verstärkers
(Dunkelsteuerungssystem)

Im Fach darunter rechts sind die Impulsformerstufen untergebracht ①, die vermutlich für die Herstellung von Rechteckimpulsen für die Synchronisation zuständig sind. Sie sind erforderlich, um Sender und TV-Empfänger in Bezug auf Zeile und Bild exakt synchron zu halten. Zumeist werden die Synchronsignale in Multivibratorschaltungen erzeugt.

Links neben den Impulsformerstufen befinden sich Teilerstufen zur Erzeugung der Synchronsignale von 50 Hz (Bildwechselfrequenz) ④ und 11025 Hz (Zeilenrücklauf) ⑤¹⁰ und Taktgeber für die Zeilenablenkung (441 Zeilen) und den Bildwechsel (50 Hz für 50 Halbbilder).

Bei ⑤ liegt der Kipptransformator für die Horizontalablenkung, links daneben bei ⑦ der zugehörige Generator. Oben rechts, über dem Doppelknopf, befindet sich der Generator für die Vertikalablenkung ⑧.

Der Verstärker war, wie erwähnt, mit automatischer Verstärkungsregelung und Schwarzsteuerung ausgestattet. Die Ausgangsspannung betrug 1 V an 150 Ω.

v. Felgel-Farnholz [1] beschreibt die Signalaufbereitung beim »Seedorf A« wie folgt:

„Die zur Steuerung der Kippgeräte und zum Betrieb der Bildspeicherröhre benötigten Impulse werden von der Schwingung eines besonders frequenzstabilen Muttergenerators abgeleitet. An diesen Muttergenerator ist ein dreistufiger Teiler¹¹ [Bild 24d] angeschlossen, der aus der Zeilenfrequenz die Bildfrequenz erzeugt. Das Zeilenkippgerät arbeitet in Transformator-Kippschaltung mit einer RL 12 T 1 als Kipp röhre und einer RL 12 T 1 als Diode. Den Sägezahnstrom für die Bildablenkspulen liefert unmittelbar eine mittels RC-Rückkopplung zum Schwingen gebrachte kleine Röhre R V 12 P 2000. Die Stromversorgungsanlage ist dem Verwendungszweck entsprechend gebaut. Ein batteriegespeicherter rotierender Umformer liefert einen Wechselstrom von 500 Hz, an den in üblicher Art ein Transformator angeschlossen ist, der die nötige Betriebsspannung liefert.“

Interessant ist in diesem Zusammenhang, dass eine weitere Entwicklung in Richtung auf Verkleinerung der Komponenten, auch der Bildspeicherröhre, stattfand, die zum kleins-

⁹ Es wurde schon erwähnt, dass die für militärische Nutzung im Zielweisungssystem »Tonne«/»Seedorf« vorgesehene Kamera nicht über diese Bedienungsgriffe verfügte.

¹⁰ Die auf der Plexiglasabdeckung eingravierten Ziffern H/7x7x9 und HxH/7x7x7 sind einstweilen nicht geklärt. Es handelt sich vermutlich um Teilverhältnisse.

¹¹ Es handelte sich dabei um drei temperaturkompensierte Schwingkreise („Frequenzgeneratoren“, Stüwe S. 380), deren Frequenzstabilität zwischen -10 und +70° C bei 10⁻³ lag, für den Zweck völlig ausreichend.

ten zu dieser Zeit in Europa produzierten Aufnahmerohr mit Vorabbildungssystem führte (Bild im Anhang „Fundgrube“).

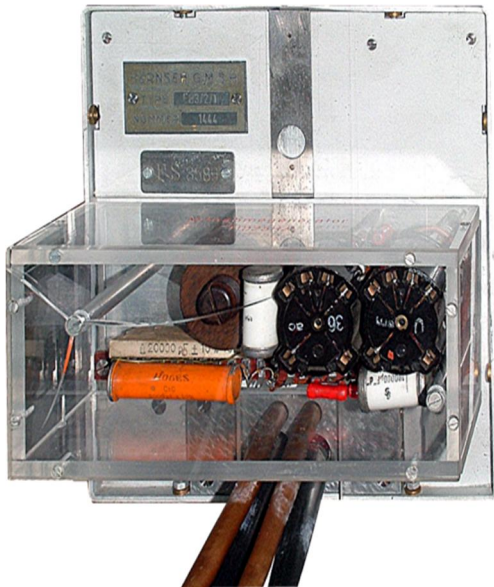


Bild 26 a
Kamera-Rückseite
Mitnahmegenerator
und Kabelausgang



Bild 26 b
Kamera-Typenschild
FB3/2/1

Bei *Schubert* finden sich Angaben zum Gewicht und zum Stromverbrauch des Kamerasystems der Hs 293 D. Danach wogen Kamera mit Gussgehäuse, Netzgerät und Batterien zusammen 28.3 kg. Wie Bild 5e zeigt, waren Kamera, das zugehörige Stromversorgungsgerät und der Converter für das HF-Signal im Vorschuh untergebracht, Umformer und Batterien, die auch für den Fernsehsender benötigt wurden, lagen dagegen im oben beschriebenen Zwischenring der Gleitbombe (Bild 5e).

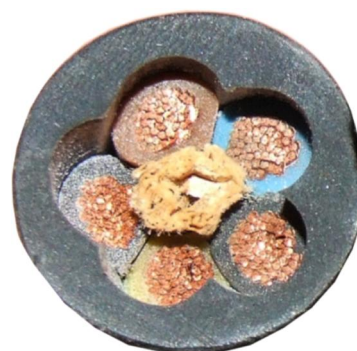


Bild 27 a/b
Fernsehkamera FB3/2/1
Stromversorgungskabel-Querschnitte

Die Betriebsspannungen für die Kamera und Sender wurden von einem 24 V-Nickel-Cadmium-Sammler (Fa. DEAC) und einem *Oemig*-Umformer bereitgestellt, der 36 V~/38 VA bei 500 Hz an ein Netzgerät lieferte, das über Transformation auch die Anodenspannung von 800 V für die Bildaufnahmeöhre erzeugte. Der Leistungsbedarf für Kamera nebst Netzgerät wird mit 120 Watt (5 Ampere bei 14 Volt) beziffert (*Schubert*).

Wichtig war, die Versorgungsspannungen der Bildspeicherröhre so zu stabilisieren, dass sich stärkere Spannungsschwankungen im Betrieb nicht auf die Bildqualität auswirken konnten. Dazu stabilisierte man nicht nur die Anodenspannung mit Hilfe einer Hochspannungs-Glimmröhrenkette (Bild 24a), sondern auch die Gleichspannungen für die Fokussierspule des Strahlerzeugungssystems und für die magnetische Elektronenlinse des Vorabbildungssystems durch eine speziell dafür vorgesehene Röhrenschtaltung. Ein Eisen-Wasserstoff-Widerstand hielt zudem den Heizstrom der Röhre konstant (weitere Details bei *v.Felgel-Farnholz* [1] und bei *Stüwe*).

Wie in Bild 19 zu erkennen, liegen Aufnahmeoptik und Bildspeicherröhre in der Längsachse des Kameragehäuses. Die Einheit wird zur Vermeidung von Einstreuungen von einem Metallrohr (μ -Metall¹²) umschlossen, durch das nur die Anschlüsse der Ablenkspulen hindurchtreten.

Die Bauelemente liegen auf separaten, gegeneinander abgeschirmten Teilchassis neben den in Reihe angeordneten Elektronenröhren. Bei der frühen Version der Kamera, Typ K 11, wurden insgesamt 29 Röhren verwendet, wenn man die Hilfsröhren für die Stabilisierung mitzählt:

11 für die Verstärker, für die Strahlablenkung 3, für die Impulserzeugung und Frequenzteilung 12 und 3 für die Stabilisierung.

¹² Beim μ -Metall, besser μ -Metall) handelt es sich um eine weichmetallische Nickel-Eisen-Legierung mit 75 bis 80 % Nickel. Die Legierung wird wegen seiner hohen Permeabilität (μ_p 50 000 – 140 000) u. a. für Abschirmzwecke niederfrequenter magnetischer Felder eingesetzt. Dazu wird es zu Blechen ausgewalzt, die mechanisch beliebig bearbeitet und geformt werden können.

Der Bildsender der Hs 293 D

Vorbemerkungen

Die folgende Beschreibung des Fernsehenders der Hs 293 D wird manchem Leser übertrieben ausführlich erscheinen. Dass die Darstellung an dieser Stelle bis ins Detail geht, hat – aus meiner Sicht – gute Gründe:

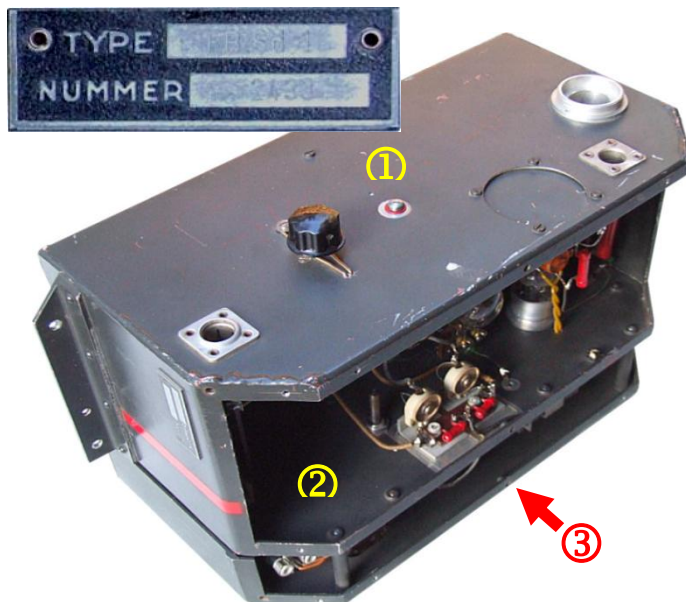


Bild 27
Fernseh-Bildsender
der Hs 293 D
 (Abschirmhaube abgenommen)

- ① Frontseite
mit Frequenzabstimmknopf,
Prüf- bzw. Messbuchsen
und Antennenausgang
- ② Oszillator- und Modulationsfach
- ③ Fach für Video-Endstufe
und ‚Arbeitspunkt-Baugruppe‘
(vgl. Text)

Links oben: Typenschild
 Type *FB.Sd/1*
 Nummer 2433

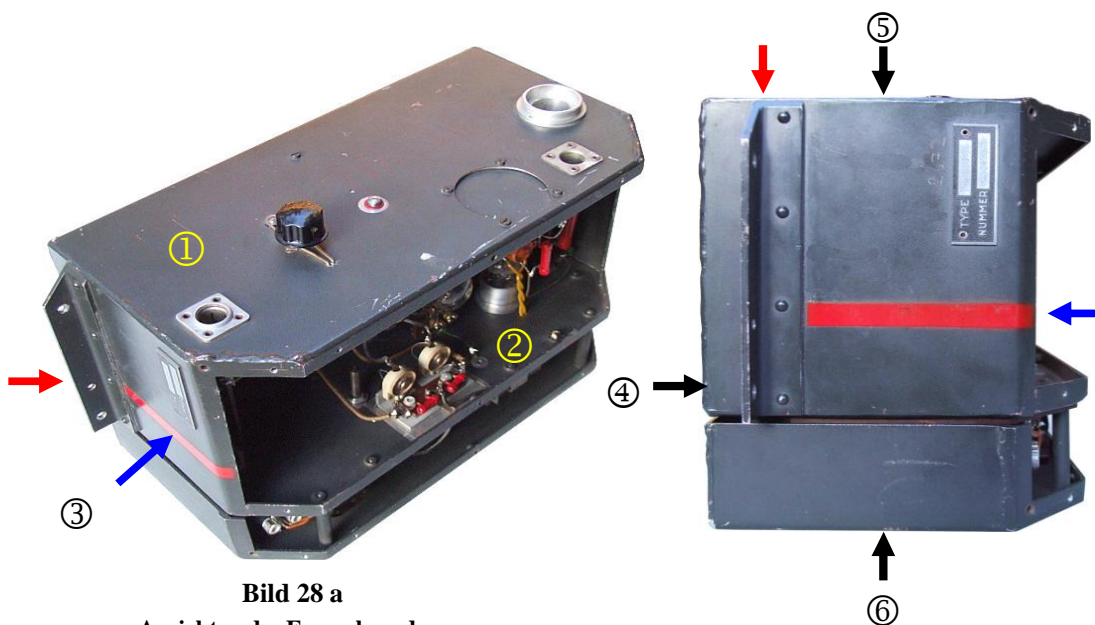


Bild 28 a

Ansichten des Fernsehenders

- ① Frontseite ② Oberseite
- ③ rechte Seite mit rotem Farbstreifen
(blauer Pfeil)
- Montagewinkel (roter Pfeil)

Bild 28 b

Rechte Gehäuseseite

- ④ Gehäuse-Unterseite ⑤ Frontseite
- ⑥ Rückseite
- Roter Pfeil: Montagewinkel

Zum einen ergibt sich dadurch die Möglichkeit zu zeigen, an welcher Grenze damaliger technischer Möglichkeiten ein Verlustgerät von bestechender Einfachheit und hervorragender Leistungsfähigkeit, zugleich aber mit möglichst geringem Kostenaufwand, von den seinerzeitigen Ingenieuren entwickelt und gebaut worden ist. Dazu passt die außerordentliche Raffinesse des Schaltungsdesigns, wie sich im Folgenden zeigen wird. Nimmt man Zeitdruck und Materialknappheit hinzu, mit denen die Entwickler zurecht kommen mussten, sind die erreichten Ergebnisse umso bemerkenswerter.

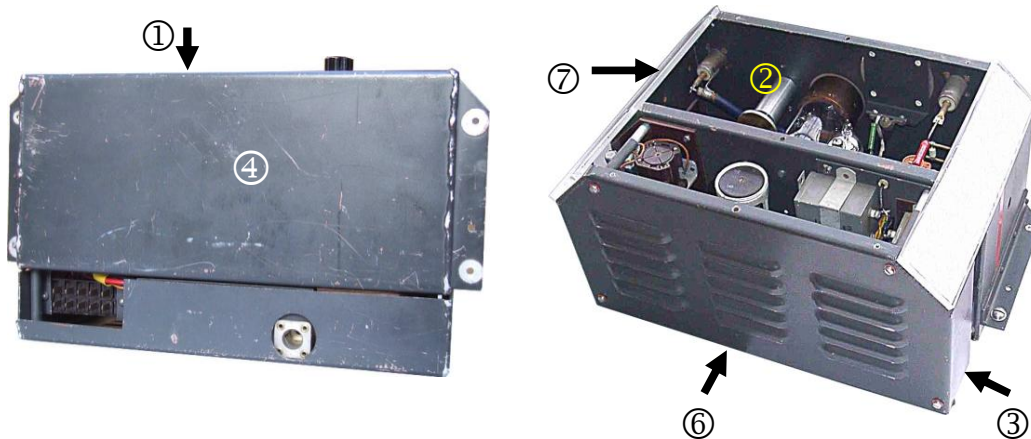


Bild 29 a/b

Fernseh-Bildsender

Links: Gehäuse-Unterseite

① Frontseite ④ Unterseite

Rechts: Rück- und Oberseite des Gehäuses

② Oberseite ③ rechte Seite ⑥ Gehäuse-Rückseite ⑦ linke Gehäuseseite

Ottmar Rücker, vor einigen Jahren am *Deutschen Technik-Museum Berlin* (DTMB) beschäftigt, hatte den Versuch unternommen, die durch keine Quelle belegte Schaltung am Gerät zu rekonstruieren, wobei ihm – wie sich bei kritischer Analyse ergab – etliche Fehler unterlaufen waren. Das ist keineswegs darauf zurückzuführen, dass er nicht sorgfältig gearbeitet hätte. Wer einmal versucht hat, die Schaltung eines komplexen elektronischen Gerätes nachzuvollziehen, kennt die dabei auftretenden Schwierigkeiten, namentlich, wenn sich die Freilegung von Baugruppen bei einem musealen Objekt verbietet. Die *Rücker'sche* Schaltung wurde trotz ihrer Unzulänglichkeiten Grundlage weiterer Nachforschungen, die schließlich zur Entschlüsselung der Funktion des Senders durch den Autor zusammen mit *Günter König* und *Harry von Kroge*, zwei Kennern der Fernseh- und Dezimeterwellentechnik, führten (s. w. u.).

Das aber war nur möglich durch die mir von *Josef Hoppe*, Leiter der Fernmeldeabteilung im DTMB, eröffnete Gelegenheit, das Gerät für einige Tage sehr sorgfältig zu untersuchen und durchzumessen. Das Zusammenspiel solch' günstiger Umstände erlaubte schließlich die zuverlässige Funktionsbeschreibung dieses außerordentlich seltenen Gerätes, zu dem sich in der Literatur so gut wie keine detaillierten Informationen finden lassen.

Übersicht

Die in die Gleitbombe Hs 293 D eingebaute Fernsehkamera »*Tonne*« produzierte – wie erwähnt – ein Basisband-Video-Signal, das aus Helligkeitsinformationen mit zugemisch-

ten Synchronisierungsimpulsen bestand. Mit ihm wurde der einstufige TV-Sender moduliert.

Es handelt sich bei letzterem um einen leistungsstarken Oszillator, der maximal 20 Watt HF-Leistung auf einer Frequenz von zwischen 400 und 480 MHz¹³ erzeugen konnte¹⁴, die ohne Zwischenschaltung eines Antennenanpassgerätes zur symmetrisch gespeisten Sendeantenne des Lenkkörpers – einer 5 Element-Yagi – weitergegeben wurden.

Die Baugruppe war auf das an anderer Stelle beschriebene (verlängerte) Montagebrett der Hs 293 D geschraubt (vgl. Teil I: Mechanik und Funk-Fernlenkung von Fall- und Gleitbomben). Alle Betriebsspannungen lieferte ein 24 V-Sammler (BB = Bordbatterie), von dem zwei Umformer, einer für die Bereitstellung der Anodenspannung, der andere, ein Oemig-Wechselstrom-Umformer (500 Hz), für die Erzeugung der Heizspannungen von Oszillatortriode und Modulationsdiode, ihre Betriebsspannung erhielten.

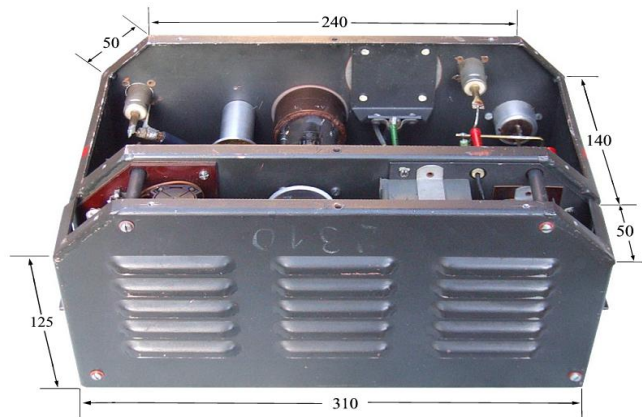


Bild 30
Abmessungen des Bildsenders



Bild 31
Bauteilechassis des Bildsenders
Links: Front- und Oberseite
Rechts: Chassis mit allen Bauelementen

¹³ Zur Frequenz des Fernsehsenders findet sich in der verwendeten Literatur keine präzise Angabe, es wird dazu lediglich das 70 cm-Band angegeben. Eigene Messungen haben ergeben, dass dies – zumindest beim vorliegenden Beleggerät – unzutreffend ist, die tatsächliche Sendefrequenz lag bei ihm deutlich höher! - Über die Versuche, eine geeignete Sendefrequenz für die Bildübertragung zu finden, kann bei *Stüwe* und *von v.Felgel-Farnholz* nachgelesen werden. Danach sind bereits ab 1942 ausgedehnte Versuche dazu durchgeführt worden. Die Gleitbombe Hs 293 D sollte vorwiegend zur Vernichtung feindlicher Schiffstonnage eingesetzt werden, wobei auf durchgängig ‚optische Sicht‘ zwischen dem Lenkschützen im werfenden Flugzeug und dem Ziel verzichtet werden konnte, sobald die Kamera dieses erfasst hatte. Sie sollte gewissermaßen das Auge des Schützen ersetzen. Das Hauptproblem, das sich bei Übertragungen zwischen bewegten Objekten ergab, waren Reflexionen an der spiegelnden Wasseroberfläche, durch die Doppelbilder entstanden und Synchronisationsschwierigkeiten zwischen Sender und Empfänger auftreten konnten. Ein weiteres Problem ergab sich durch *Doppler*-Effekte. Letztendlich erwies sich eine Wellenlänge von etwa 70 cm als am besten geeignet, und durch Verwendung einer bündelnden Richtantenne am Lenkkörper hatte man einen gewissen Schutz vor Entdeckung bzw. gegen Funkstörversuche des Gegners.

¹⁴ Bei Betrachtung des Standes der damaligen Röhrentechnik ist dies als außerordentliche Ingenieurleistung anzusehen, die vor allem den Spezialentwicklungen der *Fernseh GmbH* zu verdanken war (s. u.).

Der Leistungoszillator mit Modulationsdiode und Prüfeinrichtungen ist im Fach ② auf Bild 27 untergebracht, die Baugruppe mit dem Endverstärker für das Videosignal und den Bauteilen zur Aufbereitung der zugeführten Versorgungsspannungen bei ③.

Der mechanische Aufbau des Senders

Für die Beschreibung des Gerätes ist es erforderlich, einheitliche Orientierungsbezeichnungen zu verwenden. Zur Erläuterung der im Folgenden gewählten Konventionen dienen die Bilder 29a/b. Alle Seitenbezeichnungen sind bezogen auf die Befestigungswinkel, die sich seitlich am Gerät, nahe der Unterseite, befinden (roter Pfeil in Bild 28a/b). Einen Eindruck von den Größenverhältnissen des kompletten Fernsehenders (ohne Stromversorgungseinrichtungen) vermittelt die mit Maßpfeilen versehene Abbildung 30. Aus ihr geht der außerordentlich kompakte Aufbau des Gerätes hervor. In einem Volumen von nicht einmal sieben Litern ($6\ 885\ \text{cm}^3$) sind sämtliche Schaltelemente untergebracht – Röhren, Heiztransformatoren, *Lecherleitung*, Kondensatoren und Widerstände.

Wie in Bild 28a zu erkennen, besteht das Senderchassis aus einem im Querschnitt U-förmigen, zu einem Stück zusammengeschweißten, 2 mm dicken Stahlblech, auf dem sämtliche Bauelemente montiert sind; die übrigen Teile dienen lediglich als Gehäuse.



Bild 32
Frontseite des Senderbausteins

Anschlussfeld für Antennenanschluss, Messbuchsen und Drehknopf für die Feinabstimmung der Senderfrequenz

Blauer Pfeil: Schweißnaht

Zwei Aluminiumhauben schirmen die Baugruppe nach außen ab. Eine von ihnen überdeckt den schmaleren Aufbauteil (untere Bauteilgruppe in Bild 29b, vgl. auch Bild 28b) und bildet die Rückseite des Senders. Drei Reihen von sog. ‚Haikiemen‘-Durchbrüchen sorgen für hinreichende Luftzirkulation zwecks Kühlung der Elektronik (Bild 29b, Bild 30), vor allem der Röhren und der Eisen-Wasserstoff-Widerstände. Die Haube besitzt an ihrer schmalen Seite nur zwei Durchbrüche, eine für die Koaxialbuchse zur Einspeisung des Video-Eingangssignals, die andere für die Messerkontaktleiste zur Spannungsversorgung (Bild 29a).

Auf der mit dem U-Winkel verschweißten Frontseite befinden sich von rechts nach links: Eine Koaxialbuchse (*Siemens*) zum Anschluss eines Diodenvoltmeters, der Drehknopf zur Feinabstimmung der Senderfrequenz, eine Halteschraube für die Oszillatordöhre TU 50, ein durch ein Blech verschlossener Durchbruch unbekannter Bedeutung, eine Koaxialbuchse (*Siemens*) zum Anschluss eines Prüfmonitors für das Bildsignal und eine große zweipolige Buchse, an der die HF-Ausgangsleistung symmetrisch abgenommen werden kann (Bild 32).

Ein abgewinkeltes Abschirmblech, ebenfalls mit Kühldurchbrüchen versehen (vgl. Bild 34a), überdeckte ursprünglich die Oberseite des Senders; es ist beim vorliegenden Ge-

rät offenbar verlorengegangen und für museale Zwecke durch eine dreiteilige schriftgravierte Plexiglasabdeckung ersetzt worden.

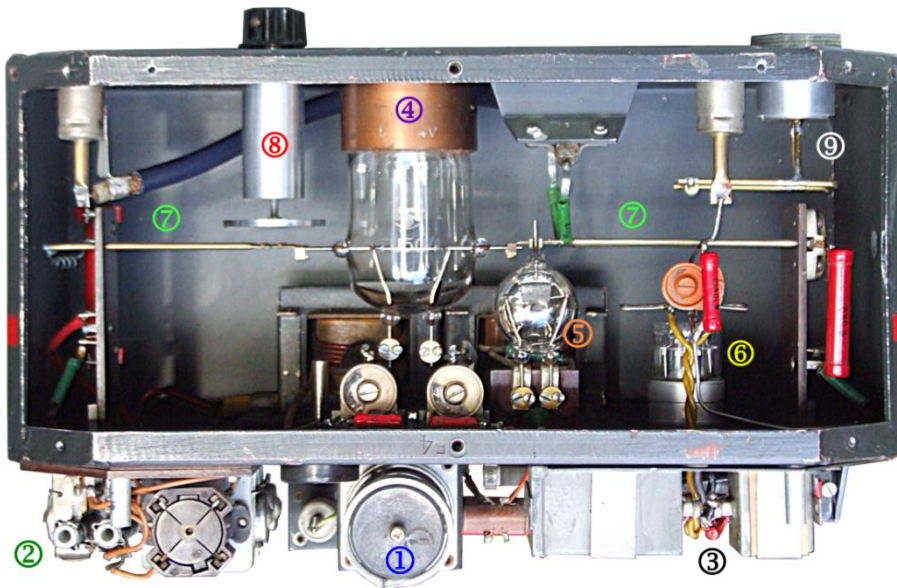


Bild 33

Verteilung der Bauelemente auf dem doppelseitig bestückten Senderchassis

- ① Video-Endröhre am Video-Eingang
- ② Stromregelteil
- ③ Bauelemente für die Arbeitspunkteinstellung von Oszillator- und ‚Modulationsröhre‘
- ④ Oszillatortriode TU 50
- ⑤ ‚Modulationsdiode‘ DU 10
- ⑥ Gleichrichter für Monitorausgang
- ⑦ Lecherleitung
- ⑧ Frequenz-Feinabstimmung
- ⑨ HF-Ausgangsbuchse

Bild 34

Komponenten des Fernsehenders mit Stromversorgungs- und Batterieteil für Sender und Kamera (?)
(aus Schubert, bearbeitet)

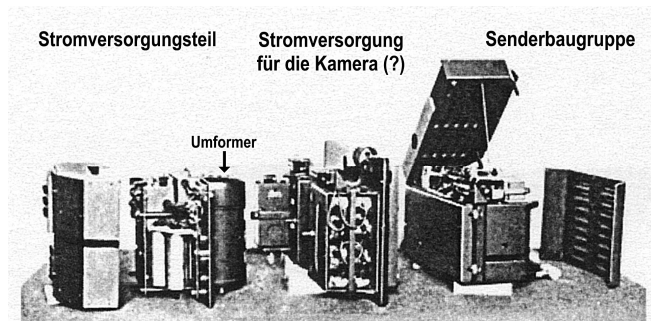


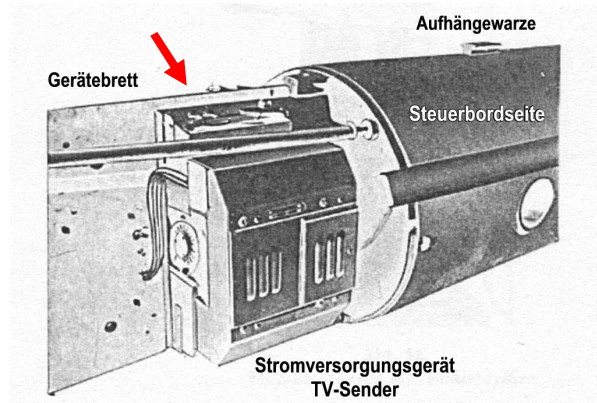
Bild 35

Stromversorgungsgerät für den Fernsehender am verlängerten vorderen Teil des verlängerten Gerätebrettes einer Hs 293 D

Der Sender war auf der Backbordseite gegenüber dem Stromversorgungsteil montiert (Pfeil)

(aus Schubert, bearbeitet)

TV-Sender und dessen Stromversorgungsteil sind am Gerätebrett platzsparend hochkant montiert. Beim Sender würde das einer Einbaubreite von 190 mm entsprechen. Dahinter wären dann noch ca. 130 mm Platz für den Einbau von Batterien.



Aus dem Aufbau des auf der Gegenseite des Gerätebrettes liegenden Stromversorgungsteils (Bild 35) geht hervor, dass Sender und Netzteil mit Abschrägungen (z. B.

blauer Pfeil in Bild 32) so gebaut waren, dass sie sich in den Innenraum des Zwischenringes der Zelle (vgl. »Lenkkörper« Teil 1) vollkommen anpassen. Eine derartig ‚antipodische‘ Montage garantiert kürzeste Verbindungsleitungen zwischen diesen Baugruppen, von denen einige hohe Ströme führen. *Schubert* gibt den Leistungsbedarf des Senders und seines Netzgerätes mit 288 Watt (12 Ampere bei 24 Volt) an.

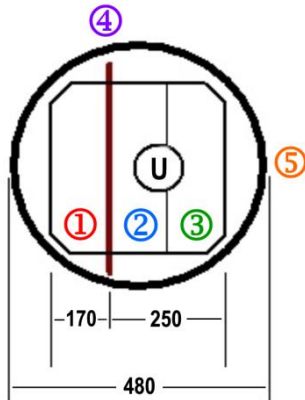


Bild 36

Schematischer Querschnitt durch die Zelle der Hs 293 D

- ① TV-Sender
 - ② + ③ Stromversorgung
 - ④ Gerätebrett ⑤ Zellenwand
- Rechts = Steuerbord der Hs 293 D
(Angaben in mm)

Bild 34 zeigt den Fernsehsender und sein ‚Netzgerät‘ mit Stand von Ende 1942. Die mittlere Baugruppe kann gegenwärtig noch nicht eindeutig identifiziert werden, es scheint sich um ein Passteil unterhalb des Stromversorgungsteils zu handeln, das in seiner Mitte die Rundung des Umformers (U in Bild 36) aufnimmt und das evtl. auch Teile des Batteriesatzes (DEAC-Akkus) enthält.

Nach Bild 5e war die Stromversorgung für die Kamera im Vorschuh untergebracht. Dessen Tiefe von ca. 55 cm bot genügend Platz dafür direkt unterhalb des Kameragehäuses. Die Kamera selbst belegte eine Einbautiefe von ungefähr 45 cm einschließlich der Kabelabgänge.

Betrachtet man die vorliegenden Bilder, so scheint immerhin festzustehen, dass das Gerätebrett asymmetrisch im Geräte teil der Zelle, d. h. nicht in dessen vertikaler Mittellinie, befestigt war. Dafür spricht die Aufbauhöhe des Sender-Stromversorgungsgerätes einerseits (Höhe geschätzt: 250 mm) und der Senderbaugruppe (Höhe gemessen: 170 mm) auf der anderen Seite (vgl. Bild 36).

Nicht vollständig geklärt ist die Lage der erforderlichen Batterien. Sie müssten für Kamera und Fernsehsender zusammen 408 Watt (17 A bei 24 V) für maximal 2 Minuten zur Verfügung gestellt haben. Geeignet dafür wären insbesondere gasdichte und auslaufsichere Sammler mit pastösem Elektrolyten und hoher Energiedichte. Nach *Münster* wurden DEAC-Zellen der Fa. *Deutsche Edison-Akkumulatoren-Company GmbH - Varta* verwendet, vermutlich Nickel-Eisen- oder Nickel-Cadmium-Sammler.

Die in Bild 36 wiedergegebenen Maße beruhen z. T. auf Schätzungen (Stromversorgungsteil, Lage des Gerätebrettes), die übrigen auf Messungen oder Literaturangaben. Die endgültige Klärung der Anordnung steht aus.

Anordnung der elektronischen Bauteile auf dem Chassis

Die Bauteile sind auf zwei gut gegeneinander abgeschirmte Fächer verteilt (Bild 29b, 30 und 33). Eine erste funktionelle Grobeinteilung enthält folgende Baugruppen:

- (1) Video-Eingangsteil mit der Video-Endröhre LV 1 ①,
- (2) Stromregelteil für die Heizung der Oszillatortriode TU 50 und der Modulationsdiode DU 10 ②,
- (3) Oszillatorröhre TU 50 ④ nebst *Lechersystem* ⑦, HF-Auskoppelschleife ⑨ und Feinabstimmungsscheibe ⑧ und Heizspannungszuführung,
- (4) Modulationsdiode DU 10 ⑤ mit ihrem Heizsystem,
- (5) Bauteilegruppe für die Arbeitspunkteinstellung von TU 50 und DU 10 ③,
- (6) Monitordiode LG 1 ⑥.

Die Baugruppen werden im Folgenden in dieser Reihenfolge im Detail beschrieben und mit Bildern belegt. Eine gute Hilfe zur Orientierung bietet die vereinfachte Übersichtsschaltung Bild 37, welche die farblich gekennzeichneten Funktionsgruppen zeigt.

Baugruppen des Video-Senders

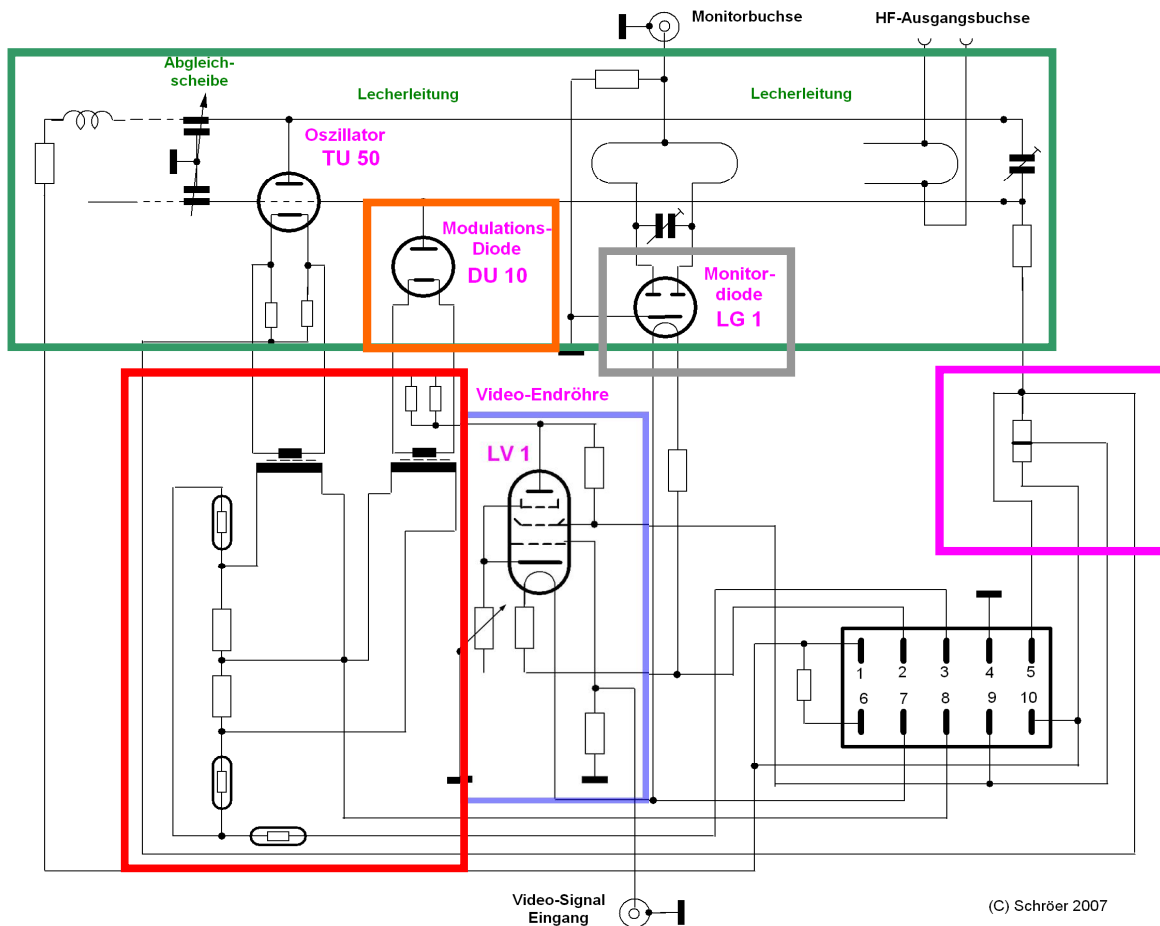


Bild 37

Vereinfachtes Schaltbild des Senders mit funktionalen Baugruppen

Blau: Video-Endstufe **Rot:** Stromregelteil **Grün:** Oszillatorbaugruppe mit Lechersystem
Orange: Modulationsdiode **Violett:** Arbeitspunkteinstellung **Grau:** Monitordiode

Über eine *Siemens*-Koaxialbuchse gelangt das Videosignal auf das Gitter der steilen Leistungsverstärkerstufe. Sie liegt auf dem schmalen unteren Teil des Chassis. Die weiteren hier untergebrachten Bauelemente sieht man auf den Bildern 38 und 39.

Zu erkennen sind drei funktionelle Gruppen:

In der Mitte die Video-Endstufe mit einer LV 1, eigentlich Leistungsverstärker zur Anhebung des zur Modulation des Senders erforderlichen Leistung (①), links daneben das Stromregelteil für TU 50 und DU 10 (②), rechts Widerstände und Kondensatoren für die Arbeitspunkteinstellung der im Sender eingesetzten Röhren (③).

Liegend – auf einem Blechwinkel montiert – erkennt man die Verstärkerröhre für das Video-Signal; damit kann die Bauhöhe dieser Montageseite niedrig gehalten werden. Die Eingangsbuchse für das Video-Signal liegt in unmittelbarer Nähe des Steuergitters der LV 1 (gelber Pfeil in Bild 39b).

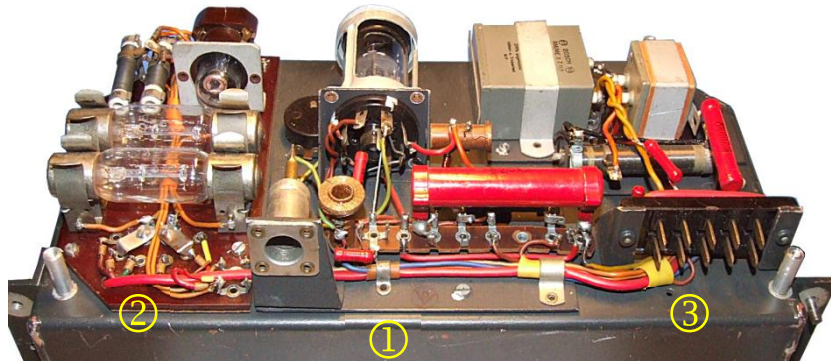


Bild 38

Bauelemente auf dem schmalen Chassisteil

- ① Video-Endstufe ② Stromregelteil ③ Bauteile zur Arbeitspunkteinstellung

Das Signal wird zwischen dem Gitterableitwiderstand W11 (1 M Ω , ½ W) und der Drossel-Widerstandskombination Dr3 (430 μ H) / W13 (3 k Ω , ½ W) eingespeist. Das in der Kathode der LV 1 liegende Potentiometer P1, eine drahtgewickelte Ausführung in Plastikgehäuse, ragt mit seiner Achse in den Oszillatorteil des Chassis. Besonderheit: Es ist mit nur einer Lötfläche angeschlossen, so dass es zunächst den Anschein hat, als sei dieser Schaltungsteil unvollständig ausgeführt. Eine Messung ergibt dann aber, dass der Schleifer über die Verschraubung des Potentiometers mit Gehäuse-Masse verbunden ist; ungewöhnlich!

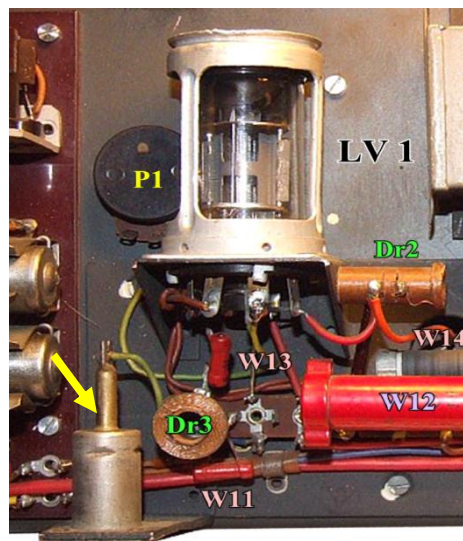
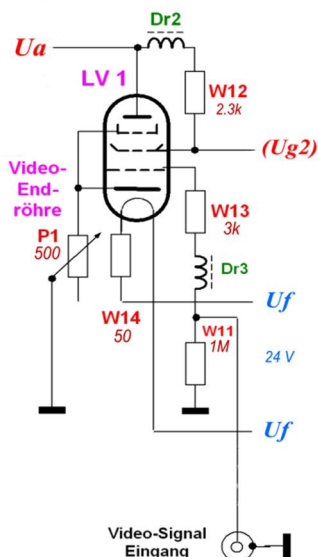


Bild 39 a/b
Schaltung
und Realbild
des
Video-Endverstärkers

Gelber Pfeil:
Eingangsbuchse
für das Video-Signal

Die Schirmgitterspannung wird über eine in Serie liegende Drossel-Widerstandskombination Dr2 (41 μ H) / W12 (2.3 k Ω , ca. 5 W) zugeführt, die an der Anodenspannung liegt (Bild 38a). W12 ist ein hochbelastbarer Kohlewendel-Widerstand.

Die Stromregelung

Als Strombegrenzung für die Heizung von Oszillatortriode und Modulationsdiode sind zwei unterschiedliche Typen von Stromregelröhren vorgesehen. Der in Bild 40a eingezeichnete *Urdox*-Widerstand¹⁵, er liegt in der gemeinsamen Zuleitung der beiden Heiztransformatoren, dient dazu, den beim Einschalten entstehenden Stromstoß abzufangen, da in dieser Situation der Heizfadenwiderstand noch sehr niederohmig ist (Kaltleitereigenschaft der überwiegend aus Wolframdraht bestehenden Heizfäden). Der Heizstrom würde bei ungeschützten Heizfäden für kurze Zeit bis auf den 5- bis 7fachen Wert des vorgesehenen Betriebswertes ansteigen, was zu ihrem Durchbrennen führen könnte. Im Interesse der Betriebssicherheit der Röhren für ein im Einsatz außerordentlich kostspieliges System hat die Vermeidung eines Röhrenausfalls natürlich absolute Priorität.

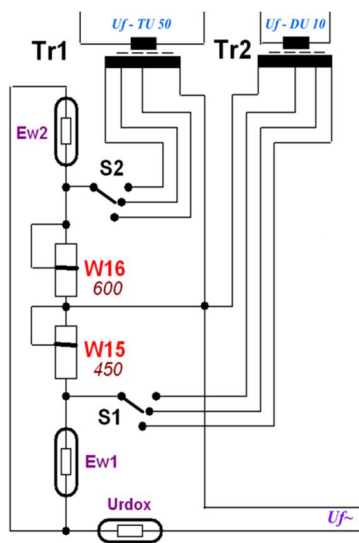


Bild 40 a/b
Schaltung und Realbild
des Stromregelteils der
Wechselstrom-Heizkreise
von TU 50 und DU 10

Ew1 / Ew2
Osram
Ew 0506 M 6-18 V, 0.5 A
Urdox
AEG Osram
Urdox U3/100 p11
S1 / S2 - Platinschalter

Urdox-Widerstände verhindern aufgrund ihrer temperaturabhängigen Kennlinie das kurzzeitig extreme Ansteigen des Einschaltstromes.

Der Name des Bauelements weist auf dessen ursprüngliches Widerstandsmaterial hin. Vor 1934/35 bestanden diese Spezialwiderstände tatsächlich aus dem hochgiftigen, spröden und deshalb technisch nicht einfach handhabbaren *Urandoxid* UO_2 (bei feiner Verteilung spontan explosionsfähig). Wegen mangelnder Sauerstoffbeständigkeit musste der Widerstandskörper im Vakuum oder in einem Schutzgas untergebracht werden. Später wurde Urandoxid durch ein in Deutschland verfügbares Widerstandsmaterial mit Halbleitereigenschaften – das *Magnesium-Titan-Spinell*¹⁶ – ersetzt. Beim *Osram* U3/100 wird vermutlich dieses Verwendung gefunden zu haben.

Beide – *Urandoxid* und *Mg-Ti-Spinell* – weisen bei Erwärmung ein anderes Verhalten auf als Eisen-Wasserstoff-Widerstände. Der relativ hohe Kaltwiderstand vermindert sich innerhalb einiger Sekunden auf den Nennwert, ein Einschaltstromstoß wird dadurch wirkungsvoll abgefangen. Die Kennlinie der Widerstandsabnahme verläuft dabei zunächst flach, nach einigen Sekunden aber steil bis zum Erreichen der vorgesehenen Ar-

¹⁵ geschützter Name der Fa. *Osram*

¹⁶ *Magnesium-Titan-Spinell* $TiMg_2O_4$ besitzt ein dicht gepacktes Ionenkristallgitter. Eigenschaften der Verbindung sind hohe Dichte und Schmelzpunkt, große Härte und hohe chemische Stabilität. Das Oxid weist Halbleitereigenschaften auf.

beitstemperatur (Bild 41c). Der Spannungsabfall über dem *Urdox* bleibt dann im Betrieb sehr gering (Heißleiter-Eigenschaften), deshalb auch die Erwärmung des Bauteils.

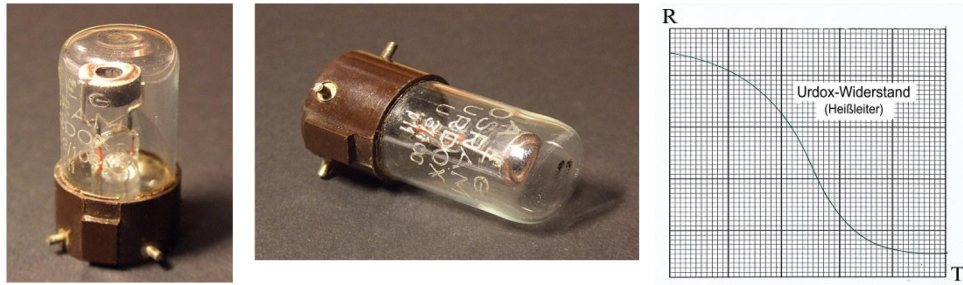


Bild 41 a-c

Urdox-Widerstand AEG-Osram U 3/100 p11 mit idealisierter Widerstandskennlinie

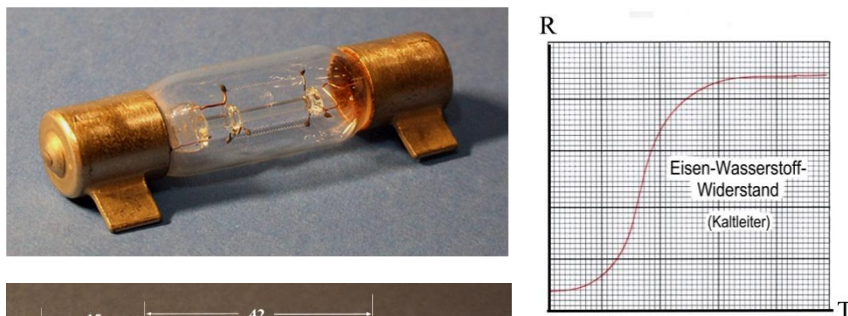


Bild 42 a-c

Eisen-Wasserstoff-Widerstand
Osram EW 0506M
mit idealisierter
Widerstandskennlinie

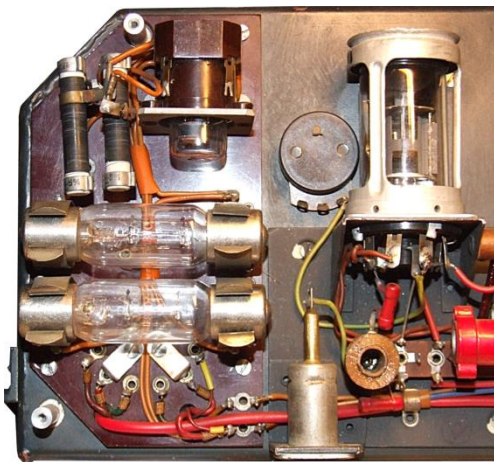


Bild 43

Zum Größenvergleich zwischen einer LV1
und den Eisen-Wasserstoff-Widerständen

Im vorliegenden Fall wird ein von den Firmen *AEG/Osram* gebauter, mit speziellem 4poligem Sockel ausgestatteter *Urdox*-Widerstand mit der Bezeichnung U3/100 eingesetzt, sie verrät die Betriebsdaten:

Der Stromregler-Widerstand ist für eine mittlere Spannung von 3 V ausgelegt bei einem Strom von 1 A¹⁷.

Bei den getrennt vor den Heiztransformatoren für die TU 50 und die DU 10 liegenden Eisen-Wasserstoff-Widerständen Ew1 und Ew2 handelt es sich um verhältnismäßig große, mit Wasserstoffgas gefüllte Glasröhren mit ‚geflügelten‘ Endkappen, die in Schlitze spezieller Fassungen einrasten. Im Innenraum der Glasröhre ist ein

dünnere, fein spiralisierter, gefalteter Draht aus Weicheisen zwischen Metallauslegern ausgespannt (Bild 42a). Es handelt sich bei diesen Bauteilen um von der Firma *Osram*

¹⁷ Bei *Osram-Urdox*-Widerständen wurde der Nennstrom in 10 mA-Schritten angegeben, also 100 hinter dem Schrägstrich entspricht 1000 mA.

Berlin hergestellte Strombegrenzerröhren des Typs *Ew 0506M* für einen Bereich zwischen 6 und 18 Volt bei einem (maximalen) Strom von 0.5 A. Ihr Kaltwiderstand wurde durch Messung mit 3.3Ω ermittelt.

Im Gegensatz zum *Urdox* ist es Aufgabe der Eisen-Wasserstoff-Widerstände, die Obergrenze des Heizstromes festzulegen. Das gelingt dadurch, dass sie ausgeprägte Kaltleiter-eigenschaften besitzen, die allerdings mit Verzögerung wirksam werden. In kaltem Zustand ist ihr Widerstand sehr niedrig, um bei Erwärmung auf etwa 700°C *sprunghaft* anzusteigen. Ursache dafür ist die plötzlich einsetzende Erhöhung der Löslichkeit von Wasserstoff im Eisen an Stellen des bei dieser Temperatur dunkelrot zu Glühen beginnenden Drahtes. Steigt die Spannung über dem Widerstand infolge höheren Stromflusses an, weitet sich die ‚Glühzone‘ aus, der Widerstand steigt weiter an, bis der gesamte Eisendraht erfasst ist. Nur an Stellen, an denen die Wendel glüht, kommt es zur Lösung des Wasserstoffs im Eisen und damit zur Widerstandserhöhung¹⁸.

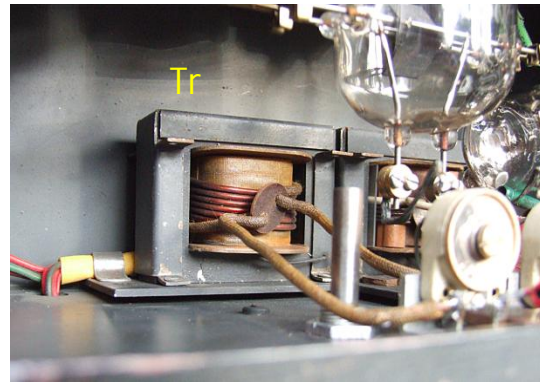
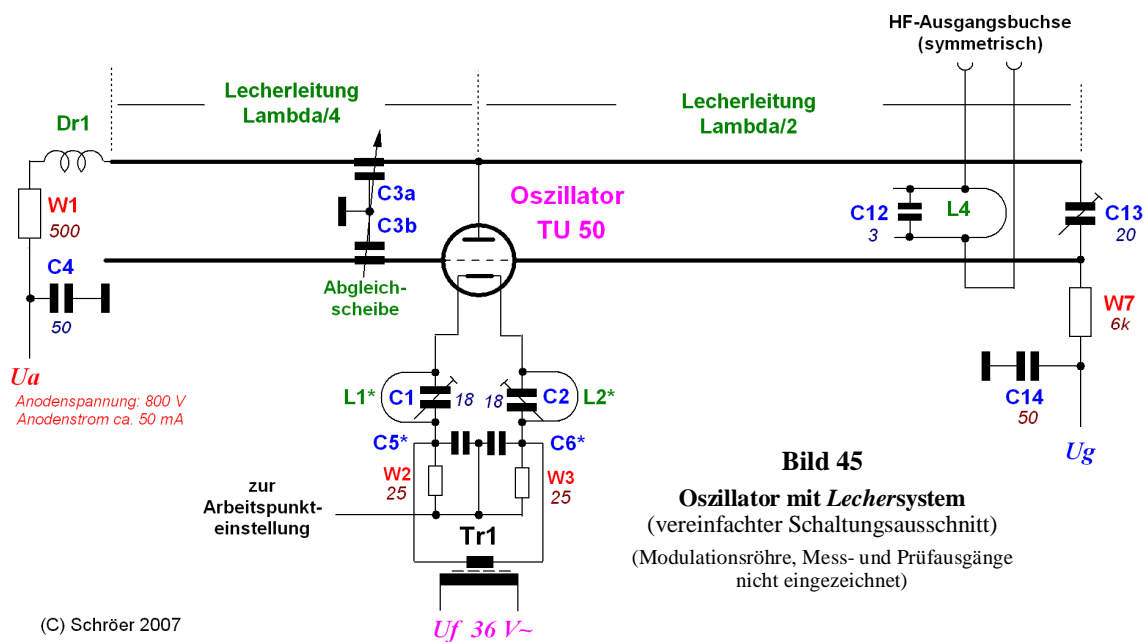


Bild 44
Heiztransformator der TU 50 (Tr)



¹⁸ Wasserstoff bildet bei der ‚Lösung‘ in Eisen sog. Einlagerungskristalle, wobei die Legierungselemente nicht auf regulären Gitterplätzen des Eisens liegen, sondern auf sog. Zwischengitterplätzen. Wasserstoff kann sich im Metall nur atomar einlagern, so dass das im Röhrenkolben vorhandene molekulare Wasserstoffgas H_2 zunächst in $\text{H} + \text{H}$ aufgespalten (dissoziiert) werden muss. Dies geschieht bei der Erwärmung des Eisendrahtes durch Stromfluss (thermische Dissoziation), weil dadurch das Kristallgefüge des Eisens ‚aufgelockert‘ wird, Voraussetzung für das Eindringen von Wasserstoffatomen. Vereinfacht dargestellt behindert die Einlagerung von Wasserstoffatomen auf Zwischengitterplätzen die Elektronenbewegung der Metallelektronen (Leitfähigkeit), gleichbedeutend mit einer Widerstandserhöhung des Fadens. Der physikalische Effekt ist reversibel, d. h. bei Abkühlung der Wendel tritt Wasserstoff aus dem Eisen aus und reassoziert zu H_2 .

Die mit zeitlicher Verzögerung eintretende Widerstandserhöhung (Bild 42b) macht EW-Widerstände für das Abfangen des Einschaltstromstoßes in Heizkreisen von Elektronenröhren ungeeignet! Man kombiniert sie deshalb sinnvollerweise mit einem *Urdox*-Widerstand.

Auf Bild 40 und 43 ist knapp unterhalb der beiden Eisen-Wasserstoff-Widerstände ein interessantes Detail zu erkennen:

Auf der *Pertinax*-Trägerplatte sind bei S1 und S2 je drei Lötösen so eingietet, dass eine Kontaktzunge wahlweise auf eine von ihnen eingestellt und mittels einer Schraube fixiert werden kann. Eine Lötflanke ermöglicht die Verbindung mit dem Heiztransformator. Diese Einrichtung dient der präzisen Einstellung der Heizspannung von Oszillator- und Modulationsröhre¹⁹.

Das wurde erforderlich, weil bei der Produktion in die Spezialröhren TU 50 und DU 10 der *Fernseh GmbH* extrem niederohmige Heizfäden eingebaut wurden, deren Widerstand erheblichen Toleranzschwankungen unterlag.

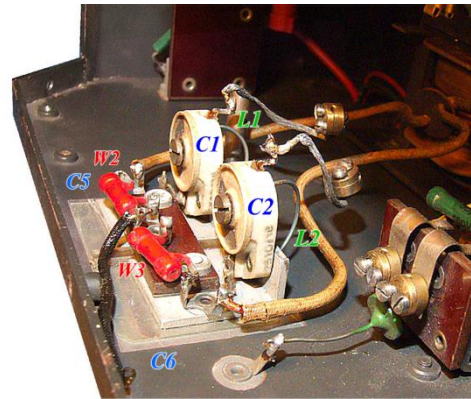


Bild 46
Heizkreis der Oszillorröhre TU 50



Bild 47
HF-Baugruppe mit Lechersystem

- ① Heiztransformator ② Heizspannungs-Zuleitungen ③ Glimmerscheibe ④ Symmetrierwiderstände
⑤ Sperrkreistrimmer ⑥ Oszillorröhre TU 50 ⑦⑧ Lecherleitungen ⑨ Abstimmplatte

¹⁹ Bei den niedrigen Heizspannungen von TU 50 und DU 10 war es produktionstechnisch offenbar schwierig, den Fadenwiderstand innerhalb enger Toleranz zu halten. Deshalb findet sich z. B. auf den Modulationsdioden eine in das Glas geätzte Angabe der zu verwendenden Heizspannung. Beim vorliegenden Gerät ist sie mit 1.14 V angegeben. Bei einem Exemplar in der Sammlung *Schudnagis* steht zwischen den Heizanschlüssen der Röhre 1.05 V. Die Sollspannung nach ‚Datenblatt‘ sollte demgegenüber 1.5 V betragen. Ähnliche Vermerke waren auf dem Glaskolben oder dem Sockel der TU 50 angebracht. Auf dem vorliegenden (frühen) Exemplar sind auf dem Sockel nur noch fragmentarische handschriftliche Eintragungen zu erkennen, während das späte aus der Sammlung *Schudnagis* solche gut lesbar auf dem Kolben zeigt (vgl. Bilder im Abschnitt ‚Die Spezialröhren TU 50 und DU 10‘).

Die Oszillator-Baugruppe

Bei der Oszillatorbaugruppe können zwei funktionelle Teile unterschieden werden: Der Heizkreis mit der Oszillorröhre TU 50 und das *Lechersystem*.

Im vorigen Abschnitt wurden die Stromregel-Einrichtungen des Senders beschrieben, der Oszillator-Heizkreis im engeren Sinne nimmt seinen Ausgang an der Sekundärseite des Heiztransformators (Tr in Bild 44). Er ist am senkrecht stehenden Chassisblech verschraubt, das Video-Eingang und Stromregelteil vom HF-Teil trennt. Die Lage ist günstig gewählt: Es ergeben sich kurze Zuleitungen zur Oszillorröhre.

Auffällig ist das relativ kleine Eisenpaket von ca. 60x35x30 mm (Bild 44). Trotz seiner geringen Größe ist es ausreichend dimensioniert, um bei einer Betriebswechselfrequenz von 500 Hz (!) die erforderliche Heizleistung von ca. 9.5 W zur Verfügung zu stellen. Der Plattenschnitt konnte nicht ermittelt werden, vermutlich handelt es sich um einen EI-Kern.

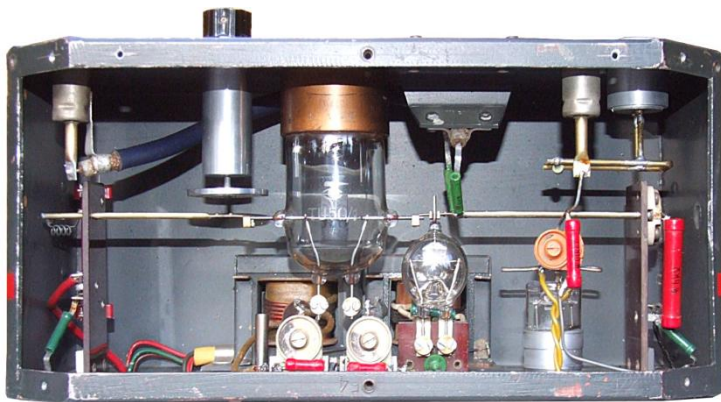


Bild 48
Oberseite des
Oszillator-Kompartiments
mit in das Lechersystem
eingesetzter Röhre TU 50

Mit einer Primärspannung von 36 V stehen nach Transformation sekundär 1.2 bis 1.4 V / 6.6 A zur Verfügung. Die Sekundärwicklung besteht aus 6 Windungen CuL-Draht, 2 mm Ø. Um die Übertragung einer 500 Hz-Brummspannung auf das Oszillatorsignal zu verhindern, sind die Heizfadenenden über W2 und W3 symmetriert, positive und negative Halbwelle der Wechselspannung heben sich gegenseitig auf (Entbrummerfunktion).

Interessant ist die Hochfrequenzabblockung durch die Kondensatoren C5* und C6* (Bild 45 und 46). Bei oberflächlicher Betrachtung sind sie nicht auszumachen, da es sich bei ihnen um Kapazitäten handelt, die durch Zwischenlage von Glimmerscheiben gegen das Chassis gebildet werden, wobei die ‚Gegenplatte‘ aus den Montagewinkeln besteht, auf denen die Sperrkreise L1/C1 und L2/C2 montiert sind (Bild 46). Raffiniert! Über die Arbeitsweise des kompliziert anmutenden Heizkreises wird weiter unten berichtet werden.

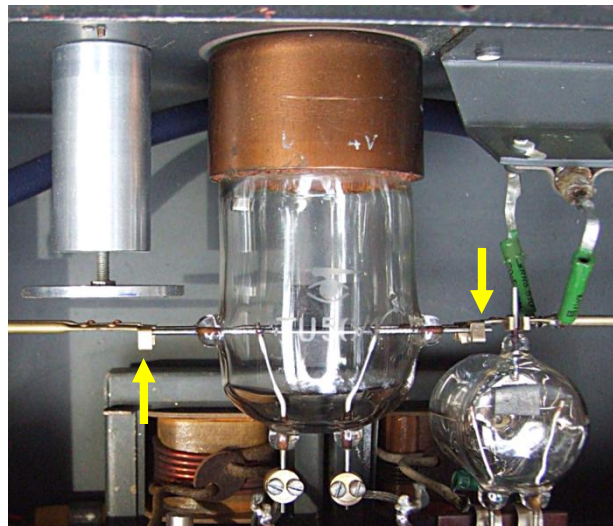


Bild 49
Kontaktfedern zwischen Röhrenstiften
und Lecherleitung

Von den Sperrkreisen gelangt die Heizspannung über flexible Leitungen aus Metallgewebe zu zwei Elektrodenklemmen, die auf den Heizanschlüssen der TU 50 befestigt werden. Sie sind auf Bild 47 zu erkennen.

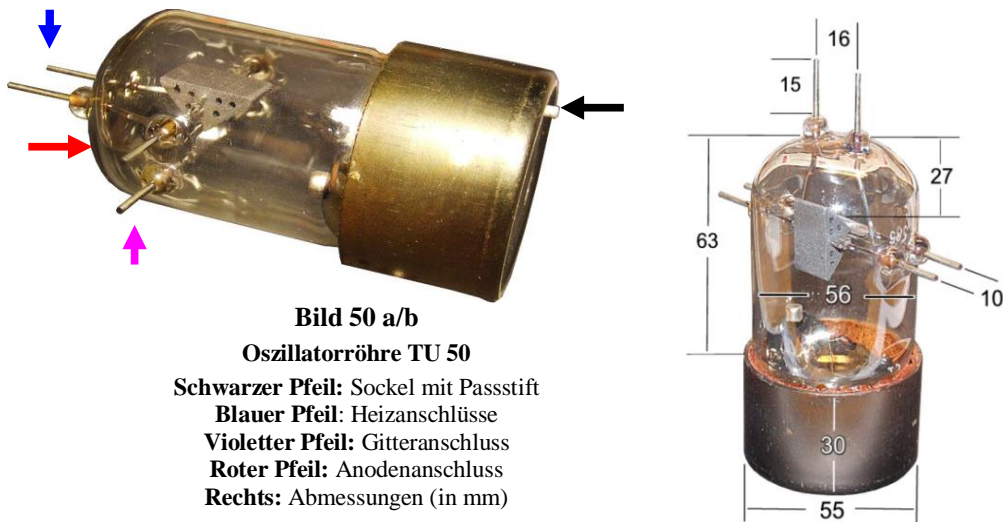


Bild 50 a/b
Oszillorröhre TU 50
Schwarzer Pfeil: Sockel mit Passstift
Blauer Pfeil: Heizanschlüsse
Violetter Pfeil: Gitteranschluss
Roter Pfeil: Anodenanschluss
Rechts: Abmessungen (in mm)

Neben dem Heizkreis zeigt die Schaltung Bild 45 die Oszillorröhre TU 50 im zweiteiligen *Lechersystem*, etwas außerhalb von dessen mechanischer Mitte (Bild 47 und 48).

Das Spezialrohr ist in Bild 50 dargestellt. Der Glaskolben sitzt in einem napfförmigen Sockel mit flachem Boden. Sein Durchmesser beträgt 55 mm, die Höhe 30 mm. Am Boden befindet sich ein Passstift, der in ein Loch an der Vorderseite des Gerätegehäuses eingreift und so die räumliche Orientierung der Röhre eindeutig festlegt (schwarzer Pfeil in Bild 50a).

Der sich unterhalb des Systems leicht verengende Glaskolben hat einen Durchmesser von ca. 56 mm, die übrigen Maße sind Bild 50b zu entnehmen. Glaskolben und Sockelnapf sind miteinander hart verkittet.

Die Stiftlänge der Heizanschlüsse beträgt 15 mm, die Systemstifte für Gitter und Anode sind mit 12 mm etwas kürzer. Um bei Erschütterungen unerwünschte Kraftübertragung auf die Stifte zu verhindern, ist die Röhre über federnde Kontaktklemmen in das *Lechersystem* eingehängt (Pfeile in Bild 49).

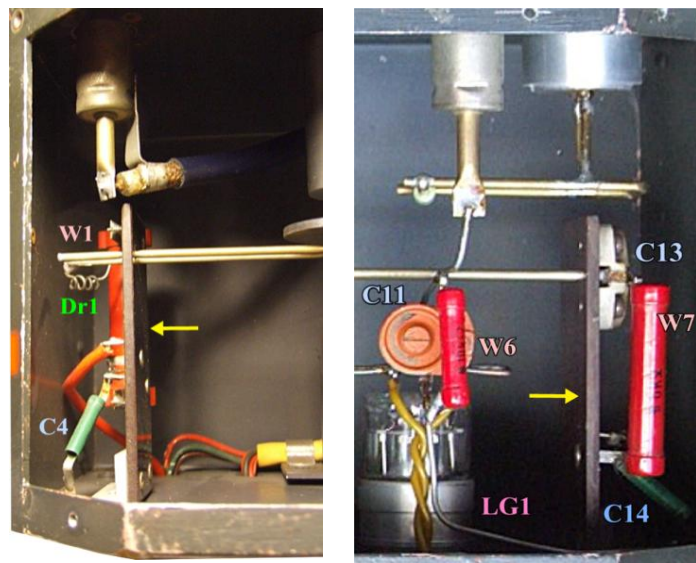


Bild 51 a/b
Endhalterungen der Lecherleitung

Pfeile:
 Linke und rechte *Pertinax*stütze Bauteilbezeichnungen wie in Bild 45

Das Lechersystem

Alle Abmessungen der *Lecherleitung* sind Bild 55 zu entnehmen, ebenso die Anschlusspunkte von Modulationsdiode und Messbuchsenabgriff mit C9/C10 und die Lage der Achse der zum Feinabgleich der Oszillatorfrequenz dienenden Aluminiumscheibe.



Bild 52
Drehknopf
und Federspange
für die
Abstimmzscheibe
der Frequenz-
Feinabstimmung

Die ‚*Lecherdrähte*‘ bestehen aus dünnen Messingrohren (3 mm Ø), die am röhrennahen Ende über 20 mm Länge flachgedrückt sind. Hier sind die aus Federbronze gefertigten, kelchförmigen Kontaktfedern aufgenietet (3x5 mm, Höhe 5 mm) (Bild 49). Sie greifen über die Röhrenkontakte von TU 50 (Oszillator) und DU 10 (Modulationsröhre).

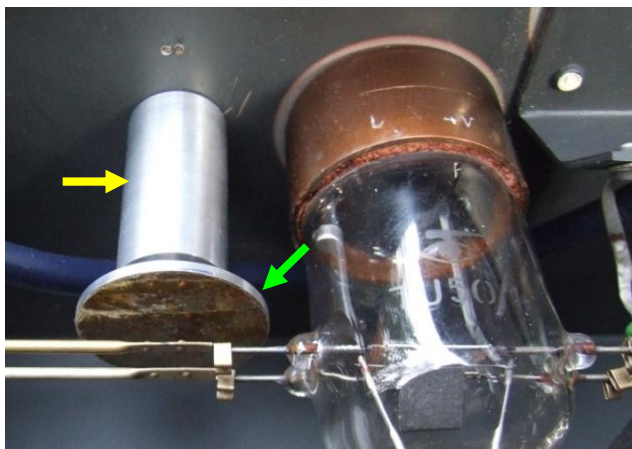
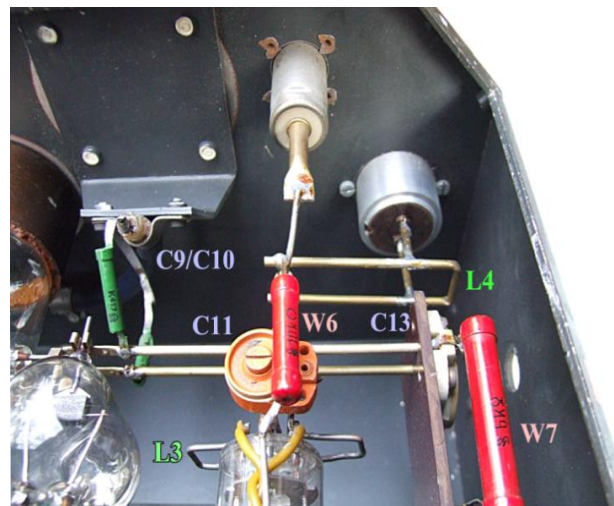


Bild 53
Abstimmzscheibe

Gelber Pfeil:
Abstandszylinder mit Gewindeführung
für die Abstimmzscheibe
Grüner Pfeil:
Abstimmzscheibe (diamagnetisch)

Bild 54
Auskoppelschleifen
für den Fernsehmonitor
und die HF-Ausgangsleistung

L4 - Haarnadelschleife
zur Auskopplung
der Ausgangsleistung
auf die symmetrische Antenne
L3 – Spulenschleife des auf die
Sollfrequenz des Senders abgeglichenen
Schwingkreises, der zugleich
als Monitoranschluss dienen kann



Die beiden ‚*Äste*‘ der *Lecherleitung* sind unterschiedlich lang, an ihrem röhrenfernen Ende werden sie von 4 mm dicken *Pertinax*stützen auf Abstand gehalten (Bild 55). Während sie links durch die Stütze hindurchragen und an einer Seite die Einspeisung der Anodenspannung über W1 und Dr1 erfolgt (Bild 51a), laufen sie rechts durch die Stütze direkt zu den Anschlüssen des die beiden Enden der Leitung überbrückenden Trimmer-Kondensators (C13, vgl. Bild 51b).

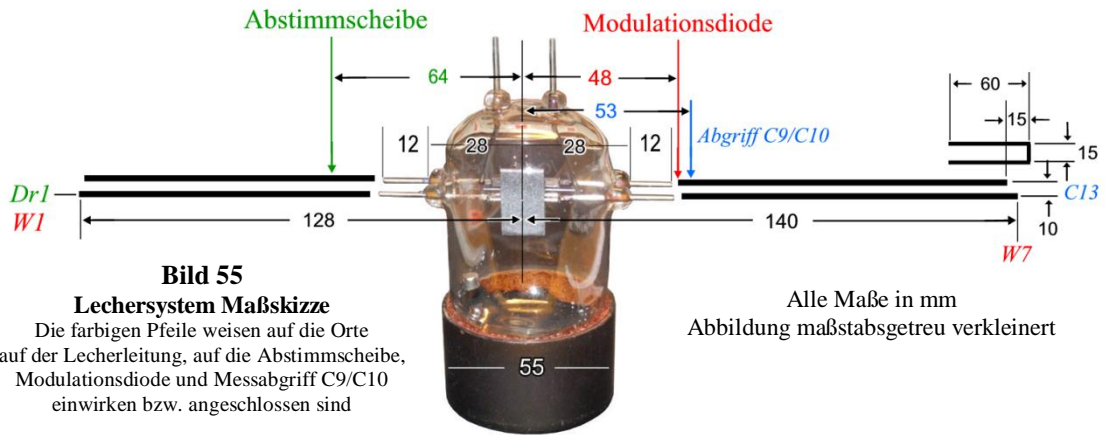


Bild 55
Lechersystem Maßskizze
 Die farbigen Pfeile weisen auf die Orte auf der Lecherleitung, auf die Abstimmsscheibe, Modulationsdiode und Messabgriff C9/C10 einwirken bzw. angeschlossen sind

Alle Maße in mm
 Abbildung maßstabsgetreu verkleinert

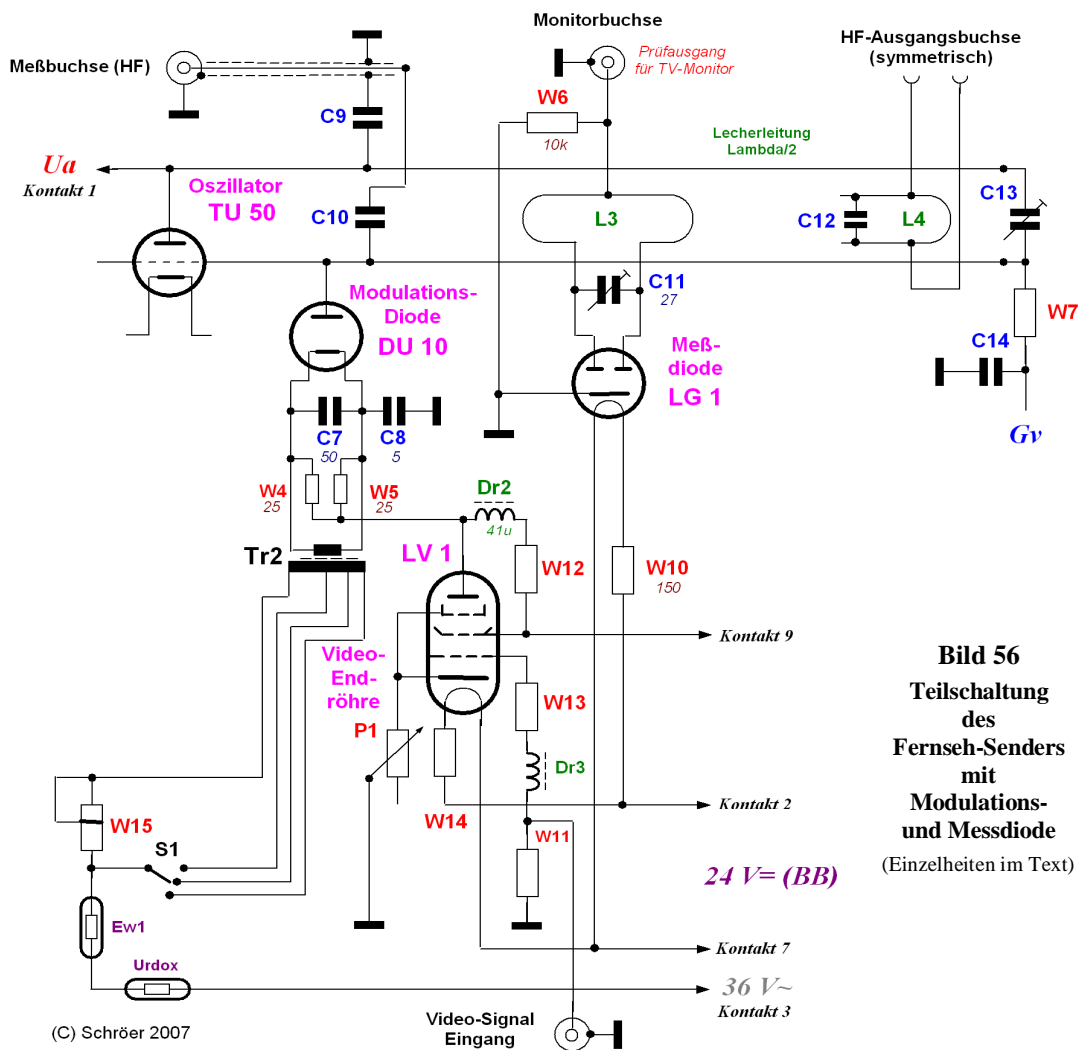


Bild 56
Teilschaltung des Fernseh-Senders mit Modulations- und Messdiode
 (Einzelheiten im Text)

Auf die *Lecherleitung* greifen drei Schaltelemente induktiv zu. Von links nach rechts in Schaltung Bild 56 sind das:

- (1) Die über einen Drehknopf (Bild 52) bedienbare Scheibe zur Feinabstimmung der Oszillatorfrequenz (Bild 53),

- (2) eine in sich geschlossene Koppelschleife in einigem Abstand zur *Lecherleitung*, von der HF-Spannung auf die Anoden der Doppeldiode LG 1 gelangt und von dieser gleichgerichtet wird. Die über W6 abfallende Spannung (Video-Signal) steht für Testzwecke an der Monitorbuchse zur Verfügung (L3 in Bild 54),
- (3) eine Haarnadelschleife (L4 in Bild 54) zur niederohmigen Auskopplung der HF-Ausgangsleistung zur Antenne (5 Element Yagi).

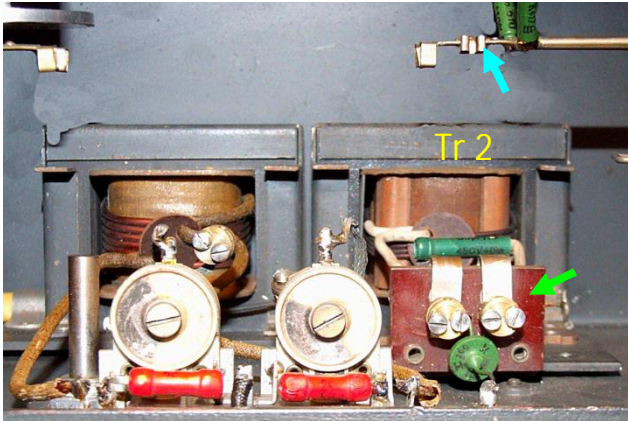
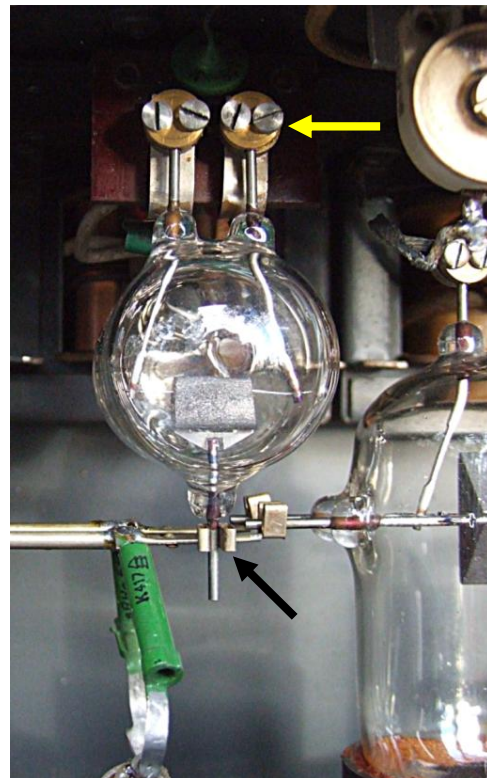


Bild 57
Heiztransformator Tr 2
und
Heizspannungszuführung
zur DU 10
Grüner Pfeil:
Klemmen für die Heizstifte
Blauer Pfeil:
Kelchfeder für den
Anodenstift
(DU 10 entfernt)



Bild 58 a/b
Modulationsdiode DU 10/1
Rechts: freitragende Einspannung
der Modulationsdiode
gelber Pfeil: Klemmscheiben für die
Heizspannungsanschlüsse, **Schwarzer Pfeil:** Anodenstift
in Kelchfeder der Lecherleitung



Die Abgleichscheibe – Durchmesser 35 mm bei 4 mm ‚Höhe‘ – sitzt auf einem massiven Aluminiumzylinder von 47 mm Länge bei 25 mm Durchmesser, der an der Gerätevorderseite befestigt ist (Bild 53). Über eine Feingewindestange, die durch den Zylinder läuft, kann von der Frontseite des Senders her ihr Abstand zur *Lecherleitung* verändert werden. Eine Federspange aus Bronzedraht an der Achse des Abstimmknopfes erschwert durch ihre Spannung unbeabsichtigtes Verdrehen (Bild 52).

Kapazitive Auskopplung der HF-Spannung über die Kondensatoren C9 und C10 (Bild 54) führt über ein Stück Koaxialkabel (22.5 cm) zu einer Buchse, an die ein HF-Diodenvoltmeter angeschlossen werden kann (Schaltung Bild 56). Die Bedeutung dieser Einrichtung wird später erläutert.

Wenden wir uns nun der Mechanik der Modulationsdiode DU 10 und ihrer Peripherie zu. Bei ihr handelt es sich – wie bei der Oszillorröhre TU 50 – um eine direkt mit Wechselstrom geheizte Spezialkonstruktion, hier in Allglas-Ausführung *ohne* Sockel. Ihre Anschlusskontakte für die Heizung (zugleich Kathode) und die Anode sind in das Glas so eingeschmolzen, dass letztere über einen Federkontakt direkt mit der *Lecherleitung* verbunden werden kann (Bild 58).

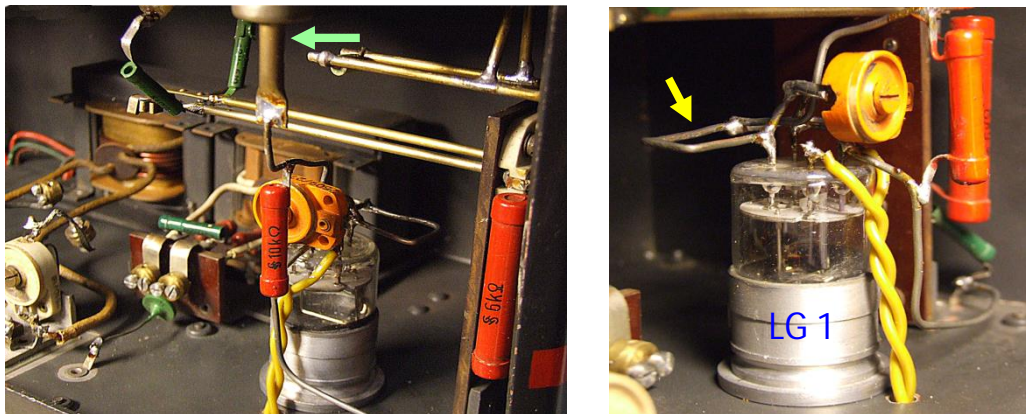


Bild 59 a/b

Monitor-Doppeldiode LG 1

Grüner Pfeil: Monitorbuche - **gelber Pfeil:** Schwingkreisschleife (Monitorkreis)

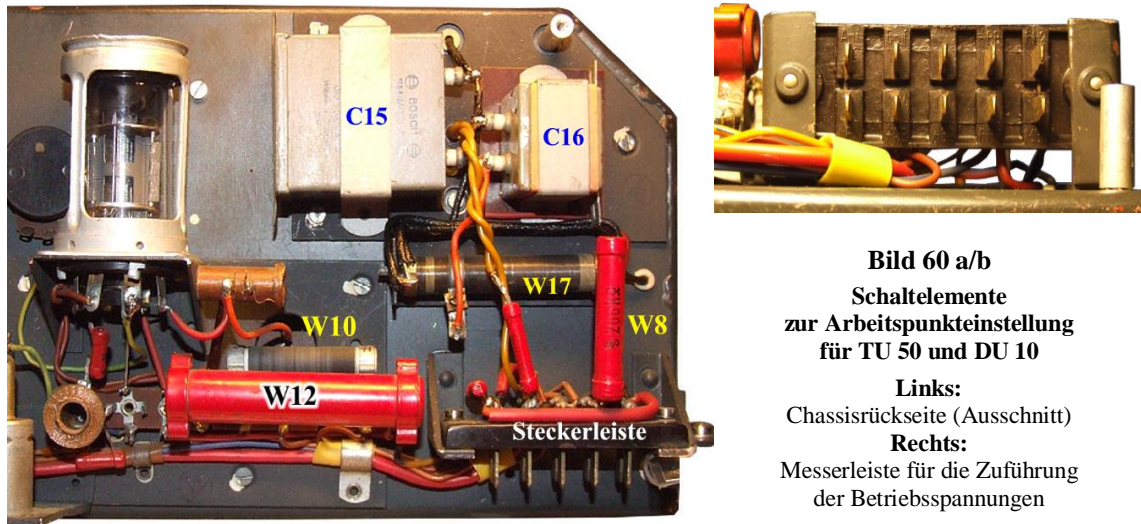


Bild 60 a/b

Schaltelemente zur Arbeitspunkteinstellung für TU 50 und DU 10

Links:
Chassissrückseite (Ausschnitt)
Rechts:
Messerleiste für die Zuführung der Betriebsspannungen

Wie bei der Oszillorröhre TU 50 erfolgt die Heizung auch bei der DU 10 aus der Umformer-Wechselspannung von 36 V / 500 Hz, die über eine eigene Stromregelung (Eisen-Wasserstoff-Widerstand) auf einen Transformator geleitet wird, auf dessen Sekundärseite fein einstellbare 1.0 bis 1.5 V zur Verfügung stehen²⁰.

²⁰ Dies ist ein theoretischer Wert, der dem Widerstand des Heizdrahtes individuell angepasst wird (s. w. u.).

Die Primärspannung passiert den *AEG/Osram Urdox*-Widerstand U3/100, den Eisen-Wasserstoff-Widerstand *Osram Ew 0506M* und gelangt schließlich über W15 an den Transformator Tr 2. Sowohl mit Hilfe des über eine Schelle einstellbaren Widerstandes W15, als auch mittels des Platinschalters S1, kann die Heizspannung präzise der selektierten Röhre angepasst werden (Bild 56).

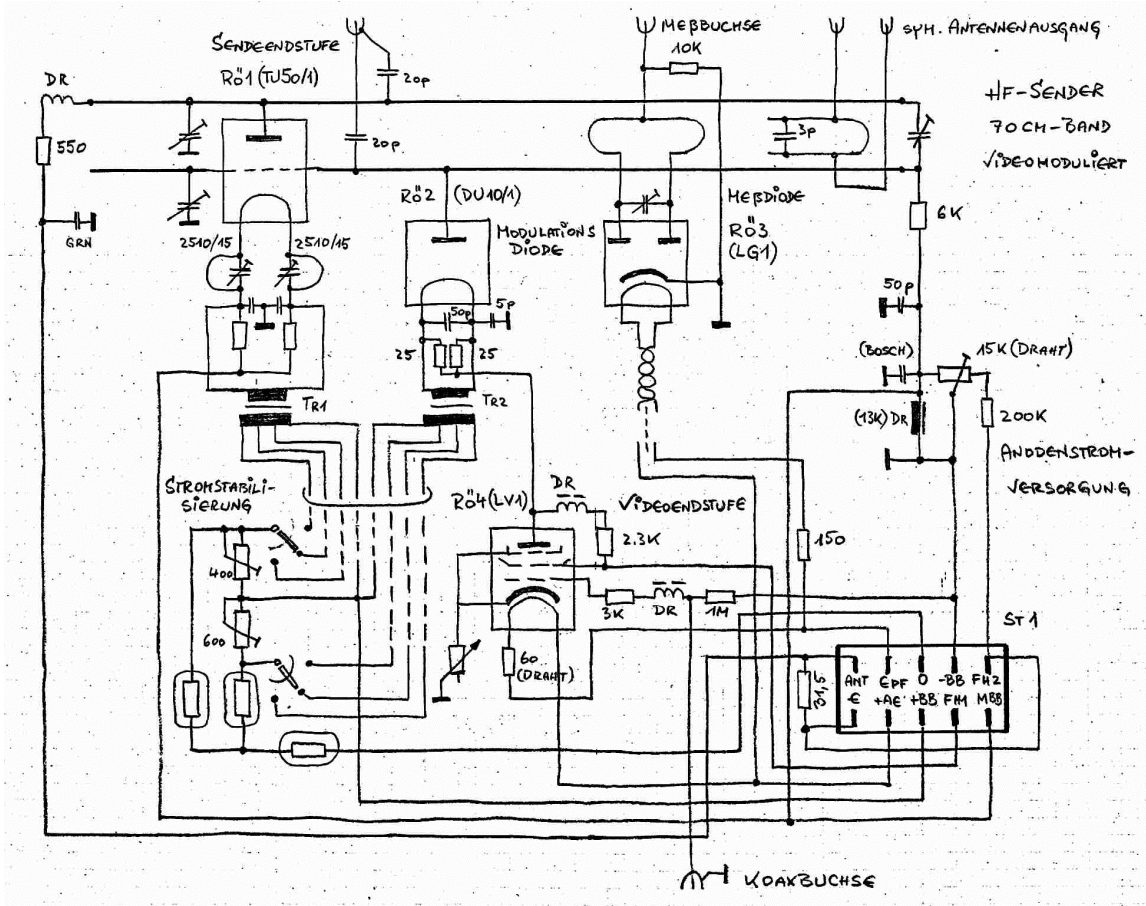


Bild 61

Schaltungsnachvollzug Rücker (2002)

Sehr interessant ist die Befestigung der Heizanschlüsse der Diode. Sie werden zwischen Messing-Klemmscheiben eingeführt, deren Ober- und Unterteile sich mit zwei kleinen Schrauben zusammenziehen lassen (gelber Pfeil in Bild 58b).

Die Klemmen sitzen ihrerseits auf zwei breiten Bronzestreifen, die auf einem *Pertinax*-brettchen so befestigt sind, dass sie federn können (grüner Pfeil in Bild 57). Die frei in der Schaltung hängende Röhre erfährt damit auch bei Vibrationen keine Belastung an den Heizkontakten, die den Kolben sprengen könnte.

Auf Bild 58b (schwarzer Pfeil) ist die in die Kelchfeder der *Lecherleitung* eingerastete Anode der DU 10 deutlich zu erkennen. Sie ist damit auf kürzest-denkbare Weise mit der *Lecherleitung* verbunden.

Bemerkenswert, dass der Mittelpunkt der über W4/W5 symmetrierten Heizspannung nicht an Masse geführt wird, sondern zur Anode der Video-Endröhre LV 1 und von dort

weiter zu Kontakt 9 der Steckerleiste. Bei der Besprechung der Schaltung wird auf diese Besonderheit eingegangen werden.

Der Monitor-Ausgang

Zu Testzwecken verfügt der Sender über einen Monitorausgang (*Siemens*-Koaxialbuchse). An ihn konnte ein Fernsehmonitor vom Typ »Seedorf« ohne HF-Empfangsteil angeschlossen werden, der ja nur mit dem Video-Basisbandsignal versorgt werden muss, um ein Bild zu produzieren (Kurzschlussempfänger).

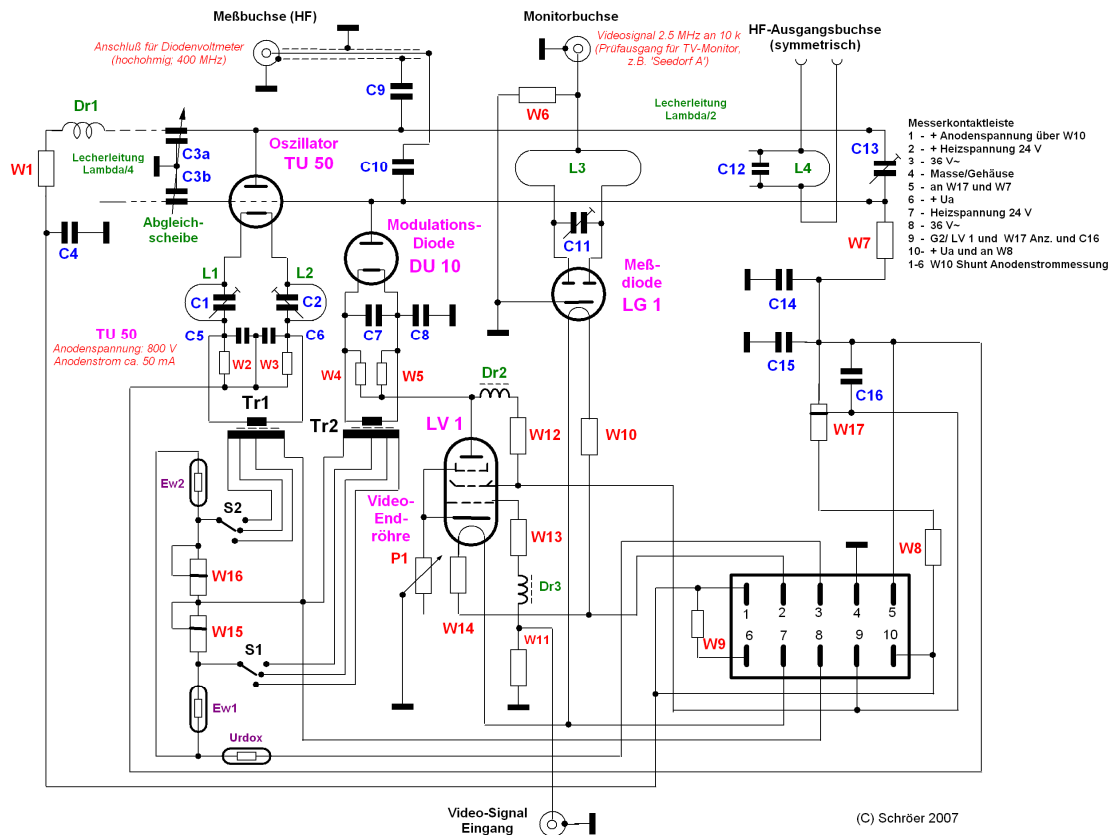


Bild 62

Schaltung des Fernsehenders der Gleitbombe Hs 293 D

Der Sinn dieser Einrichtung ist interessant:

An der Buchse liegt über dem Widerstand W6 (10 kΩ) ein durch die Doppeldiode LG 1 gleichgerichtetes Videosignal mit Helligkeits- und Synchroninformationen, Bandbreite ca. 2.5 MHz, das in seiner Helligkeitsverteilung dem Ausgangssignal der Systemkamera »Tonne« entspricht.

Die LG 1 ist am Zwischenchassis festgeschraubt. Auf eine Fassung ist verzichtet worden, um die Anschlüsse zur Röhre kurz zu halten. Bild 59b zeigt u.a. die Koppelschleife zum Lechersystem.

Bauelemente zur Einstellung der Röhren-Arbeitspunkte

Auf der Schmalseite des Montagechassis rechts befinden sich größere Bauteile, die im Dienste der Arbeitspunkteinstellung für den Oszillator und die Modulationsdiode stehen (Bild 60a)²¹.

Zu ihnen gehören die Kondensatoren C15 (0.8 μ F) und C16 (0.27 μ F). Es sind dichte und höhenfeste Blockkondensatoren, die für höhere Spannungen ausgelegt sind. Sie liegen über W8 (200 k Ω) an der Anodenspannung der TU 50 (ca. 800 V).

W17 (15 k Ω , Abgriff bei ca. 3 k Ω) ist ein hochbelastbarer Drahtwiderstand mit Abgreifschelle. Die äußerst wichtige Funktion dieser Bauteile wird im Zusammenhang mit der Schaltungsanalyse detailliert beschrieben.

²¹ Die einen Überblick gewährende Gesamtschaltung lässt wichtige Schaltungszusammenhänge erkennen; die Dimensionierung der Bauteile ist dem Text zu entnehmen.

Schaltungsanalyse des Video-Senders und Aufbaudetails

Übersicht

Der in der vollständigen Schaltung Bild 62 dargestellte Fernseh-Sender ist mit vier Elektronenröhren und drei Stromstabilisatoren bestückt.

Da ein Stromlaufplan der zugehörigen Kamera »Tonne« nicht verfügbar ist, muss – was das Eingangssignal für den Sender anbetrifft – spekuliert werden. Sicher ist, dass es sich um ein amplitudenmoduliertes Basisbandsignal (Bandbreite 0 bis 2.5 MHz¹), ergänzt um Zeilen-Synchronisierungsimpulse, handelt. Der Takt für die Bildsynchronisation wird durch dreistufiges ‚Herunterteilen‘ aus den Zeilenimpulsen gewonnen, wie übrigens auch im Empfänger, so dass zur Übertragung des Fernsehbildes nur diese Impulse erforderlich waren (v. Felgel-Farnholz; Schubert).

Mit dem Gemisch aus Video- und Synchronsignalen hat man dann die in den Sender-Baustein integrierte Video-Endstufe, bestückt mit der steilen Breitbandpentode LV 1, direkt angesteuert. Dazu später mehr.

Der Autor hat zusammen mit Harry von Kroge die fehlerhafte, von Rücker gelieferte Schaltung des TV-Senders analysiert. Danach ergab sich die Notwendigkeit einer erneuten Schaltungsaufnahme am Objekt. Für den nun fehlerfreien Stromlaufplan wurde zusammen mit Günter König in einer Gemeinschaftsaktion eine Funktionshypothese für die außergewöhnlich trickreiche Schaltung diskutiert. Das führte zu der folgenden Interpretation, die durch Präzisierungen (Ausmessen der Lecherleitung, vollständige Ermittlung der Bauteilwerte durch den Autor) am Museumsobjekt abgesichert werden konnte:

Es ergibt sich folgendes Bild:

Die Leistungstriode TU 50 wird als Leistungsoszillator in einem asymmetrischen Lecherkreis betrieben, dessen eine Seite *elektrisch* (!) $\lambda/4$ lang ist, die andere $\lambda/2$. Die Röhre ist – wie bereits berichtet – integraler Teil des Systems und liegt recht exakt im Strombauch der erzeugten Oszillatorspannung. Vorteil:

Der HF-mäßig niederohmige Anschluss führt dazu, dass sich die inneren Röhrenkapazitäten im Betrieb kaum auswirken können, weder durch Erwärmung, vor allem aber nicht durch die bei Modulation gegebenen Belastungsänderungen. Die Gefahr der Entstehung unerwünschter Frequenzmodulation wird dadurch deutlich vermindert, solange von ‚außen‘ keine das Lechersystem verstimmenden kapazitiven oder induktiven ‚Belastungen‘ Einfluss gewinnen (s. u.).

Der Heizkreis

In der Kathode der TU 50 liegen zwei Sperrkreise (L1/C1 und L2/C2), die verhindern sollen, dass HF über die Kathode abfließen kann. Zugleich lassen sich durch Einstellung der Trimmer C1 und C2 (vgl. Schaltung Bild 63) die Rückkopplungsbedingungen des Oszillators beeinflussen.

Bei der Auswahl der Röhren für den Fernsehsender der Hs 293 D mussten besondere Kriterien beachtet werden, sollte die Schaltung dieses Verlustgerätes so einfach wie

¹ Das gilt natürlich nur theoretisch. Realistischerweise kann das Signal nicht bis 0 Hz ausgedehnt und linear verarbeitet werden. Man wird aber darauf achten, dass die untere Frequenz – abhängig von der unteren Grenzfrequenz des Breitbandverstärkers – möglichst niedrig liegt.

möglich gestaltet werden. Die Röhre eines eigenerrigten Leistungsozillators, der bei 480 MHz mindestens 10 Watt HF-Leistung an die Antenne abgeben soll, benötigt eine hocheffiziente Kathode, um die nötige Emission aufzubringen. Dazu ist einerseits eine große Kathodenoberfläche erforderlich, dann aber auch ein Kathodenmaterial mit geringer Elektronen-Austrittsarbeit. Das war vermutlich der Grund dafür, dass bei der *Fernseh GmbH* einzig für diesen Zweck zwei Spezialröhren mit thorierten Wolframkathoden entwickelt worden sind.

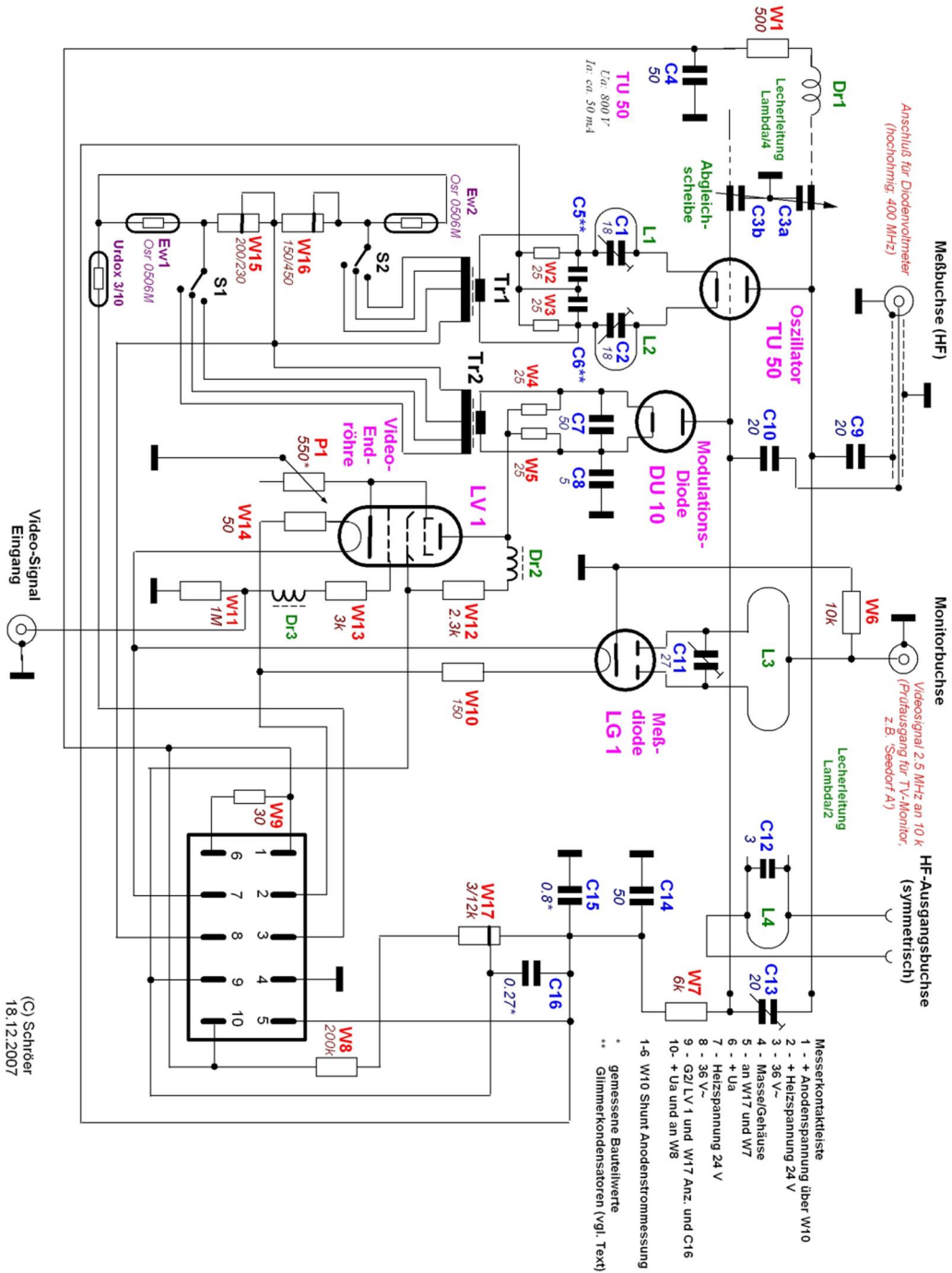


Bild 63
 Rekonstruierter vollständiger Stromlaufplan des Fernsehenders der *Hs 293 D*
 mit Bauteile-Dimensionierungen
 (vgl. auch Anhang 3)

Extrem niederohmige Heizdrähte (hier ca. 0.6 mm Ø bei nur 3.5 cm Länge) müssen bei dem spröden Material gerade ausgespannt werden, Wendelung ist unmöglich, Verspannung im ‚Zickzack‘ verbietet sich wegen der zu fordernden geringen inneren Kapazitäten der Röhre. Die Kathoden müssen dementsprechend mit geringer Heizspannung bei hohen Heizströmen betrieben werden. In unserem Fall sind das laut vorliegender Daten 1.4 V / 6.6 A → 0.21 Ω (TU 50) und 1.5 V / 7.2 A → 0.21 Ω (DU 10). Solch' stabile Heizdrähte besitzen allerdings den nicht zu unterschätzenden Vorteil, raue und stark wechselnde Betriebsbedingungen eines raketentriebenen Flugkörpers problemlos hinzunehmen.

Die Heizspannung stammt aus der Sekundärseite eines der beiden Transformatoren (Tr1 bzw. Tr2 (Bild 64), die mit 500 Hz betrieben werden. Im Vergleich zu 50 Hz-Transformatoren kommen sie – selbst bei den nicht unbedeutlichen zu übertragenden Leistungen von 9.2 W (TU 50) und 10.8 W (DU 10) – mit wenig, vermutlich aber hochpermeablem Eisen aus. Die Übertragungsverhältnisse an den Transformatoren (36:1.4 V bei der TU 50 und 36:1.5 V bei der DU 10) bedeuten auf Primär- und Sekundärseite niedrige Windungszahlen und damit geringe mechanische Größe des Wickelkörpers, bei einem – geschätzt – etwa 42er Kernpaket.

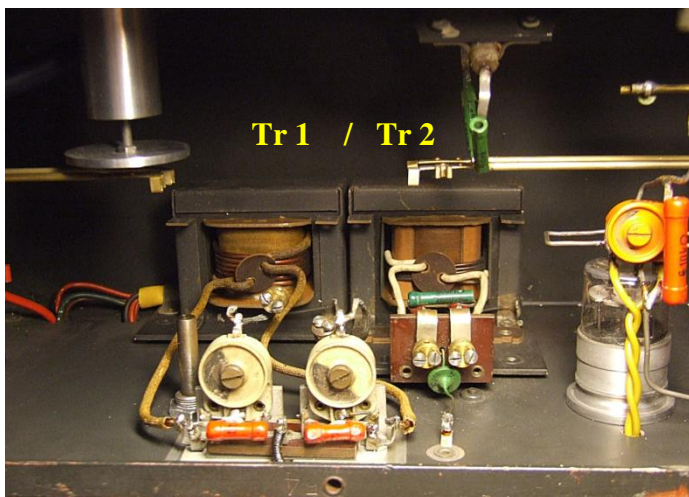


Bild 64
Heiztransformatoren für TU 50 und DU 10
(Röhren entfernt)

Die Primärspannung des Transformators liefert ein 36 Volt *Oemig*-Umformer, nach *Münster* ein 38 Watt-Typ. Die Stromregelorgane für die Röhrenheizung mit einem *Urdox* und zwei Eisen-Wasserstoff-Widerständen wurden oben ausführlich beschrieben. Sie liegen – etwas anderes gäbe keinen Sinn – in einer der auf der Primärseite der Transformatoren liegenden Zuleitung. Der *AEG/Osram-Urdox 3/100* ist für den Summenstrom von 560 mA ausgelegt, *Ew 1* und *Ew 2* für jeweils 300 mA².

Als Scheinproblem erweist sich folgende Frage: Muss bei Wechselstromheizung in der Oszillatroröhre nicht eine störende Modulation von 500 Hz entstehen? Die Lösung ist einfach! Wegen der hohen Wärmeträgheit der massiven Heizfäden und der geringen Periodendauer des Wechselstroms ist eine thermische Übertragung auszuschließen. Zu-

² Betrachtet man die Schaltung, so muten die Heizkreise zunächst unnötig kompliziert an, es bestand zu ihrer Ausführung aber keine vernünftige Alternative. Wollte man die beiden direkt geheizten Leistungsröhren – TU 50 und DU 10 – direkt aus der 24 V-Bordbatterie der Lenkbombe speisen, hätte man 24 V – 1.5 V = 22.5 V bei einem Strom von bis zu 13.8 A (TU 50 $I_f = 6.6$ A, DU 10 $I_f = 7.2$ A), also mindestens 310 Watt, in einem Vorwiderstand in Wärme umwandeln müssen. Da die Röhren real bei ca. 1.0 bis 1.1 V betrieben wurden, wäre die Leistung noch höher gewesen. Bei der Entnahme aus Bordakkumulatoren völlig undenkbar! Die Wechselstromheizung über Transformatoren war deshalb unverzichtbar!

dem wird der elektrische Anteil durch Symmetrierung der Heizer über W2/W3 (TU 50) und W4/W5 (DU 10) unwirksam gemacht („Entbrummerfunktion“).

Ein Problem könnten dagegen die Kapazitäten der Transformatoren gegen die Gehäuse-Masse darstellen. Vor allem die DU 10 darf möglichst keine (unmöglich!), jedenfalls aber

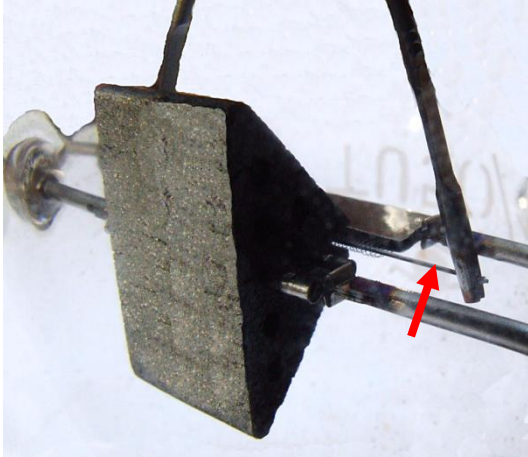


Bild 65

**Heizdraht mit Spannfedern (Pfeil)
in einer TU 50**

nur geringe Kapazität gegen das Chassisblech aufweisen, weil an ihrem Heizkreis – wie der Schaltung zu entnehmen ist – das Video-Signal von 2.5 MHz Bandbreite liegt, für das größere Kapazitäten einen frequenzabhängigen Nebenschluss bedeuten würden. Dieser fiel umso stärker ins Gewicht, je höher die Frequenz des jeweiligen Signalanteils ist; die einigermaßen lineare Übertragung des Videosignals wäre ohne entsprechende Gegenmaßnahmen nicht zu gewährleisten.

Mit Gleichstrom- oder Wechselstromheizung niedriger Frequenz hätte man die Forderung nach geringstmöglichen kapazitiven Nebenschlüssen nicht realisieren können! Im Übrigen

musste auch die Heizung der TU 50 massiefrei bleiben, wie weiter unten zu begründen sein wird.

Dieser Umstände wegen dürfte es wichtig gewesen sein, die Heiztransformatoren so kapazitätsarm wie möglich zu wickeln. Leider kann man von außen Besonderheiten des Wickelschemas nicht erkennen.

Eine Messung der Gesamtkapazität gegen Gehäuse-Masse am Heizfadenende der DU 10 bei C8 hat einen Wert von nur 26 pF ergeben, klein genug, um stärkere Unlinearitäten bei den genannten Frequenzen zu verhindern. Diese unvermeidliche ‚Restkapazität‘ hat offenbar eine Kompensation durch Gegenkopplung nicht erforderlich gemacht. Jedenfalls finden sich dazu geeignete Schaltelemente zumindest im Senderbaustein nicht. Es ist aber denkbar, dass man sie in den Videoverstärker der Kamera verlegt hat. Deren Schaltung ist, wie mehrfach erwähnt, bedauerlicherweise nicht verfügbar.

Der Leistungoszillator

Zunächst einige allgemeine Bemerkungen zur Ausgestaltung selbstschwingender Dezimeterwellen-Oszillatoren:

Hinlänglich bekannt ist, dass es mit steigender Frequenz – vor allem, wenn man sich in den Bereich unterhalb einer Wellenlänge von 1 Meter begibt – zunehmend schwieriger wird, einen einigermaßen frequenzstabilen und leistungsstarken Sender zu bauen. Ursache dafür ist ein drastisch mit der Frequenz abnehmender Wirkungsgrad, hervorgerufen u. a. durch geringer werdende Effektivität der eingesetzten Elektronenröhren. Die statischen Werte verändern sich mit steigender Frequenz stark – die Steilheit erhält einen ‚nacheilenden‘ Phasenwinkel (Laufzeiteffekt) und die Ein- und Ausgangswiderstände nehmen etwa mit dem Quadrat der Wellenlänge ab.

Und selbst bei den für den vorliegenden Anwendungsfall speziell konstruierten Röhren mit ihren vergleichsweise niedrigen inneren Kapazitäten $C_{g1/a}$ und $C_{g1/k}$, beeinflussen

diese die erreichbare Grenzfrequenz maßgeblich. Man erhält durch konstruktive Maßnahmen aber nur dann brauchbare innere Kapazitäten, wenn es gelingt, die Anodenoberfläche klein zu halten, ohne die bei höheren Leistungen erforderliche effektive Wärmeabstrahlung zu behindern. Das erreicht man vor allem durch Verwendung massiver, gesinterter Graphit-Anodenblöcke. Blechanoden, selbst wenn ihre Oberfläche graphitisiert ist, sind wegen der auf die Fläche bezogenen geringeren Wärmekapazität dafür wenig geeignet.

Schließlich sind Schwingkreise mit konzentrierten Schaltelementen, wie sie üblicherweise bei niedrigeren Frequenzen verwendet werden, für ausreichend hohe Resonanzwiderstände nicht mehr realisierbar. Dabei spielt u. a. der Verlustwiderstand der Spule (Skinneffekt, Bedämpfung durch Abschirmmaßnahmen) eine wesentliche Rolle. Bei Wellenlängen unterhalb 1 Meter werden die zur HF-Erzeugung erforderlichen Induktivitäten und Kapazitäten sehr klein; sie liegen unvermeidlich bereits in der Größenordnung der Zuleitungen zur Röhre.

Abhilfe kann neben der Entwicklung speziell aufgebauter kapazitätsarmer Röhren mit guter Steilheit nur der Einbezug ihrer inneren Kapazitäten in den Schwingkreis selbst schaffen. Dadurch entstehen Schwingssysteme mit verteilten Kapazitäten und Induktivitäten, z. B. die bekannten Oszillatoranordnungen mit Koaxial- oder *Lecher*kreisen. Mit Hohlraum- und koaxial aufgebauten Kreisen sind bei 200 MHz Resonanzwiderstände bis etwa 100 k Ω , mit *Lecher*systemen bis 10 k Ω zu erreichen, während mit ‚konzentriertem Schwingkreis‘ bestenfalls ein R_{res} von 1 k Ω darstellbar ist. Für Wellenlängen im mittleren Dezimeterbereich kämen dann bestenfalls noch Resonanzwiderstände von wenigen 100 Ω zustande.

Ein weiteres Problem bei selbstschwingenden Oszillatoren für hohe Frequenzen stellt ihre begrenzte Frequenzstabilität dar. Sie kann allerdings, wie bei *Hollmann* [Bd. I, S. 93] nachzulesen, durch Verwendung von *Lecher*kreisen stark verbessert werden. Dabei wirken sich die auf der Doppelleitung ausbildenden stehenden Wellen frequenzstabilisierend aus, weil deren Frequenz im Wesentlichen durch die mechanische Gesamtlänge der Leitung bestimmt wird. Die Oszillatorfrequenz kann dann fast nur noch durch thermische Einflüsse unkontrollierbar verändert werden, z. B. durch geringfügige, aufgrund von Temperaturänderungen entstehende Längenänderungen der *Lecher*drähte. Mechanischen Schwingungen des *Lecher*systems bleiben bei der vorstehenden Argumentation unberücksichtigt.

Auf die Darstellung der Anpassungsprobleme zwischen Oszillatorröhre und *Lecher*system wird wegen der dazu erforderlichen, komplizierten mathematischen Behandlung hier nicht eingegangen. Im Übrigen kann man der Literatur entnehmen, dass in dieser Hinsicht Sender, wie der hier betrachtete, von den damaligen Entwicklern nach grober Vorberechnung im Wesentlichen durch schrittweise empirische Annäherung funktionsfähig gemacht worden sind.

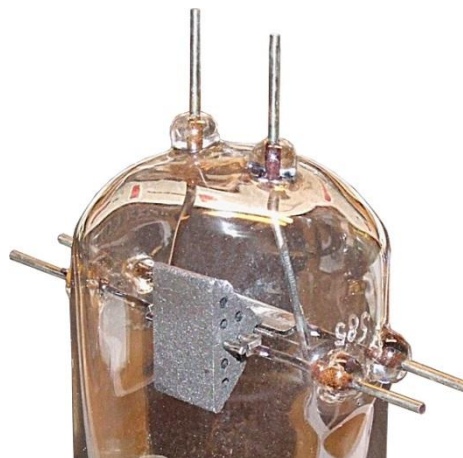


Bild 66
Gesinterter Graphit-Anodenblock
einer TU 50

Welche Maßnahmen wurden bei dem vorliegenden realen, wie sich durch Messungen im Kaltzustand zeigte – auf ca. 480 MHz schwingenden – Leistungsozillator getroffen, um die oben genannten Schwierigkeiten zu meistern?

Dazu einige Hinweise zu den für die Entwicklungsingenieure vorgegebenen Leistungsanforderungen. Für den Verwendungszweck als Sender zur Übermittlung verhältnismäßig hoch aufgelöster Fernsehbilder in einem Verlust-Flugkörper waren u. a. die folgenden Gesichtspunkte zu berücksichtigen:

- Möglichst einfacher, kostengünstiger Aufbau,
- sicheres Anschwingen und ausreichend hohe Ausgangsleistung zur Überbrückung einer Luft-Luft-Strecke bis zu etwa 50 km, mindestens aber 20 km, gleichbedeutend mit einer HF-Leistung an der Antenne von ca. 10 W,
- Gewährleistung hinreichender Frequenzstabilität innerhalb des Fangbereiches der automatischen Scharfabstimmung (ASA) des HF-Empfangsteils am Sichtgerät,
- Erreichen möglichst guter ‚AM-Signalreinheit‘ beim modulieren des in Selbst-erregung betriebenen Senders durch weitgehende Verhinderung des Auftretens störender Frequenzmodulationsanteile,
- Beschleunigungs- und Rüttelfestigkeit aller Komponenten, insbesondere der Elektronenröhren und aller frequenzbestimmenden Teile, namentlich des Oszillatorschwingkreises, durch robusten mechanischen Aufbau aller Bauelemente und Schaltungsteile,
- möglichst einfache Stromversorgung aus ‚Bordmitteln‘ der Gleitbombe Hs 293 D (‚auslaufsichere‘ 24 V-Batterie zum Betrieb des Wechselstrom-Umformers und des Umformers für die Anodenspannung von 800 V).

Wie diese anspruchsvolle Aufgabe bewältigt wurde, wird im Folgenden detailliert beschrieben.

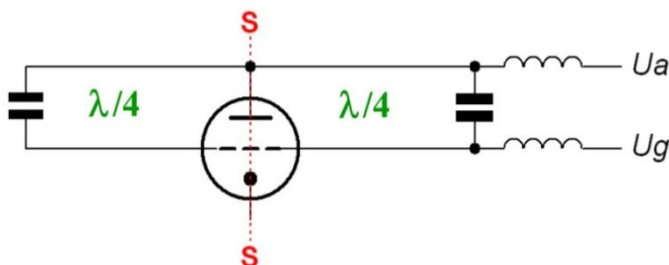


Bild 67
 Darstellung einer
 Dezimeter-Oszillorröhre
 in einem $\lambda/2$ -Lechersystem
U_a – Anodenspannung
U_g – neg. Gittervorspannung
 (nach Hollmann, verändert)

Die Forderung nach geringen Materialkosten für den Sender findet eine technologische Grenze. Schließlich bewegten sich Ingenieure und Konstrukteure bezüglich der Arbeitsfrequenz des Systems im damals gültigen Grenzbereich des Machbaren. Zwar waren alle erforderlichen theoretischen Kenntnisse, wie ein selbstschwingender Hochleistungssender auf dieser Frequenz auszulegen sei, durchaus bekannt (vgl. *Hollmann I* und *II*), aber die erforderlichen Röhren standen für die geforderte Dauerstrich-Leistung nicht zur Verfügung. Es musste deshalb für den Oszillator eine Triode entwickelt werden, die mit hocheffektiver Kathode bei hoher Belastbarkeit und Wärmedispersion der Anode (vgl. technische Daten, s. u.) ausreichende Steilheit ergab, bei möglichst kleinen inneren Kapazitäten. Teilweise begrenzen sich diese Forderungen gegenseitig.

Die geniale konstruktive Lösung dieser verzwickten Aufgabe wird unten im Detail beschrieben. Ergebnis, soviel schon hier, war die für kurze ‚Lebensdauer‘ konstruierte Leistungs-Triode GU 50/1 (*Fernseh GmbH*).

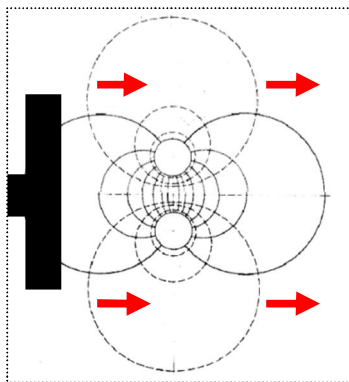


Bild 68 a

Feldbild
einer

symmetrischen Doppelleitung

Ausgezogen:

Elektr. Feldlinien

Gestrichelt:

Magnetische Feldlinien

Schwarzer Block:

Diamagnetische Abgleichscheibe

Pfeile:

Pfeile symbolisieren

die Verdrängung der Feldlinien)

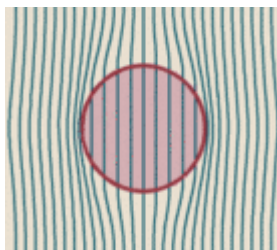


Bild 68 b

Wirkungsbild

Diamagnetismus

Diamagnetischer Leiter

in einem homogenen

magnetischen Feld

Das Schwingkreisproblem ist oben bereits im Prinzip beschrieben worden. Beim hier betrachteten Sender wird deutlich: Röhren- und Schaltungsentwickler müssen Hand in Hand gearbeitet haben. Das wird erkennbar an Form und Anordnung der Elektroden der TU 50, geeignet, um sie direkt in ein $\lambda/4$ - $\lambda/2$ -Lechersystem einzuhängen, die Röhre wird dessen integraler Teil. Röhrenkapazitäten und die verteilten Induktivitäten und Kapazitäten der *Lecherleitung* bilden den frequenzbestimmenden Teil des Schwingkreises.

Das ist aber nicht das Erstaunlichste. Die Röhre wurde in die exakt impedanzmäßige Mitte des *Lechersystems*, also in den Strombauch der sich auf ihm ausbildenden

stehenden Welle, gelegt. Das hat nach *Hollmann* zur Folge, dass die inneren Kapazitäten sich – in dem von ihm diskutierten Fall – auf die beiden ($\lambda/4$ messenden) Hälften nur mit ihrem halben Wert auswirken können, eine ganz wesentliche Verbesserung der Schwingfähigkeit des Systems³. *Hollmann* [I, S. 74 f.] schreibt:

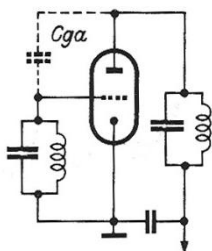


Bild 68 c

Schwingungsschaltung
nach Huth-Kühn

„Der verkürzende Einfluß der Röhre kann vermindert werden, wenn die Röhre nicht die in einer Viertelwelle, sondern in einer Halbwelle schwingende *Lecher-Leitung* belastet, zu welchem Zweck sie ... in die Mitte einer beiderseitig kurzgeschlossenen Doppelleitung einzuschalten ist. Denkt man sich die Anordnung in der Symmetrieebene S-S [vgl. Bild 67] in zwei Einzelgeneratoren zerlegt, so ist ohne weiteres ersichtlich, daß für jeden dieser Einzelgeneratoren nur die halbe Röhre zur Wirkung kommt, so daß auch die äquivalente Länge... [der *Lecherleitung*] nur halb so groß wird... Gleichzeitig hat diese Maßnahme eine Vergrößerung des Verhältnisses L/C_0 , das heißt eine bessere Anpassung zur Folge.“

Der hier beschriebene Oszillator schwingt in Eigenregung nach *Huth-Kühn*, (Dreipunktschaltung, Bild 68c), bei der die Rückkopplung

über die Gitter-Anodenkapazität der Röhre erfolgt.

Die Schwingfrequenz ist durch die geometrischen Abmessungen und die elektrischen Eigenschaften der beiden *Lecherkreise*, einer offenen $\lambda/4$ -Leitung und einem kapazitiv kurzgeschlossenen $\lambda/2$ -Kreis, festgelegt. Sie kann mit Hilfe einer über Feingewinde einstellbaren, diamagnetischen Abgleichscheibe, die über beide *Lecherdrähte* ‚greift‘, fein abgestimmt werden. Dabei denkt man zunächst an die kapazitiv wirkende Beeinflussung der *Lecherdrähte* durch die Scheibe gegen Geräte-Masse, wie in Schaltung 63 darge-

³ Bei *Hollmann* bezieht sich dies auf ein symmetrisches $2 \times \lambda/4$ -Lechersystem, es gilt bei näherer Betrachtung aber in gleicher Weise auf die hier vorliegende asymmetrische $\lambda/4 - \lambda/2$ -Variante, weil auch hier die Röhre im Strombauch angeordnet ist. Einzelheiten dazu siehe weiter unten.

stellt. Sie erweist sich aber bei Berechnung der sich gegenüberstehenden Flächen als eher geringfügig, wiewohl keineswegs zu vernachlässigen und mit Annäherung natürlich auch zunehmend.

Demgegenüber stärker zu veranschlagen ist der die Induktivität des *Lechersystems* verändernde Einfluss der Feinabstimmsscheibe. Bringt man nämlich ein diamagnetisches Metall (z. B. Kupfer oder Messing) in das Magnetfeld einer Induktivität, so wird diese – anders als bei Verwendung von ferromagnetischen Kernen – verkleinert. Diese Wirkung beruht darauf, dass solche Materialien die Feldlinien gewissermaßen auseinanderdrücken (Bild 68a und 68b).

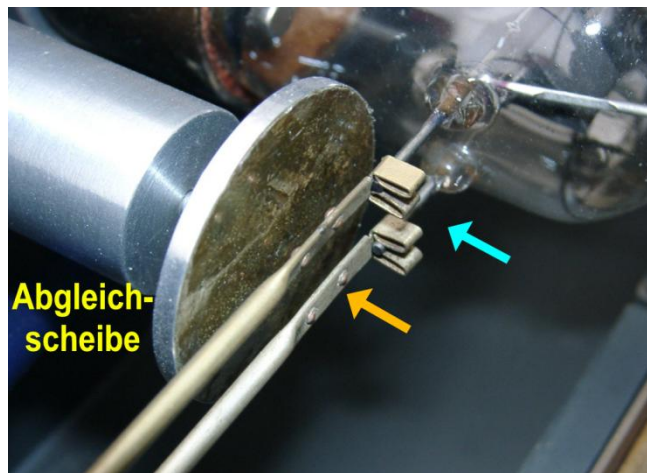
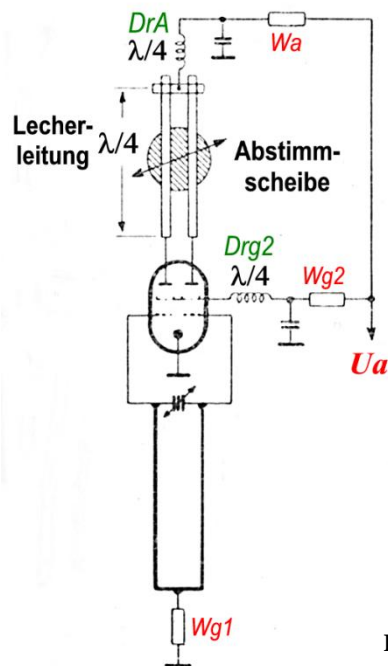


Bild 69 a/b

Abstimmsscheibe am Lechersystem

Links: Schaltung nach *Lickfeld* (verändert; vgl. Text)

Rechts: Abstimmsscheibe im Fernseh-Sender der Hs 293 D

Pfeile: Flacher Teil der *Lecherleitung* mit aufgenieteten Federn

Die Abgleichsscheibe – vermutlich aus versilbertem Kupfer bestehend – beeinflusst die *Lecherleitung* auf diese Weise gegensinnig, einerseits kapazitiv mit Verminderung der Frequenz, dann aber auch – und stärker – magnetisch in Form von Erhöhung der Frequenz und hinsichtlich ihres Wellenwiderstandes (*Lickfeld*), wobei das Ausmaß der Wirkung u. a. durch ihre geometrische Lage im $\lambda/4$ -System bestimmt wird.

Lickfeld schreibt:

„Im Anodenkreis [...] sieht man ein Viertelwellensystem, das mit einer Buntmetallscheibe⁴ abgestimmt wird. Die Annäherung der Scheibe hat nach fundamentalen Gesetzen einen erniedrigenden Einfluß auf die Induktivität und obendrein [...] auch einen Einfluß auf den Wellenwiderstand der *Lecherleitung*. Im Endeffekt läuft das darauf hinaus, daß man das Viertelwellensystem ein wenig länger machen muß, als es sein müßte, wenn man mit ihm im freien Raum Resonanz erzielen wollte. Bei Annäherung der Scheibe erreicht man dann den optimalen Abstimmepunkt“

Eine feindosierbare, die Schwingfrequenz beeinflussende Wirkung wird erreicht, wenn die Scheibe im ‚gemäßigt mittelohmigen‘ Bereich des *Lechersystems* angeordnet wird. Die überwiegende Beeinflussung des ‚*Lecherfeldes*‘ durch die Abgleichsscheibe wurde vom Autor durch Messung⁵ bestätigt, die Abstimmwirkung geht aus Tabelle 2 hervor:

⁴ Unter Buntmetallen versteht man vereinbarungsgemäß Schwermetalle auf Kupferbasis (z.B. auch Messing)

⁵ Die Messung der Resonanzfrequenz erfolgte mit einem *Hewlett-Packard Signal Generator 8640 B*, dessen Ausgangsfrequenz mit einem Pegel von +10 dBm ($U_{\text{eff}} \sim 0.7 \text{ V}$ an 50Ω) in den symmetrischen, nieder-

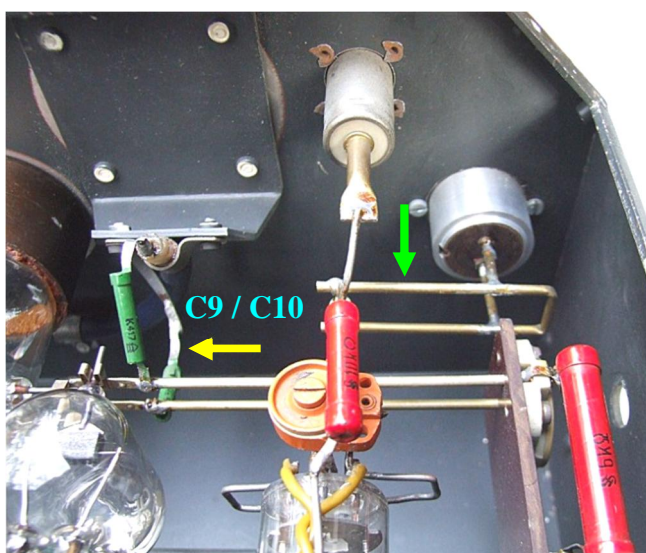
Tabelle 2
Einfluss der Abstimm Scheibe auf die Oszillatorfrequenz

Abstand der Abgleichscheibe vom Lechersystem	Resonanzfrequenz des Lechersystems
3 mm	481 MHz
4 mm	476 MHz
5 mm	473 MHz

Zunächst war die Bedeutung der oben beschriebenen leichten Asymmetrie der *Lecher*-leitung ebenso wenig klar wie die Tatsache, dass eine Seite offen, die andere Kapazitiv über C13 kurzgeschlossen war. Zudem konnte die Ausgangsleistung effektiv kaum am hochohmigen Ende der Leitung ausgekoppelt worden sein. Messung der Spannungsverhältnisse auf der Leitung brachte beweiskräftigen Aufschluss. Das Ergebnis zeigt Bild 71.

Bild 70
Auskoppelkondensatoren
 (gelber Pfeil)
zur Messbuchse
zum Anschluss
eines Diodenvoltmeters

und
Haarnadelschleife
zur Auskopplung
der HF-Leistung des Senders
 (grüner Pfeil)



Aufgetragen ist die relative HF-Spannung über der geometrischen Länge der *Lecher*-leitung, ausgehend vom Röhrenmittelpunkt (Mitte des Anodenblocks)⁶. Aus den durchgeführten Spannungsmessungen geht zweifelsfrei hervor, dass es sich hier um ein asymmetrisches *Lechersystem* handelt, das (elektrisch) aus einem $\lambda/4$ -Kreis (links) und (elektrisch) einem $\lambda/2$ -Kreis (rechts) besteht. Die (relative) Restspannung (42) in Bild 71 erklärt sich daraus, dass nicht unmittelbar an den Kondensatorbelägen von C13 gemes-

ohmigen HF-Ausgang des Fernsehenders eingespeist wurde. Die Resonanzspannung wurde nach ‚Heranfahren‘ der Abgleichscheibe an den *Lecher*kreis zwischen Anoden- und Gitteranschluss der TU 50 auf der $\lambda/4$ -Seite der Lecherleitung mit Hilfe eines *Rohde & Schwarz URV 216* mit HF-Tastkopf (Eingangskapazität 2.5 pF gegen Masse) abgegriffen. Wiederholung der Messung mit 20 dB-Vorteiler (Eingangskapazität 1 pF gegen Masse) ergab wegen des niederohmigen Messpunktes nur geringfügige Erhöhung der Resonanzfrequenz. Weitere Einzelheiten zur Messmethode in Anhang 1.

⁶ Die Messung erfolgte analog derjenigen zur Feststellung der Resonanzfrequenz des *Lechersystems*. Hierbei wurde jedoch die HF-Spannung auf der *Lecher*leitung an exakt korrespondierenden Punkten mit dem Tastkopf (20 dB Vorteiler, Eingangsspannung +20 dBm (2.24 V_{eff}) abgegriffen, mit der Masseleitung an der Gitterseite. Dabei musste trotz der geringen Eingangskapazität des Tastkopfes je nach Lage der Abgreifpunkte die Resonanzfrequenz z. T. deutlich nachjustiert werden. Die Handkapazität der Messeinrichtung war beträchtlich, gleichartiges Hantieren deshalb von entscheidender Wichtigkeit! (Weitere Einzelheiten zu den Messungen in Anhang 1).

sen werden konnte und Signalstreuungen bei der gewählten Messmethode unvermeidlich sind (vgl. Anhang).

Zu Messzwecken lässt sich die über zwei kleine keramische Kondensatoren (C9, C10) über eine 22.5 cm lange abgeschirmte Leitung (Koaxialkabel blau) an eine koaxiale Buchse geführte, von der *Lecherleitung* an einem hochohmigen Punkt abgegriffene HF-Spannung einem Diodenvoltmeter zuführen. Mit seiner Hilfe kann der Schwingzustand der Röhre überprüft bzw. eingemessen werden. Dieser ist u. a. auch durch die Einstellung der beiden Sperrkreise in den Kathodenzuführungen (L1/C1 und L2/C2) zu beeinflussen (s. w. u.).

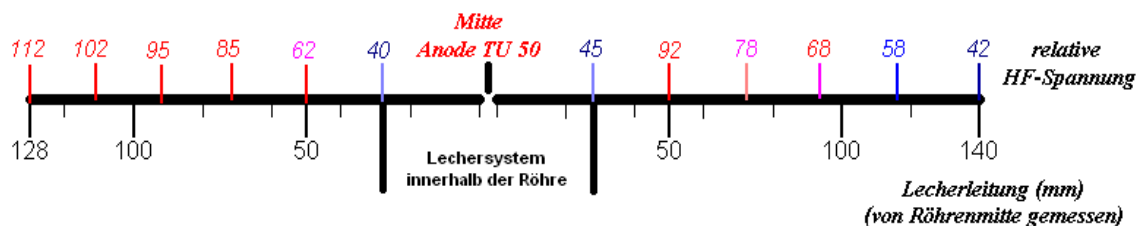


Bild 71

**Lecherleitung des Fernseh-Senders:
Relative HF-Spannung über der geometrischen Länge der Lecherkreise**

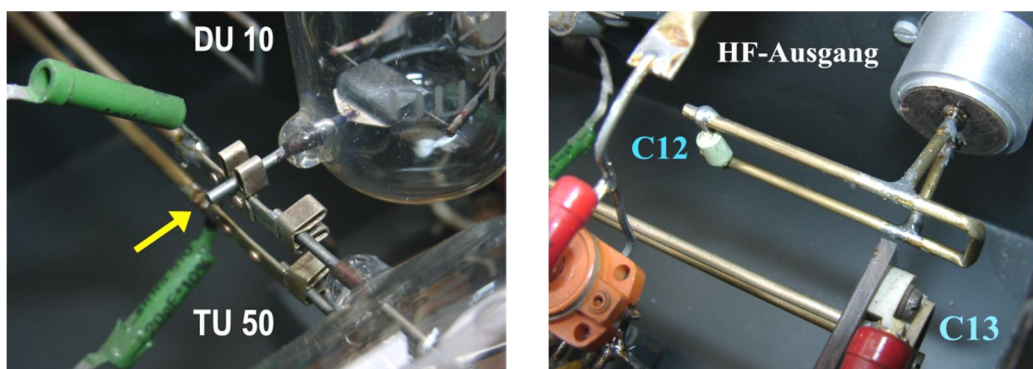


Bild 72 a/b

Einspeisepunkt des Modulationssignals (links) und Auskopplung des HF-Signals

Links: Anodenklemmfeder der Lecherleitung für die DU 10 - **Rechts:** HF-Auskoppel-Haarnadel

Eine weitere Prüfmöglichkeit bestünde darin, unmittelbar vor Einsatz der Gleitbombe die erwünschte Sendefrequenz zu prüfen und ggf. mit Hilfe der Abgleichscheibe zu korrigieren. Das könnte auch insofern von entscheidender Wichtigkeit gewesen sein, als die exakt eingestellte Sollfrequenz nicht nur an der TV-Empfangseinrichtung im werfenden Flugzeug, also an dem vor dem Monitor liegenden HF-Eingangsteil, ein im vorgesehenen Kanal liegendes Signal produzieren musste, sondern auch bei Leistungsauskopplung auf die Antenne deren Eingangsimpedanz zu berücksichtigen hatte. Fehlanpassung hätte hier zu einem mehr oder minder starken Abfall der Sendeleistung geführt.

Die HF-Leistung des Oszillators wird über die Haarnadelschleife L4 (grüner Pfeil in Bild 70) ausgekoppelt; C12 am offenen Ende der Schleife dient der Kompensation der induktiven Blindkomponente, C13 am Ende der *Lecherleitung* zum Feinabgleich ihrer Resonanz. Die HF gelangt zu der am Heck der Gleitbombe befestigten, symmetrisch gespei-

sten, vertikal polarisierten 5-Element-Richtantenne (Yagi) und wird von dieser abgestrahlt.

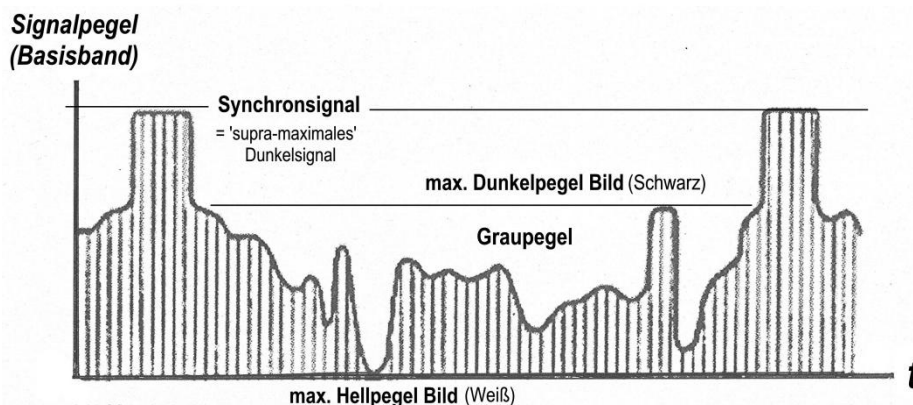


Bild 73
Basisband-Videosignal (Dunkelsteuerung)

Bisher nur beiläufig erwähnt wurde die wichtige Funktion der Sperrkreise in den Heizleitungen der TU 50. Sie dienen nicht nur der Verhinderung des Abflusses von HF-Leistung, sondern vor allem der Erhaltung möglichst effektiver Schwingfähigkeit der Röhre. Bei nicht ausreichender Verdrosselung der Heizanschlüsse kann es nämlich aufgrund der Induktivität der Zuleitungen, zusammen mit der Gitterkathodenkapazität der Röhre, zu unerwünschten parasitären Schwingungen kommen, was zum Entzug eines u. U. erheblichen Anteils der Schwingenergie des Senders führen könnte. Die auf der Sollfrequenz generierten Schwingungen setzen im Extremfall sogar völlig aus. Stimmt man dagegen die Sperrkreise auf die Sendefrequenz ab, erreicht die Schwingungsenergie ihr Maximum⁷.

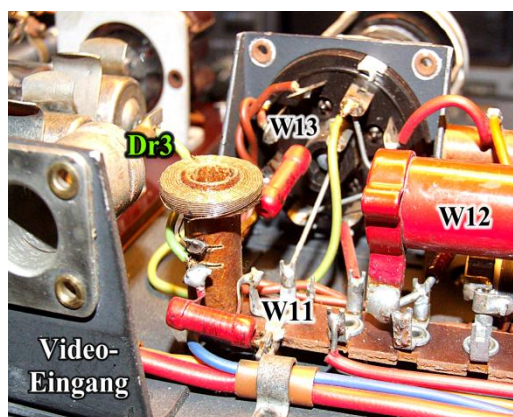


Bild 74 a
Video-Eingang des Senders
W11 – Gitterableitwiderstand
Dr3/W13 – Selbsterregungssperre
W12 - Schirmgitterwiderstand

Die Videomodulation des Senders

Wenden wir uns nun der hochinteressanten Modulationseinrichtung des Senders zu. Logisch geht man sinnvollerweise von der Einspeisung des Videosignals aus. Dabei handelt es sich, wie zuvor mehrfach erwähnt, um ein 2.5 MHz breites Basisbandsignal, d. h. ein Gemisch von Pegeln, das in seinem Amplitudenverhältnis genau dem Ausgangssignal

⁷ Hollmann nimmt als wesentlicher an, dass man mit sauber abgestimmten Sperrkreisen die Phasenlage der HF-Spannungen optimieren könne. Das sei dann der Fall, wenn die Kathode mit dem Spannungsknoten des Resonanzkreises direkt verbunden ist. Wegen unübersichtlicher Zuleitungsinduktivitäten und Röhren- bzw. Erdkapazitäten sei dies in der Praxis aber nur schwer zu erreichen. Durch Sperrkreise ließen sich diese Phasenverschiebungen kompensieren (Hollmann Bd. I, S. 44). Ob das von Bedeutung ist, sei dahingestellt.

der Bildspeicherröhre IS 9 entspricht. Diesem Signal, das die Helligkeitsinformationen des jeweils aufgenommenen Bildes enthält, werden in der Kamera die erforderlichen Synchroninformationen zugemischt.

In Bild 73 sind als Beispiel die Pegelamplituden eines Videosignals zwischen zwei Synchronimpulsen – bezogen auf eine gedachte Basis – dargestellt. Auf der horizontalen Achse (Zeitachse) kann die Dauer (t) der Helligkeitsinformationen abgelesen werden, auf der vertikalen Achse die jeweils zugehörige Amplitude (Signalpegel). Dabei erreichen die Synchronpegel Amplitudenwerte, die oberhalb des maximalen Bild-Dunkelwertes liegen (,supra-maximales' Dunkelsignal). Ihre Amplitude ist stets gleich!

Daneben gibt es einen maximalen Dunkelpegel. Bei ihm entsteht ein schwarzer Punkt oder eine schwarze Fläche auf dem Schirm, beim maximalen Hellpegel bleibt der Schirm weiß. Alle Pegel dazwischen führen zu Grauwerten unterschiedlicher Intensität⁸.

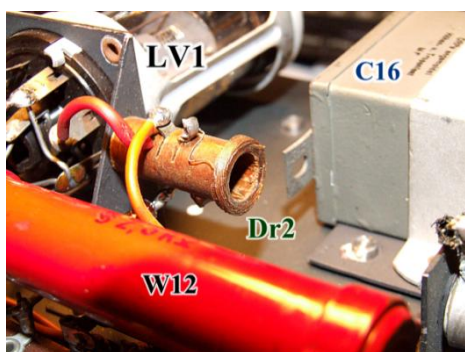


Bild 74 b
Schirmgitterkombination der LV 1
Dr2/W12
Anodendrossel/Schirmgitter-Vorwiderstand

Wie aus Bild 73 ferner ersichtlich, wird hier vom Verfahren der Dunkelsteuerung Gebrauch gemacht. Bei ihm verursachen niedrige Signalpegel helle Bildstellen, hohe Pegel dunkle. Die Vorteile des Verfahrens werden unten dargestellt. Das beschriebene ‚Signalmuster‘ liegt nun über einem hochohmigen Gitterableitwiderstand (W11, 1 M Ω) am Steuergitter der steilen HF-Pentode LV 1 (S ~ 10 mA/V). Sie dient u. a. der für die Modulation des Senders erforderlichen Anhebung des Videosignalpegels (Bild 39a/b und 56).

Bei Betrachtung der Schaltungen Bild 56 und 63 scheint eines zunächst völlig unverständlich:

Anode und Schirmgitter der Röhre liegen an der

Kathode der Modulationsdiode DU 10. Woher also soll die LV 1 ihre positiven Betriebsspannungen beziehen? In Teamarbeit mit *Günter König* konnte die trickreiche Schaltung entschlüsselt und eine Funktionshypothese entwickelt werden. Danach ergibt sich folgendes Bild:

Die DU 10 ist mit dem *Lecherkreis* nahe am Steuergitter der Oszillatorröhre TU 50 verbunden (Bild 72a), an einer Stelle, an der die HF-Spannung bei Resonanz Werte von deutlich mehr als hundert Volt erreicht. Diese HF-Spannung wird von der Diode gleichgerichtet und als Anoden- und Schirmgitterspannung der LV 1 zur Verfügung gestellt.

So wird auch verständlich, aus welchem Grunde an dieser Stelle eine Hochleistungsdiode eingesetzt wurde: Hier muss sie mit hinreichender Emission dafür sorgen, dass die Leistung der Video-Endröhre von einigen Watt zur Verfügung steht. Von dieser müssen schließlich die Modulationsspitzen voll verarbeitet werden können, sie liegen vornehmlich in den Synchronsignalen, aber natürlich auch in der durchschnittlichen Gesamtamplitude des Videosignals. Dabei ist allerdings zu bedenken, dass die mittlere, über die Zeit integrierte Amplitude eines TV-Signals relativ klein ist.

⁸ Aus der Graphik ist ferner zu entnehmen, dass die Synchronimpulse die höchste Energie beinhalten, sie sind notwendig für ein sicher stehendes Bild. Demgegenüber liegt in der Bildinformation vergleichsweise wenig Energie, vor allem wenn man bedenkt, dass normale Bilder, wie die, welche von einer Bombenkamera aufgenommen werden, vor allem Grauwerte im helleren Bereich enthalten, die wegen der Schwarzsteuerung nur geringen Energiegehalt aufweisen.

Damit ist die Anodenstromversorgung der LV 1 geklärt, ebenso die des Schirmgitters über W12. Die Drossel Dr2 (41 mH) zwischen Anode und Schirmgitter soll Selbsterregung der LV 1 verhindern.

Nicht auf Anhieb klar ist die Funktion der DU 10 als Modulationsdiode.

Zum Verständnis wichtig ist die Tatsache, dass eine rein statische Betrachtung der Rolle der Video-Endröhre das Verständnis der Schaltung behindert; man muss sie vielmehr als aktives, dynamisches Element verstehen. Die Pentode dient nämlich nicht in erster Linie der Verstärkung der Video- und Synchronsignale – das auch! Von wesentlicherer Bedeutung aber ist, dass ihr Innenwiderstand bei Ansteuerung im Rhythmus des Videosignals schwankt, die Widerstandsänderungen werden in Form von Anodenstromänderungen an die Modulationsdiode, die ja die Anodenspannung für den Videoverstärker liefert, weitergegeben. Die dem Schwingkreis entzogene HF-Energie entspricht dann dem jeweiligen Augenblickswert des Anodenstroms der LV 1, die dem Kreis entzogene Energie folgt exakt der Amplitude des Bildsignals. Das bedeutet nichts anderes als die Amplitudenmodulation des Steuergitters der Oszillorröhre TU 50 durch Lastschwankungen⁹. Dabei bleiben übrigens wegen der Sperrwirkung der DU 10 die Röhrenkapazitäten der LV 1 wirkungslos, die Last kann deshalb nicht zu einer wesentlichen Änderung der kapazitiven Belastung des *Lecher*kreises führen, störende Frequenzmodulation des Oszillators bleibt damit in erträglichen Grenzen.

Nach dieser Betrachtung wird der von v. Felgel-Farnholz, Müller, Trenkle und Stüwe verwendete, aber von diesen an keiner Stelle erläuterte Begriff der ‚Lastmodulation‘ verständlich. Sie hat im Gegensatz zur reinen Gitterspannungsmodulation den Vorteil, eine ziemlich *lineare* Amplitudenmodulation zu erzeugen.

Wie das Signal aussieht, mit dem die Video-Endröhre angesteuert wird, ist oben gezeigt worden (Bild 73). Es ist lediglich darauf zu achten, dass das zur Ansteuerung bereitgestellte Videosignal bezogen auf die Gerätemasse (bzw. die virtuelle Gerätemasse; s. w. u.) die richtige Polarität hat. Für die komplette Übertragung des Signalgemisches muss dann nur noch der Arbeitspunkt des Video-Endverstärkers richtig eingestellt werden. Ein Blick auf das Schaltbild zeigt, dass dies auf einfache Weise mit dem in der Kathode der LV 1 liegende Potentiometer P1 möglich ist. Mit ihm lässt sich das Steuergitter der Röhre für den günstigsten Arbeitspunkt vorspannen.

Zusätzlich zur Lastmodulation des Oszillators kommt es zur Gitterspannungsmodulation dadurch, dass die durch Lastmodulation schwankende HF-Spannung im *Lecher*kreis einen dem Amplitudengang des Videosignals folgenden Spannungsabfall an W7 (86 k Ω , ca. 2 W) erzeugt, d. h., die Gittervorspannung an der TU 50 ändert sich im selben Rhythmus. Bei W 7 handelt es sich um einen gewendelten Kohlewiderstand mit ‚induktivitätskonformer‘ Drosselwirkung für die HF auf dem *Lecher*kreis, der an dieser Stelle niederohmig ist. Er wirkt zugleich als Gitterableitwiderstand, der wegen des hohen Gitterstromes der TU 50 im Schwingbetrieb verhältnismäßig niederohmig gewählt werden musste.

Noch offene Fragen?

Die beschriebene kombinierte Last- und Gitterspannungsmodulation soll eine Modulationstiefe von 60 % erreicht haben (Stüwe; Trenkle [1]), einen Modulationswirkungsgrad

⁹ Das ist die Erklärung für den in der Literatur (Müller, v. Felgel-Farnholz, Stüwe) vorgefundenen, zunächst nicht verständlichen Begriff der Lastmodulation.

also, der deutlich oberhalb dessen liegt, was mit reiner Gitterspannungsmodulation erreichen kann. Das HF-Signal war also vorzüglich durchgesteuert!

Das auf diese Weise modulierte HF-Signal wird im Einsatz zum werfenden Flugzeug übertragen und dort dem Dezimeter-Empfangsteil mit nachgeschaltetem Bildsichtgerät zugeführt, in dem im sog. Amplitudensieb Helligkeitsinformationen und Synchronsignale wieder voneinander getrennt werden. Dabei bewertet das Amplitudensieb das angebotene Summensignal nicht allein nach den auftretenden Amplituden, es filtert auch die an ihrer Form ‚erkennbaren‘ Synchronimpulse aus und führt sie den Ablenkorganen der Bildröhre zu.

Unklarheiten bestehen noch hinsichtlich des Kathoden-Bezugspotentials der Oszillatorröhre, da eine direkte Erdung des Chassis fehlt und eine solche über die Steckerleiste – weitab von der TU 50 – als unsinnig auszuschließen ist.

König hat die undurchsichtigen Gleichspannungs-Potentialverhältnisse an den aktiven Bauelementen des Fernsehsenders durch Umzeichnen der Schaltung und gleichzeitiges Fortlassen aller unwichtigen Schaltungselemente aufgeschlüsselt (Bild 75) und kommt so zu folgendem Ergebnis:

- (1) Die Anodenspannungsversorgung der Senderröhre TU 50 erfolgt ohne direkten Bezug zum Geräte-Massepotential.*
- (2) In der in Eigenregung arbeitenden Senderstufe entsteht durch Gleichrichtung der am Steuergitter gegebenen, hochfrequenten Schwingamplitude ein Steuergitterstrom, der am Gitterableitwiderstand W7 eine automatische, negative Gittervorspannung erzeugt.*
- (3) Die Anodenspannung sowie Schirmgitterspannung der Video-Endröhre LV 1 wird über die Last- und Modulationsdiode DU 10 gleichfalls aus der Schwingamplitude der Senderstufe gewonnen. Um hierbei hohe Effektivität zu erreichen, liegt der Anschluss der Anode der DU 10 an einem Punkt der Lecherleitung mit hoher maximaler (?) hochfrequenter Spannung.*
- (4) Da die über den Widerstand W7 erzeugte negative Gittervorspannung U_{g1} die Diode DU 10 gleichfalls negativ vorspannen würde und somit ihre Funktion beeinträchtigt wäre, wird sie mit einer an dem Widerstand W17 einstellbaren ‚Gegenspannung‘ U_D kompensiert.*
- (5) Der Arbeitspunkt der Modulationsdiode wird mit Hilfe der Abgreifschelle des Widerstandes W17 so eingestellt, dass $U_{g1} = U_D$ ist. In diesem Fall liegt an der Diode keine Vorspannung. Die positive Halbwelle der von der Oszillatorröhre produzierten HF-Spannung (in Bezug auf Masse) kann ungehindert gleichgerichtet werden und steht damit als Anoden- und Schirmgitterspannung für die LV 1 zur Verfügung.*
- (6) Die Anodenspannungsversorgung des Senders liegt über Kontakt 9 der Steckerleiste mit seinem negativen Potential auf dem Schirmgitterpotential der Video-Endröhre.*
- (7) Der relativ hoch belastbare Widerstand W8 (200 k Ω , ca. 5 W) dient vermutlich als Grundlast und zur Entladung der Kondensatoren nach Abschaltung der Anodenspannung.*
- (8) Der Widerstand W9 ist offensichtlich als Messwiderstand zur Kontrolle des Anodenstromes der Senderröhre vorgesehen.*

Mit diesem Konzept wird die schaltungstechnische Bedeutung von W17 verständlich. Seine Einstellung spielt die entscheidende Rolle bei der Herstellung der Arbeitspunkte von Oszillatorröhre und Modulationsdiode.

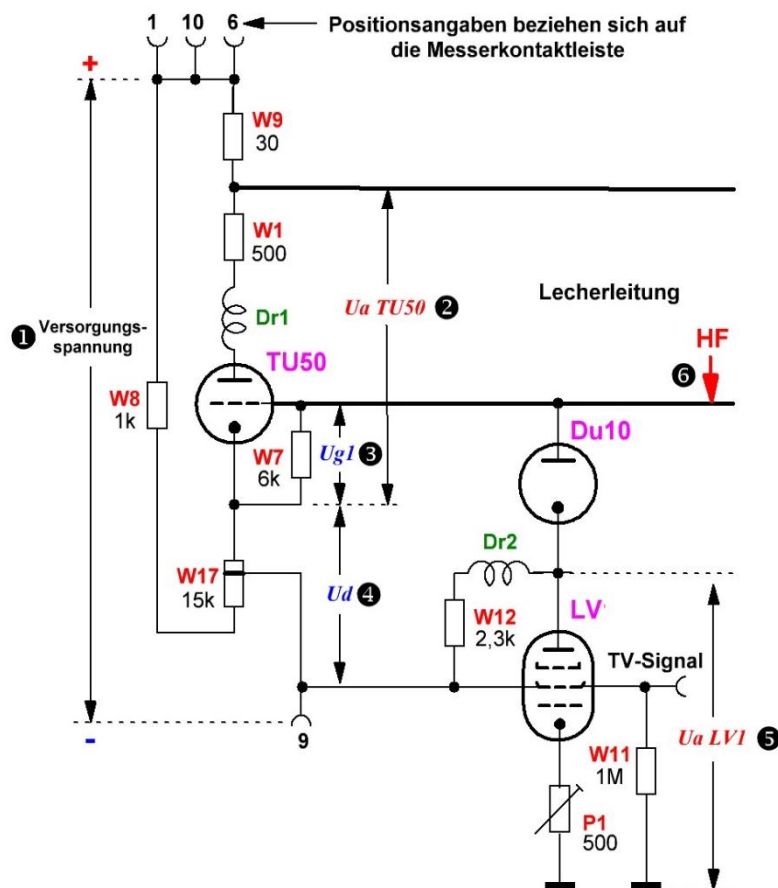


Bild 75

Funktionsschaltung des Fernseh-Senders der Hs 293 D

- ① Massefreie (erdfreie) Versorgungsspannung bezogen auf einen virtuellen Nullpunkt
- ② Anodenspannung und ③ negative Gittervorspannung des Leistungsoszillators TU 50
- ④ Vorspannung der ‚Modulationsdiode‘ DU 10 ⑤ Anodenspannung der Video-Endröhre LV 1
- ⑥ hochfrequente Wechselspannung (Bezugspotential Masse)

(Konzept Günter König)

Bleibt noch die Erläuterung der auf der musealen Plexiglasabdeckung der Geräteoberseite eingravierten Bezeichnung der Doppeldiode vom Typ LG1 als Messdiode. Sie besorgt, wie die Schaltung 63 zeigt, einerseits die Gleichrichtung einer vom Koppelschwingkreis L3/C11¹⁰ aus dem Lechersystem ausgekoppelten HF-Spannung, die gegen Masse über W6 abfällt. An der dort angeschlossenen Koaxial-Buchse (im Schaltbild als Monitorbuchse bezeichnet) kann zur Kontrolle ein Signal abgenommen werden, das dem in den Sender eingespeisten Basisbandsignal der Kamera entspricht und direkt auf dem Schirm eines Bildgerätes, z. B. einem »Seedorf I«, betrachtet werden kann.

Erforderlich dazu sind etwa 1 V_{SS} für den Eingang des ‚Bildschreibers‘, eine nicht unbeträchtliche Spannung, die einen auf die Sendefrequenz gezogenen Schwingkreis erforderlich machte. Er besteht aus der Drahtschleife L3 (Drahtumfang 132 mm) und dem Kreistrimmer C11, der durch seine rote ‚Warnlackierung‘ auffällt. Sie sollte offenbar verhindern, dass er nach erfolgter Grundeinstellung im Werk noch einmal verstellt wird. Vermutlich war er auf die vorgesehene Arbeitsfrequenz des Senders abgestimmt.

¹⁰ Abmessungen und relative Lage der Koppelschleife sind in Bild 76 dargestellt.

Es ist als sicher anzunehmen, dass sowohl der Messeingang, als auch der Monitorausgang bei der Grundeinstellung des Schwing- und Modulationsverhaltens des Senders eine wichtige Rolle gespielt haben, andernfalls hätte man diese Anschlüsse nicht mit von außen zugänglichen Koaxial-Buchsen ausgestattet. Durch Messung der Hochfrequenzspannung konnte nämlich nicht nur der Schwingzustand des Oszillators durch präzisen Abgleich der Kathodensperrkreise überprüft werden, sondern auch der optimale Arbeitspunkt der Röhre.

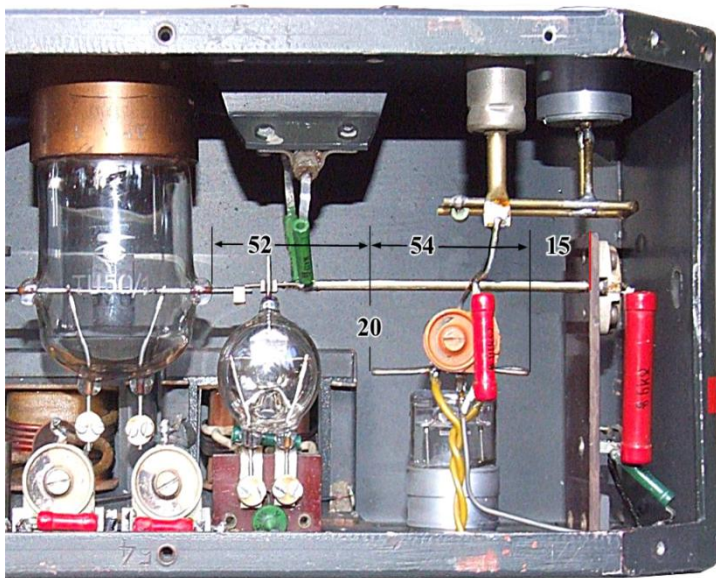


Bild 76

Monitor- bzw. Messdiode
Relative Lage zur $\lambda/2$ -Lecherleitung

Am Monitorausgang war dann sowohl die Wirkung der Vorspannungseinstellung der LV1 mit P1, als auch die der Abgreifschelle am Drahtwiderstand W17 zur Arbeitspunkteinstellung der Modulationsdiode (und der Oszillator-Triode) direkt am produzierten Bild zu erkennen. Eine raffiniert einfache Prüfmöglichkeit unmittelbar am Gerät!

Der Monitor-Koppelkreis konnte aber auch für die präzise Einstellung der Resonanzfrequenz des *Lechersystems* genutzt werden. Da es sich bei ihm um einen fest eingestellten Schwingkreis handelt, der mit Sicherheit werkseitig

auf die gewünschte Resonanzfrequenz des Systems abgeglichen war, könnte die Rotfärbung des Schwingkreistrimmers (Bild 77) ein Hinweis darauf sein, dass dieser nach Grundabgleich nicht mehr verstellt werden durfte.

Liegt nun bei schwingendem Oszillator am Video-Eingang kein Signal, so entsteht an der Monitorbuchse eine über W6 abfallende Gleichspannung, die umso größer ausfallen wird, je weiter sich die Resonanzfrequenz des *Lechersystems* der des Monitorkreises nähert. Der *Lecherkreis* ist sowohl mit der Abgleichscheibe, als auch mit dem Trimmer C13 fein abgleichbar, so dass bei Anschluss eines Gleichstrom-Messinstrumentes an die Monitorbuchse auf einfachste Weise die Sollfrequenz des Senders eingestellt werden kann (vgl. dazu Schaltung Bild 63).

An der Buchse wäre auf diese Weise Zugang zu zwei Funktionen möglich:

Modulationskontrolle des Fernseh-Ausgangssignals und Einstellung der vorgesehenen Sendefrequenz mit Hilfe eines fest eingestellten Referenz-Schwingkreises. Genialer geht's nicht!



Bild 77

Monitor-Koppelkreis
(Breite: ca. 12 mm)

Die Spezialröhren TU 50 und DU 10

Im Folgenden sollen hochinteressante Details anhand von – im Wortsinne – Einblicken in die bereits vielfach erwähnten Spezialröhren TU 50 und DU 10 anhand von Bildern gezeigt werden. Meines Wissens wurden diese Röhren in keinem anderen Wehrmachtsgeschütz eingesetzt, es sind Entwicklungen der *Fernseh GmbH* für den sehr speziellen Verwendungszweck in einem Verlustgerät. Keine andere Wehrmacht- oder Luftwaffenröhre hat einen vergleichbaren Aufbau. Der besondere Einsatzzweck kann an den technischen Daten abgelesen werden.

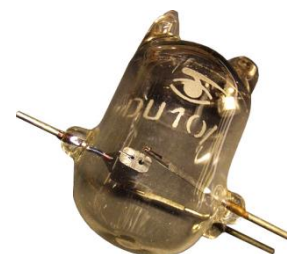
Hervorstechendes Merkmal ist die geringe vorgesehene Lebensdauer der Röhren (s. u.: Tabelle der technischen Daten). Sie betrug bei der TU 50 bei voller Auslastung (50 Watt Verlustleistung bei einer Anodenspannung von 1100 V) nur 10 Stunden. Im Sender wurde sie allerdings mit nur 800 Volt an der Anode betrieben.

Technische Daten der verwendeten Röhren:

	TU 50 (Triode)	DU 10 (Diode)
Heizung	direkt (=)	direkt (=)
Heizspannung U_f (V=)	1.4 (\pm 0.1V)	1.5
Heizstrom I_f (A)	6.6	7.2
Anodenspannung U_a (V=)	700 (900)*	(s.u.: U_{sp})
Anodenstrom I_a (mA)	100	150
Anodenverlustleistg. N (W)	50**	10
Steuerleistung Pst (W)	3	-
Steilheit S (mA/V)	4.4 (\pm 1 mA/V)	-
Durchgriff D (%)		
[$U_a = 500V, I_a = 100mA$]	8 (\pm 30%)	-
Grenzfrequenz (cm)	30 (norm. 70 cm)	-
Gitter-Anoden-C (pF)	2.2	-
Anoden-Kathoden-C (pF)	0.7	-
Lebensdauer (Stunden)	150 (10) s.u.	o.A.
Innenwiderstand R_i (Ω)		< 500
Sperrspannung U_{sp} (V)		500

*) Bei $U_a = 700$ Volt und $U_a = 1200$ Volt kalt wird eine Lebensdauer von 150 Stunden, bei $U_a = 900$ Volt und $U_a = 1200$ Volt kalt nur noch 10 Stunden erzielt.

**) Bei einer Anodenverlustleistung von 50 Watt beträgt die durchschnittliche Lebensdauer der Triode 150 Stunden, bei 75 Watt nur noch 10 Stunden.



Ihre Kathode bestand aus einer *Wolfram-Thorium*-Legierung, die in den Glaskolben eingeschmolzenen Elektrodenstifte aus Molybdän¹¹. Der Innenaufbau der Röhre war auf Kapazitätsarmut optimiert (flaches Steuergitter: ‚Schlaufengitter‘; Bild 80b), um eine Grenzwellenlänge von 30 cm zu erreichen (im vom Autor vermessenen »Tonne-Seedorf«-System arbeitet die Röhre bei ca. 64 cm).

Die folgende Tabelle enthält die wichtigsten zugänglichen Daten der im Aufbau von in dieser Zeit üblichen Dezimeterwellen-Röhren für Oszillatoren (z.B. LG 5, und die höhenfeste Variante LG 15) abweichenden, sehr speziellen Typen¹².

¹¹ *Wolfram* stand aus Österreich, Portugal aber auch aus dem Erzgebirge zur Verfügung, wurde aber für Hochleistungs-Panzerkanonen in großen Mengen benötigt. Ähnlicher Eigenschaften wegen (Korrosions- und Hitzebeständigkeit) wurde *Molybdän* wichtiger Ersatzstoff, obwohl es schwerer zugänglich war (Hauptlagerstätten in den USA, in Chile, China, Canada und Peru).

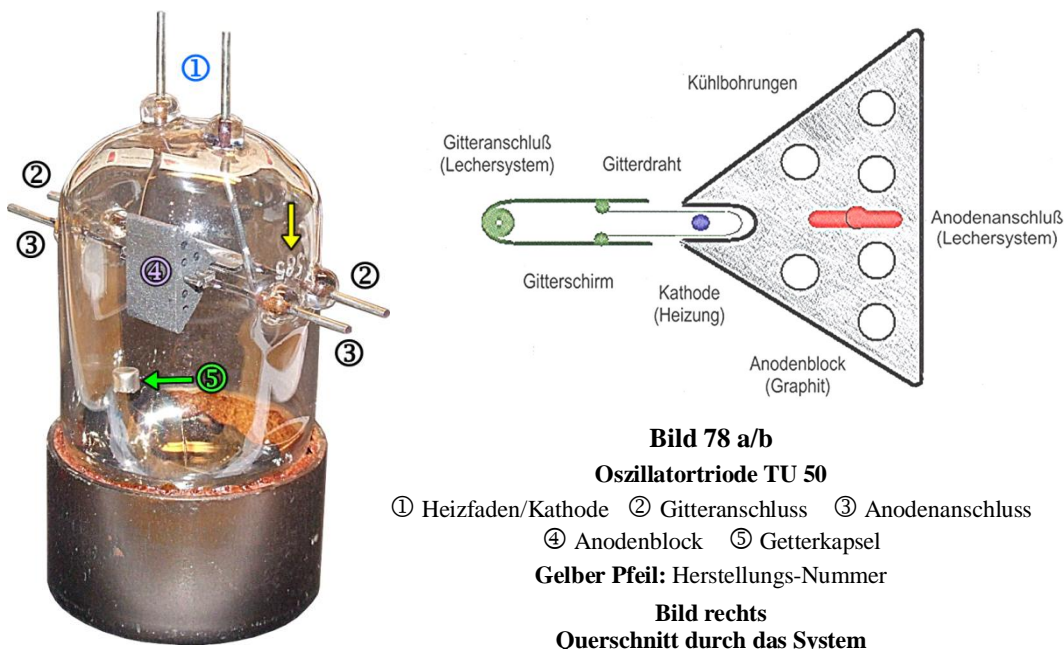
¹² Für die Erzeugung höherer Ausgangsleistungen in einem in Eigenregung betriebenen Oszillator wäre die LD 5 mit einer zugelassenen Anodenverlustleistung von 25 Watt nicht geeignet, es sei denn, man würde

Beachtung finden sollten die in den Bildern 78 und 79 erkennbaren Einzelheiten:

Die HF-Leistungstriode TU 50 ist so aufgebaut, dass sie harmonisch in das vorgesehene, auf eine Frequenz oberhalb 400 MHz abgestimmte *Lechersystem* eingehängt werden kann, ein Teilstück des *Lecherkreises* besteht somit aus Teilen des Innenaufbaus der Röhre. Über diesen interessanten Sachverhalt wurde bereits oben kurz berichtet.

Bild 80 zeigt Detailaufnahmen des Triodensystems. Der aus gesintertem sog. Elektrographit¹³ bestehende Anodenblock mit dreieckigem Querschnitt weist etliche Längsbohrungen zur Verbesserung der Wärmeabstrahlung auf. Seine Kontaktierung wird durch ein breites, flaches Blech hergestellt, das durch den ‚Graphitklotz‘ hindurchgeführt und links und rechts mit den nach außen ragenden Elektroden verschweißt ist.

In den Anodenblock ist eine Längsnut eingearbeitet (‚Schlitzanode‘), in die das an einem flach-U-förmigen Nickelblech verschweißte Steuergitter ragt. Das weicht vom konzentrischen Aufbau üblicher Elektronenröhren ab, findet sich aber in ähnlicher Anordnung auch bei anderen Luftwaffenröhren für Dezimeterwellen.



Die recht ungewöhnliche Konstruktion der TU 50 hat folgenden Sinn:

(1) Das Hauptproblem bei der Erzeugung höherer HF-Ausgangsleistungen eines Sender-Oszillators im Dezimeterbereich besteht bei strahlungsgekühlten Röhren in der effektiven Wärmeabfuhr von der Anode. Es muss dafür Sorge getragen werden, dass die Oberfläche der Anode so klein wie möglich gewählt wird, ohne die Wärmeabstrahlung zu verschlechtern. Große Anodenoberflächen haben zur Folge, dass die inneren Röhrenkapazitäten zwangsläufig höhere Werte annehmen, die ihrerseits die Tauglichkeit der Röhre für hohe Frequenzen mindern.

zwei Röhren im Gegentakt oder in Parallelschaltung dazu verwenden. Der Schaltungsaufbau würde sich dadurch komplizieren. Des Weiteren kann diese Röhre nicht – wie die TU 50 – unmittelbar in das *Lechersystem* integriert werden.

¹³ *Elektrographit* besitzt besonders gute Wärmediffusion und -Abstrahlung. Voraussetzung für die Verwendung als Anodenmaterial in Elektronenröhren ist hohe Reinheit des Materials, andernfalls besteht die Gefahr der ‚Ausgasung‘ mit Verschlechterung des Vakuums als Folge.

Bei der TU 50 wurde deshalb als Anode ein in dieser Hinsicht hocheffektiver massiver Graphitblock mit in Längsrichtung verlaufenden ‚Kühlbohrungen‘ eingesetzt, dessen Fläche gegenüber Blechanoden für die zu erzielende Leistung sehr klein ausfällt. Zudem liegt das Gitter in der Spitze des Anodenblocks, es ‚sieht‘ nur einen kleinen Teil der Anodenfläche. Eine solche Konstruktion führt zu der vergleichsweise geringen Gitter-Anodenkapazität von nur 2.2 pF, die Anoden-Kathodenkapazität liegt bei 0.7 pF¹⁴.

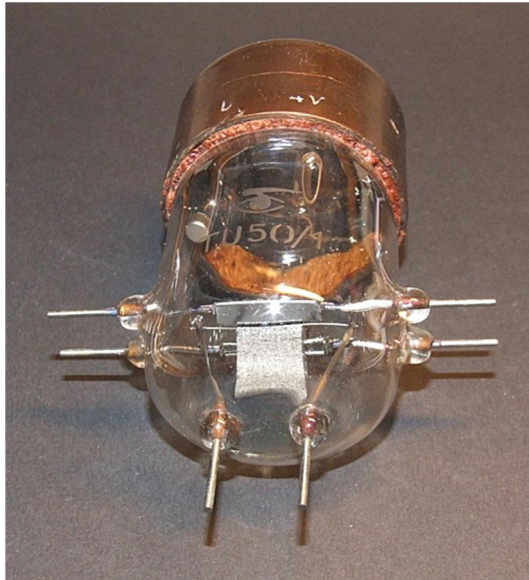


Bild 79 a/b

Osillatortriode TU 50

Links: ‚Lechertauglichkeit‘

Rechts: Röhrenboden
mit Gewindebohrung und Paßstift

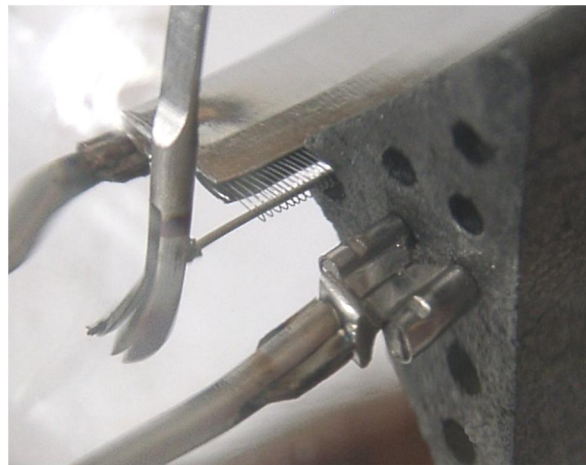
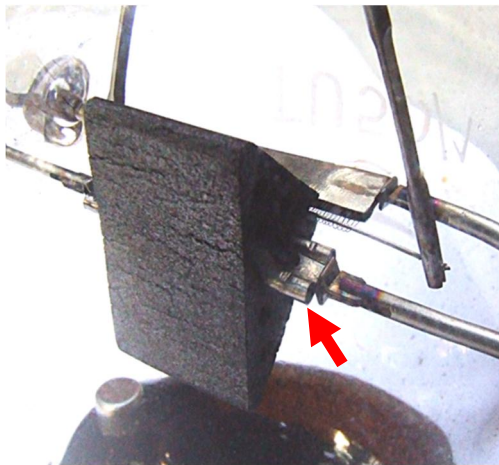


Bild 80 a/b

Dezimeter-Leistungstriode TU 50

Oben: Systemaufbau mit Heizung/Kathode, Steuergitter und Anode

Unten: Detailansicht mit Kathodenaufhängung, Steuergitterblech und Anodenkontaktierung

(2) Bei Röhren dieser Leistungsanforderung (20 W HF-Ausgangsleistung im selbstschwingenden Betrieb) gibt es eine weitere Schwierigkeit: Der relativ kleine Glaskolben unterliegt hoher thermischer Belastung, die nur durch Einsatz von speziellem Hartglas bewäl-

¹⁴ Es sollte in diesem Zusammenhang daran gedacht werden, dass an diesen Kapazitäten bei Frequenzen im Dezimeterwellenbereich bereits nennenswerte HF-Ströme fließen, welche die Röhre belasten und die Anfachung von Schwingungen erschweren.

tigt werden kann. Normales Röhrenglas würde schon nach kurzer Zeit ausschmelzen, zuerst an den der Anode nahegelegenen Elektrodenanschlüssen.

(3) Röhren vom Aufbau der TU 50 befinden sich aufgrund der hohen Heizleistung und der erheblichen Anodenverlustleistung in einem kritischen Temperaturbereich nicht nur am Kolben, sondern auch bei allen anderen im Innern befindlichen mechanischen Systemteilen. Bei der hohen Frequenz von ca. 480 MHz ist bereits auf einen möglichst niedrigen Verlustwinkel und Temperaturkoeffizienten des Glases zu achten. Bei der TU 50 ist deshalb praktisch vollkommen auf stützende Isolierungen zwischen den Elektroden verzichtet worden, sie sind direkt in den Röhrenkolben eingeschmolzen. Auf diese Weise sind die Aufbauelemente so wenig wie nur irgend möglich dem hochfrequenten Wechselfeld ausgesetzt, andernfalls es wegen der dielektrischen Verluste zu Übertemperaturen mit der Gefahr der Verschlechterung des Vakuums kommen würde (vgl. *Hollmann [I]*)¹⁵.

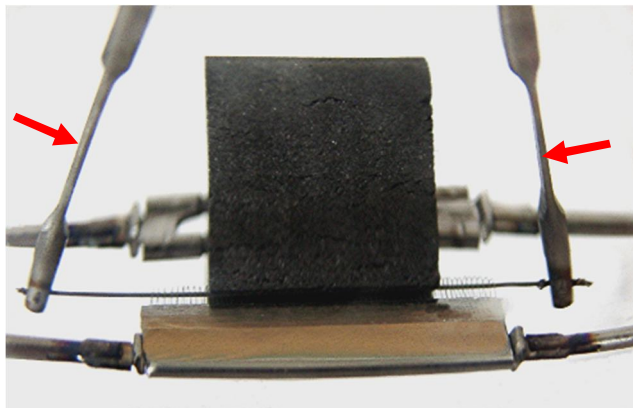


Bild 81
TU 50: Kathodenaufhängung zwischen Spreizfedern

(4) Auch das Steuergitter ist – wie oben bereits erwähnt – in besonderer Weise gestaltet. Zum einen sind die einzelnen Windungen HF-mäßig durch ein breites, flach U-förmiges Nickelblech, an dessen Innenseite die freitragenden Gitterschlaufen durch Punktschweißung befestigt sind, ‚kurzgeschlossen‘. Das im *Lechersystem* liegende Gitter besitzt auf diese Weise eine äußerst niedrige Induktivität, wichtige Voraussetzung für die Tauglichkeit der Röhre für hohe Frequenzen und für eindeutige Impedanzverhältnisse im *Lecherkreis*.

(4) Auch das Steuergitter ist – wie oben bereits erwähnt – in besonderer Weise gestaltet. Zum einen sind die einzelnen Windungen HF-mäßig durch ein breites, flach U-förmiges Nickelblech, an dessen Innenseite die freitragenden Gitterschlaufen durch Punktschweißung befestigt sind, ‚kurzgeschlossen‘. Das im *Lechersystem* liegende Gitter besitzt auf diese Weise eine äußerst niedrige Induktivität, wichtige Voraussetzung für die Tauglichkeit der Röhre für hohe Frequenzen und für eindeutige Impedanzverhältnisse im *Lecherkreis*.

Zum anderen wirkt das Nickelblech als rückwärtige ‚Abschirmung‘ der Kathode. Bei ‚offenem‘ Steuergitter würde sich ihr Elektronenstrom nach allen Seiten hin – wegen der Feldverhältnisse allerdings asymmetrisch – ausbreiten können, was bei der extrem hohen Emission (900 V/100 mA) bei gleichzeitig relativ kleinem und im Betrieb heißem Glaskolben dazu führen könnte, dass die Glaswand aufgeladen wird und durch ‚Elektronenbeschuss‘ im Extremfall aufschmelzen kann (*Salzmann*, mündl. Mitt.). Durch Streuemission verschlechtert sich im Übrigen der Innenwiderstand der Röhre (*Rothe/Kleen*).

(5) Eine weitere Besonderheit zeigt die Aufhängung des Heizfadens (Kathode): Der dicke *Thorium*-legierte Wolframdraht¹⁶ ist zwischen zwei weit von der Anode entfernten, vorgespannten Spreizfedern befestigt (Bild 80a), er kann somit bei Ausdehnung

¹⁵ Die dielektrischen Verluste des Glases spielen bei Frequenzen im DM-Bereich durchaus schon eine Rolle. Aus diesem Grunde wurden später die Röhrenkolben durch Keramik ersetzt.

¹⁶ Es gibt zwei verschiedene Typen von *Wolfram-Thorium*-Kathoden. Zum einen kann sie aus *Wolfram* und ca. 1 bis 3 % *Thorium* bestehen (man spricht von *Thorium*-Dotierung). Das hat den Vorteil eines besonders hohen Schmelzpunktes, wichtig für hocherhitzte Kathoden von Elektronenröhren. Außerdem wird die Elektronen-Austrittsarbeit stark verringert, was zu höherer Elektronen-Ergiebigkeit führt. Eine andere ‚Aufbereitung‘ des Kathodendrahtes besteht darin, dem *Wolfram Thoriumoxid* (ThO_2) zuzusetzen und das ‚Gemisch‘ kurzzeitig auf 2000° zu erhitzen, wodurch das *Thoriumoxid* zu *Thorium* reduziert wird. Bei dieser Behandlung diffundiert das nun metallische *Thorium* an die Oberfläche des Wolframdrahtes und bildet dort eine mono-atomare Oberfläche, wodurch ebenfalls die Elektronen-Austrittsarbeit stark vermindert wird. Bei 1750° beträgt die Emission dann etwa 1000 mA/cm², entsprechend ca. 50 mA/W. Um die große

durch den immensen Heizstrom (6.6 A bei 1.4 V) nicht gegen das nahegelegene, flachausgezogene Steuergitter schlagen. Wichtig aber auch, dass die Kapazität zwischen Kathode und Anode dadurch minimiert wird. Zusätzlich bietet dieses Konstruktionsdetail die Gewähr für stabiles Arbeiten im erschütterungs- und vibrationsträchtigen Flugbetrieb.

(6) Der Heizfaden durchläuft die Gitterschlaufen in geringem Abstand – das ist zur Erzielung hinreichender Steilheit unabdingbar ($S_{TU\ 50} = 4.4\ \text{mA/V}$). Er besitzt eine verhältnismäßig große Oberfläche, neben der Thorierung erforderlich für hinreichende Emission zur Erzielung der gewünschten HF-Leistung.

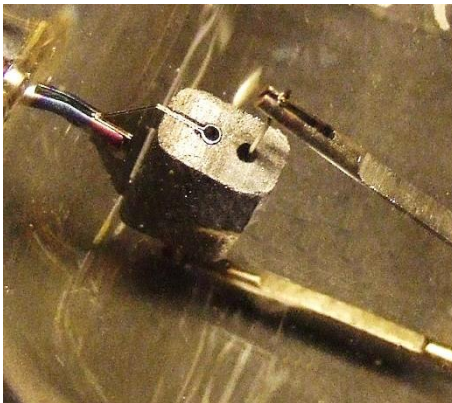
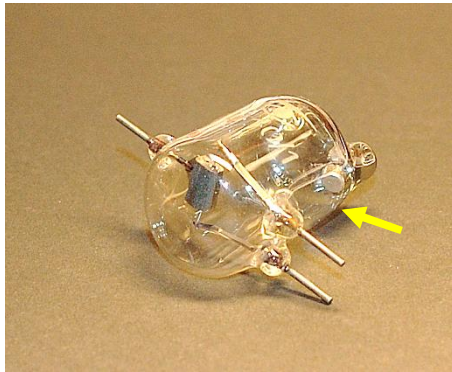


Bild 82 a-c

Leistungsdiode DU 10/1

Links:

Systemaufbau und Getterkapsel (Pfeil)

Rechts:

Individuelle Heizspannungsangabe
zwischen den Heizungsstiften
(vgl. Text)

Unten:

Anodenkontaktierung
und Heizfadeneinspannung
(Detailaufnahme)

Bei Röhren mit Graphitanoden, Hartgaskolben, kapazitätsarmen, unmittelbar in den Kolben eingeschmolzenen Durchführungen und verlustarmer Elektrodenhalterung kann bei Wellenlängen um 70 cm mit einem Wirkungsgrad von ca. 30 % gerechnet werden (*Hollmann* [1]).

Diese Angabe mag seit der Veröffentlichung seines Buches durch fortgeschrittene Röhrenentwicklung überholt sein, liegt aber mit den die für die TU 50 in der Literatur angegebene Ausgangsleistung von 20 W HF (Oberstrich) bei 50 W Anodenverlustleistung etwa in diesem Bereich.

Die obige Aufstellung zeigt, dass die bereits in den 30er Jahren bekannten Bedingungen für effiziente Schwingungserzeugung hinsichtlich der erforderlichen konstruktiven Maßnahmen des Röhrenaufbaus bei der TU 50 vollständig zur Anwendung kamen, für den vorgesehenen Verwendungszweck aber auch die Bereitstellung dieser Spezialröhre erzwungen haben.

Empfindlichkeit solch' dünner Schichten gegen Sauerstoff und Wasserdampf zu verringern, wird der Faden 'karboniert', d. h. vor dem Einbau in einer Kohlenwasserstoffatmosphäre bei ca. 2000° geglüht (*Rothe und Kleen*).

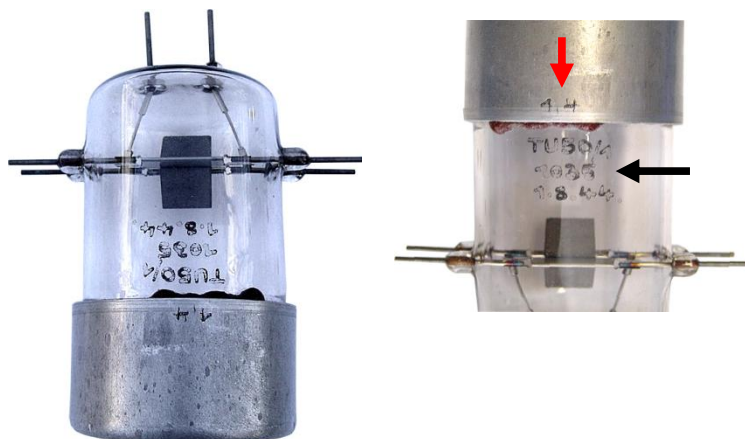


Bild 83 a/b

**Handschriftliche Eintragungen
auf Kolben und Sockel
einer TU 50/1**

Schwarzer Pfeil:

TU 50/1, Fertigungsnummer 1035,
Datum: 1.8.44

Roter Pfeil:

Individuelle Heizspannungsangabe

(Fotos: *Schudnagis*, bearbeitet)

Die Modulationsdiode entspricht im kapazitätsarmen Aufbau dem der TU 50. Sie besitzt, wie diese, eine gesinterte Graphitanode und auch der Heizfaden besteht aus einer Wolfram-Thorium-Legierung.

Die Heizfaden-Aufhängung ist in gleicher Weise vorgespannt wie bei der TU 50 (Bild 82c). Die Abbildungen vermitteln einen Eindruck von hochentwickelten glasbläserischen und material-technischen Möglichkeiten bei der *Fernseh GmbH*.¹⁷

Interessant sind Fertigungsnummern und weitere Eintragungen der *Fernseh GmbH* auf den Glaskolben der TU 50. Bild 83 zeigt die Fertigungsnummer 585 auf der Röhre des Beleggerätes. Sie unterscheidet sich deutlich von der offenbar später gefertigten TU 50 aus der Sammlung *Schudnagis*, insofern sie einen Messingsockel besitzt, jene – Fertigungsnummer 1035 vom August 1944 – einen dünnen Aluminiumnapf („Entfeinerung“ zur Materialeinsparung).

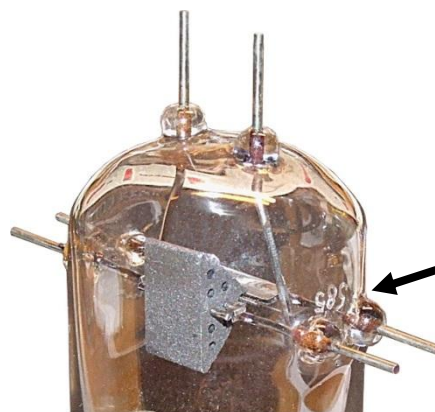


Bild 83 c

Unten: Fertigungsnummer 585
(ohne Datums)

Falls die Fertigungsnummern fortlaufend vergeben worden sind – ‚Verschleierungssprünge‘ bei der Markierung waren bei Wehrmachtsgerätschaft nicht selten – kann davon ausgegangen werden, dass mehr als tausend Fernsehsender des hier behandelten Typs zumindest geplant waren. Aus der heute außerordentlichen Seltenheit dieses Gerätes kann allerdings abgeleitet werden, dass nur wenige davon für Testzwecke tatsächlich gebaut worden sind.

Dem Autor ist nur ein einziges museales Exemplar bekannt, selbst in anderen Museen und bei hervorragend ‚bestückten‘ Sammlern findet sich kein zweites. Und in der hier verfügbaren Literatur ist es nirgendwo beschrieben oder gar mit Bildern belegt.

Einstweilen scheint es sich also um ein Unikat zu handeln, ohne allerdings zu wissen, ob sich weitere Exemplare vielleicht doch in amerikanischen oder britischen Sammlungen befinden.

¹⁷ Randnotiz: Zur gleichen Zeit gab es für Dezimeterwellen-Anwendungen Trioden geringer Leistung mit Schlitzanode, z. B. die Napfröhren von *Lorenz*, in denen das System aus Heizfaden und Steuergitter eingefügt worden ist. Auch bei diesen ist das System direkt an die in den Glaskolben eingeschmolzenen Sockelstifte angeschweißt.

Die Bildempfangsanlagen »Seedorf I« und »Seedorf III« - Mechanik

Die Entwicklung der Fernsehkamera »Tonne« und des Bildempfängers (Bildschreiber) »Seedorf« für militärische Zwecke hatte Vorläufer. Bereits zur Olympiade 1936 in Berlin war ein voll-elektronisches Fernseh-System einsatzbereit, wichtige Probleme, die bei transportabler Gerätschaft auftraten, waren allerdings noch nicht gelöst. Echte sog. Reportage-Geräte entstanden wohl erst 1939¹. Auf Einzelheiten soll hier nicht eingegangen werden, nur so viel:



Bild 84 a/b
Zielweisungs-Sichtgerät
(Bildschreiber)
ähnlich »Seedorf I«
Typenschild: FB NFE/3
Fernbild Niederfrequenz-Empfänger 3
(?)

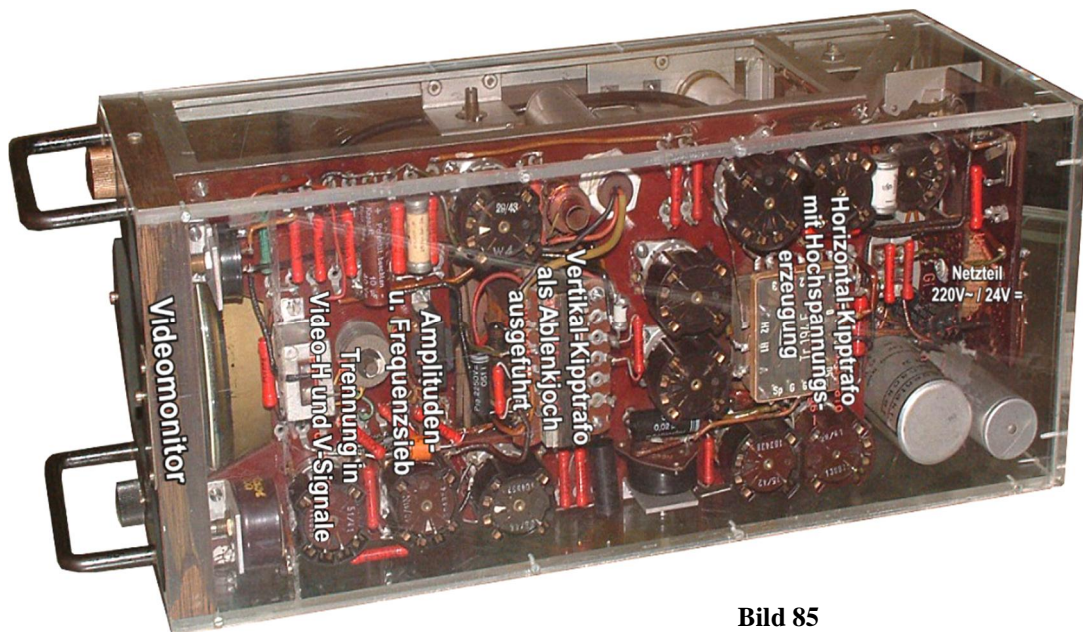


Bild 85
Sichtgerät, ähnlich »Seedorf A«: (Oberseite)
Maße des Empfängers: 160x160x400 mm,
(Version mit HF-Empfänger - Maße: 170x220x400 mm)
Schirmdurchmesser der Bildröhre: 130 mm

Bei stationären Fernseheinrichtungen (Fernseh-Rundfunk), bei denen Sender und Empfänger an einem festen Ort stehen, kann *Fading* durch unterschiedliche Übertragungswege und damit ‚dynamisch‘ sich ändernde Reflektionsverhältnisse nur unter besonderen Bedingungen auftreten. Es besteht auch keine Notwendigkeit, die Geräte besonders klein und stoßsicher zu bauen.

¹ Es kann als sicher gelten, dass das Entwicklungsziel dieser Geräte keineswegs auf die Produktion ziviler genutzter Technik, sondern von Anfang an auch auf militärische Einsatzmöglichkeiten gerichtet war.

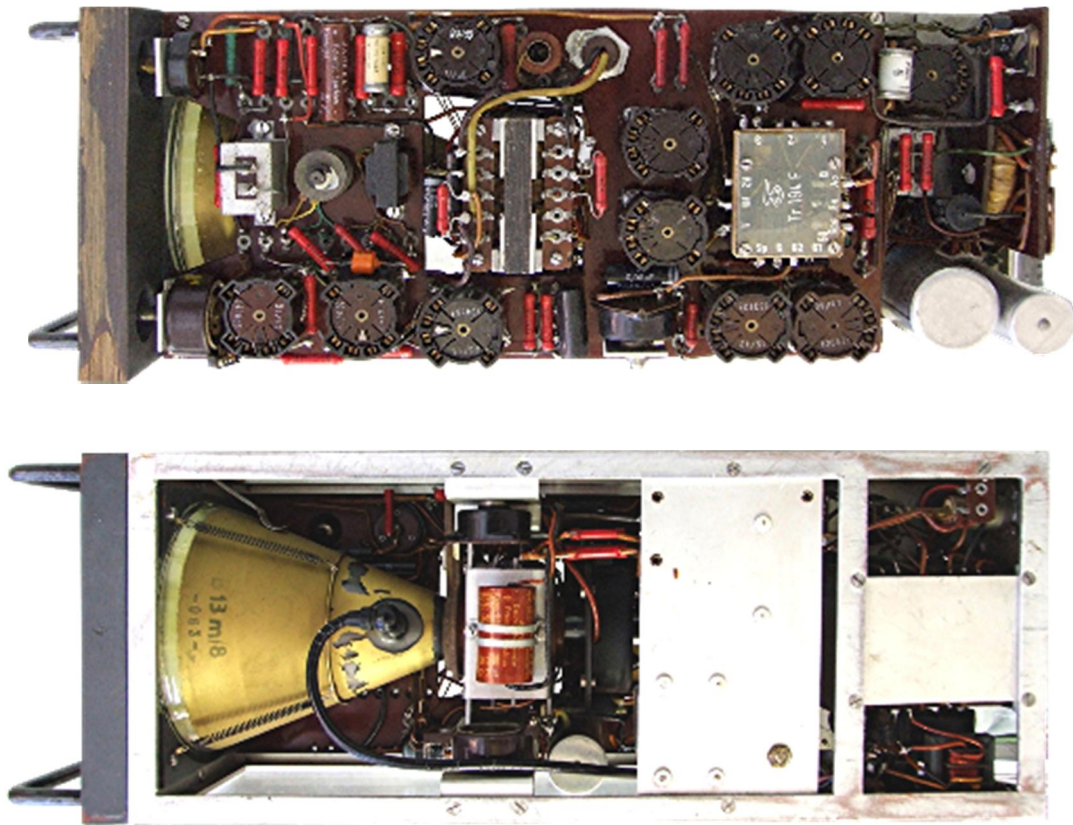


Bild 86 a/b
Sichtgerät, ähnlich »Seedorf A« (»Seedorf I«);
Ober- und Unterseite
Bildröhre: 13 mJ8 Nr. 983

Ganz anders bei mobil eingesetztem Fernseh-Equipment, das in Kraftfahrzeuge eingebaut werden soll, viel mehr noch bei in unserem Zusammenhang interessierenden Kameras und Bildgeräten, die in Flugzeugen oder Panzern zuverlässig ihre Aufgabe erfüllen sollen. Hier kommt es entscheidend darauf an, auch bei geringen Empfangsfeldstärken und wechselnden Reflexionsbedingungen scharfe, helle Bilder zu produzieren und einen stabilen Bildstand zu sichern und das bei möglichst wenig von Hand vorzunehmenden Eingriffen.

Das hängt zum einen vom mechanischen Aufbau der eingesetzten Geräte ab, mehr aber vom angewendeten Aufbereitungsverfahren der Fernseh-Signale. Bereits in den 30er Jahren fand man bei diesbezüglichen Untersuchungen heraus, daß mit der sog. Negativmodulation (Schwarzsteuerung)² mit positiven Synchronisierungsimpulsen eine wesentliche Verbesserung der Bildqualität bei schwachen Empfangsfeldstärken erreichbar ist. Bei Störungen entstehen bei dieser Modulationsart keine überstrahlenden Lichtflecken auf dem Bildschirm, sondern Dunkelstellen, die die Erkennbarkeit des Bildes weniger stark beeinträchtigen. Durch positive Synchronimpulse lässt sich zudem auf einfache Weise eine

² d. h., helle Bildstellen ergeben geringere Signalpegel als dunkle. Die Methode der Schwarzsteuerung hatte den Vorteil, dass man mit ihr auf Blenden- und Verstärkungsregelung verzichten konnte, für ein ferngesteuertes Gerät eine entscheidende Vereinfachung. Unabhängig vom Helligkeitsumfang des Zielobjektes kann mit ihr der gesamte für die Bildübertragung zur Verfügung stehende Modulationsbereich durchgesteuert werden.

wirksame automatische Fading-Regelung erreichen. Weiterhin erkannte man, dass ein störungsarmer Gleichlauf durch positive Synchronimpulse hergestellt werden kann. Für guten Bildstand ist die Bildsynchronisation zwischen Sender und Empfänger ausschlaggebend. Bei der *Fernseh GmbH* wurde deshalb die sog. Mitnahmesynchronisation entwickelt, für die sowohl im Sender als auch im Empfänger jeweils ein Generator für die Erzeugung von Zeilen-Synchronisierungszeichen von 10 kHz eingebaut wurde.

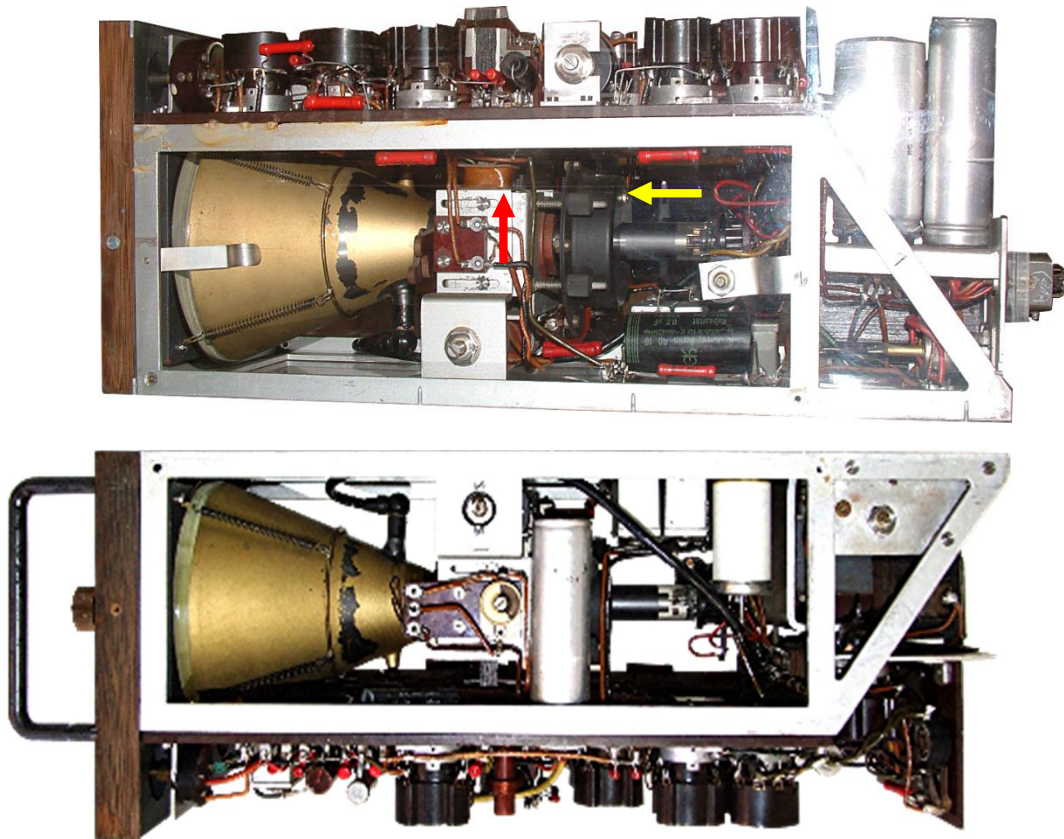


Bild 86 c/d

Sichtgerät, ähnlich »Seedorf A« (»Seedorf I«)

Oben: Rechte Seite **Roter Pfeil:** Bildablenkjoch **Gelber Pfeil:** Ablenkspule

Unten: Linke Seite - kopfstehend

v. Felgel-Farnholz beschreibt die Einrichtung wie folgt:

„Vom Sender zum Empfänger werden nur die Zeilensynchronisierungszeichen übertragen; zur Gewinnung der Bildsynchronisierungszeichen ist daher sowohl im Sender wie auch im Empfänger ein besonderer Frequenzteiler notwendig. Im Sender ist die Stabilität des Generators besonders wichtig. Mit einem normalen Schwingkreis mit temperaturkompensierten Kondensatoren läßt sich leicht eine Temperaturabhängigkeit von 1/10 % erreichen. Die mit dem Bildinhalt übertragenen Zeilenzeichen synchronisieren den empfängerseitigen Generator durch Mitnahme. Die ankommenden Zeilenzeichen werden zunächst mittels eines Schwingkreises in eine sinusförmige Spannung umgewandelt und dann über einen Phasenschieber dem Bremsgitter der Generatorröhre zugeführt. Der Phasenschieber ist fest eingestellt und gewährleistet bei genauem Gleichlauf von Sende- und Empfangsgenerator die richtige Zeilenphase. Der Mitnahmebereich beträgt maximal ± 50 Hz. Durch einen Feinregler der Generatorfrequenz des Empfängers können kleine Abweichungen der Eigenfrequenz der Generatoren, die sich durch Änderung der Zeilenphase bemerkbar machen, ausgeglichen werden. Zur Einstellung der Bildphase ist ein Druckknopf vorgesehen, durch dessen Bedienung eine Verstimmung und damit ein Durchlaufen der Bildphase bewirkt wurde. Dieses Synchronisierungsverfahren zeigt sich außerordentlich stabil. Eine Unterbrechung der Synchroni-

sierung kommt auch bei starken Störungen oder Reflexionen, bei denen das Bild schon unkenntlich ist, praktisch nicht vor.“

Zu den Versuchen, die zu einem störresistenten Bildstand durch spezielle Synchronisationsschaltungen- und Verfahren führten, berichtet Schubert auf einer Tagung der Deutschen Akademie der Luftfahrtforschung (Nov. 1942) Folgendes:

„Bei allen Versuchen zeigte sich, daß beim Durchlaufen der Minima ebenso wie beim Einfall fremder Störer die zur Übertragung des Fernsehbilds erforderlichen Synchronisiersignale am störepfindlichsten sind.

Wie [die] Abbildung [Bild 87b] zeigt, werden bei der Übertragung etwa 50% der Senderleistung für das Synchronisiersignal und 50% für den Bildinhalt verwendet. Bei den sonst üblichen Fernsehübertragungen ist der Synchronisieranteil geringer, und zwar nur 25%. Es hat sich jedoch als erforderlich gezeigt, mit Rücksicht auf Störungen den Synchronisieranteil im vorliegenden Fall zu erhöhen. Wenn es gelingt, die Synchronisierung störfest zu machen, ist der Bildinhalt noch unter verhältnismäßig schlechten Empfangsbedingungen zu erkennen, und zwar praktisch so lange, bis das Bild im Empfangsgriß verschwindet.

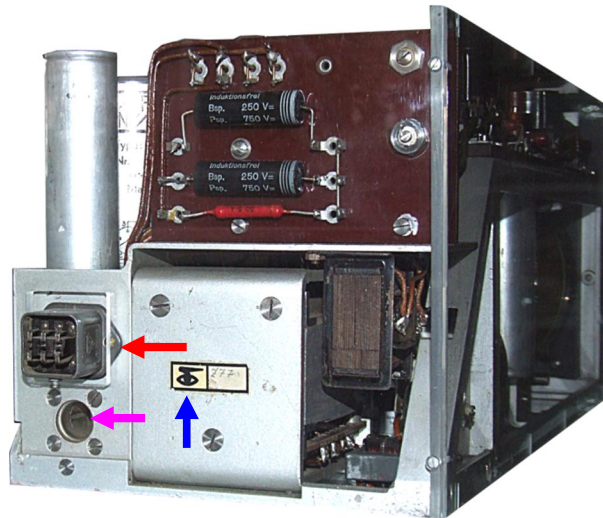


Bild 87 a

»Seedorf I« Rückseite des Monitors

Roter Pfeil: Stromversorgung

Blauer Pfeil: Logo der Fernseh GmbH

Violetter Pfeil:

Siemens Koaxial-Eingangsbuchse für das Videosignal (Basisband)

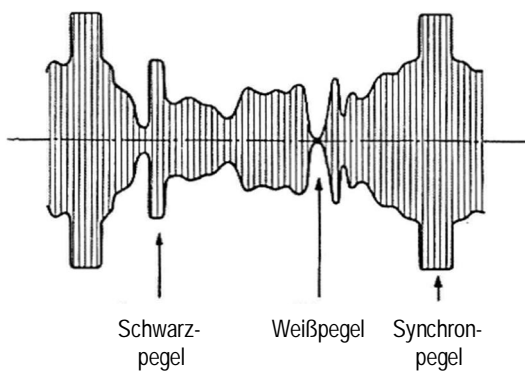


Bild 87 b

Bildmodulierter HF-Träger

(aus Schubert, bearbeitet)

Es wurde daher versucht, sowohl in der Kamera als auch im Empfänger die Synchronisierfrequenz für Bild und Zeile örtlich durch entsprechende Teiler-schaltungen von zwei gleichen Quarzen abzuleiten. Voraussetzung ist dabei natürlich, daß die Frequenz der Quarze über einen längeren Zeitraum konstant bleibt. Erforderlich ist eine Genauigkeit von mindestens 10^{-6} . Außerdem ist Voraussetzung, daß man Quarze in genügender Anzahl findet, welche die genau gleiche Frequenz erzeugen.

Nachdem ein prinzipieller Versuch mit solchen quarzsynchronisierten Apparaturen gezeigt hatte, daß alle erwarteten Vorteile auftreten, wurde versucht, die Quarze durch andere Mittel zu ersetzen.

Nach Abschluß einer größeren Reihe von Versuchen wurde die sogenannte Mitnahmesynchronisierung als am geeignetsten befunden. Sie besteht im wesentlichen darin, daß sowohl Sender als auch Empfänger an Stelle der Quarze einen Schwingungskreis von etwa 10^4 Genauigkeit besitzen, der die Zeilenfrequenz erzeugt. Der im Empfänger eingebaute Schwingungskreis wird durch die ankommenden Synchronisiersignale im Mitnahmebereich korrigiert. Dabei ist es jedoch nicht notwendig, daß jedes Synchronisiersignal ankommt. Auch beim Ausfall einzelner Synchronisiersignale hält der Schwingungskreis wie ein »elektrisches Schwungrad« den Empfänger in Takt, und es hängt im wesentlichen von der Ausführung der Schaltung im einzelnen ab, wie fest die Synchronisierung auch bei Störungen ist.

Die Bildfrequenz kann dann entweder aus der so stabilisierten Zeilenfrequenz abgeleitet oder auch nach der gleichen Methode direkt erzeugt werden. Diese Methode gestattet auch eine bessere Ausnutzung der Senderleistung, da es nicht mehr notwendig ist, etwa 50% derselben zur Übertragung der Synchronisierung einzusetzen. Vielmehr kann man bis auf etwa 5% heruntergehen, was einer entsprechenden Steigerung der Reichweite gleichkommt. Es ist dabei jedoch notwendig, bei Beginn der Übertragung im Empfänger Bild und Zeilenphase einzustellen, was aber durch wenige Handgriffe leicht möglich ist.

Eine zweite, sehr interessante Methode einer störfesten Synchronisierung sei ebenfalls noch erwähnt. Man kann sowohl für Sende- als auch Empfangsseite die Synchronisiersignale durch entsprechende Teilerschaltungen aus einer Mutter- oder Taktgeberfrequenz ableiten, die entweder mit einem besonderen Sender ausgestrahlt oder durch einen sonst vorhandenen Sender direkt gegeben ist. So wurden sehr erfolgreiche Versuche mit der Welle des Deutschlandsenders als Mutterfrequenz zur Synchronisierung von Fernsehübertragungen durchgeführt. Die dabei auftretende Schwierigkeit, daß bei eventueller Übersteuerung des Deutschlandsenders die Taktgeberfrequenz ausfällt, kann durch Anwendung des bereits erwähnten »elektrischen Schwungrads« behoben werden. Auch in diesem Fall muß Bild- und Zeilenphase beim Beginn der Sendung im Empfänger eingestellt werden.

Diese Methode würde es also dem Gegner erschweren, die Fernsehübertragung restlos zu zerstören, da er dann gleichzeitig auch die für die Synchronisierung benutzten Wellen ermitteln und stören müßte. Selbstverständlich muß dabei gewährleistet sein, daß der die Mutterfrequenz liefernde Sender nicht abgeschaltet wird.

Zunächst wird jedoch wahrscheinlich die zuerst erwähnte einfachere Mitnahmesynchronisierung allen Anforderungen genügen.“

Damit war die Mitnahmesynchronisierung als Verfahren der Wahl festgelegt, sie hatte sich auch im praktischen Betrieb als sehr zuverlässig erwiesen und war einfacher zu realisieren als dies durch Verwendung hochgenauer Quarze möglich gewesen wäre. Man konnte damit die wesentlichen militärischen Anforderungen erfüllen: Solider Bildstand durch zuverlässige Synchronisation selbst bei geringen oder stark wechselnden Empfangsfeldstärken, gute Bildhelligkeit und –Schärfe, hohe Erschütterungs- und Vibrationstoleranz bei dem rauen Einsatz in Flugzeugen, Panzern und Kraftfahrzeugen bei möglichst kompakten Abmessungen.

Das HF-Teil des Bildempfängers »Seedorf I« - Spekulationen -

Über das HF-Empfangsteil für das Fernseh-Signal bei drahtloser Bildübermittlung ist relativ wenig bekannt. Festzustehen scheint, dass es – je nach geplante Einsatzzweck – verschiedene Frequenzbereiche gab, in denen das TV-Signal ausgestrahlt wurde³.

v. Felgel-Farnholz beschreibt den Empfänger des »Seedorf« so:

„Bei der Dezimeterwellenvorstufe wird der Eingangskreis, an welchen das symmetrische Antennenkabel über zwei kleine Kondensatoren angekoppelt ist, durch eine symmetrische Lecherleitung gebildet. Eine Seite der Leitung liegt an den Anoden einer Mischdiode, das andere Ende wird durch eine verstellbare Kurzschlußbrücke abgeschlossen. Die Oszillatorspannung wird in einer Triode erzeugt und im Gegentakt auf das Eingangssystem induziert. An der Kathode der Mischdio-

³ Im Weiteren sollen nur die in der Literatur vorgefundenen Informationen zur Dezimeter-Version des »Seedorf« zusammengestellt werden. Müller berichtet über ein UKW-Empfangsteil, zu dem dann natürlich auch ein entsprechender Sender gehört haben muss. Er soll mit zwei fremdgesteuerten Pentoden RS 381 in Gegentakt ausgestattet und im Bremsgitter moduliert worden sein. In Panzern, mit 20 Watt HF-Leistung arbeitend, wird eine Reichweite von bis zu 7 km im Gelände angegeben.

de wird die Zwischenfrequenz im Eintakt abgenommen und in einer Pentode verstärkt. Das Anodenfilter dieser Röhre ist an die Zwischenfrequenzbuchse des eigentlichen Zwischenfrequenzverstärkers angepaßt.

Die Zwischenfrequenz wird in drei Stufen mittels steiler Pentoden (LV 1) verstärkt und in einer Gegentaktodiode gleichgerichtet. Die Gesamtverstärkung [...] beträgt einschließlich Dezimeterwellenvorstufe 30.000. An die Diode angeschlossen ist neben der Endverstärkerstufe noch die Verstärkungsregelautomatik [...]. Ein galvanisch an den Zwischenfrequenzgleichrichter angeschlossener Gleichstromverstärker steuert einen Spitzengleichrichter, welcher auf den Trägermaximalwert anspricht. Die entstehende Gleichspannung regelt sämtliche Zwischenfrequenzröhren und, mit verzögertem Einsatz, auch den Verstärker. Antennenspannungen zwischen 100 μV und 1 V werden verzerrungsfrei ausgeregelt, bei Erhöhung der Ausgangsspannung um den Faktor 1,2...“

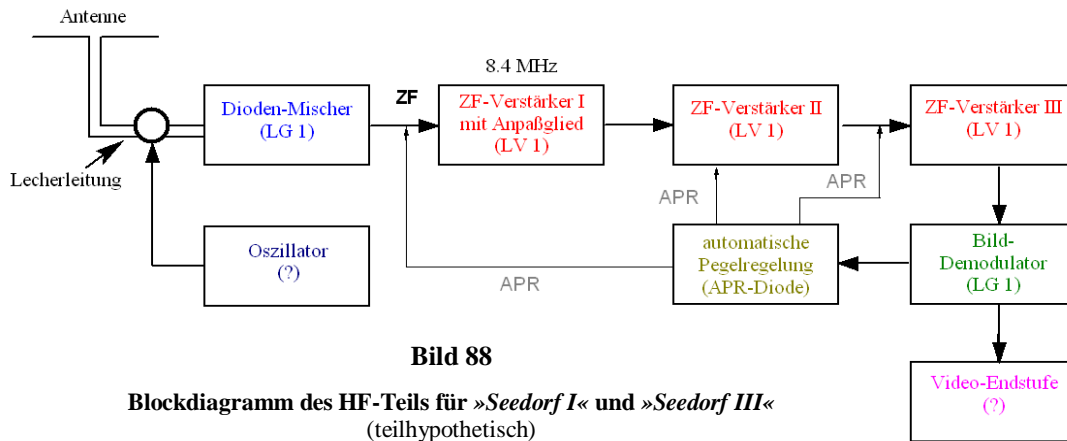


Bild 88
Blockdiagramm des HF-Teils für »Seedorf I« und »Seedorf III«
(teilhypothetisch)

Nach dieser Beschreibung könnte das Eingangsteil des »Seedorf« dem eines für DMW-Richtfunkstrecken eingesetzten Empfängers⁴ geähnelt haben (Bild 89). Es wird im Geräte-Handbuch D. (Luft) T. 4853 zum Dezimetergerät DMG 3 aG wie folgt beschrieben:

„Die von der Antenne aufgefangenen DM-Schwingungen gelangen zu dem auf die Empfangsfrequenz abgestimmten **Eingangskreis**. Dieser ist in Form eines **Topfkreises** [Hervorhebungen d. Verf.] mit 20 fest einstellbaren Frequenzen ausgebildet, dessen Einstellvorrichtung mit der des Wellenmessers und des Überlagerers mechanisch gekuppelt ist. Das Einstellen der abgestimmten Kreise geschieht im allgemeinen mit dem Motor der Such- und Nachstimmeinrichtung.

Vom Eingangskreis aus werden die hochfrequenten Schwingungen der Diode [LG 1] der Mischstufe zugeführt. In die Kathodenleitung dieser Mischdiode werden die vom eingebauten Überlagerer erzeugten Schwingungen über den Bügel [Lk2] gekoppelt. Aus diesen beiden hochfrequenten Schwingungen entsteht durch Gleichrichtung der Diode die Zwischenfrequenz (ZF) von 650 kHz.

Der **Überlagerer** arbeitet in einer gewöhnlichen Dreipunktschaltung. Die Frequenz des Überlagerers wird bestimmt von der Induktivität der Schleife [L2] und der Reihenschaltung aus der Röhren- und Abstimmkapazität [...].“

Da die Dezimeter-Richtfunk-Empfänger allerdings über einen größeren Frequenzbereich hinweg arbeiten sollten, wurden bei ihnen im Eingangsteil mechanisch stabile, verlustarme Topfkreise verwendet, die über motorgetriebene Feingewindestangen reproduzierbar abgestimmt werden konnten. Beim TV-Empfänger für den »Seedorf« war dies nicht erforderlich, das TV-Signal lag auf einer Frequenz im Bereich um oder oberhalb 440 MHz⁵. Für

⁴ Arbeitsfrequenz zwischen 400 und 600 MHz, also vergleichbar dem Sender der HS 293 D

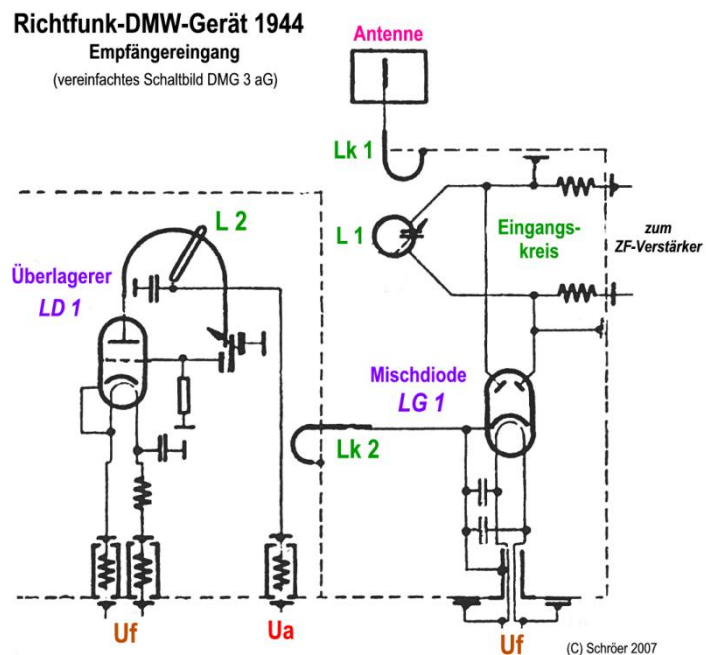
⁵ Bei Masseneinsatz der Hs 293 D hätten natürlich mehrere ‚Fernsehkanäle‘ vorgesehen werden müssen, um gegenseitige Störungen zu vermeiden. Vermutlich deshalb wurden diesbezüglich verschiedene Abgleichmöglichkeiten vorgesehen (s. o.).

ein verlustarmes Eingangsteil reicht hier – wie von v. Felgel-Farnholz angegeben, ein Lecherkreis aus, zumal das die Kosten für ein Verlustgerät erheblich senkt.

Bild 89
Eingangsstufe
des
Richtfunk-Dezimeterwellen-Gerätes
DMG 3 aG (Telefunken)

Lk1 – Antennenkoppelspule
L1 – Eingangsschwingkreis
Lk2 – Haarnadel-Koppelspule vom
Überlagerer zur Mischdiode
L2 – Oszillator-Schwingkreis

(Stromlaufplan aus
D. (Luft) T. 4853,
bearbeitet)



Im Gegensatz zu der in Bild 89 gezeigten Eingangsschaltung des Richtfunkempfängers wurde beim »Seedorf« die ZF nicht aus der Anode, sondern an der Kathode der Mischdiode ausgekoppelt.

Ob das Direkt-Mischsystem auch beim TV-Empfänger zur Anwendung kam, scheint nach der Bemerkung von v. Felgel-Farnholz, „Die Gesamtverstärkung [...] beträgt einschließlich Dezimeterwellenvorstufe 30.000“, fraglich [Hervorhebung d. Verf.]. Hat er tatsächlich über eine Vorstufe verfügt? Geeignete HF-Pentoden waren zu dieser Zeit noch wenig leistungsfähig.

Die Zwischenfrequenz des TV-Empfängers hat nach übereinstimmenden Literaturangaben bei 8.4 MHz gelegen bei einer Bandbreite von ± 2.5 MHz, so dass hier – bei den unter Umständen zu erwartenden relativ schwachen Eingangssignalen⁶ – drei steile Luftwaffen-HF-Pentoden vom Typ LV1 für die Breitbandverstärkung ausgereicht haben dürften.

Sicher scheint, dass das demodulierte AM-ZF-Video signal der vermutlich im Sichtgerät liegenden Video-Endstufe zugeführt worden ist. Eine andere Lösung hätte zu unnötigen Übertragungsproblemen des ZF-Signals über eine längere Zuleitung geführt. Das stimmt gut mit einer bei F.Müller gefundenen Bemerkung überein, die sich auf den Universalempfänger »Seedorf I« bezieht:

„Der im Bildschreiber [Monitor] eingebaute [Hervorhebung durch Verf.] Videofrequenz-Verstärker lieferte bei einer Eingangsspitzenspannung von 1 Volt etwa 30 Volt zur Aussteuerung der Kathodenstrahlröhre bei einer Anodenspannung von 6 kV...“

Nicht ganz eindeutig heißt es hinsichtlich des höhenfesten »Seedorf III«, der Monitor habe einen „videofrequenten Eingang“ gehabt. Das kann unterschiedlich interpretiert werden,

⁶ Die theoretisch mögliche Zielentfernung lag bei ca. 100 km, operativ aber im Bereich von 10 bis 50 km.

jedenfalls aber auch im obigen Sinne. Bedauerlicherweise ist das Beleggerät (»Seedorf III«) des DTMB, was die Einspeisung des Bildsignals anbetrifft, unvollständig⁷. Im Übrigen soll die Schaltung des Dezimeter-Empfangsteils bei »Seedorf I« und »Seedorf III« – soweit aus der Literatur ersichtlich – identisch gewesen sein.

v.Felgel-Farnholz gibt folgende Daten für das HF-Teil der Sichtgeräte »Seedorf I« (und »Seedorf III«) an:

Übertragungsfrequenz:	300 – 400 MHz
Bandbreite:	± 2.5 MHz
Empfindlichkeit: <i>am Ende des Antennenkabels an 120 Ω für Nutzleistung = Rauschleistung</i>	25 µV
Antennenspannung: <i>für ein gut sichtbares Bild bei Träger- Modulationsgrad von mindestens 60 %</i>	100 µV
Verstärkung: <i>von Antennenkabel bis Gleichrichter</i>	3 x 10 ⁴
Zeitkonstante der Regelung:	~ 10 ms

Wie oben bereits erwähnt, lag nach v.Felgel-Farnholz und Müller die Zwischenfrequenz des TV-Empfängers bei 8.4 MHz bei einer Bandbreite von ± 2.5 MHz.

Bei Trenkle [2], der offenbar auf die Angaben von v.Felgel-Farnholz zurückgreifen musste, findet sich lediglich die Bemerkung, dass die Röhrentypen für das Dezimeterwellen-Empfangs-Eingangsteil, also Diodenmischer und Oszillator, nicht bekannt seien.

Stiwe (S. 381) gibt demgegenüber für den Diodenmischer die Bestückung mit einer LG 1 an. Ansonsten stimmen seine Angaben mit denen von v.Felgel-Farnholz überein. Leider liegen keinerlei Informationen über den mechanischen und elektrischen Aufbau des Oszillators vor, der ja – ober- oder unterhalb der Empfangsfrequenz von ca. 400 MHz schwingend – von außerordentlicher Stabilität gewesen sein muss⁸. Über möglicherweise vorhandene automatische Scharfabstimmungseinrichtungen (ASA) des Systems Sender-/Empfänger zwecks Verhinderung des Auseinanderlaufens der Frequenzen gibt es in der verfügbaren Literatur ebenfalls keine Angaben.

Weitere Quellen als die zitierten oder gar Bilder des Empfangsteils liegen hier nicht vor, man findet sie übrigens auch bei keinem der zitierten Autoren.

⁷ Wie weiter unten genauer ausgeführt werden wird, fehlt dem Gerät der Dichtungstopf, der den Zutritt feuchtigkeitshaltiger Luft und damit die Gefahr von Kondenswasserbildung verhindern sollte, und damit auch möglicherweise an ihm befestigte ‚dichte‘ Stecker, die für die Zuführung des Videosignals zuständig gewesen sein könnten. Möglicherweise läuft dies aber auch über eine der abgeschirmten, weitleumigen Leitungen im dicken bandagierten Kabelbaum, der bedauerlicherweise kurz abgeschnitten worden ist. Vom TV-Empfänger auch hier keine Spur.

⁸ Vielleicht wurde aber auch Oberwellenmischung angewendet, so dass die Grundfrequenz des Oszillators bei nur der Hälfte oder einem Drittel der benötigten Oszillatorfrequenz liegen musste, was natürlich den Aufwand für die Erzeugung eines frequenzstabilen Signals deutlich vermindern würde.

Das höhen- und tropenfeste Sichtgerät »Seedorf III«

Einige der militärischen Forderungen an Stabilität, leichte Bedienbarkeit, Vibrations- und Beschleunigungsfestigkeit und nicht zuletzt an geringe Baugröße erfüllte der Universalempfänger »Seedorf I« bereits in frühen Ausführungen, von denen es mehrere gab. Problematisch war jedoch die Verwendung des Sichtgerätes in Flugzeugen, die in großen Höhen operieren sollten, um auf diese Weise der feindlichen Flak und Abwehr durch Jagdflugzeuge zu entgehen.

Für diese spezielle Aufgabe entwickelte die *Fernseh GmbH* 1943 bis 1945 (vgl. Müller) ein höhen- und tropentaugliches Bildsichtgerät, genannt »Seedorf III«, dessen mechanischer und elektrischer Aufbau von dem des ‚Standard-Seedorf‘ vollkommen abwich. Es sollte gegen Hitze-, Kälte- und Feuchtigkeitseinflüsse⁹ weitgehend unempfindlich sein, also auch in großen Höhen und unter tropischen Bedingungen eingesetzt werden können, und das Gerät musste im Lenkstand selbst bei Tageslicht ein hinreichend helles Bild liefern. Das erforderte eine hohe Anodenspannung – verwendet wurden 12 kV.

In feuchter Luft steigt bei derart hohen Spannungen natürlich die Gefahr von Überschlägen und Sprühercheinungen, besonders bei den geforderten geometrisch kleinen Abmessungen; in Kampfflugzeugen stand stets nur wenig Platz zur Verfügung. Die Konstruktion eines betriebssicheren Gerätes erzwang deshalb besondere Vorkehrungen zur Fernhaltung von ungünstigen Umwelteinflüssen. Unter allen Umständen musste Kondenswasserbildung vermieden werden, und alle Hochspannungsführenden Teile waren entsprechend sorgfältig zu isolieren.

Das Problem konnte gelöst werden, indem man die Kathodenstrahlröhre, eine Spezialentwicklung der *Fernseh GmbH*, Typenbezeichnung LB 20, mit 16 cm Schirmdurchmesser bei nur 30 cm Baulänge¹⁰, zusammen mit der zugehörigen Elektronikperipherie in ein luftdicht abgeschlossenes zylindrisches Gehäuse von 17 cm Durchmesser und 37 cm Länge einschloss. Alle Durchlässe wurden mit hermetisch schließenden Gummidichtungen versehen.

Bemerkungen zum Beleggerät

Das im Folgenden im Detail besprochene Belegexemplar befindet sich im Depot des *Deutschen Technik-Museums Berlin* (DTMB); es ist dem breiten Publikum gegenwärtig nicht zugänglich¹¹.



Bild 90
»Seedorf III«: Sichtfenster
Maße des frontseitigen Abdeckkastens
der Bildröhre

⁹ Nicht alle höhentauglichen Flugzeuge der deutschen Luftwaffe waren beheizt, stärkere Temperaturunterschiede zwischen Start und operativer Höhe also nicht auszuschließen. Das war solange kein Problem, wie keine mit extremer Hochspannung betriebenen Geräte in der Zelle vorhanden waren.

¹⁰ »Seedorf I«: 13 cm Schirmdurchmesser bei 36 cm Baulänge und 6 kV Anodenspannung.

¹¹ Ich bin dem Leiter der Nachrichtenabteilung des DTMB, Herrn *Joseph Hoppe*, für die Fotografieregenehmigung im Depot zu Dank verpflichtet, den Herren *Dietmar Ruppert* und *Wolfgang Thelen* für die sehr hilfreiche Betreuung vor Ort.

Bei meinen Untersuchungen zu Vollständigkeit und Funktionsweise des Gerätes ergab sich folgendes Bild:

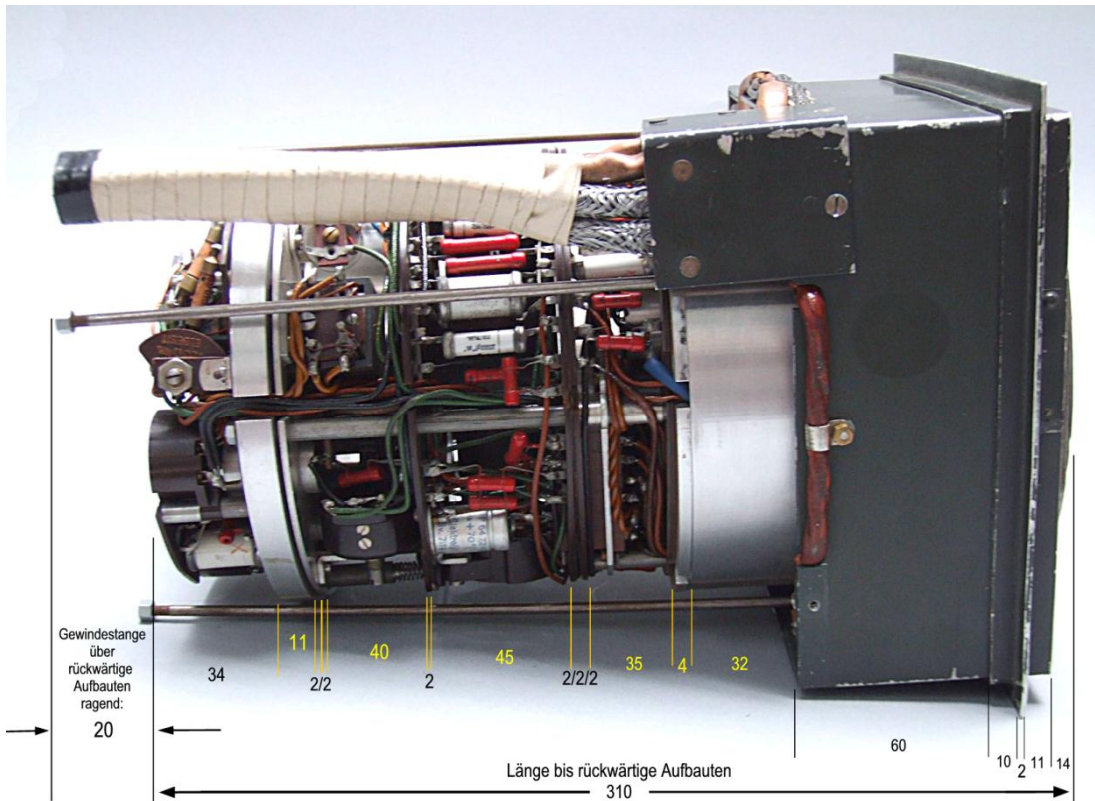


Bild 91
Höhen- und tropfenfester Fernseh-Monitor (Bildschreiber) »Seedorf III«
Abmessungen

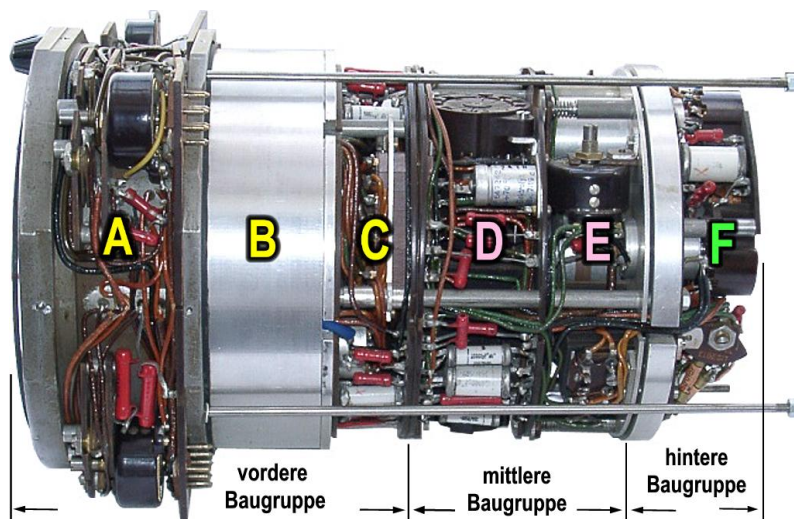


Bild 92
Höhen- und tropfenfester Fernseh-Monitor (Bildschreiber) »Seedorf III«
- Einteilung in Baugruppen -

Der Zylindertopf zum luftdichten Abschluss der Hochspannungs- und Ablenkelektronik fehlt ebenso wie die meisten Elektronenröhren, auch die Bildröhre. Die Daten der Letzte-

ren wurden durch Zufall hier erst 2009 bekannt, nachdem in einem Nachlass überraschend ein bis dahin verschollenes Datenblatt der *Fernseh GmbH* aufgefunden wurde. In einigen Fassungen steckten eindeutig dort nicht hingehörende Typen.

Das Gerät machte insgesamt den Eindruck eines (späten) Erprobungsmusters. Eine Reihe von Lötstellen stammten nicht aus der ursprünglichen Herstellungszeit, das vorliegende Exemplar war offenbar zwischenzeitlich bedauerlicherweise unsachgemäß ‚bearbeitet‘ worden.

Dass es 1944, vielleicht sogar 1945 gebaut wurde, mag daraus hervorgehen, dass für die ‚älteren‘ Lötstellen stärker bleihaltiges Lötmetall verwendet worden ist – erkennbar an der grauen ‚Farbe‘ mit gröberer Oberfläche und abweichendem Metallglanz, als er bei 60 % Zinngehalt ausfallen würde¹². Zudem fehlten jegliche Abnahmestempel oder irgendwelche Typenbezeichnungen¹³, ebenso wie die sonst üblichen Bauteile- und Potentialnummern auf den Bauteilen selbst.

Schaltungen des »Seedorf III« wie auch des »Seedorf I« waren trotz intensiver Suche nicht aufzutreiben. Sie liegen vermutlich in US-amerikanischen Archiven, sind mithin schwer zugänglich, es sei denn, man wollte zu diesem Zweck eine längere Forschungsreise unternehmen.



Bild 93
 »Seedorf III«
 Frontabdeckung mit Frontscheibe
Rote Pfeile: Durchführungshülsen
Grüne Pfeile: Durchbrüche für Regler

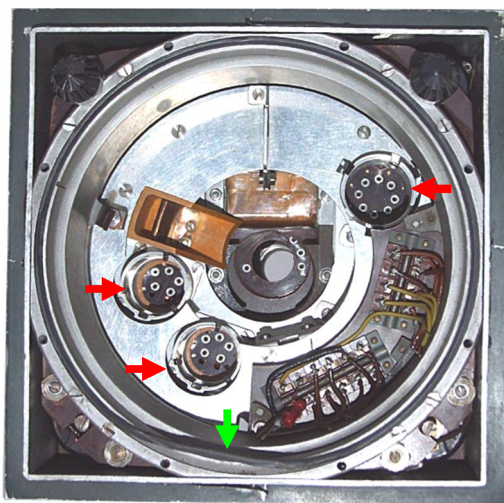


Bild 94
 Monitor (Bildschreiber) »Seedorf III«
 Blick in den Frontteil
 (Bildröhre entfernt)
Rote Pfeile:
 Röhren-Spezialfassungen
Grüner Pfeil:
 Gummi-Dichtungsring
 (Knöpfe oben links und rechts
 vermutlich zur Einstellung
 von Helligkeit und Phase)

So bleibt gegenwärtig nur die Möglichkeit, anhand des vorliegenden Exemplars grundlegende, soweit möglich begründete Hypothesen über seine Funktion zusammenzustellen und mit den nicht sehr ausführlichen Angaben in der Literatur abzugleichen.

¹² 1944 und 1945 war Zinn im Kriegsdeutschland ein außerordentlich rares und deshalb wertvolles Metall. Es wird berichtet, dass Zinnbarren mit U-Booten aus Südost-Asien herangeschafft werden musste, was wegen der immer erfolgreicher werdenden alliierten Abwehr zunehmend schwieriger wurde. *Dieter Mösch* berichtet, der Zeitzeuge *Günter Noack* habe ihm berichtet, dass er 1944 von der Front abgezogen wurde, um die Elektronik abgeschossener alliierter Flugzeuge auf technische Neuentwicklungen hin zu untersuchen und anschließend die Lötstellen elektronischer Geräte zur Zinngewinnung abschmelzen zu lassen.

¹³ Das Fehlen einer Typenbezeichnung kann natürlich darauf zurückzuführen sein, dass das Außengehäuse des Gerätes nicht vorhanden ist; üblicherweise wurden dort entsprechende Schilder aufgenietet.

Ich bitte den Leser, bei den folgenden Ausführungen dieses im Auge zu behalten: Fehler und Fehlinterpretation der Funktionsweise allein auf der Basis eines Gerätes, das – weil Museumsstück – für die Messung von Bauteile-Dimensionierungen nicht zerlegt werden darf, sind ‚vorprogrammiert‘. Der Autor vertraut darauf, dass er bei anderweitig besserer Kenntnis informiert wird. Dazu mein herzlicher Dank im Voraus!

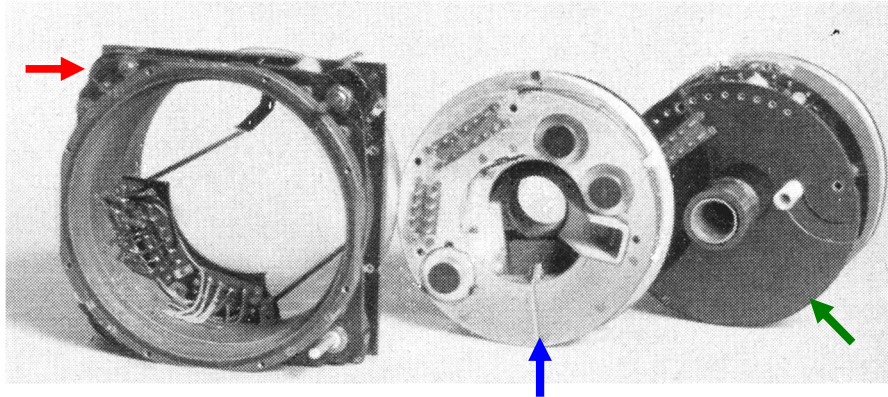


Bild 95

Monitor (Bildschreiber) »Seedorf III« - Steckbare Funktionsgruppen

Roter Pfeil: Frontbaugruppe mit Reglern für Helligkeit und Synchronisation (A)

Blauer Pfeil: Vordere Baugruppe mit Kipp- und Ablenkjoch (B und C)

Grüner Pfeil: Mittlere und hintere Baugruppe mit Kipptransformator, Hochspannungserzeugung und Gleichrichtung, Zeilenendröhre, Bildröhrenfassung etc. (D und E).

Buchstabenkennzeichnung siehe Bild 92

(Foto aus Müller)

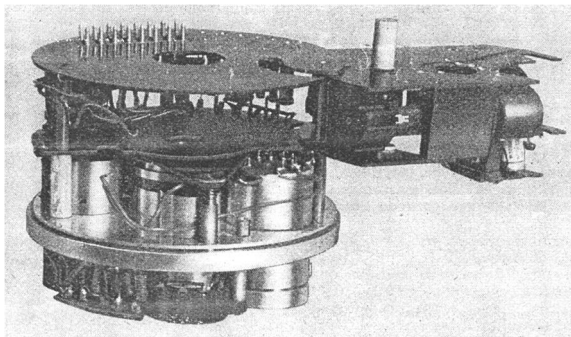


Bild 96

»Seedorf III«

Teilchassis – Bildkippergerät und Ablenkjoch seitlich ausgeklappt

(Foto aus: v.Felgel-Farnholz)



Bild 97

»Seedorf III« - Steckbare Funktionsgruppen

Links: Mittlere und hintere Baugruppe - **rechts:** Frontbaugruppe im Bildröhrenrahmen

Pfeile: Verbindungs-Gewindestangen

Mitte: Kupfer-Abschirmfolie zwischen Stecker- und Buchsenseite

(Foto: Rücker, DTMB, bearbeitet)

Wie kann man vorgehen, wenn man Näheres über die elektronische Funktion des vorliegenden Sichtgerätes erfahren möchte?

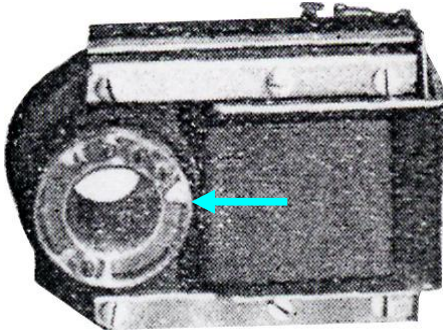


Bild 98 a/b

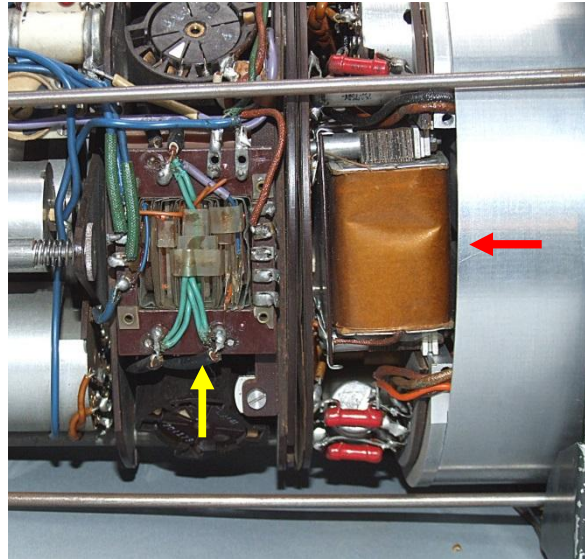
»Seedorf III« - Ablenkjoch

Links: ausgebautes Joch mit Ablenkspule
(blauer Pfeil) (Foto aus: *Felgel-Farnholz*)

Rechts, roter Pfeil:

Spule und Kernblechpaket
des eingebauten Jochs *in situ*

Gelber Pfeil: Zeilen-Kipprtransformator



Was die Röhrenbestückung anbetrifft, besteht immerhin die Möglichkeit, die Fassungen genauer in Augenschein zu nehmen und in entsprechenden vollständigen Röhrenlisten (Wehrmachts- und speziell Luftwaffenröhren) nach dem Ausschussverfahren zu versuchen, den passenden Typ zu ermitteln. In einigen Fällen ist dies mit guter Zuverlässigkeit gelungen (s. u.), bei anderen nicht eindeutig, weil es mehrere Röhrentypen mit übereinstimmendem Sockel gibt. In solchen Fällen half gelegentlich die Vermessung der Fassungsstiefe oder die Inspektion der zum Teil nachvollziehbaren, weil sichtbaren Fassungsbeschaltung.

Eine weitere, allerdings heikle Möglichkeit, besteht in der Sichtung der vorhandenen Bauteile. Es bestand die vage Möglichkeit, daraus Hinweise auf die Arbeitsweise des Gerätes ableiten zu können. Da finden sich kleinere und größere Transformatoren, Drosseln, *Siruratoren*, Kondensatoren usw. Aus dem anschließenden Abgleich dieser Funde mit den Kenntnissen, die sich aus der in diesem Fall sehr schütterten Literatur entnehmen lassen, konnte man hoffen, wenigstens in Teilen so etwas wie ein Blockdiagramm zu entwickeln. Dieser Versuch ist noch nicht abgeschlossen, weitere Untersuchungen am Beleggerät sind erforderlich.

Die Demontage des gesamten, modular aufgebauten Gerätes mit anschließendem Versuch des Schaltungsnachvollzuges wäre übrigens auch dann – wenn es von Seiten des Museums erlaubt würde – wegen der Komplexität der Schaltung sehr schwierig, aber vielleicht auch gar nicht sinnvoll, weil es sich möglicherweise – wie oben angedeutet – um ein *unvollständiges Labormuster* handeln könnte.

Der mechanische Aufbau des »Seedorf III«

Vergegenwärtigen wir uns, auch auf die Gefahr hin, redundante Beschreibungen zu liefern, noch einmal die Voraussetzungen, die ein Sichtgerät erfüllen muss, das in Flugzeugen zuverlässig arbeiten soll, die in großen Höhen und bei sich schnell ändernden Temperaturen operieren:

Zuverlässiger Bildstand durch stabile Synchronisation bei sich stark und schnell ändernden Feldstärken, wie sie namentlich durch Reflexionen an Wasseroberflächen auftreten, gute Bildhelligkeit und –Schärfe, hohe Vibrations- und Beschleunigungstoleranz beim rauen Einsatz in Flugzeugen mit Kolbenmotoren, Panzern und Kraftfahrzeugen bei möglichst kompaktem Aufbau.

Die *Fernseh GmbH*¹⁴ verfiel auf eine ‚revolutionäre‘ Konstruktion, nämlich die scheibenförmige Anordnung der Baugruppen, gewissermaßen eine Vorwegnahme moderner *Multilayer*-Platinentechnik auf anderem Niveau.

Die *vordere Baugruppe* ist dreigeteilt (A, B, C in Bild 92). Sie besteht aus einem zylindrischen Aluminium-Gussteil, an dessen Vorderseite der Gehäuserahmen (Bild 91) mit Sichtfenster (Bild 93) befestigt ist.

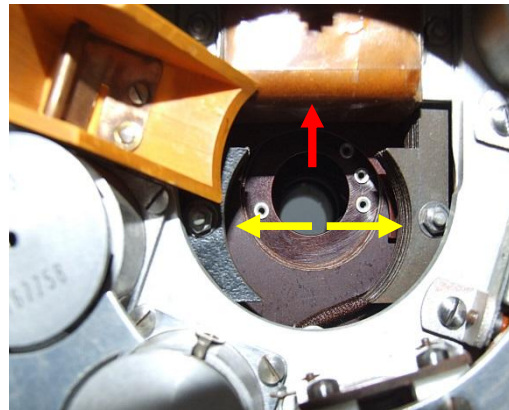


Bild 99

Polschuhe und Wicklung des Bildablenkjochs

Gelbe Pfeile: Polschuhe
Roter Pfeil: Wicklung

In seinem konischen Innenraum findet der Sichtteil des Bildröhrenkolbens Platz. Er war vermutlich durch einen Filz- oder Gummiring gegen Beschädigung geschützt (beim Beleggerät nicht mehr vorhanden). Die seitliche, breite ‚Einsenkung‘ des Gussteils (A in Bild 92) nimmt u.a. die Regler für Helligkeit und Kontrast auf. Die Bildphase wurde über einen Druckknopf eingestellt (*Stüwe* S. 381).

In einer schmalen frontseitigen Nut liegt eine Gummidichtung, die den Sichtteil nach außen hin luftdicht abschließt (grüner Pfeil in Bild 94). Der die Frontscheibe tragende Rahmen wird fest gegen diesen Ring geschraubt.

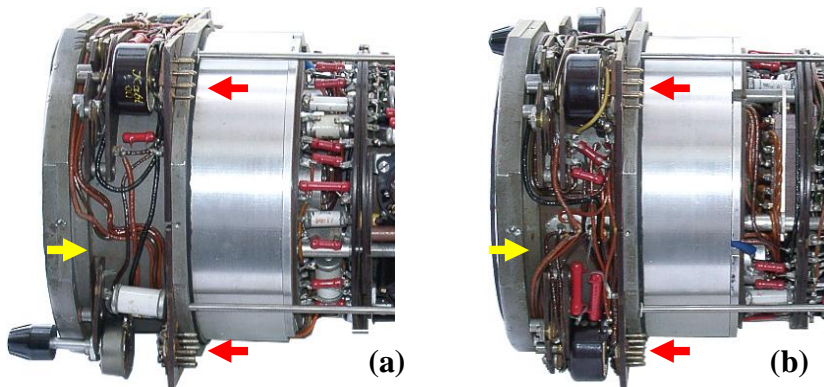


Bild 100 a/b

**»Seedorf III«
Baugruppen
(A), (B) und (C)**
(vgl. Bild 92)

Gelbe Pfeile:
(a) Bauteilfach links
(b) Bauteilfach rechts
Rote Pfeile:
Steckeranschlüsse
außerhalb des
Dichtungstopfes

Ein interessantes Detail ist auf Bild 94 und Bild 99 zu erkennen. Aus ockerfarbenem Pressstoff sieht man darauf ein breites, zum Röhrenkolben hin U-förmiges, nach hinten abgeschlossenes Isolierteil, in das eine breite Bronzefeder eingearbeitet ist. Wie auf dem Da-

¹⁴ Während des Krieges war die *Fernseh GmbH* dem Reichsluftfahrtministerium zugeordnet, die Entwicklungsaufträge wurden aber vom Reichspostministerium vergeben. *Berlin* lag schon früh unter dem Bombardement britischer Flugzeuge, so dass die kriegswichtige *Fernseh GmbH* 1943 nach *Obertannwald* und *Morchenstern* (damaliger *Sudetengau*) verlagert wurde. Zur Tarnung wurde der Name der Firma in *Farvis* geändert. 800 Mitarbeiter konnten dort – von Bombenangriffen unbehelligt – weiter produzieren. Als das Ende des Krieges absehbar war, wurden Geräte, Einrichtungen und Materialien der Firma zu einer Außenstelle von Blaupunkt nach *Taufkirchen/Vils* in *Niederbayern* geschafft (vgl. *Rudert*).

tenblatt Bild 108b zu sehen, hatte die Bildröhre einen seitlich aus dem Kolben geführten Kontaktknopf für die Zuführung der Anodenspannung. Er rastete in der ‚Kontaktbucht‘ (Bild 99) ein. Damit war zugleich die Orientierung der optischen Achse der Kathodenstrahlröhre festgelegt.

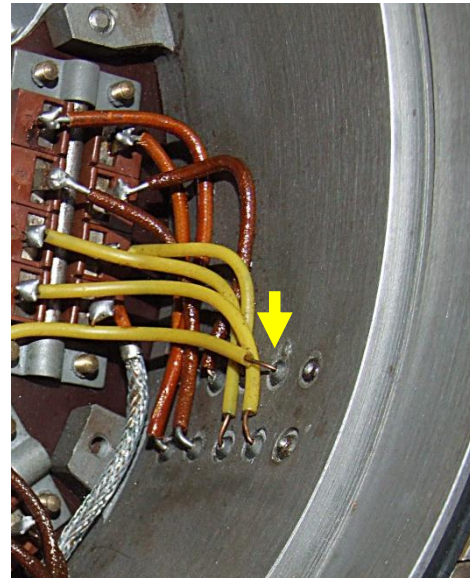


Bild 101 a/b
»Seedorf III«
Durchführungen und Verbindungsstecker
vom nicht luftdichten Bauteilefach
in den Innenraum des Monitors
Pfeil: Glasdurchführungen in der Seitenwand
des Gussringes der vorderen Baugruppe (A)

Eine weitere konstruktive Besonderheit verdient Beachtung: Auf dem schon erwähnten Metallring, in dem die Sichtfläche der Bildröhre liegt, befinden sich außerhalb des Dichtungstopfes eine größere Zahl von Bauelementen, vor allem Potentiometer und Einstellregler zur Justierung der Bildparameter (Bild 100)¹⁵.

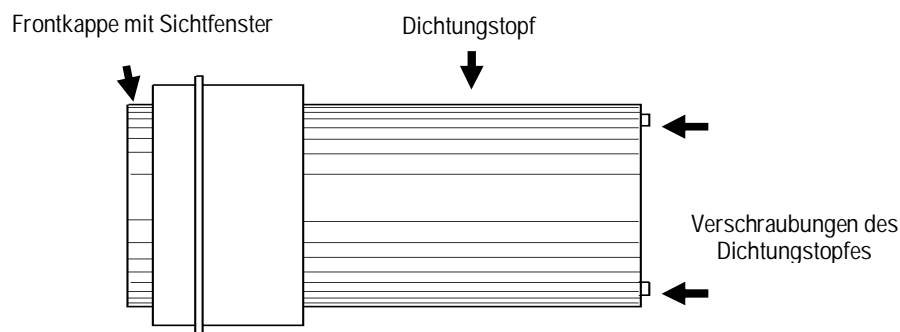


Bild 102
»Seedorf III« Dichtungstopf, schematische Seitenansicht

Dabei entsteht ein Problem: Wie sollen die notwendigerweise in den Innenraum zu führenden Verbindungsleitungen luftdicht dorthin gelangen? Bild 101a/b zeigt die aufwendige konstruktive Lösung. Durch eingepresste Glasdurchführungen werden die Leitungen zu zwei Steckerplatten im luftdichten vorderen Innenraum des Sichtgerätes geführt, von wo aus sie weiter in die hinteren Platineebenen gelangen können.

¹⁵ Einige Verbindungsdrähte werden außerhalb der Dichtung an Stecker geführt (rote Pfeile in Bild 103), von denen aus sie – zu einem dicken Kabelbaum zusammengefasst – das Gerät verlassen. Es handelt sich hier offenbar um Leitungen, die zu externen Stromversorgungseinrichtungen führen und über die das demodulierte, breitbandige Videosignal und die Synchronsignale zum Sichtgerät übertragen werden.

An diesem Detail zeigt sich besonders deutlich, wie sorgfältig darauf geachtet wurde, durch konstruktive Maßnahmen das Eindringen von Kondenswasser bildender Luft zu verhindern und damit Überschlagen zwischen Hochspannung führenden Leitungen und Bauteilen vorzubeugen.

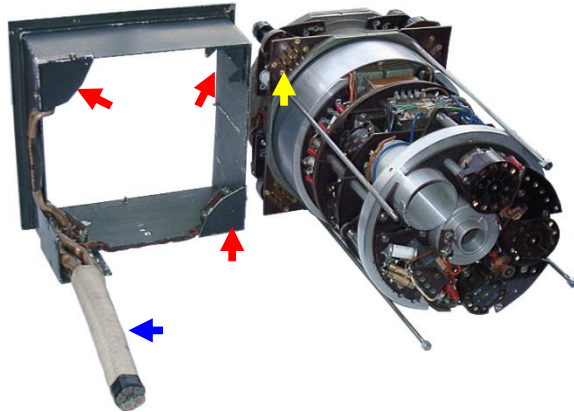


Bild 103
»Seedorf III«
Frontblende
seitlich weggeklappt

Rote Pfeile:
Steckverbindungen
Blauer Pfeil:
Kabelbaum
Gelber Pfeil:
Steckerstifte außerhalb
des Dichtungstopfes

Ein auffällig breiter, aus einem Stück gedrehter Aluminiumring bildet den Abschnitt B der vorderen Baugruppe (Bild 92). Er dient als Kühlfläche für drei thermisch schlüssig in ihn eingelassene Metallfassungen für Luftwaffenröhren (rote Pfeile in Bild 94). Auf diese Weise kann deren nicht geringe Abwärme (ca. 50 W) auf den hermetisch geschlossenen, zylindrischen Dichtungstopf (Bild 102) effektiv übertragen werden, der zusätzlich auf seiner Außenseite von einem Gebläse mit Luft umspült wurde.

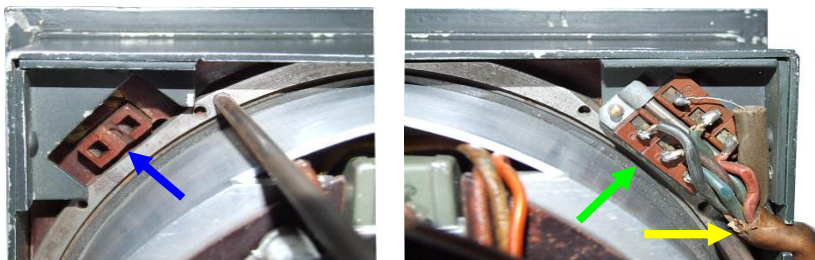


Bild 104 a/b
Steckeranschlüsse an der Rückseite der Frontblende
Blauer Pfeil: Doppelbuche (Funktion unbekannt)
Grüner Pfeil: Buchsenplatte - **Gelber Pfeil:** Kabelabgang zum Kabelbaum

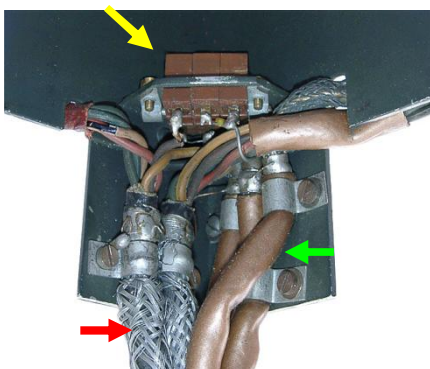


Bild 105
Anschlussplatte des Kabelbaums an
der Rückseite
der vorderen Baugruppe (A)
Roter Pfeil:
zwei abgeschirmte 7fach-Leitungen
Gelber Pfeil: Steckerplatte
Grüner Pfeil:
abgeschirmte HF-Leitungen

Abschnitt C der vorderen Baugruppe erstreckt sich von der Rückseite des Kühlringes B bis zu einer *Pertinax*scheibe. Zwischen beiden sind die für die genannten Röhren erforderli-

chen Bauteile, darunter auch das Ablenkjoch für die Bildröhre (roter Pfeil in Bild 98), eingebaut.

Die *mittlere Baugruppe* ist zweiteilig (Position D und E auf Bild 92); sie liegt zwischen der rückwärtigen *Per-tinax*scheibe der vorderen und einem zweiten, schmaleren Kühlring der hinteren Baugruppe und ist über je ein 8- und 10poliges Buchsen-Steckerfeld elektrisch mit dem, den Bildschirm beherbergenden vorderen Modul verbunden (Bild 95 und 97).

Bild 106
Querschnitt
durch das Verbindungskabel
zu den Betriebsspannungen
und (vermutlich) zum
TV-HF-Teil des »Seedorf III«

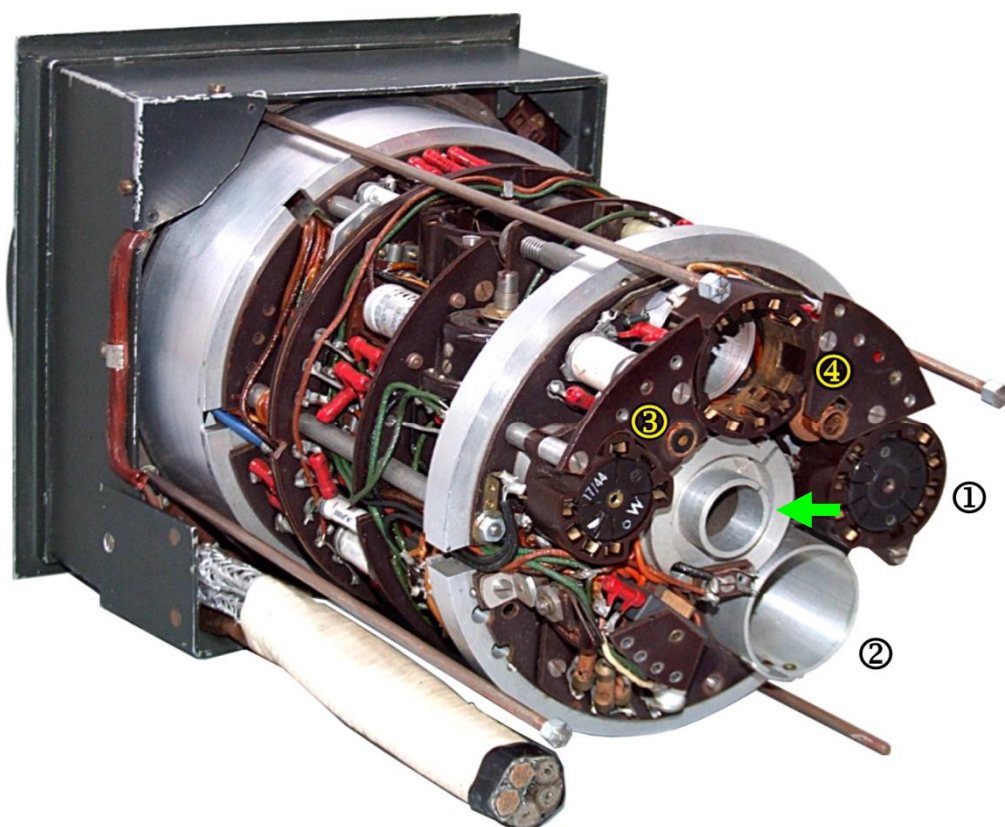


Bild 107

Monitor (Bildschreiber) »Seedorf III« - Röhrenbestückung (Fassungen)

Pfeil: Öffnung für den Durchtritt des fassungsseitigen Bildröhrenkolbens

① 8polige Fassung für Doppeldiode LG 4 ② Spezialfassung für LV 3

③ Fassung für unbekannte Röhrentype ④ 6polige Fassung für Röhre mit Adapter (LV 1)

In die mittlere Baugruppe ist auf der linken Seite (Gerät von vorn gesehen) das durch seitliches Verschieben justierbare Bildablenkjoch mit seinen Polschuhen und der Erregerwicklung untergebracht (Bild 98 und 99). Auf letzterer finden sich Wickelangaben: 1000 Windungen, 0.12 mm Ø.

Des Weiteren liegen im vorderen Teil der Baugruppe die Fassungen der Hochspannung-Gleichrichterröhren und der Zeilentransformator, von dem auch die Hochspannung bereitgestellt wird (s. u.).

Die *hintere Baugruppe* (Position F in Bild 92) besteht wiederum aus einer hier schmaleren Aluminiumscheibe zur Wärmediffusion, vor der eine 2 mm dicke Scheibe gleichen Materials angeordnet ist. Beide besitzen seitlich großflächigen thermischen Kontakt zur Abschirmhaube. Durch sie ragen Aluminiumhülsen, die als Wärme leitende Fassungen für diejenigen Röhren eingepasst sind, welche aufgrund höheren Leistungsbedarfs nennenswerte Abwärme produzieren.

Weiterhin erkennt man auf der Abbildung den Durchbruch für den Hals der Elektronenstrahlröhre und zwei Fassungen für ‚Kleinsignalröhren‘.

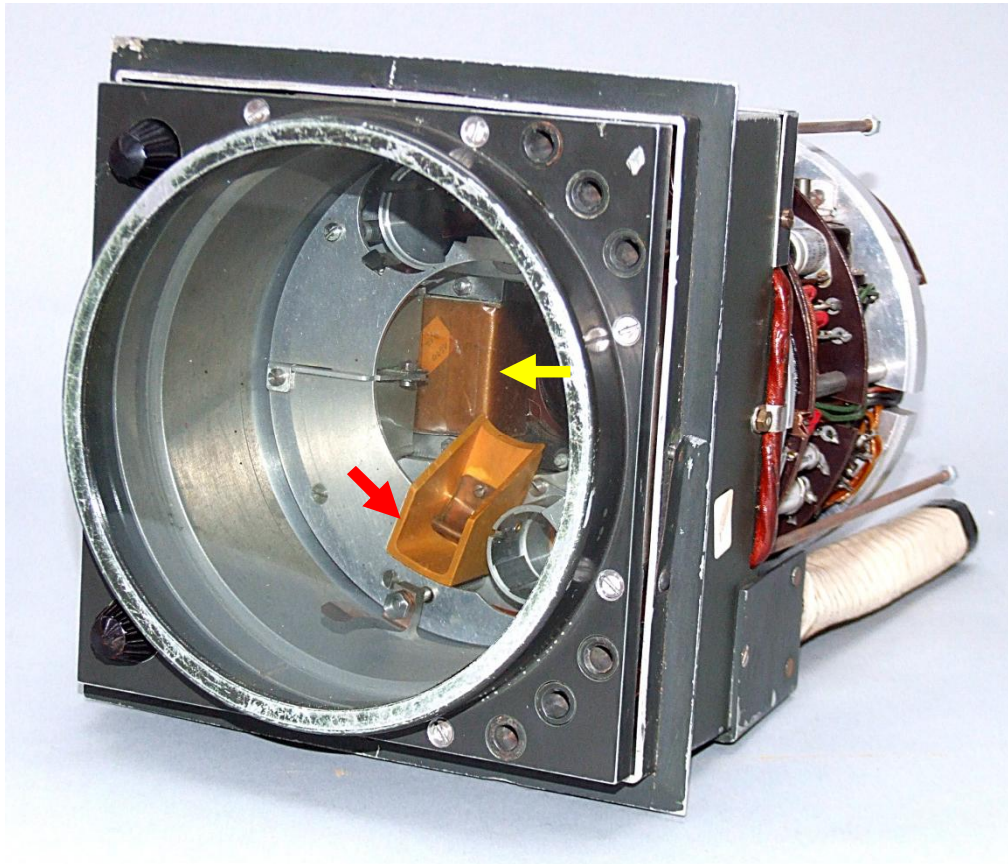


Bild 108 a

Monitor (Bildschreiber) »Seedorf III«

Blick in das Bildschirmfach (Gerät auf der linken Seite liegend)

Roter Pfeil: ‚Justierhafen‘ mit Anodenkontakt

Gelber Pfeil: Spule des Ablenkjochs

(Foto *Schröder*; Objekt DTMB)

Auf Bild 93 sind lange, über die rückwärtige Baugruppe hinausragende Gewindestangen zu erkennen. Sie dienen der Befestigung des Dichtungstopfes, der vom frontseitigen Gussring bis über den hinteren Rand des Gerätes ragt (Bild 102). Er greift an seiner Vorderseite in einen Dichtungsring, so dass auch an dieser Stelle Luftzutritt auf die Elektronik verhindert wird.

Bisher unerwähnt blieb eine Reihe von Steckverbindungen (rote Pfeile in Bild 103), die oben links und unten rechts versteckt hinter abschraubbaren Blechwinkeln liegen; auf Bild 104 und 105 sind sie entfernt worden.

Die dort angeschlossenen Verbindungsleitungen führen u. a. zu einem dicken Kabelbaum (blauer Pfeil in Bild 103), der insgesamt 17 abgeschirmte Adern enthält (Bild 106) und

bandagiert ist. 14 davon sind zu zwei Gruppen von je sieben gegeneinander isolierten, dicken Kupferleitungen zusammengefasst, die jeweils gemeinsam abgeschirmt sind. Drei anscheinend lose in einer weitleumigen Isolierhülle liegende dünnere Leitungen sind jede für sich abgeschirmt. Sie vermitteln nicht den Eindruck professioneller Koaxialleitungen üblicher Bauform, es sind ‚ordinäre‘ abgeschirmte Leitungen, die aber offenbar mit Beidach verwendet worden sind. Näheres dazu weiter unten.

Bild 105 zeigt das ebenfalls abgedeckte, normalerweise nicht einsehbare Anschlussstück des Kabelbaumes.

Weitere Steckverbindungen zwischen dem Frontblendenrahmen der Bildröhre sind auf Bild 104 dargestellt. Ihre Funktion ist einstweilen ungeklärt, ebenso wie die des dicken Kabelstranges, über den sicherlich einige der nicht im Gerät selbst produzierten Versorgungsspannungen, vornehmlich für die Heizung von 9 der 12 Elektronenröhren, einschließlich der Bildröhre, aber ausschließlich der drei HV-Gleichrichter geführt werden. Das sind bei 12.6 V zwischen 3.4 und 4.3 A, möglicherweise die Erklärung für die hochbelastbaren 7adrigen Kupferleitungen. Da die Einzeladern gegeneinander isoliert und farblich gekennzeichnet sind, ist es sehr wahrscheinlich, dass weitere Betriebsspannungen über sie geführt wurden, z. B. die verschiedenen Anodenspannungen aus einem separaten Stromversorgungsgerät. Dies gilt nicht für die Hochspannung für die Bildröhre. Sie wurde aus dem Zeilenrücklaufimpuls im Gerät selbst erzeugt.

Eine der drei einzeln abgeschirmten Leitungen könnte der Zuführung des demodulierten, ± 2.5 MHz breiten AM-Bildhelligkeitssignals gedient haben, die beiden anderen der vom Amplitudensieb stammenden, steiflankigen Synchronsignale für die horizontale (H) und vertikale (V) Ablenkung¹⁶. Für das Bildhelligkeitssignal ist keine Verbindung mit definiertem Wellenwiderstand erforderlich, es kommt hier lediglich darauf an, dass die Kabelkapazitäten gering bleiben, was durch den großen Abstand zur Außenabschirmung gewährleistet wäre (vgl. Bild 106). Die tatsächliche Funktion des Kabelbaumes bleibt einstweilen unsicher!

Nach dem zuvor Gesagten hätte der Video-Endverstärker wie auch die Leistungselektronik der horizontalen und vertikalen Bildablenkung im Sichtgerät, nicht im HF-Empfänger gelegen. Es kann spekuliert werden, welche Röhren im Einzelnen diesem Zweck gedient haben mögen.

¹⁶ Ob das aus dem Dezimeter-Empfangsvorsatz angelieferte Videosignal nach Helligkeits- und Synchronpegeln getrennt zugeführt wurde, ist nicht bekannt.

Die Elektronik des Bildgerätes »Seedorf III«

Die Röhrenbestückung: Bildröhre

Wir hatten eingangs festgestellt, dass sich in der hier zugänglichen Literatur keinerlei Schaltungsunterlagen finden, lediglich einige zwar interessante, aber leider Einzelheiten ‚verschweigende‘ Informationen geboten werden. Das gilt auch für die diesbezüglich früheste und ergiebigste Quelle, zwei Beiträge von v.Felgel-Farnholz, erschienen 1948 und 1949 in einer österreichischen Zeitschrift für Radiotechnik (vgl. Quellenverzeichnis).

v. Felgel-Farnholz war vermutlich an der Entwicklung des »Seedorf I« und »Seedorf III« beteiligt, und möglicherweise verfügte er auch über Geräte und Schaltungsunterlagen¹⁷. Jedenfalls haben alle hier bekannten späteren Autoren seine Zeitschriftenbeiträge gekannt und für eigene Publikationen genutzt (z. B. Trenkle [2], Rudert, Hoppe, Stüwe). Das hatte zur Folge, dass sie kaum über dessen Informationsstand hinausgelangen konnten. Es gibt demnach eine einzige Quelle, auf die hier in Ermangelung weiteren Materials Bezug genommen werden muss.

Uns kommt immerhin zugute, ein Belegexemplar in Augenschein nehmen zu können, das sich, abgesehen von fehlenden Teilen¹⁸, in gutem Zustand befindet. An ihm kann versucht werden, die Aussagen von v.Felgel-Farnholz zu verifizieren, zumindest was den grundsätzlichen Aufbau anbetrifft. Eine weitere, wenn auch sehr eingeschränkte Hilfe bieten Vergleiche zwischen den nicht sonderlich aussagekräftigen Druckbildern jener Zeit und unserem Realobjekt.

Bei der Bildröhre, soviel ist nun sicher, hat es sich um eine Spezialentwicklung der Firma *Fernseh GmbH* gehandelt, die laut handschriftlichem Datenblatt im Juni 1944 offenbar einsatzfähig entwickelt vorlag (Bild 108b)¹⁹. Die Typenbezeichnung LB 20 entspricht der seinerzeit üblichen Nomenklatur für Luftwaffenröhren.

Nach der nun verfügbaren Unterlage hat es sich nicht, wie in früheren unsicheren Angaben behauptet, um eine Kathodenstrahlröhre mit 12 cm Schirmdurchmesser gehandelt. Vielmehr betrug die frontseitige Einbau-Kolbenbreite 164 mm bei einer Gesamtlänge von 300 mm von der gewölbten Frontscheibe bis zum Röhrenfuß, die Sockelstifte nicht eingerechnet.

Offenbar haben die Autoren der früheren spärlichen und ungenauen Quellen die Bildröhre nicht gekannt, sonst hätte es nicht zu den teils verwirrenden bzw. falschen Angaben kommen können.

¹⁷ Aus einem Literaturnachweis bei Müller geht hervor, dass von v.Felgel-Farnholz nach dem Kriege bei der *Fernseh GmbH* beschäftigt gewesen ist. Ob er dort Originalgeräte für seine Zeitschriftenartikel zur Verfügung hatte, oder auch nur die „Bosch-Nachbauten“, konnte nicht geklärt werden.

¹⁸ Die Bildröhre nebst Fassung fehlt. Die Röhrentype, wie zu vermuten eine Spezialfertigung der *Fernseh GmbH*, über die auch v.Felgel-Farnholz keinerlei Angaben macht, konnte hier nun endlich ausfindig gemacht werden. Sie findet sich nicht in den üblichen Datenbüchern für Wehrmachtsröhren, vermutlich weil sie erst Mitte 1944 entwickelt worden und erst einige Zeit später – fall überhaupt – zum Einsatz gekommen ist (vgl. Bild 108b). Des Weiteren ist der Dichtungstopf nicht vorhanden, alle Verbindungsstecker zur Stromversorgung und zur Einspeisung des Video-Signals fehlen, es ragt lediglich ein dicker bandagierter Kabelbaum zur Rückseite hin aus dem Gerät. Vom eigentlichen Fernseh-Empfänger fehlt außer einer Beschreibung bei v.Felgel-Farnholz (ohne Abbildungen) jede Spur, so auch beim »Seedorf I«. Im Übrigen steckt in dem Gerätetorso des DTMB nur eine originale Röhre, eine LG 4.

¹⁹ Auffällig bei Betrachtung des Datenblattes sind einige fehlende Angaben, so für die Toleranz der Gitterkapazität gegen Masse ($4 \pm \dots$ pF) und die Fleckenbreite für einen Anodenstrom von 10, 50, 100 und 200 μ A.

Dort sind als Größe des Bildfensters z. B. 11x11 cm angegeben – gegenüber nur 8x9 cm beim »Seedorf I«, trotz des bei diesem Gerät angeblich größeren Schirmdurchmessers (13 cm) (nach v.Felgel-Farnholz). Tatsächlich – das offenbart das Datenblatt Bild 108b – hatte das Bildfenster eine Größe von 120x150 mm.

Der bei Bähring et al. mit $\pm 30^\circ$ angegebene maximale Strahlablenwinkel ist demgegenüber bei der aus dem Datenblatt sich ergebenden Konstruktion der Röhre realistisch.

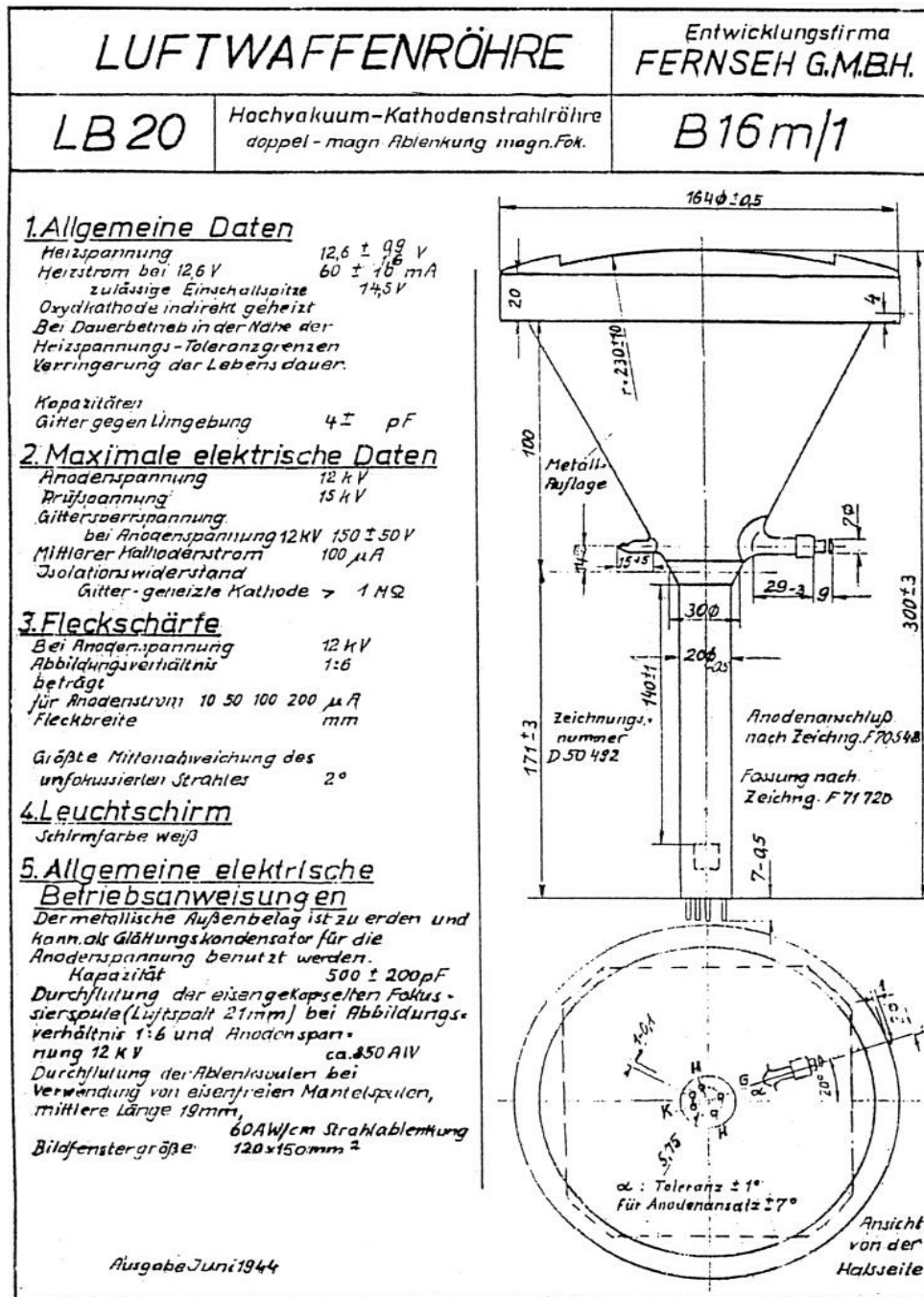


Bild 108 b

Hochvakuum-Kathodenstrahlröhre LB 20 (Fernseh GmbH)

Fassen wir hier Daten der Bildröhre zusammen, die die eindeutige Zuordnung zum »Seedorf III«-Sichtgerät ermöglichen:

Bei der LB 20 handelt es sich um eine Luftwaffen-Spezialröhre, entwickelt von der *Fernseh GmbH*. Sie ist konzipiert als Kathodenstrahlröhre mit doppelt-magnetischer Strahlableitung und magnetischer Fokussierung. Beides trifft für den »Seedorf III«-Monitor zu. Er enthält – wie oben gezeigt – die dafür erforderlichen Ablenkelemente. Die Anodenspannung war für die Erzeugung eines hellen Bildes mit 12 kV festgelegt; auch das stimmt mit den Angaben in der Literatur überein (von *Felgel-Farnholz*).

Die frontale Einbauweite des Sichtrohres betrug maximal 164.5 mm. Das passt perfekt zum Bildfensterrahmen des »Seedorf III«, der eine quadratische Weite von 180 mm aufweist, das runde Bildfenster einen Durchmesser von 154 mm. Die Differenz von 26 mm gibt im gesamten Röhrenumfang 13 mm Raum für die vordere Bildröhrenhalterung nebst Gummiauflage (vgl. Bild 90).

Aus dem mechanischen Aufbau des »Seedorf III« konnte vor dem Bekanntwerden der verwendeten Bildröhre abgeleitet werden, dass sie eine Einbaulänge von nicht mehr als 300 mm gehabt haben konnte (vgl. Bild 91). Genau dieses Maß wird durch das Datenblatt bestätigt. Dabei haben die Sockelstifte durch den hinteren Aluminiumring hervorgeragt (grüner Pfeil in Bild 107), damit sich dort die 5polige Fassung mit den Versorgungsspannungen aufschieben ließ. Ebenso stimmt der Durchmesser des dünnen Kolbenhalses, angegeben mit 20 mm, mit dem Durchlass zwischen den Bauteil-Trägerscheiben und den Aluminium-Kühlringen überein (Bild 94, 95, 97 und 107).

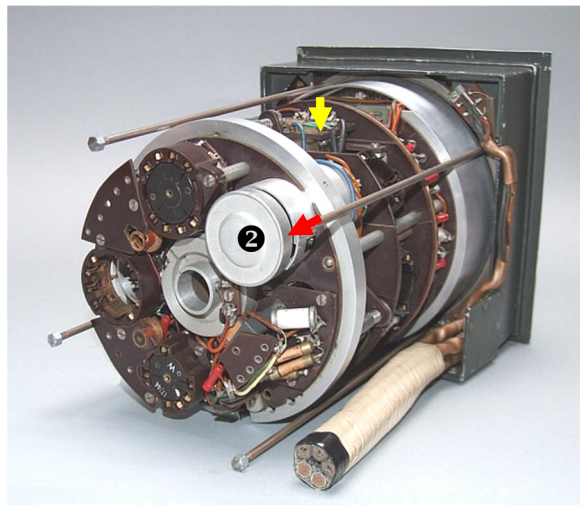


Bild 109

»Seedorf III« Rückseite

Roter Pfeil: eingesetzte LV 3

Gelber Pfeil: Kipptransformator

Besonders interessant ist die Bemerkung unter Punkt 5 des Datenblattes: „Allgemeine elektrische Betriebsanweisungen“. Dort wird bestimmt, dass der metallische Außenbelag des vorderen Röhrenkolbens zu erden ist und dass er mit 500 ± 200 pF als Glättungskondensator für die Anodenspannung verwendet werden kann. Genau dies ist realisiert und bei *v. Felgel-Farnholz* so beschrieben worden.

Schließlich zeigt der seitliche Anodenanschluss präzise Übereinstimmung in Länge und Lage mit der im vorderen konischen Teil der Bildröhrenaufnahme (Tiefe 100 mm, vgl. Datenblatt) angebrachten ‚Kontaktbucht‘ (Bild 99). Dreht man Bild 108a um 90° nach rechts, so kann ihre Lage in perfekte Deckung mit der unteren Maßskizze des Datenblattes gebracht werden.

Die Abschirmung der Bildröhre in Form einer Stahl- oder μ -Metallhaube war offenbar doch nicht vorgesehen, möglicherweise wegen des besonderen konstruktiven Aufbaus auch nicht erforderlich. Jedenfalls findet sich im Datenblatt dazu kein entsprechender Hinweis.



Bild 110

Doppeldiode LG 4

Bisher nicht bekannt, aber zu vermuten, war die weißleuchtende Fluoreszenzschicht. Das stimmt mit den zu dieser Zeit in größerer Typenbreite hergestellten Kathodenstrahlröhren für Luftwaffen- und Funkmessgeräte überein.

Die Verstärker- und Gleichrichterröhren

Das Sichtgerät enthält – die Bildröhre nicht gerechnet – 11 Röhrenfassungen. Einige davon konnten in kriminalistischer Kleinarbeit mit erheblicher Wahrscheinlichkeit einer Röhrentype zugeordnet werden, andere bislang nicht. Beginnen wir mit den auf Bild 107 sichtbaren:

In der mit ① markierten Fassung steckt beim Beleggerät eine LG 4-Doppeldiode. Die Überprüfung der Fassungsbelegung – vier Kontakte sind in der Weise unbenutzt, wie es dieser Röhre entspricht – lässt darauf schließen, dass sie tatsächlich zur Originalbestückung gehörte.

Sie enthält bei gemeinsamer Kathode – ihr Anschluss liegt oben auf dem Kolben (!) – zwei Anoden stark unterschiedlicher Belastbarkeit. Laut Datenblatt ist sie als Begrenzer-Diode für Impulsbetrieb vorgesehen.

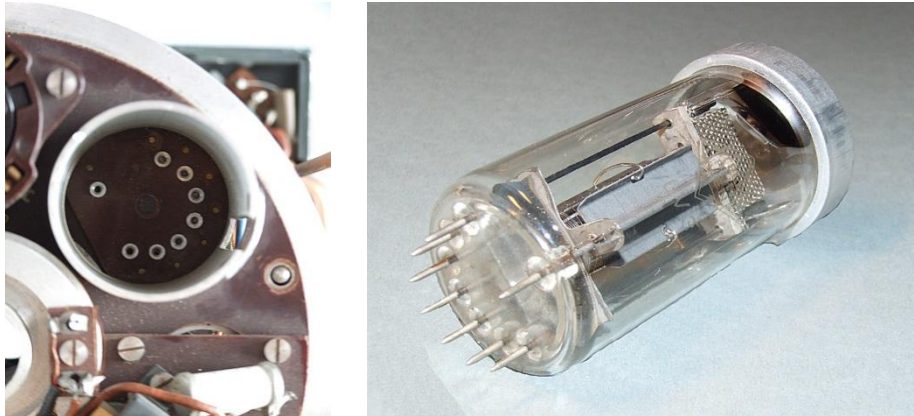


Bild 111 a/b

Wärmeableit-Fassung der LV 3

Links: Stiftorientierung **Rechts:** Stiftanordnung im Pressteller



Bild 112 a-c

Adapter für eine LV 1 in der 8poligen Norm-Einsteckfassung T1745

Links: Adapterboden mit Seitenkontakten **Mitte:** Perspektivische Ansicht
Rechts: Blick auf Fassungskontakte und Führungshülse

Für Impulse $< 20 \mu\text{s}$ besitzt das Rohr die außerordentlich hohe Spannungsfestigkeit von 4.5 kV zwischen Kathode und Anode in der Sperrphase. Gleiches gilt für die Spannungsfestigkeit zwischen Faden und Schicht (4.5 kV bei Impulszeiten $< 20 \mu\text{s}$, für Gleichspan-

nungen beträgt die Spannungsfestigkeit nur 500 V). Die LG 4 ist damit außerordentlich gut für Impulsschaltungen in Fernsehmonitoren geeignet.

Besonders interessant ist die Angabe im Datenblatt, dass sie für Bordbetrieb geeignet sei. Sie weist eine Schüttelfestigkeit von 5 g bei 1 mm Hub auf, ihre Beschleunigungsfestigkeit wird mit 8 g angegeben. Damit entspricht diese Glasröhre trotz ihrer Patronenfassung den Spezifikationen von Luftwaffenröhren.

Die offenbar für den Einsatz im »Seedorf III« in Bild 107 mit ② markierte Spezialfassung sitzt mit gutem metallischem Kontakt im Wärmeableitring der hinteren Baugruppe (F).

Nach dem Ausschussverfahren konnte die 8polige Fassung der LV 3²⁰, einer sehr steilen (15 mA/V), auch für Impulsbetrieb geeigneten Pentode zugeordnet werden. In Bild 109 steckt eine solche, von Telefunken gefertigte Röhre bei ⑩ in der Fassung, die so eingebaut ist, dass ihr Anodenstift die geringstmögliche Entfernung zum Kipptransformator (gelber Pfeil in Bild 109) aufweist.

Die LV 3 besitzt eine Anodenverlustleistung von 12 W, maximal 18 W, die Anodenspannung kann bei Tastbetrieb bis zu 3500 V betragen (weitere Daten im Anhang).

Interessant ist der folgende Hinweis des Herstellers:

„Bei Verwendung indirekt geheizter Röhren zu Impulszwecken ist stets zuerst die Heizspannung einzuschalten. Erst nach 1 Minute – wenn der Brenner richtig durchgeheizt ist – dürfen die übrigen Spannungen zugeschaltet werden!“



Bild 113
LV 1
Luftwaffen-Röhre
(HF-Breitbandpentode)

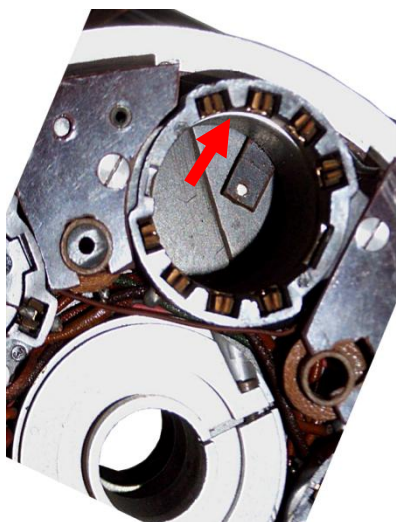


Bild 114
Fassung für Röhre ④ mit Kühlhülse
(Adapter entfernt)
(Orientierung wie in Bild 109)

Da die Röhre im »Seedorf III« vermutlich als Zeilenendstufe arbeitet, ist dieser Warnhinweis auf sie, wie auf andere Röhren des Monitors, anzuwenden.

Die in Bild 107 mit ③ bezeichnete Patronenfassung gehört möglicherweise zu einer RV 12 P 2000. Hier besteht allerdings nicht die Möglichkeit, die zugehörige Röhrentype nach dem Ausschussverfahren sicher zu bestimmen, zu viele Wehrmachtsröhren verwenden den dieser Röhre eigenen Sockel. Immerhin steckte in der Fassung eine Röhre dieses Typs mit dem Stempel: 17/44. Sie ist also in der 17. Woche (Mai) 1944 gebaut worden, was in die Entwicklungszeit des »Seedorf III« passt. Das könnte Originalbestückung bedeuten, ebenso gut aber auch ‚unsinnige Nachbestückung‘ sein, wie eine solche an anderen Stellen des Gerätes vorgefunden wurde. Offenbar hatte man versucht, für Ausstellungszwecke leere Fassungen zu ‚befüllen‘.

²⁰ Nicht auszuschließen ist hier aber auch der Einsatz einer LV 13, einer supersteilen Impuls-Leistungstriode. Beide Röhren weisen bei gleicher Sockelbelegung übereinstimmende geometrische Maße auf.

Besonders interessant ist die in Bild 107 als ④ markierte Fassung. Es handelt sich im Kontaktteil um eine 8polige Patronen-Fassung (Ln 301 30), auch Einsteck-Fassung genannt, die allerdings ganz offensichtlich für einen besonderen Zweck modifiziert worden ist.

Betrachtet man die Bilder 107 und 114 genau, so erkennt man, dass der hintere Teil der Fassung abgeschnitten wurde, statt dessen eine Metallhülse – welche enge Verbindung mit dem hinteren Wärmeableitring hat – diesen Raum einnimmt (roter Pfeil in Bild 114). In ihr steckte ein Adapter nach Bild 112. Glücklicherweise kann in diesem Falle die Adapterfassung eindeutig zugeordnet werden, sie passt ausschließlich zu einer LV 1, einer nur 60 mm hohen²¹, rauscharmen Breitband-Pentode, die sowohl von *Telefunken* als auch von *Lorenz* produziert worden ist. Sie weist die hohe Steilheit von ca. 11 mA/V auf, wird normalerweise mit 250 V Anodenspannung betrieben und besitzt eine maximale Anodenverlustleistung von 10 W. Auch für dieses Rohr weist das Datenblatt ausdrücklich die Einsatzmöglichkeit im Bordbetrieb aus.

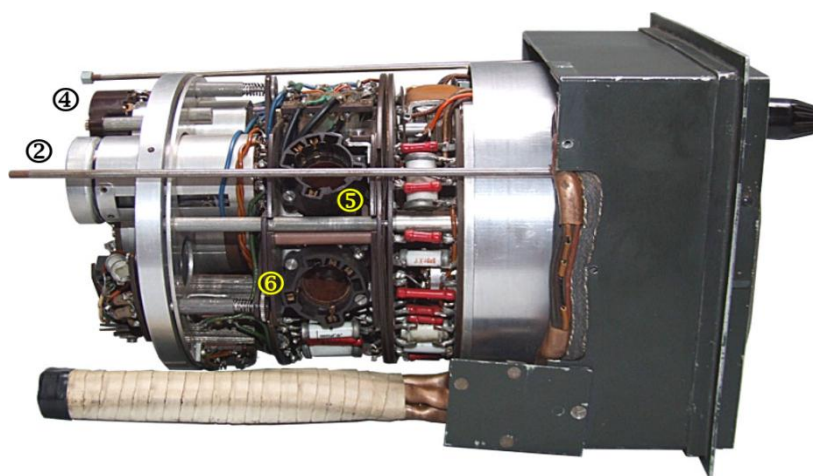


Bild 115
Monitor »Sedorf III«
Unterseite mit
Röhrenfassungen
 ② Fassung mit Röhre LV 3
 ④ Fassung LG 4
 ⑤ und ⑥ Fassungen für
 LG 15
 (Fernseh GmbH)

Nach *Barkhausen* ist für die Eignung als Breitband-Pentode bei CR-Kopplung ein möglichst großes Verhältnis von Steilheit der Röhre [mA/V] – abhängig vom Abstand Kathode / Steuergitter – und der Eingangskapazität C_e (auch als $C_{g1/k}$ bezeichnet) [pF], also S/C_e bzw. $S/C_{g1/k}$ erforderlich. Realistisch bei Röhren der in-frage kommenden Zeit sind Werte für die Steilheit zwischen 8 und im Extremfall 30 mA/V. Die durch die Röhrenkonstruktion gegebene Eingangskapazität liegt im günstigen Fall zwischen etwa 10 und 20 pF, dazu kommen unvermeidliche Schaltungskapazitäten, so dass in der Schaltung bei günstigem Aufbau mit 15 bis 25 pF gerechnet werden kann! (vgl. dazu auch *Andrieu* und *Rudert*, Breitband-Pentode im Einheitsempfänger E 1).

Bei der für Breitbandanwendungen gebauten LV 1 beträgt die Steilheit 11 mA/V, die Eingangskapazität wird in den Datenblättern mit 10 pF an-

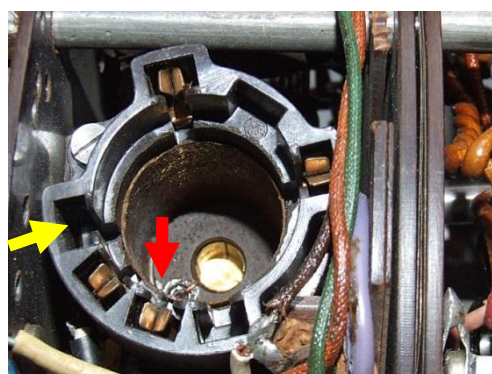


Bild 116
LG 15-Röhrenfassung im seitlichen Teil
der mittleren Baugruppe (D)
Gelber Pfeil:
 unbestückte Kelchfeder-Aussparung-
Roter Pfeil:
 Anodenanschluss

²¹ gemessen ohne Sockelstifte und Führungsnase

gegeben. S/C_e liegt damit bei 1,1. Damit ist eine obere Eckfrequenz von etwa 10 MHz leicht erreichbar²², voll ausreichend für den Einsatz als Breitbandverstärkerröhre in ZF-Stufen von Fernseh-Empfängern und im Bildendverstärker.

Trotz der noch höheren Steilheit von 15 mA/V bei der LV 3 wird bei einem $C_e = 18$ pF nur ein Verhältnis S/C_e von 0,8 erreicht. Lediglich bei der extrem steilen Triode LV 13 – die im »Seedorf III« sicherlich nicht in der Funktion als Breitbandverstärker Verwendung fand – kommt man mit $S = 30$ mA/V und $C_e = 18$ pF rechnerisch auf einen Verhältniswert von 1,6.

Wichtig für hochverstärkende Breitband-Pentoden ist des Weiteren eine möglichst geringe Gitter-Anodenkapazität $C_{g1/a}$, weil dadurch die Gefahr von Selbsterregung durch Rückkopplung zwischen Eingang und Ausgang der Schaltung vermindert wird. In dieser Hinsicht ist die LV 1 unschlagbar im Vergleich mit anderen Luftwaffenröhren. Sie weist die extrem niedrige Gitter-Anodenkapazität von 0.05 pF auf, die LV 3 schon 0.2 pF und die oben erwähnte supersteile LV 13 hohe 12 pF (Triode!). Um eine solch niedrige Gitter-Anodenkapazität zu erreichen, waren konstruktive Maßnahmen zu ergreifen, die an Grenzen damaliger Röhrentechnik gingen: Bei äußerst geringem Abstand zwischen Kathode und Steuergitter zwecks Erreichung hoher Steilheit, musste letzteres präzise in den ‚Schatten‘ der beiden übrigen Gitter gestellt werden.

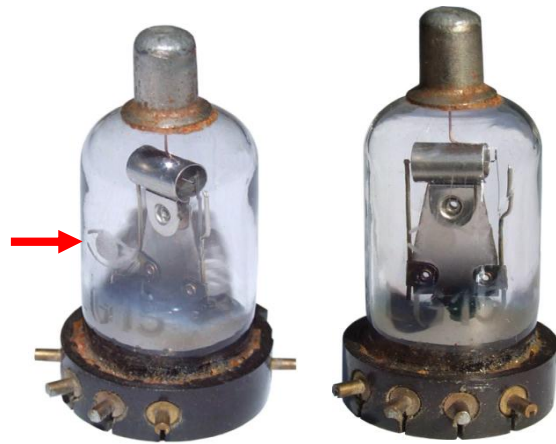


Bild 117

Hochspannungs-Gleichrichterdiode LG 15

Pfeil: Logo der Fernseh GmbH

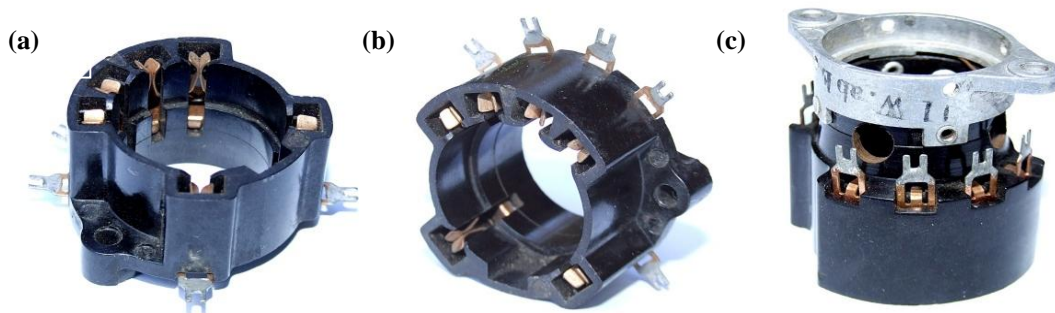


Bild 118 a-c

Fassungen geeignet für RG 12 D 60, RL 2.4 T 1, RL 12 T 1 u.a.

(a) und (b) mit Bakelitflansch (c) ‚Normalausführung‘ mit Metallflansch
 [(a)/(b) sind die ‚Grundlage‘ für die Spezialanfertigung der LG 15-Fassung]

Es dürfte sich bei der im »Seedorf III« eingesetzten LV1 in der beschriebenen Spezialfassung, die im übrigen – wie für diesen Zweck erforderlich – nahe am Anschluss des Wehnelt-Zylinders der Bildröhre liegt, um den Bildendverstärker handeln. Der erstem Anschein nach umständliche Einsatz eines Adapters diente offenbar kürzestmöglicher Lei-

²² Natürlich hängen obere und untere Eckfrequenz überdies ganz wesentlich von der ‚Röhrenperipherie‘ ab.

tungsführung, um das demodulierte AM-Signal des vorgeschalteten Dezimeter-Empfängers möglichst verlustfrei an die Steuerelektrode der Bildröhre heranzuführen²³.

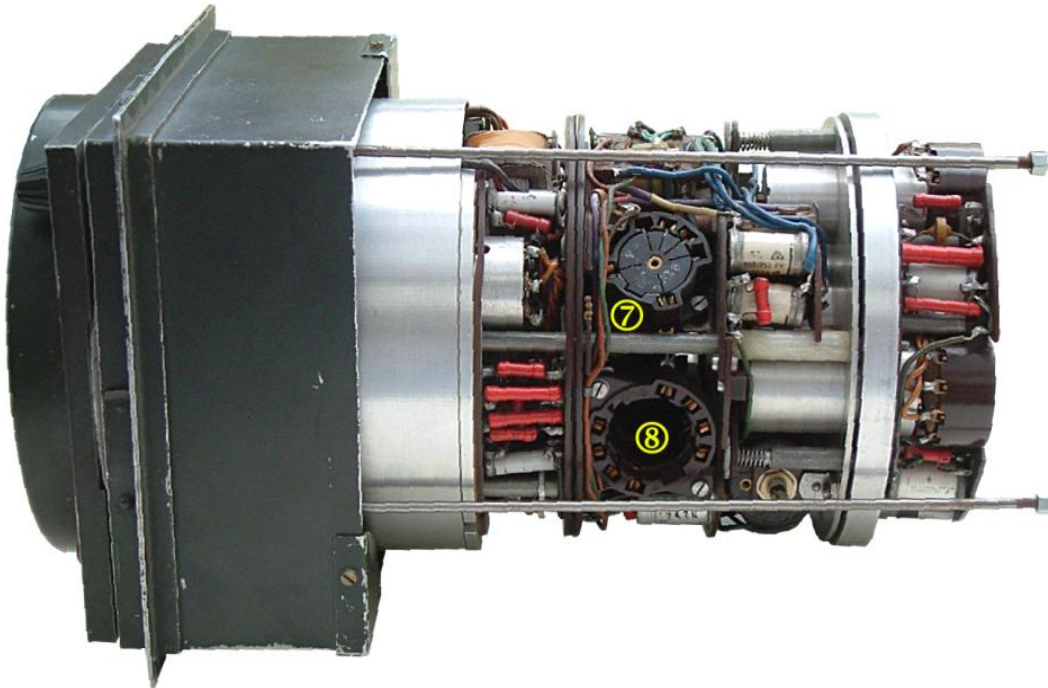


Bild 119

**Monitor (Bildschreiber) »Seedorf III«
Seitenansicht links mit Röhrenfassungen**

⑦ Fassung mit Röhre LG 15 (Fernseh GmbH) ⑧ Fassung LG 4

Man könnte denken, dass zur Steuerung des Elektronenstrahls – sie erfolgt im Prinzip leistungslos – keine Leistungs-Pentode erforderlich wäre. Sie ist jedoch unverzichtbar für die hochfrequente Umladung der Kapazitäten.

Die übrigen Röhrenfassungen befinden sich *an den Seiten* der hinteren Baugruppe oder direkt hinter dem Bildschirm der Kathodenstrahlröhre.

Die in Bild 115 mit ⑤ und ⑥ bezeichneten Fassungen machen bei flüchtiger Betrachtung den Eindruck, als seien sie für RV 12 P 2000 oder ähnliche Röhren vorgesehen, zumal beim Beleggerät diese Type eingesetzt worden war, so dass zunächst die Besonderheiten, die schwer erkennbar im Innern der Fassung liegen, auf den ersten Blick nicht zutage traten.

Besonders ins Auge springt die gänzlich ungewöhnliche Tatsache, dass der Fassung an den neben den üblicherweise in der Mitte der Viererreihe liegenden Kelchfedern für die Heizanschlüsse die Kontaktfedern fehlen.

Die Absonderlichkeiten setzen sich fort. Der Fassung fehlt der P 2000-typische Gittertubus, an dessen Ende normalerweise die Kontaktfeder des Gitteranschlusses angebracht

²³ Der Verdacht, es könne sich hier um eine nachträgliche, dem Original nicht entsprechende ‚Bastelarbeit‘ handeln, ist sicherlich unbegründet. Es sollte bedacht werden, dass sich zu dieser Zeit der »Seedorf III« noch voll in Entwicklung befand und vermutlich verschiedene Erprobungsmuster erstellt wurden. Zur technischen Verbesserung von Geräten wurde nach dem ‚Annäherungsprinzip‘ verfahren, d. h. Tests unter Realbedingungen setzten zeitnahe Anpassung der Muster an deren Ergebnisse in Gang.

ist. Stattdessen besitzt die hier eingebaute Fassung eine starre Isolierstoffhülse aus *Pertinax* oder HV-fest imprägniertem Gewebeschlauch (?), an dessen Ende eine *Pertinax*-Scheibe mit Messingclip für eine auf dem Röhrenkolben liegende Elektrode zu erkennen ist (Bild 116)²⁴. Er ist seitlich über einen kurzen Draht mit einer Lötöse verbunden.

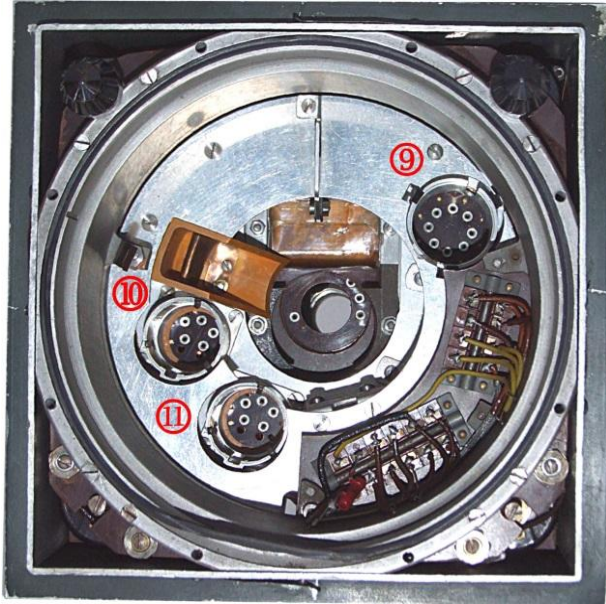


Bild 120

»Seedorf III«: Bildschirmschaltfach

- ⑨ Fassung für LG 200 ⑩ Fassung für LD 1 / LD 2
 ⑪ Fassung für LD 1 / LD 2



Bild 121

LG 200
 Gasgefüllte Triode zur
 Kippspannungserzeugung
 (Valvo)

Es ist diese sonderbare Konstruktion von insgesamt drei Fassungen, zwei davon kann man auf Bild 115 erkennen (⑤, ⑥), eine weitere auf Bild 119 (⑦), die eine eindeutige Identifikation des hier eingesetzten Röhrentyps ermöglicht. Durchsicht aller Wehrmachts- und Luftwaffen-Röhrentabellen ergibt nämlich, dass es sich nur um die von der *Fernseh GmbH* gefertigte Sonderröhre LG 15 handeln kann, eine direkt geheizte Gleichrichterröhre für Hochspannungsanwendungen. Das passt gut zum Gerät, welches – wie berichtet – von selbiger Firma entwickelt worden ist.

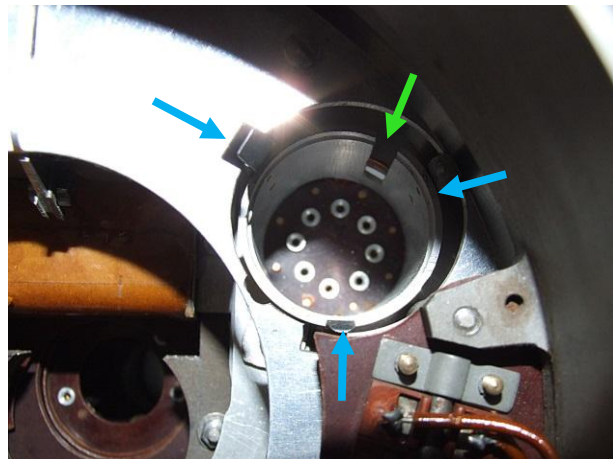


Bild 122

Fassung ⑨ für eine LG 200 (gasgefüllte Triode)
 Blaue Pfeile: Haltefedern für Röhrenkolben
 Grüner Pfeil: Führungsnut

²⁴ Eine halbhohe Patronenfassung, wie sie für die RL 12 T 1 und die RL 2.4 T 1 Verwendung fand, kommt nicht in Frage. Bei ihr sitzt der Befestigungsflansch für Hochspannungsanwendung viel zu tief! Die Fassung ohne Metallflansch wurde übrigens auch im Netzteil des »Köln« für die Gleichrichterröhre RG 12 D 60 eingesetzt.

Die kleine, stabil aufgebaute Röhre ist in Bild 117 zu sehen. Ihre Heizung kommt mit 1.2 V bei 90 mA (~ 100 mW) aus. Sie ist in der Lage, Wechselspannungen bis maximal 6000 V bei 200 μ A gleichzurichten (Grenzwerte).

Aus der Literatur ist bekannt, dass die Bildröhre des »Seedorf III« zur Erzielung hoher Bildhelligkeit mit einer Anodenspannung von 12 kV betrieben worden ist. Drei der Fassungen für die LG 15 befinden sich, um den Bildröhrenkolben einer LB 20 herum gruppiert, in der mittleren Baugruppe des Gerätes (Position D auf Bild 92), nahe am Kiptransformator für die Zeilenablenkung. Die Bedeutung dieser Maßnahme, die der Sicherung gegen Sprühercheinungen der Hochspannung dient, wird bei der folgenden Funktionsanalyse näher besprochen werden.

Bild 119 zeigt die Fassungen zweier weiterer Röhren. ⑦ ist mit einer LG 15 bestückt, es ist die dritte in der Hochvolt-Gleichrichter-kette. In ⑧ gehört wieder eine Doppeldiode LG 4. Drei Röhrenfassungen findet man auf Bild 120, das einen Blick in den vorderen Bildröhrenraum gewährt, Teil der Baugruppe A. Sie stecken in dem breiten Wärmeableitring, haben über eine große Fläche engen Kontakt mit ihm, so dass die von den darin steckenden Röhren produzierte Wärme effektiv abgeleitet und verteilt werden kann.

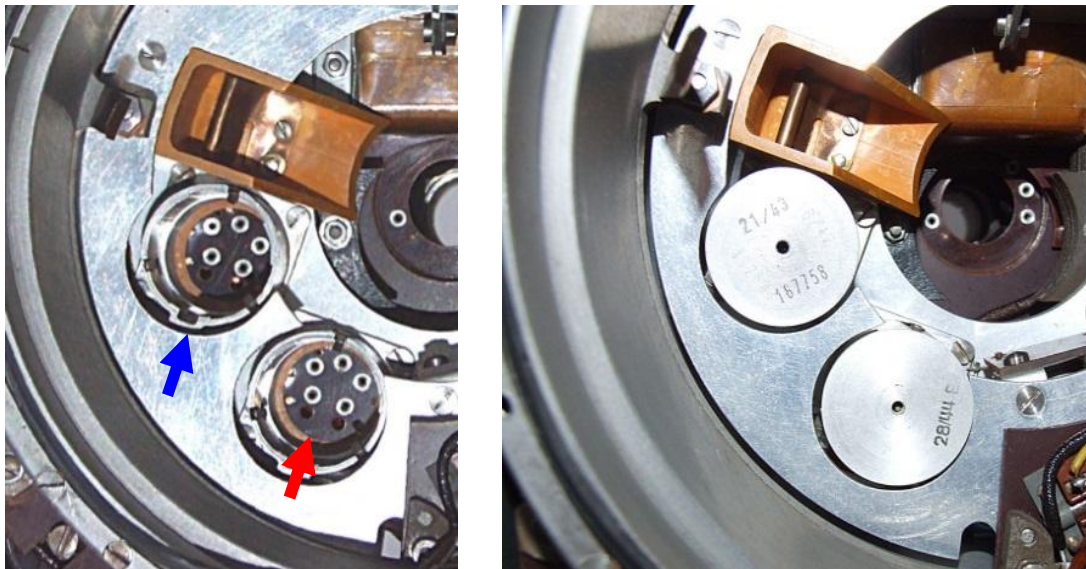


Bild 123 a/b

Monitor (Bildschreiber) »Seedorf III«

Links: Röhrenfassungen für Luftwaffenröhren vom Typ LD 1, LD 2, LG 1

Rechts: Fassungen bestückt mit Trioden LD 1

Roter Pfeil: Zusatzbohrungen im Fassungsboden der Spezialfassung

Blauer Pfeil: Führungsnut

Man erkennt zwei unterschiedliche Fassungsstypen:

Oben rechts eine 8polige; ihre Kontakte liegen gleichmäßig auf einen Kreis verteilt (vgl. ⑨ in Bild 120). Zwei weitere, ⑩ und ⑪, 5polige, über die zu sprechen sein wird.

Bei der Ausschlusssuche nach der Röhre, die möglichst eindeutig in die 8polige Fassung passt, blieb eine Spezialentwicklung übrig, die gasgefüllte Triode LG 200 (Bild 121), die für Kippschwingungserzeugung bis 150 kHz geeignet ist. Sie könnte für die Bildwechselfrequenz verantwortlich gewesen sein.

Tabelle 3
Übersicht zur Röhrenrecherche

Röhrentype	Aufbau	Vermutl. Funktion	Zuordnung
LG 4	Doppeldiode	Gleichrichter im Ablenksystem	sicher
LV 3	steile Leistungspentode	Zeilenendstufe (?) (Impulsverstärker)	unsicher
LV 13	supersteile Leistungstriode	Zeilenendstufe (?) (Impulsverstärker)	unsicher
RV 12 P 2000	Universalpentode	Sägezahngenerator (?)	unsicher
LV 1	steile Breitbandpentode	Bildendverstärker	sicher (?)
LG 15 <i>Fernseh GmbH</i>	direkt geheizte HV- Diode	Anodenspannungserzeugung für die Bildröhre	sicher
LG 200 <i>Valvo</i>	Gasgefüllte Triode	Kippspannungserzeugung (Bildwechsel)	unsicher
LD 1	Kleinleistungstriode	?	unsicher
Bildröhre LB 20 <i>Fernseh GmbH</i>	Schirmdurchmesser ca. 12 cm; 35°	Sichtgerät	sicher

Bei der LG 200 handelt es sich um eine von der Firma *Valvo* gebaute Spezialröhre mit 12.6 V Heizung bei immerhin 0.67 A Heizstrom. Die dadurch erzeugte Abwärme von rund 8.5 W bedarf effektiver Kühlung – sie liegt im engen frontalen Bildschirmraum – wo die Fassung dicht schließend mit dem sehr breiten vorderen Wärmeverteilungsring kontaktiert. Zusätzlich sind drei Haltefedern für den metallischen Röhrenboden der LG 200 vorgesehen (Bild 122). Eine Führungsnut legt das eindeutige Einsetzen der Röhre fest.

Das Spezialrohr könnte zur ‚Schaltungsphilosophie‘ des »Seedorf III« passen²⁵, in der es eine Reihe von ungewöhnlichen Kunstschaltungen gab.

Schwierig ist die Zuordnung der Fassungen ⑩ und ⑪, die exakt den gleichen Aufbau haben. Sie sind relativ kurz, weisen zwischen den weitabständigen Kontakten in ihrer Metallwand eine Führungsnut auf, nichts Besonderes: Das entspricht der Anordnung der Sockelkontakte für die LD 1, aber auch der von LD 2 und LG 1. Wegen der Fassungstiefe von ca. 48 mm kann die LD 2 allerdings ausgeschlossen werden, sie hat eine Kolbenlänge von 58 mm.

Die Wahrscheinlichkeit spricht für die LD 1. Sie besitzt im Pressteller 7 Kontakte, wobei je zwei für Gitter und Anode parallel geschaltet sind. Betrachtet man in Bild 123a die Fassungen, so fallen zwei unkontaktierte Löcher auf, die das Einsetzen dieses Röhrentyps ermöglichen.

Ausführliche Röhrendaten auf originalen Firmendatenblättern finden sich im Anhang.

²⁵ In die Fassung passen allerdings auch die LG 6 (Doppeldiode), LS 4 (Pentode), LV 14 (Regelpentode) und die RV 12 Pa (Pentode mit quadratischer Kennlinie).

Konzeptionsdetails des »Seedorf III«

Über die außerordentlich interessante elektronische Konzeption des Hochleistungs-Bildempfängers »Seedorf III« informiert v. Felgel-Farnholz in einigem Detail. Seine Ausführungen sollen deshalb ihm zu Ehren hier auszugsweise zitiert werden, zumal sie nicht jedem Interessierten zugänglich sein dürften:

„Der Empfänger war als sogenannter Kurzschlußempfänger²⁶ zum Empfang niederfrequenter Fernsehsignale [gemeint ist das Basisband-Signal; d. Verf] bestimmt und besaß einen zweistufigen Verstärker, welcher eine maximale Ausgangsspannung von zirka 150 V an die Steuerelektrode der Kathodenstrahlröhre lieferte. Da der Verstärker sowie die nachstehend beschriebenen Kippgeräte von demselben Anodenspannungsgerät versorgt wurde, und für dies nur ein geringer Aufwand an Schaltmitteln zulässig war, wurden besondere Maßnahmen zur Unterdrückung gegenseitiger Beeinflussungen notwendig. Die im Rhythmus der Bildkippschwingungen schwankende Stromaufnahme des Bildkippperätes hatte nämlich ein entsprechendes Schwanken der dem Verstärker zugeführten Anodenspannung zur Folge, so daß am Verstärkerausgang Verfälschungen der Bildsignalspannungen vorhanden waren. Durch entsprechende Gegenkopplung auf den Verstärkereingang konnten diese Verzerrungen ausgeglichen werden.

Um bei der im Rhythmus des Bildsignals schwankenden Anodenstromaufnahme der Kathodenstrahlröhre störende Spannungsschwankungen der Hochspannungsquelle zu vermeiden, wurde eine besondere Kompensationsröhre vorgesehen, welche derart gegenphasig zu den Bildsignalen gesteuert wurde, daß die Summe der Anodenströme von Kathodenstrahlröhre und Kompensationsröhre und daher auch die Belastung der Anodenspannungsquelle konstant blieb [vgl. Bild 124].

Als Bildkippperät wurde unter Verwendung der RV12P2000 ein Zweiröhrenmultivibrator verwendet²⁷, welcher eine als Verstärker geschaltete Röhre LV 1 steuert. Da es infolge der beschränkten Raumverhältnisse nicht möglich war, das Ablenkjoch in der bisherigen Weise auszuführen, wurde für die Bildablenkung ein neuartiges Joch verwendet.

Die beiden den Hals der Kathodenstrahlröhre umschließenden Polschuhe des Ablenkjoches wurden durch Stege verbunden, die in spezieller Weise durch ein Spulensystem erregt werden. Hierdurch wird erreicht, daß der von der Gleichstromkomponente des Sägezahnstromes erzeugte magnetische Gleichfluß sich innerhalb des Joches schließt und daher der zwischen den Polschuhen befindliche Ablenkraum frei von störenden Streukraftlinien des magnetischen Gleichflusses bleibt, während der magnetische Wechselfluß sich nur über den Ablenkraum schließt. Durch die spezielle Konstruktion des...Joches ließen sich sehr geringe äußere Abmessungen erzielen...

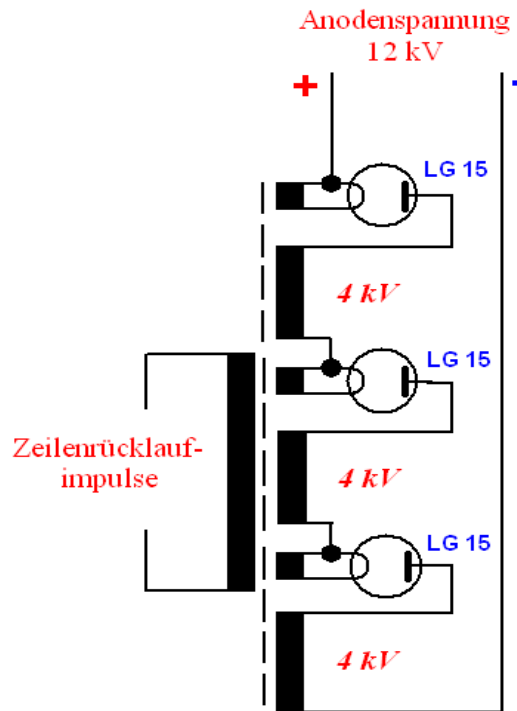


Bild 124

Monitor (Bildschreiber) »Seedorf III«
Hypothetische Hochspannungserzeugung aus dem
Kipptransformator

²⁶ Heute nicht mehr gebräuchlicher Begriff: Der Kurzschlußempfänger konnte ohne den Umweg über ein hochfrequentes Signal, also direkt mit dem ‚niederfrequenten‘ Video-Signal angesteuert werden, er besaß einen dementsprechenden Signaleingang.

²⁷ Beim Beleggerät gibt es nur eine einzige Fassung, die zur RV 12 P 2000 gehören könnte. Hier muss gegenüber der Darstellung bei v. Felgel-Farnholz eine Änderung vorgenommen worden sein.

...Das Zeilenkippergerät wurde als Transformatorkippergerät in sogenannter Energierückgewinnungsschaltung gebaut, wobei parallel zu den Ablenkspulen eine vorgespannte Diode liegt. Durch eine Kunstschaltung wird hierbei der Innenwiderstand des Kippergerätes selbst als Widerstand zur Erzeugung einer Diodenvorspannung benützt.

Diese „Stromrückgewinnungsschaltung“ ermöglichte es, den Energiebedarf des Kippergerätes gegenüber üblichen Kippschaltungen auf etwa ein Drittel zu verringern. Die Leistungsaufnahme des Zeilenkippergerätes betrug nur 13 W, wovon 6 W auf die zugeführte Heizleistung entfielen. Hierbei wurde sogar der Anodenstrom von 50 μA für die Kathodenstrahlröhre dem Kippergerät entnommen, indem die während des Zeilenrücklaufes entstehenden hohen Spannungsimpulse gleichgerichtet wurden. Hierbei ergeben sich ganz wesentliche Platz- und Energieersparnisse gegenüber einem getrennten Hochspannungsnetzgerät. Die hohe Anodenspannung von 12 kV wurde in drei Stufen zu je 4 kV erzeugt.

Durch eine geschickte Aufteilung der Trafowicklungen mit Luftisolation konnte der Kipptrafo außerordentlich klein gehalten werden [Bild 98]. Zur Verringerung der Isolationsabstände wurde der Trafokern mit Mitte Hochspannung verbunden. Die Hochspannungsgleichrichter- röhren konnten infolge ihrer sehr kleinen Heizleistung (0,1 W) unmittelbar aus dem Kipptransformator geheizt werden, und die gesamte „Siebkette“ bestand aus einem Ladekondensator von nur 200 pF (!). [Kapazität der Außenmetallisierung des Kolbens der Bildröhre reichte dazu aus; siehe dazu Datenblatt der LB 20. Anm. d. Verf.]

Der Kern des Kipptrafos bestand aus Mu-Metall, die Gleichstromvormagnetisierung mußte kompensiert werden. Das Gewicht des gesamten, gleichzeitig zur Hochspannungserzeugung dienenden Kipptransformators betrug nur 100 g.“

Bleibt nachzutragen, dass im Gegensatz zu dem zunächst eingesetzten, nicht höhenfesten Bildgerät »Seedorf I«, das allein für die Monitor-Signalstufen ohne TV-HF-Teil 29 Röhren benötigte, 28 Stück RV 12 P 2000 und eine RL 12 T 1, die Zahl der Röhren beim »Seedorf III« auf 12 (einschließlich LB 20) reduziert werden konnte, allerdings unter Verlust vergleichbarer Typeneinheitlichkeit.

In letzterem wurden 6 (7) verschiedene, z. T. seltene Spezialröhren²⁸, eingesetzt, darunter – wie oben gezeigt – die vermutlich eigens für diesen Spezialzweck entwickelte gasgefüllte Triode LG 200 für die Kippschwingungserzeugung. Ohne die Verwendung leistungsfähiger Luftwaffenröhren, die sich konstruktionsbedingt viel besser zur Kühlung eignen als die RV 12 P 2000 in ihrer Patronenfassung, wäre die Verringerung der Größe des Monitors nicht möglich gewesen.

Aus dem Zeitschriftenartikel von v.Felgel-Farnholz aus 1949 könnte geschlossen werden, dass beim »Seedorf III« der Empfänger des HF-Signals in den Monitor integriert war²⁹. Das

²⁸ Beim bisherigen Stand der Nachforschungen sind das 1 x RV 12 P 2000 (Pentode), 3 x LG 15 (HV-Diode), 2 x LG 4 (Doppeldiode), 1 x LV 3 (Pentode) oder 1 x LV 13 (Leistungstriode für Impulsverstärker), 1 x LG 200 (Kippschwingungserzeugung) und vermutlich 2 x LD 2 (Kleinleistungstriode). Da das Beleggerät im DTMB nur teilweise bestückt war, teils auch definitiv falsch, beruhen diese Angaben auf Untersuchung der Fassungsstypen und z. T. auf deren Anschlussbelegung. Die LV 3 wurde übrigens nach dem Krieg bei RFT in größerer Stückzahl für den Einsatz in den im Sachsenwerk Radeberg produzierten TV-Empfängern mit gleicher Sockelbelegung und nahezu übereinstimmenden technischen Daten nachgebaut.

²⁹ Herbert Böhm, DF7UZ, nach 1945 in der frühen Fernsehentwicklung der DDR beschäftigt, spekuliert über die Stufenfolge eines solchen TV-HF-Teils wie folgt: Eingangsstufe mit Diodenmischer mit einer LG 1 (LG 4), Oszillator mit LD 1 (LD 2), der auf der halben Eingangsfrequenz bei ca. 200 MHz plus/minus ZF schwingt, ZF-Verstärker, Demodulator und Diskriminator mit 5 Stück RV 12 P 2000, Video-Endstufe mit einer LV 1. Für den »Seedorf III« als Beleggerät kann ein solcher Aufbau nicht ausgeschlossen werden, wenn man annimmt, dass ihm tatsächlich das demodulierte AM-Videosignal von der Empfänger-Baugruppe zugeführt und hier von einer LV1 endverstärkt wurde. Für den »Seedorf I« kann eine solche Stufenfolge zumindest zum Teil ausgeschlossen werden. In diesem Sichtgerät befindet sich außer einer Anzahl RV 12 P 2000 nach Literaturangaben nur noch eine RL 12 T 1, aber keine LV 1.

ist aber nicht der Fall. *Müller* schreibt in seinem Buch „*Leitfaden der Fernlenkung*“, dass das Gerät einen „videofrequenten Eingang“ besaß. Das kann nur heißen, dass das von dem externen HF-Teil des Fernsehempfängers gelieferte, dort bereits demodulierte und im Amplitudensieb von den Synchronimpulsen getrennte Videosignal in das Sichtgerät, von *v.Felgel-Farnholz* als Kurzschlußempfänger bezeichnet, eingespeist wurde.

Während das HF-Teil beim »*Seedorf I*« seitlich an das Monitorgehäuse angeflanscht werden musste, scheint es beim »*Seedorf III*« hinter dem Monitor gelegen zu haben. Die Zuführung des Videosignals ist nicht abschließend geklärt. Bild 106 zeigt einen Querschnitt durch das dicke Verbindungskabel, welches das Gehäuse des Sichtgerätes verlässt. Es wurde aus Art und Anordnung der Leitungen in diesem Kabelbaum geschlossen, das demodulierte ZF-Signal und die Synchronsignale seien über die drei weitlumigen abgeschirmten Leitungen in den Monitor geführt worden. Ohne das Vorliegen einer Schaltung ist diese Annahme jedoch nicht abzusichern!

Wichtige Ergänzung:

Die oben dargestellten Bilder von Kamera und Sichtgerät sind mit hoher Wahrscheinlichkeit wohl nicht Nachbauten des »*Tonne-Seedorf*«-Systems, sondern – folgt man *v.Felgel-Farnholz* – eines sog. Reportagegerätes³⁰.

Dafür, dass es nicht für den unmittelbaren Einsatz in der Hs 293 D gedacht war, spricht bei der Kamera, dass bei dem im DTMB befindlichen Gerät anstelle des für die militärische Nutzung vorgesehenen *Zeiss*-Objektivs eines der Firma *Schneider Wetzlar* eingebaut worden ist. Dies allein führt aber nicht zu obiger Ansicht, sondern vor allem die handbetriebene Einstellung für Blende und Schärfe (seitlich angebrachter Doppeldrehknopf; der große Innenknopf betätigt die Blendenverstellung, der äußere die Fokussierung).

Die bombentaugliche Kamera »*Tonne*« war damit nicht ausgerüstet. Eine solche Einrichtung wäre für den Einsatzzweck ungeeignet gewesen, weil sie über einen zusätzlichen Senderkanal hätte ferngesteuert werden müssen! Nicht auszuschließen ist, dass es sich um ein tragbares Gerät zur Übertragung von Raketenversuchen in Peenemünde oder an anderen Testorten handelt.

Beim Sichtgerät »*Seedorf I*« spricht zwar nichts prinzipiell gegen ein militärisch genutztes Gerät, auch nicht, wenn man bei genauer Betrachtung feststellt, dass die Frontplatte nicht – wie dem ersten Anschein nach – aus Holz, sondern aus einer dicken Gewebe-Hartplastikscheibe besteht. Die Abbildungen von *v.Felgel-Farnholz* zeigen aber eben diese Frontplatte bei einem von ihm als Reportagegerät bezeichneten Monitor.

Außerdem fehlt das eigentliche TV-Empfangsgerät (HF-Eingangsteil), auf den Bildern sind lediglich Hilfsgeräte wie Taktgeber, Kippgeräte und Videoverstärker zu erkennen (Bild 85 und 86). Bei *Trenkle* [2] (S. 169) heißt es dazu:

„Der Fernsehempfänger »*Seedorf A*« [entspricht »*Seedorf I*«; Anm. d. Verf.] für Flugzeuge bestand bei einer Gesamtgröße von 17 cm x 22 cm x 40 cm aus zwei miteinander verschraubten Bausteinen, dem Anzeigeteil mit Bildröhre, Kippgeräten und Videoverstärker und dem DMW-Empfangsteil mit Oszillator und Diodenmischer (Röhren nicht bekannt) und dreistufigem ZF-Verstärker (ZF = 8.4 MHz, Bandbreite ± 2.5 MHz, Röhren 3 x LV1) und Gegentaktodiode (LG1) mit automatischer Pegelregelung...“

³⁰ Dabei sollte berücksichtigt werden, dass der Artikel des Autors im November 1948 geschrieben wurde, also etwas mehr als drei Jahre nach Kriegsende. Möglicherweise hat er zu dieser Zeit Rücksicht darauf nehmen müssen, nicht in den Verdacht zu geraten, militärische Technik des sog. III. Reiches zu glorifizieren.

Wenn diese Beschreibung richtig ist, woran hier nicht gezweifelt wird, zumal sie sich auch bei der ersten, vermutlich ursprünglichen, sehr zuverlässig scheinenden Quelle (*v. Felgel-Farnholz*) findet, kann der vom DTMB gezeigte TV-Monitor kein ‚echter‘ »Seedorf A« sein, sondern ein zivil oder – wahrscheinlicher – ein militärisch genutztes Gerät aus einer Erprobungsserie. Dafür spricht, dass auf keinem der Geräte ein Abnahmestempel der Luftwaffe (Bauabnahme Luftwaffe: BAL) vorhanden ist, bei einem militärischen Gerät selbst in den späten Kriegsjahren zumeist nur bei Vorseriengeräten denkbar!

Es kann indessen nicht ausgeschlossen werden, dass solche Stempel ursprünglich auf den originalen Gehäusen, die bei den, unserer Beschreibung zugrundeliegenden ‚Museumsgeräten‘ samt und sonders fehlen, vorhanden waren.

Kapitel 4

Einsatzerfolge und -Misserfolge der deutschen Lenkwaffensysteme

Zu Erfolgen und Misserfolgen der deutschen Bomben-Fernlenksysteme gibt es sehr unterschiedliche Ansichten.

Die Funktionselemente der von der Firma *Henschel* entwickelten Gleitbombe Hs 293 wurden ab 1939 in Peenemünde getestet, im Dezember 1940 erfolgte der erste gelenkte (also ferngesteuerte) Abwurf. Dem folgten zwischen Januar und August 1941 insgesamt 31 Testabwürfe. Die ersten vereinzelt Feindeinsätze fanden wegen bestehender Liefer-schwierigkeiten erst ab dem 10. Juli 1943 statt.

Basen der für den Abwurf geeigneten Flugzeuge waren *Kalamaki* bei *Athen* (Griechenland), *Foggia* (Italien), *Istres*, *Bordeaux/Merignac*, *Toulouse* und *Cognac* (Frankreich) und *Trondheim* (Norwegen).

Die ‚Eindringtiefe‘ der als Werferflugzeuge eingesetzten Bomber Do 217 K-2 und K-3 sowie der Do 217 M-11 betrug ca. 1100 km. Letztere, ausgerüstet mit verstärkten Motoren, konnte zwischen Rumpf und Motorgondel je eine »Fritz X« und unter den Außentragflächen je eine Hs 293 tragen. Mit dieser Bombenlast waren unter günstigen Umständen sogar noch Notlandungen möglich.

Am 21. Juli 1943 wurde erstmals die »Fritz X« auf Ziele im Hafen von *Augusta* (Sizilien) gelenkt. Startplatz war der wenig später von den Engländern eingenommene Flugplatz von *Foggia* (Südost-Italien).

Die Henschel Hs 293 ist offenbar im Juli 1943 für den Fronteinsatz freigegeben und am 25. August gegen einen britisch-kanadischen Begleitverband eingesetzt worden. Er bestand aus den zur U-Boot-Jagd abgestellten britischen Fregatten »*Nene*« und »*Tweed*«, drei kanadischen Corvetten »*Edmundston*«, »*Calgary*« und »*Snowberry*«, und den britischen Sloops¹ »*Landguard*« und »*Bideford*«.

Der deutsche Angriff wurde von Do 217 und Ju 88 der II/KG100 geflogen, die abgeworfenen Gleitbomben verfehlten ihr Ziel um mindestens 40 m und einige nahe Einschläge im Meer verursachten nur geringe Schäden an den Schiffen des Verbandes. Der Einsatz der Kampfgruppe war ein Misserfolg.

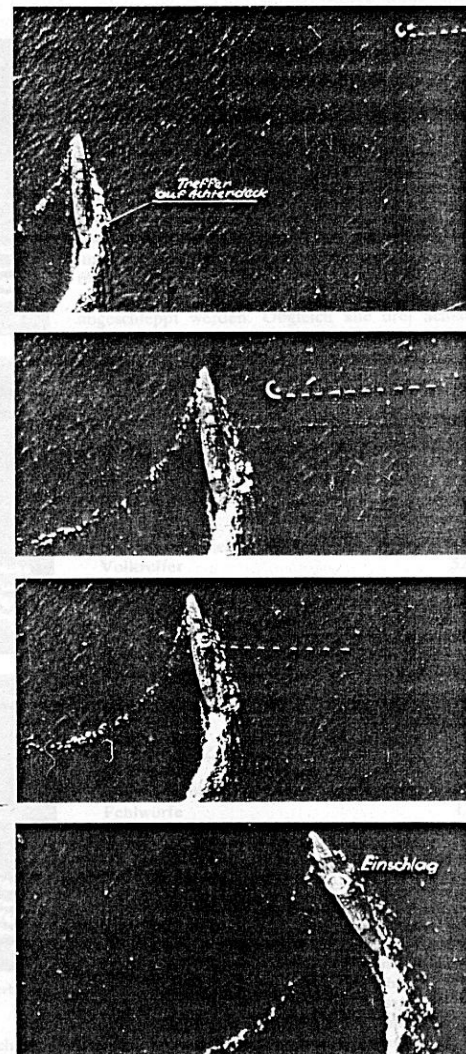


Bild 125

**Angriff auf das Schlachtschiff »Roma«
am 9. September 1943
Zwei »Fritz X«-Volltreffer
führen zur Versenkung des modernsten
italienischen Kriegsschiffes**

(Serienaufnahme aus: *Benecke et al. - Herrmann*)

¹ Dabei handelt es sich um kleinere Marinefahrzeuge, die von der Rangeinteilung für Kriegsschiffe nicht erfasst werden. Sie wurden in der britischen Marine als Geleitschutz oder zur U-Boot-Jagd eingesetzt.

Am 27. August folgt ein Angriff von 18 Do 217 der II. Gruppe des Kampfgeschwaders 100 auf die von der Sloop »Egret« geführte britische ^{40th} Escort Group, bestehend aus, den Fregatten »Jed«, »Rother«, »Spey« und »Evenlode«, gesichert durch die Zerstörer »Greenville« und »Athabaskan« (Canada).

Die erste Angriffswelle erfolgt auf die »Athabaskan« durch fünf Do 217 in heftigem Luftabwehrfeuer. Eine Hs 293 durchschlägt das Deck und reißt ein Loch in die Seitenwand des Schiffes, eine zweite richtet weitere schwerwiegende Schäden an. Die »Greenville«, kommandiert von *Roger Hill*, kann durch verzweifelnde Ausweichmanöver einem Treffer mit Mühe und Not entgehen.

Nächstes Ziel ist das Leitschiff des Verbandes, die *HMS »Egret«*, eine sog. »Sloop« (entspricht in etwa einer Corvette, eingesetzt zur U-Boot-Jagd), die am 31. Mai 1938 in Dienst gestellt worden war. Eine von sieben von einer Do 217 auf sie abgeworfene Hs 293 schlägt in das hintere Munitionsmagazin ein, die folgende Explosion läßt das Schiff kentern, 194 Seeleute und 4 Elektronik-Spezialisten der RAF – fast die ganze Besatzung des 1200 t-Schiffes – finden den Tod. Es ist der erste Fall der Versenkung eines Kriegsschiffes durch eine ferngesteuerte Lenkwaffe; für die deutsche Luftwaffe ein bemerkenswerter Erfolg.

Der Augenzeugenbericht des Commanders, *John Whitehouse*, an die britische Admiralität beschreibt den Angriff auf den britischen Flottenverband und das Desaster der »Egret«, das er überlebt:²

3. At 1255, a formation of 20 enemy aircraft were sighted approaching from astern. Senior Officer, 1st Escort Group, in "EGRET" ordered "Repel Air Attack" and ships closed in to form two columns in line ahead, two miles apart with H.M. Ships "GRENVILLE" and "ROTHER" in the starboard column, H.M.C.S. "ATHABASKAN" and H.M.S. "JED" in the port, with H.M.S. "EGRET" free to move across the rear of the columns to support whichever flank was threatened.

4. H.M.S. "EGRET" went to Action Stations and proceeded to the rear of the port column while the enemy kept at a respectful distance fine on the port quarter and reconnoitred our position.

5. At 1305 the attack started; four aircraft coming up the port side while the remainder of the enemy broke off on a south-westerly course with the obvious intention of attacking the starboard column. Those on the port side came within gun range first and were engaged by H.M.C.S. "ATHABASKAN" and by H.M.S. "EGRET". When approximately three miles on the port beam of "EGRET", each aircraft released a single rocket propelled bomb directed against "ATHABASKAN"; three of these fell straight into the sea while a fourth hit "ATHABASKAN" at 1313.

6. The enemy on the port side, having struck his blow, I turned H.M.S. "EGRET" to starboard to support the starboard column, and proceeded to engage seven or eight of the enemy who were now flying down the starboard side on an opposite or north-easterly course. These aircraft attacked "EGRET" with rocket bombs and I am unable to make any further observation on the general course of the action.

² Entnommen aus: *Phil Judkins*, Before Exocet, Teil I, in: 'Newsletter of the Defence Electronics History Society' No. 11, June 2013, vorfindlich im "United Kingdom National Archives", Kew

7. Several rocket bombs were now heading for "EGRET" and I increased to full speed and put the wheel hard to starboard in an endeavour to point them and present the smallest possible virtual target. Two bombs passed close astern and a third was either hit by Oerlikon fire or else fell into the sea within thirty feet of the starboard side amidships. After this escape a report was received from the Engine Room that all was well below and I assumed that any damage sustained was superficial.

8. The ship was momentarily steadied on a west-north-westerly course with her main armament engaging the enemy, when two more bombs were reported approaching from just before and just abaft the starboard beam. I did not see the one approaching from aft, which I believe missed, but I was able to observe carefully the behaviour of that before the beam. Swinging fast under full starboard rudder the ship

would normally have brought the bomb, which was flying level about fifteen feet above the water, within 30° of the ship's bow and the bomb should have passed down the starboard side. In the event the bomb banked sweetly and turned smoothly to starboard like a well-piloted fighter aircraft and so continued to head straight for the bridge.

9. The bomb actually struck the ship's side between wind and water somewhere between the funnel and No. 3 Oerlikon (starboard side abaft the boats) a fact attested by both the observation and the survival of a member of the crew of No. 1 Oerlikon (starboard wing of the bridge).

10. The explosion was tremendous judged by any standards and tends to the theory, supported by observation from ships in company, that a magazine (which could only have been the Depth Charge Magazine) had exploded; all primers had been reported withdrawn from Depth Charges on deck before the action began. It is probable from the subsequent behaviour of the ship, supported by the experience of H.M.C.S. "ATHA-BASKAN", that these bombs are Semi-Armour piercing or fitted with a short delay action fuze and that the port side of the ship was blown out over a long area of Engine and Boiler rooms.

11. When the heavy debris had ceased falling and I was able to get to my feet, the bridge was wrecked and on fire. Nothing remained except Pelorus, the blazing wreckage of the Chart table and other wooden fittings and the surviving personnel staggering to their feet; the screens had gone, the Director and Asdic huts were in ruins and the whole was overlaid with the rigging of the foremast. Abaft the bridge, nothing was visible save for a pall of yellow smoke and occasional tongues of flame.

12. The ship took a list to port at this moment and did it in such a fashion and at such a rate that I had no doubt that she was about to capsize. I, therefore, gave the order to "Abandon Ship" to such men on the bridge and "B" Gun deck as could hear me and after seeing them go, took to the water over the port side where the ship was on her beam ends. I estimate the time from the explosion until the ship was bottom up as not more than forty seconds. This naval disaster was both rapid and complete.

13. I observed that aircraft which had released their bombs, did not turn away even when under heavy fire, but maintained such a course as to keep their inclination at 90° presumably to give the pilot or observer a good view of his missile; as soon as the bomb struck ship or sea the plane disengaged and returned in a normal manner. This procedure suggests that the bomb is radio controlled from the aircraft.

Besonders interessant ist die Beobachtung des Berichterstatters, dass das feindliche Flugzeug, von dem aus die Bombe abgeworfen worden war, selbst dann nicht abdrehte, als es heftig von der Schiffsartillerie unter Feuer genommen wurde. Es behielt einen Kurs bei, der es direkt über dem Schiff hielt, so als solle das dem Piloten oder Beobachter gute Sicht auf die Bombe gewährleisten. Sobald das Schiff von der Bombe getroffen war oder ins Meer stürzte drehte die Maschine in üblicher Weise ab. Er zieht daraus den Schluss, die Bombe müsse vom werfenden Flugzeug aus über Funk ferngesteuert worden sein.

Aus dieser Beschreibung geht im Übrigen hervor, dass es sich bei dem beobachteten Angriff um den Abwurf einer »Fritz X« auf ein größeres Schiff des Verbandes gehandelt hat. Die schwächer gepanzerte »Egret« wurde indessen von einer HS 293 versenkt.

Die Angriffe gingen weiter. Von *Kreta* und *Rhodos* aus eingesetzte Do 217 des KG 100 versenkten am 26. September 1943 mit Hs 293-Gleitbomben den britischen Zerstörer »*Intrepid*« und den griechischen Zerstörer »*Visilissa Olga*«. Am 11. November wurde der britische Zerstörer »*Rockwood*« stark beschädigt, am 13. November fiel der britische Zerstörer »*Dulverton*« einem Hs 293-Angriff zum Opfer und sank³.

Der wohl spektakulärste Einsatz, diesmal von »Fritz X«-Fallbomben, fand am 9. September 1943 statt, als das modernste italienische Schlachtschiff, die »*Roma*« (Bild 126), die an die Alliierten übergeben werden sollte, in der Straße von *Bonifacio* (Wasserstraße zwischen Korsika und Sardinien; Bild 127) von der III./KG 100 versenkt werden konnte. Zwei Volltreffer mit den Nachlenkkörpern – geworfen aus 6400 m Höhe – waren der größte Erfolg der ‚neuen‘ Waffe (vgl. Luftaufnahmen Bild 125).

Eine detaillierte Beschreibung der Versenkung der »*Roma*« findet sich bei *Bob Henneman*⁴,

Die Versenkung des italienischen Schlachtschiffes »*Roma*«

*Am 25 Juli 1943 fiel das faschistische Regime Mussolinis und sofort begannen (von Seiten der Italiener) die Bemühungen um Feuereinstellung mit den Alliierten. Italien verließ am 8. September die Allianz der Achsenmächte und bat um und erhielt den Waffenstillstand von den Alliierten Streitkräften. Die italienische Flotte war zu einem letzten Angriff gegen die alliierten Landungskräfte in Süditalien ausgelaufen, als sie überraschend vom Ende des Krieges informiert und in einen von den Alliierten kontrollierten Hafen dirigiert wurde. Der Flottenkommandant, Admiral Carlo Bergamini, fuhr in dieser Nacht mit den Schlachtschiffen »*Roma*«, »*Vittorio Veneto*« und »*Italia*«, drei Kreuzern und acht Zerstörern von La Spezia mit Ziel Maddalena, alternativ nach Malta. Die Schiffe liefen mit 22 Knoten die Westküste Corsicas hinunter, und drehten dann in Richtung La Maddalena ab. Als die Flotten-*



Bild 126

Schlachtschiff »*Roma*« kurz vor der Versenkung

(Foto: Internet)

leitung erfuhr, dass die Deutschen den dort liegenden Hafen besetzt hatten, musste sie den Kurs revidieren.

³ Bei *Wolf* finden sich sehr detaillierte Darstellungen der deutschen Lenkbombenangriffe auf alliierte Schiffsverbände im Atlantik und im Mittelmeer.

⁴ Siehe: www.bobhenneman.info in: „*All the World's Battlecruisers*“ ; oben freie Übersetzung durch den Autor

Am 9. September um 15:37 Uhr – die Flotte stand nahe der Insel Asinara, nahe La Maddalena auf Sardinien⁵ – wurden von Beobachtern Flugzeuge gesichtet. Sie flogen im Verband und folgten der Flotte in einigem Abstand, so dass der italienische Kommandant annahm, daß es sich um Alliierte Maschinen handele, die den zugesagten Geleitschutz flogen. Tatsächlich aber waren es deutsche Bomber, die – nachdem der deutsche Geheimdienst gemeldet hatte, daß die italienische Flotte sich zu retten versuchte - von Südfrankreich her anfliegen.

Eine erste Bomberwelle griff die italienischen Schiffe an, konnte aber keine Treffer erzielen. Die Italiener eröffneten Flugabwehr-Feuer und fuhren Ausweichmanöver. Ungefähr 15 Minuten später griff eine zweite Welle mit Dornier Do 217K-Bombern an. Seltsamerweise warfen sie ihre Bomben aus großer Höhe und drehten ab, so dass die Italiener annahmen, sie könnten Beschädigungen entgegen. Aber die Bomben fielen auf einer flachen Gleitbahn und schlugen in einem italienischen Dampfer ein⁶.

Als erstes wurde das Schlachtschiff »Italia« getroffen, wodurch ein Wassereinbruch von 800 Tonnen ausgelöst und das Ruder beschädigt wurde. Als nächstes schlug eine »Fritz X« mittig auf dem Steuerborddeck des Schlachtschiffes »Roma« ein. Sie durchschlug das Schiffsdeck, zerstörte einen Maschinenraum und zwei Kesselräume. Die »Roma« scherte aus dem Verband aus, Feuer brach über dem gesamten Schiff aus, eindringendes Seewasser führte zu Kurzschlüssen im elektrischen System, da es starke Schlagseite hatte. Wenige Minuten später schlug eine zweite Bombe weiter vorn im Schiff, seitlich des B-Geschützturms ein. Die Waffe grub sich tief in das Schiff ein, bevor sie explodierte, den vorderen Maschinenraum zerstörte und gewaltige Brände auslöste. Nur wenige Sekunden später explodierte das Haupt-Munitionsmagazin, was den 1500-Tonnen Turm wegsprengte.



Bild 127
„Fluchtkurs“
 des italienischen Flottenverbandes
 mit den Schlachtschiffen
 »Roma«, »Vittorio Veneto« und »Italia«
 und aus Südfrankreich anfliegende Do 217
 (roter Punkt: Ort der Versenkung der »Roma«)

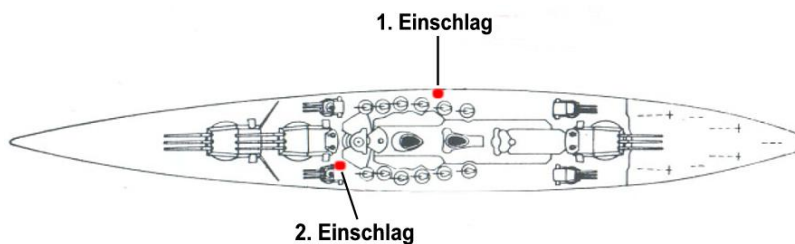


Bild 128
 Lage der
 »Fritz X«-Einschläge
 auf dem Deck des
 Schlachtschiffes »Roma«

Das Feuer brach aus wie ein Vulkan, und das Schiff wurde in Stücke gerissen. Als sich Feuerball und Rauch verzogen hatten, war die »Roma« noch schwimmfähig, aber ihr Untergang war abzusehen. Qualm entwich und Flammen schlugen aus dem Loch, wo zuvor der Geschützturm B gestanden hatte und die Reste des Turms sanken langsam in das zerstörte Deck.

⁵ Irrtum: La Maddalena ist eine Sardinien im Nordosten vorgelagerte Inselgruppe.

⁶ Diese Darstellung ist mit Sicherheit unzutreffend. Die geworfenen »Fritz X« sind Fallbomben mit entsprechend steiler Fallkurve, die sich durch Steuerung um nur 800 m in Flugrichtung verschieben lässt, in der Endphase fast senkrecht einschlägt. Das werfende Flugzeug kann nicht abdrehen, weil dadurch der Lenkschütze keine Zieldeckung mehr herstellen könnte.

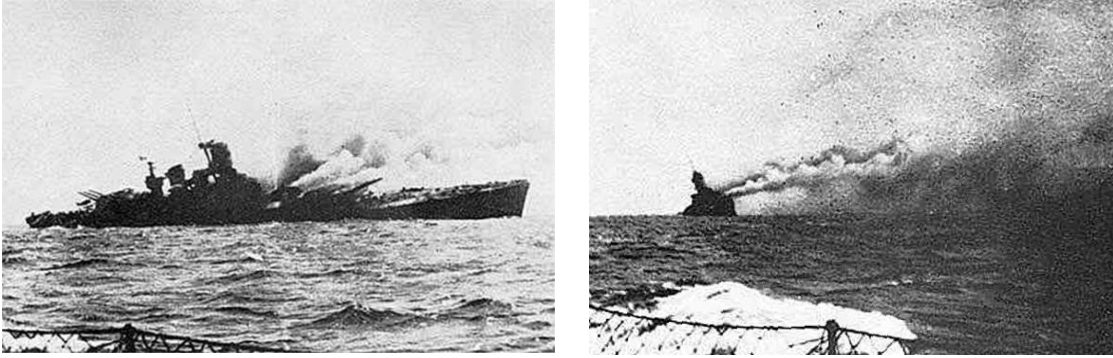


Bild 129 a/b

Untergang des Schlachtschiffes »Roma« nach zwei »Fritz X«-Treffern

Als Wasser in den Dampfer eindrang, kämpfte die Mannschaft darum, das Schiff zu verlassen und die stabile Konstruktion schenkte ihnen dafür wertvolle Zeit. 622 Seeleute konnten sich in den folgenden 9 Minuten retten, um 16:11 Uhr verlor die »Roma« den Kampf. Das Schiff legte sich auf die Seite, brach in zwei Teile, das Heck sank sofort, das Bugteil wenige Minuten später. 1253 Seeleute wurden mit in die Tiefe gerissen...

Später fand man heraus, daß das Schiff Opfer einer funkgesteuerten Gleitbombe⁷ Ruhrstahl FX-1400 X, auch bekannt als »Fritz X« oder PC 1400 X, geworden war. Diese Waffe wog 1570 kg und trug 320 kg Sprengstoff im Gefechtskopf. Entwickelt zum Kampf gegen Kriegsschiffe, wurde diese Waffe auf Sicht von einem Lenkschützen entweder aus einem Heinkel He-111- oder Dornier Do-217-Bomber ins Ziel gesteuert. Etliche weitere alliierte Schiffe wurden beschädigt, **bevor Wissenschaftler herausfanden, wie man durch Störung der Funksignale die Lenkbewegungen stören konnte.** [Hervorhebung d. Verf.] Die Deutschen antworteten mit [der Entwicklung, d. Verf.] einer drahtgelenkten Version, aber die Anzahl dafür verwendbarer Flugzeuge war (schon) sehr eingeschränkt, ebenso wie die Zahl dafür ausgebildeter Bombenschützen.



Bild 130

Explodierende »Roma«
von einem Begleitschiff
aufgenommen

Weitere Angriffe mit »Fritz X« und Hs 293

Am 16. September 1943 erfolgte ein Angriff auf das britische Schlachtschiff »Warspite« (31 000 to) in der Bucht von Salerno (West-Italien). Alle drei »Fritz X« konnten ins Ziel gelenkt werden. Eine davon durchschlug sechs gepanzerte Decks und den doppelten Schiffsboden (Bild 131). Das schwer beschädigte Schiff war außer Gefecht und musste nach Malta geschleppt werden.

Die letzten Einsätze der Hs 293 – auch auf Landziele – wurden zwischen Januar und April 1945 geflogen.

Gegen Oderbrücken eingesetzte ferngesteuerte Bomben konnten die vordrängenden sowjetischen Truppen nicht aufhalten. Die Bomben durchbrachen die Brückengitter und detonierten ohne größeren Schaden anzurichten (Trenkle [2]).

⁷ Bei der »Fritz X« handelte es sich entgegen dieser Darstellung nicht um eine Gleitbombe, sondern um eine antriebslose Fallbombe, die in steilem Winkel in das Ziel einschlug. Offenbar verwechselt der Autor sie hier mit der Hs 293, die schon wegen ihres ungeeigneten Gefechtskopfes mit zu geringer Sprengwirkung gegen die italienische Flotte mit stark gepanzerten Schlachtschiffen nicht eingesetzt worden ist.

Die Bilanz von Abwürfen der Hs 293, sie kam nur bis zum Sommer 1944 zum Einsatz, zusammen mit denen der »Fritz X« wird bei *Trenkle* [2] wie folgt angegeben: Von ca. 500 ferngesteuerten Flugkörpern wurden 40 Kriegsschiffe, darunter 5 Schlachtschiffe, 8 Kreuzer, 22 Zerstörer, Flak- und Geleitboote versenkt oder so stark beschädigt, dass sie für längere Zeit nicht einsatzfähig waren. Belegt sind versenkte 291 000 Brt Handelsschiff-Tonnage, insgesamt etwa 440 000 Brt.

Einsatzschwierigkeiten

Von den 255 gebauten, nach Fernsehbild gesteuerten Gleitbomben Hs 293 D ist – nach allem was wir wissen – keine mehr zum Feindeinsatz gekommen. Querelen über die Weiterentwicklung des Systems – *Göring* hatte im August 1944 die Verschrottung aller zu der Zeit noch vorhandenen Lenkwaffen angeordnet und das Fachpersonal zur Jagdflugzeugentwicklung abkommandiert – führten zum Abbruch aller Einsatzplanungen.

Soweit aus der vorliegenden Literatur ersichtlich, waren die Komponenten des fernsehgestützten Zielweisungssystems »Tonne – *Seedorf*« einsatztauglich, die Fernsteuerung des Lenkkörpers Hs 293 funktionierte durchaus befriedigend, war aber noch verbesserungsbedürftig.

Probleme bereitete der taktische Einsatz angesichts der alliierten Abwehrmaßnahmen, wobei nicht so sehr Störsender des Feindes⁸ die Trefferraten hätten beeinflussen können, wohl aber die stark verbesserten Radaranlagen, die eine sehr frühe und weitreichende Feinderkennung und damit die rechtzeitige Einleitung entsprechender Abwehrmaßnahmen (Jäger, Flak) gestatteten.

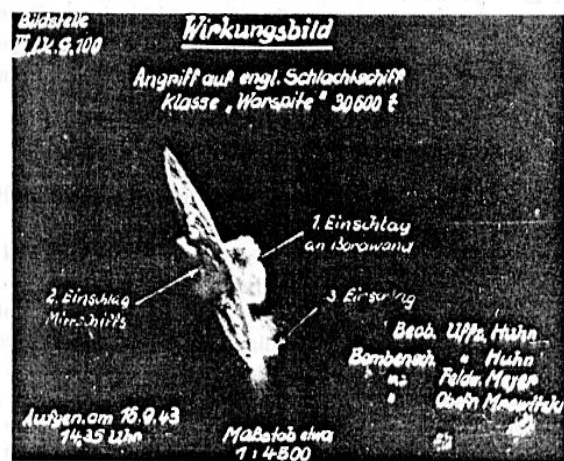
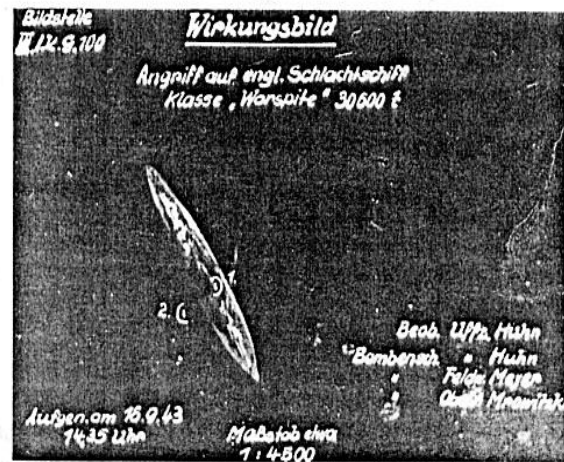


Bild 131
 Von einer Serienbildkamera aus einer Do 217
 Aufgenommene Wirkungsbilder von drei »Fritz X«-
 Treffern auf das britische Schlachtschiff »Warspite«
 (16.9.1943)

⁸ Es gab sie, wenn auch nur vereinzelt, und wegen der kurzen Flugzeit der Lenkkörper war es damit kaum möglich, die Frequenz der Fernsteuer- und Zielweisungsempfänger und Sender ausfindig zu machen! Ausführliche Darstellung der getroffenen Maßnahmen gegen Funkstörungen siehe *Dantscher* (1957), aber auch bei *Bollinger* (2010), der glaubt, gegenteilige Ergebnisse statistisch sichern zu können.

Am schwerwiegendsten war aber wohl – vor allem in der Endphase des Krieges – dass es nicht mehr möglich war, Lenkschützen in Kurzausbildung mit der komplizierten Steuerung hinreichend vertraut zu machen.

Stiwe zitiert *J.F. Smith* (London) aus dessen Schrift: „Fernlenkwaffen 1955“: „Nahezu alle seit 1945 in größerer Zahl hergestellten Fernlenkwaffen verdanken ihre Existenz der deutschen Forschung“, und fügt hinzu, dass deutsche Wissenschaftler, Ingenieure und Techniker nach dem Kriege ins alliierte Ausland verbracht worden seien, offenbar wegen ihres ‚Wertes‘ für dort laufende Projekte.

Bezüglich des technischen-militärischen Wertes der Fernseh-gesteuerten Gleitbombe Hs 293 D findet sich bei *Hoppe* eine Beurteilung, die unserer Ansicht nach die Leistungen der seinerzeit an der Entwicklung des Systems beteiligten Wissenschaftler, Ingenieure und Konstrukteure verkennt oder ‚politischer Korrektheit‘ opfert. Im Abschnitt seiner Arbeit „Kriegsspiele am Bildschirm“ schreibt er:

„Wie die Konzepte und Erprobungsberichte zeigen, basiert die Idee einer Fernsehwanne auf eher naiven Allmachtsphantasien. Hier sollte der Angreifer zugleich nah am Ziel, vermittelt über die Fernsehtechnik, und trotzdem in einer risikofreien Entfernung operieren können. **Im Kern ähnelt diese Vorstellung einem in märchenhaften Erzählungen oft vorkommenden Topos – der gewitzten und unüberwindlichen Figur unter der Tarnkappe, die sieht, ohne gesehen zu werden, und zuschlägt, ohne geschlagen werden zu können.** Dies allein auf Basis eines winzigen Fernsehbildschirms mit Bildern aus einem mit 540 Stundenkilometern dahinrasenden Flugkörper zu realisieren, scheint bis heute nicht möglich zu sein⁹ und hätte schon früher als am Ende des Jahres 1944 als Irrweg erkannt werden können. Doch die Eigendynamik der einmal mit diesem Projekt befassten Institutionen sowie die vage Aussicht, mit der Arbeit an einer »Wunderwanne« der Einberufung an die Front entgehen zu können, konnten Skepsis kaum zulassen.“¹⁰ [Hervorhebungen d. Verf.]

Im Gegensatz zu dieser Einschätzung steht übrigens die von *Hoppe* selbst in der gleichen Arbeit zitierte alliierte Stellungnahme:

*In summing up, it can be stated that television-aided guiding of missiles had, under the then existing conditions, already attained promising efficiency*¹¹.

Aber auch die in gleiche Richtung laufenden Bemühungen der Alliierten zur Entwicklung fernsehgestützter Gleitbomben und Flugzeugbomben, die im folgenden Kapitel dieser Arbeit dargestellt werden, stehen im Gegensatz zur Einschätzung *Hoppes*.

⁹ Hier irrt *Hoppe*: In *Cruise missiles* ist dieses Verfahren zur Geländeerkennung perfektioniert worden!

¹⁰ Eine solch ‚pauschalisierte Unterstellung ist einer historischen Darstellung nicht angemessen!

¹¹ „Als Schlußfolgerung kann festgestellt werden, daß die fernseh-gestützte Zielweisung von Raketen unter den damals existierenden Bedingungen bereits eine vielversprechende Effektivität erreicht hatten“ (Übersetzung d. Verf.)

Alliierte Funk-Störversuche gegen deutsche Lenkwaffen¹

Angriffe auf amerikanische und britische Flottenverbände
mit einer unbekanntem Fernwaffe

Ende der dreißiger Jahre des vergangenen Jahrhunderts waren bei der Firma *Henschel*² Entwicklungsarbeiten zum Bau einer ferngesteuerten Gleitbombe gestartet worden. Die Arbeiten an dem als Hs 293 bezeichneten Gleitkörper waren bereits im Februar 1940 soweit fortgeschritten, dass man in *Karlshagen* (Insel Usedom) den ersten Probeabwurf starten konnte. Nach den dabei gemachten Erfahrungen wurde im November 1941 eine mit vier *Henschel*-Bombern vom Typ He 111 H-12 ausgerüstete *Versuchsstaffel 293* aufgestellt und im März 1942 in *Lehr- und Erprobungskommando E.K. 15* umbenannt. Das war der Start für die Truppenerprobung. Ab November 1942 standen hier die ersten, mit speziellem Trägersystem ausgestatteten Maschinen des Typs *Dornier Do 217* zur Verfügung. Im Frühjahr 1943 dann war die Hs 293 einsatzreif, man konnte den Großserienbau einleiten (*Trenkle* [2]).

Ab 1938 führte *Dr. Max Kramer* auf dem Gelände der *Deutschen Versuchsanstalt für Luftfahrt* (DVL) in *Berlin-Adlershof* erste Versuche zu einer über Funk nachsteuerbaren Sturzbombe durch, die Erfolg versprechend verliefen. Sie wurden ab 1940 zwecks Entwicklung der Einsatzversion zur *Firma Rheinstahl A.G.* nach *Brackwede* verlagert. Erste Versuchsabwürfe fanden ebenfalls mit einem Trägerflugzeug He 111 in *Peenemünde* (Usedom) statt, weitere Abwurfversuche dann bei *Foggia*, einer Außenstelle von *Peenemünde-West* im Osten Italiens.

Im April 1943 stellte die Technische Luftwaffenführung die Truppentauglichkeit der »*Fritz X*« fest, die Serienfertigung konnte in Gang gesetzt werden und beim *Erprobungskommando E.K. 21* begann die Einsatzschulung der Besatzungen.

Damit standen der deutschen Luftwaffe zwei ferngesteuerte Lenkkörper mit unterschiedlicher Sprengwirkung für Angriffe auf alliierte Schiffe zur Verfügung:

(1) Eine Gleitbombe mit 295 kg Sprengstoff im ungepanzerten Gefechtskopf, geeignet für den Start aus relativ geringer oder auch größerer Höhe mit langgezogener Flugbahn und damit großer Reichweite, beschleunigt durch ein Schubgerät (Flüssigraketentriebwerk), und

(2) eine nachlenkbare Sturzbombe ohne Gleitfähigkeit mit 320 kg Sprengstoff im aus gehärtetem Spezialstahl bestehenden angespitzten Bombensegment.

Während die Hs 293 für Angriffe auf leichtere Kriegsschiffe und Truppentransporter, aber auch für große Handelsschiffe der Gegner vorgesehen war, die aus größerer Entfernung angegriffen werden konnten, besaß die »*Fritz X*« trotz nur geringfügig höherer Sprengstoffmenge (320 kg) aufgrund ihrer Konstruktion eine für damalige Zeit extreme Durchschlagskraft. Aus 7000 m abgeworfen konnte sie 12 cm dicken Panzerstahl durchschlagen.

¹ Die in diesem Kapitel dargestellten Details zu den Bemühungen der Alliierten, sich gegen deutsche Lenkwaffenangriffe durch funktechnische Störmaßnahmen zu wehren, sind zu einem großen Teil dem *NRL Report on Guided Missile Countermeasure Systems, Report No. R-2241* entnommen, einer offiziellen Originalquelle. Weitere Informationen stammen aus dem Buch von *Martin J. Bollinger*, der als USA-Bürger bessere Möglichkeiten hatte, die dortigen Archive nach Originalunterlagen zu durchforsten.

² *Prof. Dr. Herbert Wagner* bei den *Henschel-Werken* in *Berlin-Schönefeld*

Ihre Sprengladung sollte erst nach Eindringen des Bombenkörpers in das gegnerische Kriegsschiff explodieren – das konnten selbst Träger und Schlachtschiffe sein.

Beide Waffen hatten in umfangreichen Testserien und nach intensiver Schulung der Abwurfmannschaften (Piloten, Lenkschützen) ihre verheerende Wirksamkeit gezeigt, wenn sie, vom Gegner ungestört durch Flak- oder Jägerabwehr, abgeworfen werden konnten. Mitte 1943 waren sie truppentauglich und damit einsatzbereit.

Zu dieser Zeit besaßen die Alliierten im Mittelmeerraum bereits die Luftüberlegenheit, die deutschen Kampftruppen in Nordafrika hatten am 13. Mai 1943 kapituliert. Für die Alliierten bedeutete das die Festlegung eines neuen operativen Zieles, die Ladung auf Sizilien.

Das war die Situation, in welcher der Einsatz der deutschen Lenkwaffen zum Einsatz kommen sollte. Am 5. Juli 1943 verlegte zu diesem Zweck ein Vorkommando des *Kampfgeschwaders K.G. 100* mit einer größeren Anzahl von Trägermaschinen vom Typ Dornier Do 217 nach *Istres* bei Marseille (Südfrankreich). Weitere Maschinen wurden eingesetzt, um die alliierte Landungsflotte bei Sizilien anzugreifen.

Der erste Einsatz mit der FX-Fernlenkwaffe durch die deutsche Luftwaffe fand am 21. Juli 1943 in der Dämmerung durch eine Kette Do 217 gegen Schiffe im Hafen von *Augusta* und vor *Syrakus* (Sizilien) statt. Die Aktion verläuft erfolglos (vgl. *Balke*, S. 255).

Wie oben berichtet fällt in diese Zeit der Waffenstillstand Italiens und damit der Verlust einer ‚Achsenmacht‘ für die deutsche Kriegsführung.

Ende des Monats Juli verlegt die II. Gruppe des *K.G. 100* mit 46 Maschinen von *Istres* nach *Cognac*, um in der *Biscaya* gegen feindliche Zerstörer eingesetzt zu werden. Am 25. August 1943 starten 13 Do 217 E-5 gegen britische und kanadische Fregatten und Zerstörer, dabei wird die »*Athabaskan*« durch »*Fritz X*«-Einschlag schwer beschädigt, das Flakboot »*Egret*« (1200 to) versenkt, eigene Verluste entstehen nicht. Die alliierten Seestreitkräfte werden nervös: In der *Biscaya* werden die britischen, gegen deutsche U-Boote eingesetzten Jagdverbände um 200 Seemeilen daraufhin zurückverlegt.

Am 9. September, nach Bekanntgabe des Waffenstillstandes der Alliierten mit Italien, soll die italienische Flotte aus dem Einflussbereich der Wehrmacht abgezogen werden. Gegen den fluchtartig abrückenden Verband um das Schlachtschiff »*Roma*« wird ein erfolgreicher Einsatz mit »*Fritz X*«-Lenkbomben geflogen. Einzelheiten wurden im vorigen Kapitel im Detail dargestellt.

Spätestens jetzt wird den Alliierten die Gefährlichkeit der neuen zielgenauen Waffen der Deutschen gegen ihre Seestreitkräfte bewusst. Nach den möglichst überraschend vorgebrachten Angriffen der deutschen Luftwaffe auf weitere alliierte Kriegsschiffe im Mittelmeer und in der *Biscaya* mit einer bis dahin unbekanntem Art von Angriffswaffen und erheblichen dabei aufgetretenen Verlusten an Mannschaften und Tonnage, geraten die Gegner Deutschlands in Panik, weil es für sie dagegen nur konventionelle Gegenwehr – Jäger und Flak – gibt. Die Beobachter auf Kreuzern und Zerstörern sehen kleine Flugzeuge auf sich zurasen und gefährlich nahe ihres Schiffes im Meer oder in etlichen Fällen auf dem Schiffsdeck zu detonieren. Die Geheimhaltung der neuen Waffe hatte offenbar perfekt funktioniert.

Alliierte Störsender gegen deutsche Lenkbombenangriffe

Durch die beobachtete Treffgenauigkeit der Projektile war den Alliierten schnell bewusst, dass diese von Flugzeugen abgeworfenen Bomben ferngesteuert ins Ziel gelangten; mit normalen Sturzbomben hätte sich keine vergleichbare Genauigkeit erreichen lassen. Zur Abwehr verstärkten sie deshalb zunächst die Patrouillendichte ihrer Jagdflugzeuge, die, gestützt auf ein überlegenes Radar-System, frühzeitig entdeckte deutschen Trägerflugzeuge abschießen oder zumindest abdrängen sollten, um damit den Abwurf von Lenkbomben zu verhindern. Die Flugabwehrgeschütze reichten nicht bis in die Höhe der anfliegenden mit »Fritz X« beladenen Maschinen (6000 bis 7000 m).

SECRET	
3 March 1944	NRL Report No. <u>R-2241</u>
NAVY DEPARTMENT	
Report on	
GENERAL INSTRUCTIONS	
FOR	
GUIDED MISSILE COUNTERMEASURE SYSTEMS	
SECRET	
NAVAL RESEARCH LABORATORY	
ANACOSTIA STATION	
WASHINGTON 20, D. C.	
Number of Pages: Text--16 Plates--17	
Authorization	BuShips ltr S-S67-5(923-2) S-920-06126 of 5 Oct. 1943
Prepared by	S.G. Lutz, Radio Engineer
Submitted by	E.H. Krause, Section Head, Communication Security Section
Reviewed by	A.H. Taylor, Superintendent, Radio Station
Approved by	A.H. Van Keuren, Rear Admiral, USN, Director
Distribution	BuShips (40) NRL (8)

Auf den angegriffenen Schiffen selbst ging man dazu über, unmittelbar nach Entdeckung der angreifenden deutschen Flugzeuge Zick-Zack-Kurs zu fahren und mit den Bordgeschützen aus allen Rohren gegen die anfliegenden Bomben zu feuern. Gelegentlich gelang es der Schiffsflak auf diese Weise, einen oder mehrere Lenkkörper abzuschießen (*Trenkle* [2], S. 48). Es war auf Seiten der Amerikaner und Briten klar, dass damit allein weitere Erfolge der Deutschen nicht zu verhindern sein würden.

Seit langem waren (auf beiden Seiten) Störsender in Betrieb, die z. B. in britischen Bombern dazu dienten, den taktischen Funkverkehr deutscher Jagdflugzeuge zu stören. Deren Verkehrsfrequenzen waren dem Gegner natürlich bekannt. Der gleichen Methode bediente sich die deutsche Flugabwehr gegen nachts anfliegende britische Bomberpulks; nicht selten konnten sie auf diese Weise erfolgreich die in Großverbänden fliegenden feindlichen Einheiten zerstreuen.

Störung der Fernsteuerfrequenzen deutscher Lenkbomben könnte die Methode der Wahl sein: Dazu musste das Frequenzband, in dem die Fernsteuersignale ausgestrahlt wurden, so genau wie irgend möglich bekannt sein oder, möglichst in Echtzeit, ausfindig gemacht werden, um zielgerichtet stören zu können. Das allein aber würde nicht ausreichen. Die

Schwierigkeit würde dann vor allem darin bestehen, einen bevorstehenden Angriff rechtzeitig festzustellen. Natürlich war der deutsche Angreifer sorgsam darauf bedacht, Fernsteuersignale erst bei Abwurf der Waffe auszusenden. Bis dahin herrschte disziplinierte Funkstille, auch zwischen den zumeist in mehreren Ketten³ anfliegenden Trägermaschinen.

Das heißt: Wollte man die Übertragung der Funksignale zwischen dem Lenkkörper und dem werfenden Flugzeug auf funktechnischem Wege stören, so dass die Bombe unabhängig von den Aktionen des Lenkschützen ihr Ziel nicht erreichen konnte, musste man im richtigen Zeitpunkt – also bei schon fallender Bombe – mit einem breitbandig-gewobelten Störsignal versuchen, die Verbindung zwischen Fernsteuersender im Flugzeug und Lenkempfänger in der Bombe zu unterbrechen. Nicht leicht zu erfüllende Voraussetzung dafür war, die nur wenige Sekunden bis wenig mehr als eine Minute in der Luft befindlichen Lenkkörper rechtzeitig an ihren spezifischen Signalen zu erkennen und ohne Zeitverzug den Störsender auf der richtigen Frequenz einzuschalten. Keine einfache Aufgabe, wenn man das vom Gegner angewendete System nicht detailliert kennt.

In dieser Situation stand den Alliierten zunächst nur die Störung des vermuteten Frequenzbandes mit leistungsstarken Störsendern zur Verfügung, die natürlich auch den eigenen taktischen Funkverkehr behindern konnten.

Es waren deshalb Geschenke für die Alliierten, als ihnen durch glückliche Umstände deutsche Lenkbomben fast unbeschädigt in die Hände fielen. Bei Lenkbombenangriffen auf *Anzio* (58 km südlich von *Rom*), den Brückenkopf der am 22. Januar 1944 gestarteten US-Landungsoperation, schlug eine Hs 293 im Hafengebiet auf ohne zu explodieren, zwei weitere konnten nach einem erfolglosen Angriff auf den Hafen von *Ajaccio* (*Korsika*) fast intakt geborgen werden. Als die Deutschen am 30. April 1944 einen Angriff auf den Hafen von *Plymouth* flogen, landet eine »Fritz X« im Flachwasser und kann geborgen werden. Und im Laufe des Jahres 1944 erbeuten Briten bei der Einnahme des deutschen Testgeländes in *Foggia* (*Peenemünde-Süd*) einige fast vollständige »Fritz X« mitsamt Fernsteuer-Zubehör (*Trenkle* [2], S. 51)⁴. Leider findet sich dafür keinerlei Quellenangabe.

Falls diese Angaben auf Tatsachen beruhen, hätte den Alliierten der Bau sowohl der »Fritz X« als auch der Hs 293 bis ins Detail bekannt sein müssen. Es sieht – bezieht man sich auf den *NRL*-Bericht als zuverlässige Quelle – so aus, als sei dies, zumindest auf US-ameri-

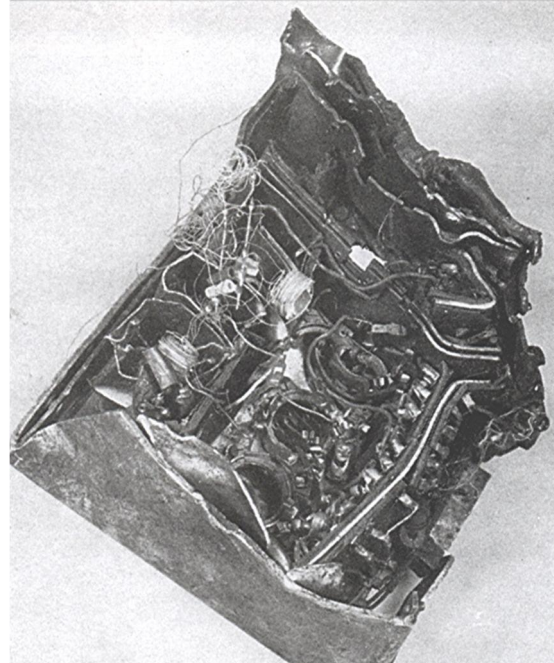


Bild 132

Von der *Royal Navy* im Sept. 1943 geborgenes
teilerstörtes ZF-Teil
eines »Straßburg«-Lenkempfängers
(*UK National Archives, AIR 14-3611*)

³ Eine Kette bestand aus drei Flugzeugen

⁴ Die Richtigkeit dieser Angabe darf bezweifelt werden, es gibt dafür, dass dabei auch die Funkeinrichtung der »Fritz X« erbeutet wurde, keine belastbare Quelle.

kanischer Seite, nicht der Fall gewesen. Die Kenntnisse über Einzelheiten des Lenkverfahrens und der Signalübertragung mitsamt den verwendeten Frequenzen – waren danach noch sehr lückenhaft. Über mögliche Gründe, dass trotz umfangreicher erbeuteter ‚Hardware‘ durch die Briten offenbar bis Anfang 1944 unvollständige Systemkenntnisse vorlagen, wird weiter unten spekuliert werden. Als Beispiel für den amerikanischen Sachstand soll hier ein Bericht vom März 1944 (!) stehen, verfasst vom *Navy Department des Naval Research Laboratory (NRL), Anacostia Station, Washinton D.C. (NRL Report No. R-2241)*. Er sei an dieser Stelle im Originaltext zitiert.

Darin heißt es:

3. Informations Concerning the Radio Control System

Little Information concerning the radio control equipment in these missiles has been obtained from the remains of the missiles and informations obtained from PW's [Kriegsgefangene, d. Verf.] and from captured equipment should be considered as uncertain.

a. Missile Control Signals

Previous countermeasure missions have heard many signals in the 47.5 to 50 Mc frequency range during attacks by HS-293 glide bombs which appear to be the missile control signals. These signals had a distinctive chirping sound, somewhat like an automatic transmitter sending dots, with the space between dots being filled with a different tone. Recordings of these signals have been analyzed and have been found to contain only two distinct audio tones, 1000 and 1500 cycles. These two tones are transmitted alternately, never simultaneously, at a relatively constant recurrence rate of approximately 10 per second. That is, a 1000 cycle tone lasting 80 milliseconds may be followed by the 1500 tone for 20 milliseconds, followed in turn by the 1000 cycles, then the 1500 cycle tone, recurrently. The relative duration of these two tones may change. It is believed that the missile is guided by varying the relative duration of these two tones but the exact mechanism of this is not yet clear as there does not appear to be sufficient information contained in this type of signal to control both the lateral and vertical directions of the missile.

While most of these signals have been heard in the 47.5 to 50 Mc range, the same signals have been heard during recent attacks on frequencies as low as 43 Mc. It is entirely possible that the enemy may shift their frequencies anywhere in the 15 to 100 Mc range but they are most likely to remain in the general vicinity of 50 Mc because extensive modifications to the missile receiver would be required for a large frequency change. It is also possible that different types of control modulation may be used so all operators should be alert for any unusual signals which have been heard thus far are merely "spoof" signals, intended to draw our jamming to other frequencies.

In recent attacks many more signals have been heard than the number of missiles which were seen. This appears to indicate that the enemy knows that his frequencies have been identified and has adopted the tactics of turning on many transmitters as each missile is dropped so that we cannot tell which of these signals are the correct ones being used to guide missiles.⁵

⁵ Freie Übersetzung d. Verf.: Es konnten nur wenige Informationen bezüglich der Fernsteuerausrüstung dieser Raketen [Bomben] aus den Überresten gewonnen werden; die von Kriegsgefangenen erhaltenen und aus erbeutetem Gerät rekonstruierten Informationen müssen als unsicher betrachtet werden. Bei früheren Gegenmaßnahme-Missionen wurden während der Angriffe durch HS-293-Gleitbomben viele Signale im Frequenzbereich zwischen 47.5 und 50 MHz gehört, es scheinen die Steuerungssignale der Raketen zu sein. Diese Signale hatten einen charakteristischen zirpenden Ton, etwa wie von einem automatischen Sender, der Punkte ausstrahlt, mit Zwischenräumen zwischen den Punkten, die mit einem anderen Ton gefüllt sind. Aufnahmen dieser Signale sind analysiert worden, und man hat nur zwei verschiedene Töne von 1000 und 1500 Hz gefunden. Diese beiden Töne werden abwechselnd, nie gleichzeitig, mit einer relativ unveränderlichen Wiederholungsrate von etwa 10 Hz ausgestrahlt. D. h. ein für 80 Millisekunden andauernder 1000 Hz-Ton kann von einem 1500 Hz-Ton gefolgt werden, der für 20 Millisekunden vorhanden ist, wieder gefolgt vom 1000 Hz-Ton, dann wieder dem 1500 Hz-Ton usw. Die relative Dauer dieser beiden Töne kann sich ändern. Wir nehmen an, dass die Rakete durch Änderung der relativen Dauer dieser zwei Töne gesteu-

Was lässt sich diesen Ausführungen entnehmen?

Die Gegner hatte den Frequenzbereich, in dem die Lenkbombensteuerung arbeitete, ziemlich genau eingegrenzt, wussten aber nicht, ob die Deutschen in der Lage waren, diesen schnell zu verändern und damit funktechnischen Gegenmaßnahmen auszuweichen. Bekannt war in groben Zügen die Signalform, und obwohl man annahm, dass diese für die Steuerung in zwei Ebenen nicht ausreichen konnte, hatte man die beiden übrigen Tonfrequenzen bis dahin nicht erkannt. Trotzdem vermutete man zutreffend, dass die relative Dauer der Tonfrequenzen etwas mit der Betätigung der Ruder der Lenkkörper zu tun haben müsse. Erkannt hatte man auch die Verschleierungstaktik der Deutschen, durch Täuschungssignale die Funkabwehr zu erschweren.

Wie bereits berichtet sollen der britischen 8. Armee bei der Einnahme von *Foggia* am 27. September 1943 neben kompletten »Fritz X«- und Hs 293-Lenkbombenkörpern, die noch in Transportkisten verpackt gewesen sein sollen, auch Gerätesätze des »Kehl/Straßburg«-Fernsteuersystems in die Hände gefallen sein (*Stüwe* S. 329)⁶. In den *UK-National Archives* findet sich allerdings ein Bild (AIR 14-3611) eines komplett erhaltenen ZF-Teil des Straßburg erst aus Ende Januar 1944 (!). Ein früheres Bild (Bild 132) zeigt eine weitgehend zerstörte gleichartige Baugruppe aus September 1944, also genau dem Zeitraum, den *Trenkle* und *Stüwe* für das Auffinden (*Foggia*) kompletter Fernlenkgeräte für die »Fritz X« angeben.

In der unmittelbaren Folge hätte das Lenksystem für Briten (und Amerikaner) vollständig entschlüsselt sein können (müssen!), was zumindest für die amerikanische Seite – folgt man dem *NRL*-Bericht vom März 1944 – nicht zutrifft. In ihm heißt es unter der Überschrift:

b. German Radio Control Equipment

A tire-selector stage, presumably from an FX bomb, was found at Foggia, undamaged and only partially dismantled. Tests showed that this unit had a "band pass input circuit tuned to accent frequencies between 47.5 and 50 Mc. The converter was connected to a 3 Mc. IF transformer. The local oscillator and IF Amplifier were missing. The antenna coupling unit recovered from a control Diane was also tuned to 50 Mc. Portions of an IF amplifier recovered from an excluded HS-293 glide bomb also indicated that the IF frequency probably was 3 Mc. Part of this circuit resembled a discriminator, suggesting that FM may be used. The control Diane [e.g. attack equipment] antenna coupling circuit, previously referred to, contained a dummy antenna for transmitter tuning consisting of two 15-watt resistors. This indicates that the control trans-

ert wird, aber der genaue Mechanismus ist noch nicht klar, weil ein solches Signal nicht genügend Information enthält, um beide Bewegungen der Rakete, seitlich und vertikal, zu steuern.

Während die meisten dieser Signale im Bereich zwischen 47.5 und 50 MHz gehört worden sind, haben wir gleiche Signale während neuer Angriffe auch auf wesentlich niedrigeren Frequenzen festgestellt, z. B. bei 43 MHz. Es ist durchaus möglich, dass der Feind die Frequenzen irgendwo im Bereich zwischen 15 und 100 MHz verschieben kann, wahrscheinlicher aber, dass sie sich auf die Umgebung von 50 MHz konzentrieren werden, weil es für eine große Frequenzänderung notwendig wäre, umfangreiche Änderungen am Empfänger in der Rakete vorzunehmen. Ebenso möglich ist, dass unterschiedliche Modulationsarten zur Steuerung verwendet werden. Alle Operatoren sollten besondere Aufmerksamkeit auf ungewöhnliche Signale richten, die nicht identifiziert werden können. Auch ist es möglich, wenn auch unwahrscheinlich, dass die gehörten Signale nichts als Täuschungsmanöver sind, die dazu dienen sollen, unsere Störsender auf andere Frequenzen zu lenken. Bei neuerlichen Angriffen sind mehr Signale gehört worden als die Zahl von Raketen, die gesehen wurden. Das könnte bedeuten, dass der Feind weiß, dass seine Frequenzen identifiziert worden sind und er verfolgt nun die Taktik, sobald eine Rakete abgeworfen wird viele Sender einzuschalten, so dass wir nicht feststellen können, welches dieser Signale dasjenige zur Steuerung der Rakete ist.

⁶ *Trenkle* [2] S. 51 gibt dafür als Quellen die nicht näher bezeichnete „ausländische Literatur“ an.

*mitter power is less than 30 watts. Both transmitter and receiver presumably are crystal controlled and PW's report that a choice of 19⁷ frequencies is available.*⁸

Interessant an diesen Ausführungen ist die Tatsache, dass die erbeutete »Fritz X« in *Foggia* offenbar – was die elektronische Ausrüstung anbetrifft – vielleicht doch nicht so komplett war, wie von *Trenkle* [ohne Angabe einer Quelle] dargestellt. Möglicherweise wurden dort tatsächlich nur die Bombenkörper ohne Fernlenkelektronik gefunden. Berichtet wird lediglich über den Fund eines HF-Teils, Oszillator und ZF-Teil fehlten (s. o.). Teile des Letzteren waren aus anderem Fund bekannt, ebenso ein für die Funktionsanalyse unwichtiges Antennenanpassgerät. Wenn den Briten für präzise Messungen zumindest ein vollständiger Empfänger zur Verfügung gestanden hätte, wäre ihnen Wirkungsweise und Arbeitsfrequenzen bekannt gewesen!

Über diese Diskrepanz kann spekuliert werden, dass

- (1) möglicherweise die von *Trenkle* bemühte „ausländische Literatur“ eine gezielte Desinformation mit dem Ziel beinhaltete, die deutsche Seite bezüglich des Umfangs der alliierten Kenntnisse zu täuschen,
- (2) die Briten ihre Kenntnisse – aus welchen Gründen immer – absichtlich an den Verbündeten USA mit deutlichem Zeitverzug weitergegeben haben,
- (3) die technische Entschlüsselung des Fundes möglicherweise längere Zeit in Anspruch genommen hat. Aus meinen eigenen Untersuchungen an mehreren »*Straßburg*«-Empfängern weiß ich demgegenüber, dass man selbst ohne jegliche Schaltungsunterlagen mit relativ überschaubarem Aufwand an Messgeräten wichtige Eckdaten rekonstruieren kann,
- (4) längere militärische Dienstwege die Ursache des Zeitverzuges gewesen sein könnten oder die *NRL* selbst entsprechende Unterlagen erst relativ spät erhalten hat, so dass der Eindruck entsteht, bis zum Frühjahr 1944 hätten nur begrenzte Kenntnisse auf der Seite der US-Amerikaner vorgelegen.

Das sind Vermutungen, Belege für die eine oder andere Annahme stehen nicht zur Verfügung.

Stellen wir also fest: Nach der *NRL*-Quelle sieht es so aus, als hätten den Amerikanern lediglich Fragmente des Gerätesatzes für Analysen zur Verfügung gestanden. Dazu gehört das im Bericht erwähnte Anpassteil mit Ballastwiderständen. Es wurde in Prüfgestellen bei den Bodenmannschaften (Einzelheiten dazu in BAND I, Kapitel 4: *AGS 203*) eingesetzt, befand sich aber auch in allen Trägerflugzeugen, wo es eine Baugruppe auf dem Aufhän-

⁷ Sicher ist, dass die meisten Fernlenkempfänger »*Straßburg*« nur 18 wählbare Kanäle hatten; wie weiter oben gezeigt hat es offenbar aber auch solche mit 19 Kanälen gegeben, der 19. Kanal war besonders gekennzeichnet, ihm fiel offenbar eine besondere, hier nicht bekannte Rolle zu (vgl. Kapitel 5).

⁸ Freie Übersetzung d. Verf.: In *Foggia* ist eine ‚*tire-selector*‘-Stufe [HF-Vorstufe] gefunden worden, unbeschädigt und nur teilweise zerstört. Versuche zeigten, dass diese Einheit einen Bandfilter-Eingang besaß, der Eckfrequenzen zwischen 47.5 und 50 MHz aufwies. Der Konverter [gemeint ist das HF-Teil, d. Verf.] war mit einem 3 MHz-Übertrager verbunden. 1. Oszillator und ZF-Verstärker fehlten. Die Antennen-Anpasseinheit aus einem Abstimmgerät (*DIANE*?) war ebenfalls auf 50 MHz abgeglichen. Wieder hergestellte Teile eines ZF-Verstärkers aus einer zerlegten HS-293-Gleitbombe zeigten ebenfalls, dass die Zwischenfrequenz vermutlich bei 3 MHz lag. Teile dieses Kreises bildeten einen Diskriminator, was die Vermutung bestärkt, dass hier Frequenzmodulation verwendet wurde. Der zuvor erwähnte Antennen-Abstimmkreis enthielt einen Ballastwiderstand für die Antennenabstimmung, bestehend aus zwei 15 Watt-Widerständen. Dies zeigt, dass der Fernsteuersender weniger als 30 Watt abgab. Beide – Sender und Empfänger – waren vermutlich Quarzgesteuert und Kriegsgefangene berichten, dass 19 Frequenzen gewählt werden können.

gerahmen für den Sender »Kehl« und seine Peripheriegeräte war. Es diente dem Vernichten von Senderleistung unmittelbar nach Abwurf des Lenkkörpers, um dessen Fernlenkempfänger im Nahbereich des Trägerflugzeuges nicht zu übersteuern.

Sehr interessant ist ein Anhang zum *NRL*-Bericht; darin finden sich einige weitergehende Informationen, die offenbar kurz vor seiner Abfassung gewonnen oder von den Briten inzwischen übermittelt worden waren. Darin heißt es (freie Übersetzung d. Autor):

„Untersuchung von Empfängerteilen aus kürzlich aufgefundenen Lenkbomben bestätigen die Verwendung der 1000 Hz und 1500 Hz Modulationsfrequenzen, zeigen aber auch die Verwendung weiterer Modulationsfrequenzen im Bereich von 7 bis 10 kHz. Die 1000 und 1500 Hz-Töne besitzen eine Genauigkeit von 2%, die der höheren Frequenzen konnte nicht genau festgestellt werden. Es ist anzunehmen, dass die 1000 und 1500 Hz-Töne einen Satz für die Steuerung bilden, entweder für die Horizontal- oder Vertikalsteuerung, und dass die höheren Frequenzen die jeweils andere Ebene bedienen.

Es kann inzwischen als sicher gelten, dass die aufgenommenen Fernsteuersignale nicht nur der Täuschung (,spoof' – Schwindel) dienen. Wegen des Fehlens geeigneter Informationen über die höheren Frequenzen kann angenommen werden, dass die Lenkkörper durch Störsignale beeinträchtigt werden, die mit 1000 oder 1500 Hz moduliert sind, vorausgesetzt, diese [Stör-]Frequenzen werden innerhalb einer Toleranz von 2% gesetzt. Es ist sinnvoll, die Frequenz von 1500 Hz zu wählen, weil festgestellt worden ist, dass eine Überschreitung der 1500 Hz viel seltener auftritt als das Überschreiten von 1000 Hz.

Die genaueste gegenwärtig verfügbare Information zeigt eine Zwischenfrequenz des Empfängers von 2.93 MHz⁹ mit einer Bandbreite von 50 kHz an den 6 dB-Punkten. Darüber hinaus gibt es hinreichende Klarheit darüber, dass der Empfänger nicht quarzgesteuert ist, sondern über einen selbstschwingenden Oszillator mit automatischer Frequenznachführung durch einen Diskriminator auf der Zwischenfrequenz verfügt. Falls das so ist, wäre der Empfänger auch verwundbarer gegen Störsignale, weil er auf die Störfrequenz einrasten kann, selbst wenn sie nicht genauer als 25 kHz eingestellt ist.“

Zwischenschnitt:

Sicherung des »Kehl-Straßburg«-Systems gegen alliierte Störsender

Natürlich wurde auf deutscher Seite bereits bei der Entwicklung des Fernsteuersystems »Kehl-Straßburg« die Gefahr gesehen, es könnte durch gegnerische funktechnische Maßnahmen außer Funktion gesetzt werden. Deshalb waren bei der E-Stelle der Luftwaffe in *Peenemünde-West* frühzeitig Überlegungen zur Tarnung des Systems angestellt und Maßnahmen zur Verbesserung der Störfestigkeit ergriffen worden; die Ergebnisse waren dann bei den ersten Versuchseinsätzen sorgfältig beobachtet worden. So wurde z. B. ein Sender auf dem Zielschiff vor Usedom installiert, der umlaufend die 18 Kanäle des Fernlenkempfängers »Straßburg« stören konnte¹⁰.

Nach *Stüwe* (S. 401) hat das *Luftnachrichten-Versuchs-Regiment* (Ln.Vers.Rgt.) *Köthen* aus den dort gewonnenen Erfahrungen technische Hilfestellung und Beratung für die Truppe angeboten. Daneben waren der *General-Nachrichtenführer* (*Gen.Nafü.*) und Teile des

⁹ Das kommt eigenen Messungen und zuverlässigen deutschen Angaben sehr nahe.

¹⁰ *J. Herrmann* in: *Benecke et al.: Flugkörper und Lenkkraketen*, Bernard und Graefe Verlag, Koblenz (1987), S. 113. Über das Ergebnis wird Zuverlässiges nicht berichtet.

Kampf-Geschwaders K.G. 100 frühzeitig mit der Sache befasst¹¹. Da die entsprechenden Luftwaffenunterlagen gegen Kriegsende vernichtet worden sind, ist über diese Arbeiten jedoch kaum etwas bekannt geworden. Konkret überlegte man, durch Verlagerung der Trägerfrequenzen in den Dezimeter-Bereich Störungen durch den Gegner zumindest zu erschweren.

Bekannt ist weiterhin, dass bereits sehr frühzeitig die technischen Probleme für eine Drahtlenkung der »Fritz X« und Hs 293 – besonders das Abwickeln der aufgespulten Drähte – gelöst und Umrüstsätze verfügbar waren. Mit ihrem Einsatz hätte man jede Möglichkeit funktechnischer Störung ausschließen können.

Und natürlich wurde strengstens auf die Einhaltung der Geheimhaltungsvorschriften geachtet, wozu auch strikte Anordnungen über die Verfahrenweisen bei Testabwürfen und bei Prüf- und Abstimmversuchen gehörten. Die Geheimhaltung des Projekts, die Absicherung gegen Spionage und Verrat, muss perfekt funktioniert haben, wie man aus den Schwierigkeiten ersehen kann, welche die Alliierten hatten, als sie sich zu funktechnischen Abwehrmaßnahmen gezwungen sahen. Als die Angriffe mit der neuen Waffe begannen, kannten sie weder das Funktionsprinzip der Fernsteueranlage, noch seine Arbeitsfrequenz(en) und auch nicht die mögliche Einsatzflexibilität, so sie denn bestand.

Umfangreiche Untersuchungen zu Störmöglichkeiten durch Störsender des Gegners wurden auf Betreiben des Bevollmächtigten für Hochfrequenzforschung (BHF), Dr. Kurt Herold, in Peenemünde-West und Jesau durchgeführt. Seine Aufgabe war es herauszufinden, in welcher Weise das »Kehl/Straßburg«-System durch Dauerstrich-, Impuls-, Wobbel- und Nachlaufsender gestört werden konnte. Stüwe schreibt (S. 401 f.):

„Daraus ergab sich, dass es trotz des durch Verwendung der Tonfrequenzmodulation geschaffenen doppelten Auswahlprinzips möglich war, die einwandfreie Lenkung bereits mit einem nicht-amplitudenmodulierten Störsender, der im fraglichen Bereich gewobbelt wurde, zu verhindern. Die erforderliche Sendeleistung konnte aufgrund der Untersuchungen im Einsatzgebiet (Kanal und angrenzende Küstengebiete) aufgebracht werden. Nach den Ergebnissen von Dr. Herold war der Grund für diese Erscheinung darin zu suchen, daß Tonfrequenzen an einem nichtlinearen Schaltelement, z. B. dem ersten Demodulator des Empfängers, durch Überlagerung der Nutzwelle mit der Störwelle entstanden. Bei gewobelter Störwelle traten damit die für die Übertragung vorgesehenen Tonfrequenzen im Rhythmus der Wobelfrequenz unterbrochen, kurzzeitig auf und riefen Fehlkommandos hervor...

...In einer weiteren Studie derselben Dienststelle wurde ein Tarnsender für den Abwurf und Abstimmbetrieb von Hs 293 und Fritz X entwickelt. Für vier Seitenbänder – zu beiden Seiten der Funkübertragung – wurden durch besondere Steuerprogramme mit Modulationsfrequenzen, die nicht den Originalfrequenzen entsprachen, sowohl Abwurf- wie Abstimmungen nachgeahmt. Hierdurch sollte dem feindlichen Beobachtungsdienst das Erkennen der verwendeten Übertragungsfrequenzen erschwert werden.“

Darüber hinaus hatte man zwei Ausweichfrequenzbereiche vorgesehen, einen um 60 MHz, dort waren keine Funkdienste des Gegners festgestellt worden und bei 27 MHz (Stüwe, Trenkle [2]). Dieses Band war jedoch in Küstennähe Großbritanniens nicht einzusetzen, weil hier leistungsstarke feindliche Funkmessgeräte und Sender für die Hyperbel-Navigation arbeiteten. Soweit bekannt, sind beide Frequenzbereiche für Abwürfe deutscher Lenk Waffen nicht (mehr) verwendet worden.

¹¹ Bei Balke, S. 267, findet sich der dazu passende Hinweis: *„Die Besatzung Lt. Joachim Baumert (Do 217 E 4, 6N+KA, Werk Nr. 1169) wird, bis auf den Bordfunker Ogfr. Arno Wydra, der in Gefangenschaft geriet, vermißt. Der mitfliegende Lt. Hagen Denat war Angehöriger des Luftnachrichten-Regiments 7. Auf Befehl des O.K.L. war er zum K.G. 100 versetzt worden, um Studien über die feindlichen Störversuche der Fernlenk Waffen anzustellen.“*

Verfahren alliierter Funk-Störmaßnahmen

Stresslösung: Die ‚brute force‘-Methode

Legt man den Bericht des NRL zugrunde, so hat es den Anschein, als habe man – wie oben vermutet – zumindest auf amerikanischer Seite bis zum Frühjahr 1944 nur auf sehr lückenhafte Informationen zum Fernsteuersystem »Kehl/Straßburg« zurückgreifen können, jedenfalls zu wenig, um gezielte elektronische Abwehrmaßnahmen anhand der Kenntnisse über den Haupt-Fernlenk-Frequenzbereich und die Signalform der Fernsteuersignale zu entwickeln.



Bild 133

Funk-Störanlage AN/ARQ-8 »Dinamate« (US Signal Corps) Spot Jamming Equipment

Links: R58-C93/ARQ-8 (Empfänger) **Mitte:** T51/ARQ-8 **Rechts:** Endverstärker AM-33/ART
Auf der Endstufe rechts: Anodenstrom-Messinstrument TS-60/U **Unten:** Steuereinheit C92/ARQ-8

Noch im März 1944 wird die Bedienungsmannschaft aufgefordert, Aufzeichnungen von verdächtigen Signalen zu machen. In Kapitel 6 des NRL-Reports heisst es¹²:

“During guided missile attacks keen complete data on all signals heard, their frequencies, the tone jamming used, and the results observed. Use the Soundsciber for this purpose and avoid longhand notes. Make recordings of missile signals whenever possible. Submit your report of the attack as promptly as possible. Remember that FX signals have not yet been recorded, that the frequencies and control modulation of the HS-293

¹² Freie Übersetzung d. Verf. *Sichere während Fernlenk-Angriffen vollständige Daten zu allen gehörten Signalen, ihren Frequenzen, die verwendete Störmodulation und die erzielten Ergebnisse!. Verwende dazu den Soundsciber und vermeide nachträgliche Aufzeichnungen. Mache Aufzeichnungen der Fernlenksignale wenn immer möglich. Übermittle deine Berichte so schnell wie möglich. Bedenke, dass die Signale der FX bislang noch nicht aufgezeichnet worden sind und dass Frequenz und Fernsteuermodulation der HS-293 jederzeit geändert worden sein könnten und dass neue Lenkkörper mit völlig neuen Steuersignalen eingesetzt werden könnten.*

may be changed at any time, and that new missiles with totally new control signals may be introduced... [Hervorhebung d. Verf.].

Man erkennt aus dieser Anforderung an die Bedienungsmannschaften der Störanlagen die zu diesem Zeitpunkt offenbar noch vorhandenen Unsicherheiten bezüglich des gegnerischen Angriffssystems.

Was also blieb den Alliierten übrig, als bei den unübersehbaren Erfolgen des Gegners schnell und möglichst mit vorhandenem Gerät – zusätzlich zur Verstärkung der Jagd- und Flakabwehr¹³ – im ungezielten ‚Brutalverfahren‘ zu versuchen, die Funkverbindung zwischen Lenkkörper und Flugzeug, aus dem die Lenksignale ausgesendet wurden, zu stören. Sowohl bei den Amerikanern als auch den Briten

legte man ein ‚crash program‘ zur Entwicklung eines funktechnischen Abwehrsystems auf, das sog. GMCM (*Guided Missile Countermeasure*-Programm).

Anfänglich hatten Wissenschaftler des (*Harvard*) *Naval Research Laboratory (NRL)* in den Vereinigten Staaten, unabhängig davon auch in Großbritannien versucht, die bei ihren *Air Forces* im Einsatz befindlichen Störgeräte für diese Zwecke zu modifizieren. Ihre Wirksamkeit, den gegnerischen Luft-Luft oder Luft-Boden-Funkverkehr empfindlich zu stören, hatten die Einrichtungen zwar nachgewiesen, ihre Leistung von etwa 20 bis maximal 50 Watt war – so konnte man sich ausrechnen – für wirksames breitbandiges Stören der Lenkbombenkommunikation keinesfalls ausreichend. Also wurde nach bereits vor-



Bild 134
US-Störsender *Hallicrafters T-51A/ARQ-8*
US-Army Signal Corps

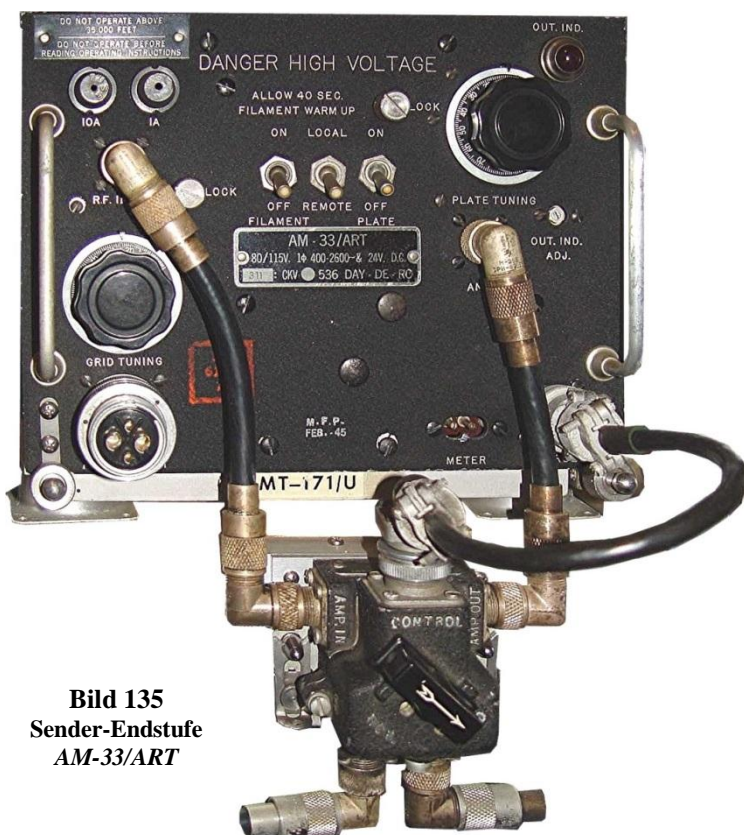


Bild 135
Sender-Endstufe
AM-33/ART

¹³ Häufig wird vergessen, dass man seitens der gefährdeten Schiffe auch die ‚Vernebelung‘ einsetzte, welche für den Lenkschützen im werfenden Flugzeug die Zielhaltung außerordentlich erschweren konnte.

handenen leistungsstärkeren Sendern Ausschau gehalten, die auf einfache Weise zu Stör-
sendern umgebaut werden konnten. Näheres dazu wird weiter unten beschrieben wer-
den.

Dass dies nur eine aus der Not geborene Maßnahme sein konnte, war von Anfang an klar,
der mehr oder weniger ungezielte Rundumschlag würde Nachteile haben: Mit hoher Stör-
leistung hätte man zwar um gefährdete Objekte – Einheiten wie Flugzeugträger, Schlacht-
schiffe und Kreuzer – einen Störnebel so hoher Feldstärke erzeugen können, dass dadurch
der Funklenkempfänger der Bombe in jedem Falle ‚zugestopft‘ worden wäre und damit
keine vernünftigen Lenkbefehle mehr an die Lenkmechanik gelangen konnten.

Dabei entsteht allerdings auf den Schiffen, die mit leistungsstarken Störsendern und den
zugehörigen Antennen ausgerüstet werden würden, unweigerlich die Gefahr, auf dem
engen verfügbaren Raum eines Schiffes, die für den eigenen taktischen Funkverkehr wich-
tigen Frequenzbänder durch ‚Überlastung‘ der Empfänger-Eingangsstufen empfindlich zu
beeinträchtigen.

Jamming‘ dieser Art wurde zwar anfangs in größerem Umfang eingesetzt, brachte aber
keinen erkennbaren Erfolg und wurde alsbald wieder eingestellt.

Bekannt geworden ist eine erste, danach eingesetzte verzweifelte Zwischenlösung, gebo-
ren aus den beängstigenden deutschen Erfolgen mit ferngesteuerten Gleit- und Fallbom-
ben im Mittelmeer im Herbst 1943. Es entstand das *ARQ-8*-System, in dem Gerätekomp-
ponenten zusammengestellt wurden, die sich bei der Störung des deutschen taktischen
Jäger-Funkverkehrs und auch von Fernmessgeräten bewährt hatten. Sie bestanden aus
dem Empfänger *R58/ARQ-8* und dem Sender *T51A/ARQ-8*, beide von *Hallicrafters*.

Die Leistung des Senders, in der
Endstufe mit einer 829B bestückt,
lag bei etwa 20 Watt Ausgangslei-
stung, für den beabsichtigten Zweck
schien das unzureichend. Da nicht
genügend Flugzeuge im Mittel-
meerraum zur Verfügung standen,
die mit dieser Anlage ausgerüstet
die deutschen Lenkbombenabwür-
fe hätten erfolgreich bekämpfen
können, verfiel man darauf, sie in
verstärkter Ausführung auf gefähr-
deten Schiffen unterzubringen. Da-
zu ergänzte man sie mit der Lei-
stungsendstufe *AM-33/ART* (Bild
133, 135), die mit zwei in Gegen-
takt geschalteten 4E27-Röhren¹⁴
betrieben wurde. Bei 100%iger
Anodenmodulation ließen sich
damit Ausgangsleistungen von bis zu 100 Watt erreichen.



Bild 136
Panorama-Adapter R61/ARQ5
20–50 und 50–80 MHz

¹⁴ Dabei handelt es sich um Kleinleistungs-*Beam-Power*-Pentoden, die mit 1000 Volt Anodenspannung und 300 Volt Schirmgitterspannung mit 75 mA Anodenstrom betrieben bei einer Anodenverlustleistung von max. 75 Watt im Bereich bis 100 MHz etwa 35 Watt Ausgangsleistung erzeugen können, im *push-pull*-Betrieb etwa 80 bis 100 Watt. Typenbezeichnung auch 8001.

Um die Störbandbreite so groß wie möglich zu machen, wendete man das Doppelseitenbandverfahren mit unterdrücktem Träger¹⁵ an, und die Endstufe lief durch entsprechend gewählte Gittervorspannung im damals (militärisch) nur bei wenigen Geräten üblichen B- oder C-Betrieb. Mit drei Steckspulen konnte der Bereich zwischen 30 bis 100 MHz abgedeckt werden.

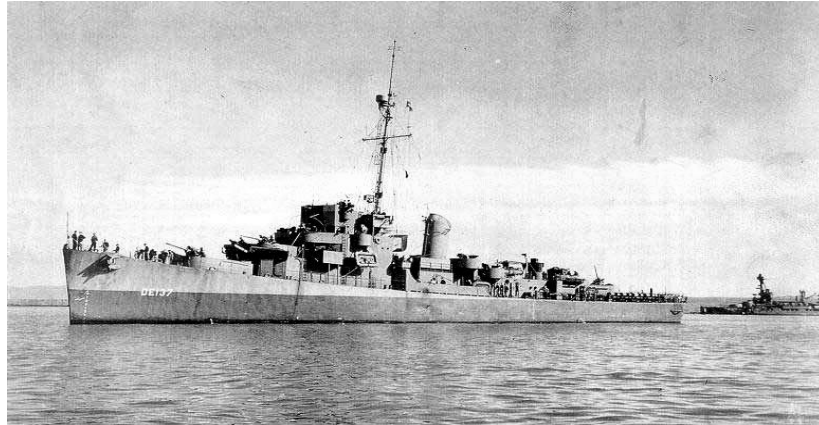


Bild 137

US-Navy Kreuzer *Herbert C. Jones* (Destroyer Escort DE 137)

(Foto: „Hyperware US Navy in WW II“)

Nach US-Angaben arbeite der Sender-Oszillator in dieser Geräteanordnung zugleich als ‚local oscillator‘ (1. Oszillator) des Empfängers. Die Abstimmung erfolgte ± 2.5 MHz um eine vorbestimmte Mittenfrequenz, wobei ein C92/ARQ-8 als Steuereinheit diene.

Zur Anlage gehörte der Schmalband-Panorama-Adapter R-61/ARQ5 (Bild 136), der umsteckbar auf einen unteren Bereich zwischen 20 und 50 MHz und einen oberen zwischen 50 und 80 MHz einsetzbar war. Seine grobe Kalibrierung ermöglichte das frequenzmäßige Zuordnen eines zu störenden Signals.

Wie man der Beschreibung entnehmen kann, war die Anlage im Prinzip geeignet, den Bereich, in dem die Kommunikation zwischen den deutschen Lenkkörpern und dem Sender im Trägerflugzeug lief, zu stören. Die ersten als »Dinamate« bezeichneten Gerätesätze kamen im Januar 1944 zur Auslieferung an die Navy¹⁶, sie sollten auf Zerstörern, Zerstörer-Begleitschiffen und Kreuzern installiert werden. Ob es dazu kam, ist nach Bollinger unklar, ebenso, ob einer von ihnen je zum versuchsweisen Ernsteinsatz kam. Die Ingenieure bei der NRL waren bezüglich der Wirksamkeit der Anlage kritisch eingestellt. Das Hauptargument: zu kompliziert in der Bedienung.

Bollinger zitiert:

„The particular method of tracking the transmitter frequency by tuning the receiver as exemplified by the present Dinamate equipment is not considered to be applicable to a properly designed system for general guided missile countermeasures application. The Dinamate device, as designed, is fundamentally limited to single-control tuning over a limited frequency range such as 5 mc, for example. In order to change 5 mc. range to other frequency bands requires a rather extensive, and hence slow tuning procedure involving several controls.“

¹⁵ DSBS = double side band suppressed carrier

¹⁶ Bollinger, S. 123

Dazu kam, dass die meisten der *ARQ8*-Einheiten ohne die 300-Watt-Endstufe B3200 ausgeliefert worden waren. Die Anlagen mussten deshalb mit nur maximal 100 Watt betrieben werden, viel zu wenig, um die Hs 293 mit ihrer Richtantenne, einer 4 Element Yagi, erfolgreich stören zu können.

Sehr bald ging man deshalb auf ein neues System über, das allerdings ebenfalls hastig zusammengestellt worden war.

Zwischenlösung: Die *XCJ*-Störgeräte

Im *NRL*-Bericht vom 3. März 1944 findet sich unter der Überschrift *Results of Jamming* folgende Einschätzung bisheriger Erfolge der Störversuche (frei übersetzt d. Verf.):

„Kürzlich haben Störkommandos, die mit inadäquat geringer Senderleistung arbeiteten, die hoch-effektive Störung der Hs 293-Raketen [missiles] mit tonmodulierten, geräuschmodulierten oder mit reiner Trägerwelle berichtet. Nachfolgende Untersuchung der Berichte hat erhebliche Zweifel an ihnen aufkommen lassen, da sich in der Vergangenheit herausgestellt hat, dass viele der geworfenen HS-Raketen defekt waren, so dass es leicht zu der Fehleinschätzung kommen kann, Jamming hätte zu ihrem Versagen geführt.

Bisher ist keine eindeutige Korrelation zwischen dem Einsatz unserer Störaktionen und der Ablenkung der HS aus ihrer Flugbahn nachweisbar.“



Bild 138

Hallicrafters S 27 (RBK 1)
VHF-Empfänger für 28 bis 143 MHz

Vermutlich zog man unter anderem aus dieser Einschätzung den Schluss, zu verbesserten effektiveren Störmethoden überzugehen. Deren Entwicklung war inzwischen wegen erweiterter Kenntnisse über die Steuerung der deutschen Lenkbomben möglich geworden.

Zumindest durch erbeutete Empfangsgeräte (E 230 »*Straßburg*«) waren den Alliierten ab etwa Mitte 1944 die Fernsteuerfrequenzen des Senders zwischen 48 und 50 MHz bekannt, es war dadurch möglich, die Art der Umsetzung der Steuersignale in Lenkaktionen herausfinden. Das sind zwar detaillierte Kenntnisse der Funktionalität der Angriffswaffen, aber die Alliierten konnten keineswegs sicher sein, dass die Deutschen für ihre Angriffe stets nur diesen Frequenzbereich verwenden würden.

In einem ersten Schritt war es wichtig, Empfangsgeräte in die Hand bekommen, mit deren Hilfe es möglich sein würde, breitere Frequenzbänder nach bombenspezifischen Signalen abzusuchen. Das musste bei Bedrohungssituationen schnell geschehen. Handabgestimmte Empfänger waren hierfür völlig unbrauchbar, für das Auffinden standen – wie erwähnt

– nur Sekunden bis wenig mehr als eine Minute zur Verfügung. In dieser Zeitspanne hatte die Identifikation zuverlässig zu erfolgen. Aber nicht nur das, der Störsender war dann präzise auf eben diese Frequenz abzustimmen.



Bild 139
Hallicrafters SX 28A (RDC - AN/GRR-2)

Man musste also bemüht sein, möglichst viele Teile dieses als ‚pin-point‘-Methode bezeichneten Ablaufes zu automatisieren, technisch gesehen eine anspruchsvolle Aufgabe. Die Probleme ihrer Realisierung waren vermutlich verantwortlich für Verzögerungen bei der Entwicklung eines dieserart wirksamen Abwehrsystems und die zügige Einleitung seiner Serienproduktion mit anschließendem Einbau auf den Schiffen.

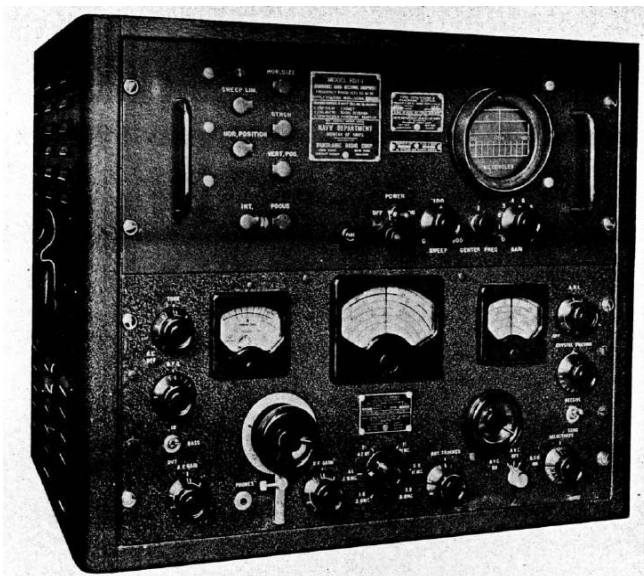


Bild 140
*Hallicrafters SX 28A mit Panorama-Adapter
RBY-1 oder RBW-2M*

Wegen der oben dargestellten Unsicherheit bezüglich der von den Deutschen benutzen Frequenzen für die Bombensteuerung¹⁷ war es also unumgänglich, zunächst mit einem breitbandig gewobbelten Empfänger nach vermeintlichen Lenkbombensignalen zu suchen und diese sicher identifizieren. Ein besonderes Problem stellte das nicht dar, weil sich die Lenksignale dadurch verrieten, dass sie im modulierten Dauerstrich abgestrahlt wurden. Auf dem Schirm des Panorama-Adapters wurde ein amplitudenstabiles Signal mit konstantem Modulationsgrad sichtbar, während Telegrafie- und Telefonesignale in der Amplitude erkennbar schwanken.

¹⁷ Tatsächlich waren Ausweichfrequenzen um 27 MHz und auch bei 60 MHz in Planung. Über deren Einsatz sind Details nicht bekannt.

Der Erkennungsschritt war verhältnismäßig problemlos zu automatisieren. Ein Problem lag eher in der Schwierigkeit, auf den Panorama-Adaptern die Frequenz des feindlichen Signals einigermaßen genau zu bestimmen, um sie auf dem mit dem Störsender gekoppelten Empfänger präzise einzustellen. Im Übrigen war damit zu rechnen, dass der Gegner Signale zur Täuschung aussenden würde, um damit die vorhandenen Abwehrsysteme zu verwirren: Den deutschen Beobachtern waren die Störbemühungen der Alliierten natürlich nicht verborgen geblieben. Ein solches Suchsystem würde Zeit in Anspruch nehmen, die so weit wie möglich verkürzt werden musste, und das ließ sich nur durch Automatisierung realisieren.



Bild 141

National NC 100 Kurzwellen-Communications Receiver



F644C5506 NAVY YARD, NEW YORK JANUARY 14, 1944
 U.S.S. DD 427.
 (1) RBK RECEIVER.
 (2) RBW PANORAMIC ADAPTER.
 (3) XCJ-1 TRANSMITTER.
 (4) RCX PANORAMIC ADAPTER.
 (5) RAO RECEIVER.
 (6) TRANSMITTING ANTENNA SWITCHES.

SECRET

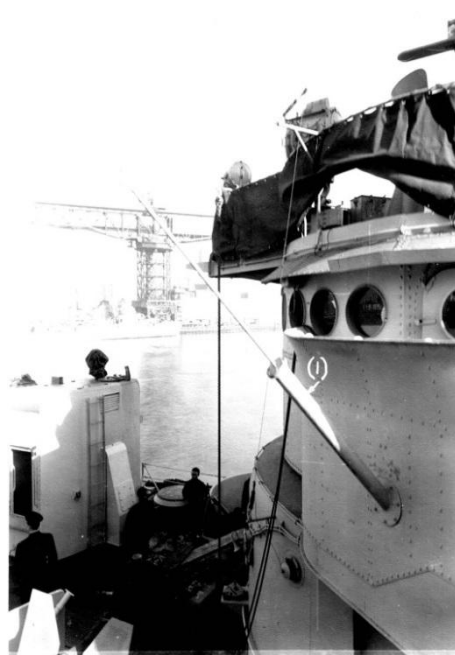
PLATE 15

Bild 142

**Störequipment gegen deutsche Fernlenkbomben
 auf dem USS DD 427, System XCJ-1**

(Quelle [Secret]:

Navy Dept, NRL Report R-2241, March 3, 1944)



F644C5498 NAVY YARD, NEW YORK JANUARY 14, 1944
 U.S.S. DD 425.
 (1) SLEEVE TYPE (HIGH FREQUENCY) TRANSMITTING ANTENNA.

SECRET

PLATE 5

Bild 143

**Antenne für den Störsender
 gegen deutsche Lenkbomben
 (hochfrequente Version an Bord des
 USS DD 425)**

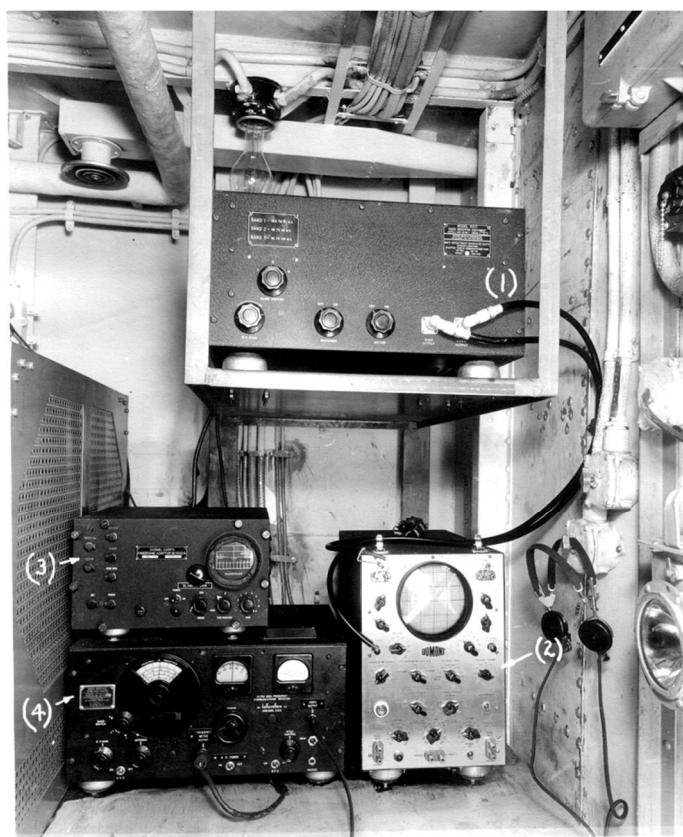
(Quelle [Secret]: Navy Dept, NRL Report R-2241,
 March 3, 1944)

Aus diesen auf der Hand liegenden Überlegungen entstanden die verschiedenen Geräte-kombinationen einer Serie von *XCJ*-Systemen. Auch das waren unvollkommene Zwischen-lösungen, die sich – auf sechs im Mittelmeer kreuzenden Kriegsschiffen eingebaut – in Testläufen als zu langsam und umständlich in der Bedienung erwiesen.

Die Weiterentwicklung des ersten *XCJ*-Störsystems (*XCJ-1*, *XCJ-2*) führte schrittweise zu Gerätesätzen, die dem Bediener des Suchempfängers ermöglichten, die Signale deutscher Fernlenkbomben schneller zu identifizieren und an den eigenen Störsender weiterzuleiten. Die zunächst auf zwei Einheiten der »Edsall«-Klasse – der »Herbert C. Jones« (DE 137¹⁸) und dem Schwesterschiff »Frederick C. Davis« (DE 136) – probeweise installierten Anlagen erwiesen sich als wenig hilfreich, weil noch immer kein Empfänger zur Verfügung stand, der schnell einen breiten Frequenzbereich absuchen konnte, automatisch bei Empfang eines verdächtigen Signals in eine schmalbandige Stellung umschaltete und die (genaue) Frequenz in Echtzeit an den assoziierten Störsender weitergab.

Man spaltete deshalb den Suchbereich in zwei Teile auf, je einen für tiefe und hohe Frequenzbänder und brachte den Bau oder Umbau dazu passender, hinreichend leistungsstarker Störsender auf den Weg.

Für den niedrigeren Bereich wurde der bislang verwendete handabgestimmte Empfänger *RBK*¹⁹ durch einen modifizierten *Hallicrafters* S-27 ersetzt (Bild 138), dessen Suchabstimmung durch einen mit hoher Geschwindigkeit rotierenden Drehkondensator (900 U/min) ergänzt worden war. Das offiziell nun als *RDG* bezeichnete Gerät war in der Lage, automatisch Signale zwischen 0.5 und 30 MHz ausfindig zu machen. Sie konnten dann zur Begut-



F644C5507 NAVY YARD, NEW YORK JANUARY 14, 1944
 U.S.S. DD 427.
 (1) RDC PANORAMIC RECEIVER.
 (2) DUMONT SCOPE.
 (3) RBW PANORAMIC ADAPTER.
 (4) RBK RECEIVER.

SECRET

PLATE 16

Bild 144

Empfängersektion des Störsystems *XCJ-2* auf dem Zerstörer DD 427

(Quelle: *Navy Dept, NRL Report R-2241*, March 3, 1944)

¹⁸ DE bedeutet *Destroyer Escort*, also Zerstörer-Begleitschiff

¹⁹ Dabei handelte es sich um einen für die *US-Navy* hergestellten VHF-Empfänger der Fa. *Hallicrafters*, in drei Bereichen von Hand abstimbar zwischen 28 und 143 MHz, geeignet für den Empfang von CW-, AM- und FM-Signalen. Im HF-Teil des 15-Röhren-Gerätes steckten drei Eichelröhren (956 HF-Vorstufe, 954 im Mischer, 955 im 1. Oszillator). Die meisten *RBK*-Empfänger wurden zusammen mit Panorama-Adaptoren für das Auffinden und Beobachten feindlichen Funkverkehrs verwendet.

achtung auf dem Schirm eines Oszilloskops (einem zivilen *DuMont 241* (Bild 144) bzw. einer militärischen Einheit, die als *XCA* bezeichnet wurde, sichtbar gemacht werden.

Zu dem Gerätesatz gehörte weiterhin ein handabgestimmter Empfänger, ein modifizierter *National NC-100* (Navy-Bezeichnung *RAO*) (Bild 141), dessen Output vom Bediener auf einem Panorama-Adapter (*Panoramic Radio Corporation SA-3*, bezeichnet als *RCX*, geeignet für eine ZF von 456 kHz, bzw. auf einem *Signal Corps BC-1031A*) betrachtet werden konnte.



Bild 145
RBW-Panorama-Adapter
(siehe Bild 144)

Wie funktionierte dieses ziemlich umständlich anmutende System?

Die Bedienung verlief nach einem dreistufigen Verfahren:

- (1) Auffinden verdächtiger Signale mit dem motorabgestimmten Empfänger (*RDC*) und Abbildung auf einem angeschlossenen Oszilloskop (*DuMont*),
- (2) Präzise Einstellung der Frequenz dieser Signale am *RBK* und
- (3) Analyse des Signals auf dem *RCX*-Panorama-Sichtgerät (*RBW*).



Bild 146
Signal Corps Panorama-Adapter BC-1032A

Die zweite Gerätegruppe sollte in gleicher Weise den Bereich höherer Frequenzen scannen. Hier kam ein – wie beschrieben – modifizierter *Hallicrafters S-27* (Navy-Bezeichnung *RDC*) zum Einsatz, der den Bereich zwischen 30 und 170 MHz absuchen und auf dem Oszilloskop anzeigen konnte. An einem weiteren S-27 wurde ein gefundenes auffälliges Signal per Hand eingestellt und wiederum auf dem angeschlossenen Panorama-Adapter analysiert, markiert und gegebenenfalls an den angeschlossenen Störsender weitergeleitet.

Mit diesen beiden Gerätekombinationen war es immerhin möglich, den gesamten Bereich zwischen 0.5 und 170 MHz zu kontrollieren.

Interessant ist eine Zusatzeinrichtung, die das ‚Durchhören‘ durch das Störsignal ermöglichte. Die dazu eingesetzte Elektronik hatte den Sinn, ‚gleichzeitig‘ die Lage des Störsignals und das Lenkbombensignal auf dem Schirm des Panorama-Adapters sichtbar zu machen und damit die Möglichkeit zu eröffnen, beide durch geringfügiges Nachstimmen des Störsenders präzise aufeinander zu legen. Das wurde erreicht durch sehr kurzzeitige Schaltung des Senders auf ‚stand-by‘, so dass eine Störlücke entstand.

Man kann sich leicht vorstellen, dass die dazu erforderliche Elektronik nur mit entsprechend frequenzstabilen Störsendern²⁰ und schnellen, funkenfrei schaltenden Vakuumschaltern zu realisieren war.

²⁰ In diesem Falle war Quarzsteuerung des Senders ja nicht möglich, er musste über ein breites Frequenzband abstimmbare sein. Es wäre hochinteressant, die hier angewendete Technik näher betrachten zu können, Detaillierte Informationen sind hier leider nicht zugänglich.

Bollinger gibt an, dass ein geübter Operator den gesamten Ablauf innerhalb weniger Sekunden bewältigen konnte, also durchaus in dem durch die Fallzeit deutscher Lenkbomben gegebenen Zeitfenster.

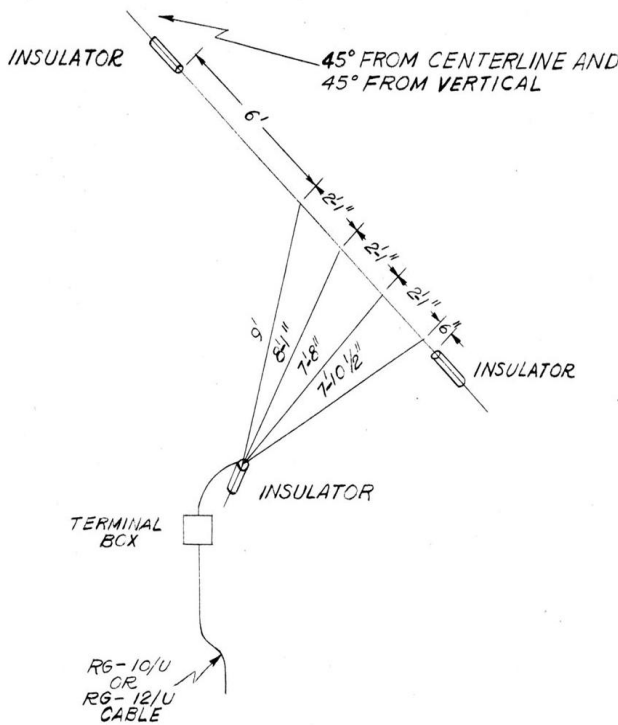


Bild 147

Abmessungen der Fächerantenne für den Suchempfänger

(Quelle [Secret]:

Navy Dept, NRL Report R-2241, March 3, 1944)

Problem, sie führten zu nicht vergleichbaren Darstellungen der Signalamplituden abhängig von der eingestellten Frequenz, wodurch eine eindeutige Annäherungsinformation bezüglich des Angreifers nicht zur Verfügung stand.

Es war deshalb unumgänglich, für den Störeinsatz spezielle breitbandige Antennen zu entwickeln. Die Lösung brachte eine $\lambda/4$ -Stub-Antenne, deren untere $\lambda/8$ einen geerdeten, aus dem Schirm des Koaxial-Speisekabels bestehenden Sperrtopf bildeten. Innerhalb des Sperrtopfes befand sich eine Leitung zur automatischen Impedanztransformation.

Eine solche Antenne musste an einer geeigneten Stelle des Schiffes mon-

Nicht für die Suchempfänger, wohl aber für die Störsender ergab sich ein erhebliches Antennenproblem: Die Impedanz im Speisepunkt von Dipolen oder Vertikalantennen üblicher Bauform ändert sich stark in Abhängigkeit ihrer Resonanzlage. Das führt beim Frequenzwechsel zu mehr oder minder großer Fehlanpassung des Senders und damit zu unterschiedlicher Belastung der Sender-Endstufe, die abgestrahlte Leistung schwankt stark. Normalerweise verwendet man Antennen-Anpassgeräte, um dieses Problem zu beherrschen, für ihre Abstimmung wird allerdings viel Zeit benötigt, auch deshalb, weil sie an Bord von Schiffen vom Sender entfernt angebracht werden müssen. Automatische Abstimmung dieser Geräte war zu dieser Zeit nur mit hohem Aufwand mit Stellmotoren möglich.

Auch für die Darstellung auf den angeschlossenen Panorama-Adaptern waren wechselnde Antennenspannungen ein

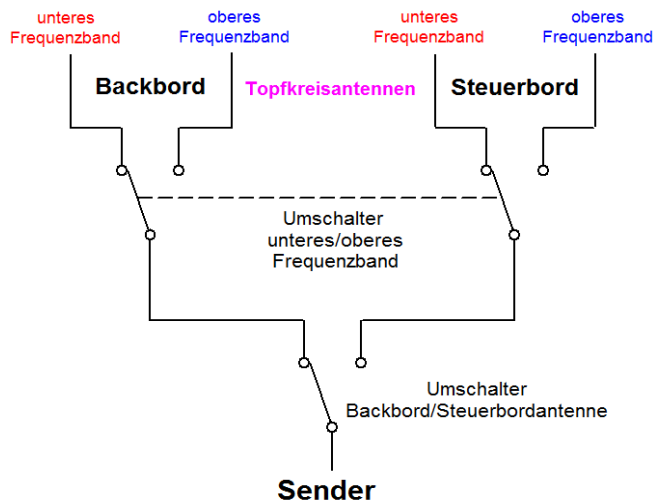


Bild 148

Umschaltung zwischen den Backbord/Steuerbord-Topfkreisantennen für das untere bzw. obere Frequenzband (15-30 MHz und 30-55 MHz)

(umgezeichnet nach: NRL-Report R-2241, March 1944)

tiert werden, die Aufbauten waren als Masseflächen verwendbar (Bild 143). Darüber hinaus erwies sich als vorteilhaft, wenn man den Strahler 45° gegen die Vertikale neigte, weil dadurch die vertikal und horizontal polarisierte Strahlungskomponente etwa gleichstark abgestrahlt werden konnte.

Um ‚Strahlungslöcher‘ zu vermeiden erwies sich als günstig, je eine solche Antenne auf der Steuer- und Backbordseite des Schiffes anzubringen.

Sachgerecht installiert ließ sich mit derartigen Antennen innerhalb einer Frequenzänderung von 2:1 bei 50 Ω-Fußpunktimpedanz ein Stehwellenverhältnis erzielen, das an keiner Stelle größer als 2 war. Dabei stellte sich allerdings heraus, dass diese Werte nur zu erreichen waren, wenn man die Antenne an einer geeigneten Stelle des Schiffskörpers aufbaute und einwandfreie breitbandige Funktion durch sorgfältige Impedanz- bzw. Stehwellenmessungen auf dem Kabel absicherte.

Immerhin benötigte man so für den gesamten Bereich nur zwei Antennen: Eine für 15 bis 30 MHz, die andere für 30 bis 55 MHz.

Als Empfangsantenne dienten sog. Fächerantennen wie in Bild 147 dargestellt. Die Antenne hat eine Fußpunktimpedanz von etwa 70 Ω, im Bereich zwischen 15 bis 55 MHz liegt das Stehwellenverhältnis (VSWR) unter 5. Stehwellenverhältnisse in dieser Größenordnung sind für Empfangszwecke unbedenklich.

Zur Störanlage gehörten weiterhin Tonaufzeichnungsgeräte, auf Bild 149 ist unter (1) ein sog. *Soundsciber* der gleichnamigen Firma *Sound Scriber Corp. (New Haven, USA)* zu sehen. Mit ihm wurden die im Suchempfänger demodulierten Steuertöne des Fernlenkenders auf Vinyl- oder Wachsplatten festgehalten, um sie später zu analysieren. Gleichzeitig konnten damit Kommentare des Operators, der die Lenksignale ausfindig gemacht hatte, aufgesprochen werden. Er war angehalten, ungewöhnliche Signale mit genauer Frequenz und Zeit zu kommentieren und die Platte nach Durchlauf mit Datum, Zeit, Name des Schiffes und Informationen zu den Besonderheiten des Angriffs zu beschriften (vgl. *NRL-Rport No. R-2241*).

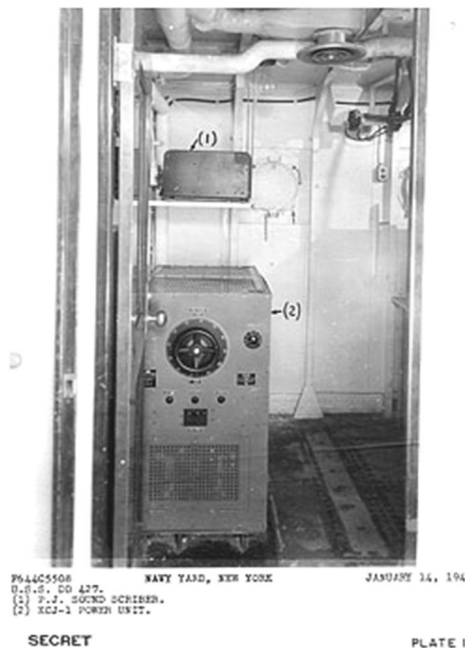


Bild 149 b (oben)
Sound Scriber
Aufzeichnungsplatte

Bild 149 a (links)
(1) F. J. –Sound Scriber
(Tonschreiber)
(2) Netzgerät

(aus: *NRL-Report No. 2241*)

Eine raffinierte Systemverbesserung war die Nachrüstung der *XCI-3*-Störgerätesätze durch eine Zwischenhörmöglichkeit (*look through*), mit der die zuvor ungenaue Einstellung des Störsenders auf das Lenksignal verbessert werden sollte. Das Prinzip war das Folgende:

Die Ausstrahlung des Störsenders wird abwechselnd für die Zeit unterbrochen, welche der Panorama-Adapter für einen Durchlauf (*sweep*) benötigt, anschließend für die Zeit dreier Durchläufe wieder eingeschaltet und so fort. Während dieser drei Durchläufe wird

die Empfindlichkeit des Panorama-Adapters durch Austastung soweit herabgesetzt, dass es nicht zur Übersteuerung kommt. Bei jedem vierten Durchlauf – während also der Störsender weggeschaltet ist – wird die Empfindlichkeit des Panorama-Gerätes wiederhergestellt, so dass in dieser Zeit das Fernlenksignal auf dem Schirm erscheint. Auf diese Weise ist es dem Operator möglich, ‚gleichzeitig‘ das Fernlenksignal und das des Störsenders zu beobachten und, falls beide nicht auf derselben Frequenz liegen, den Sender entsprechend nachzustimmen.

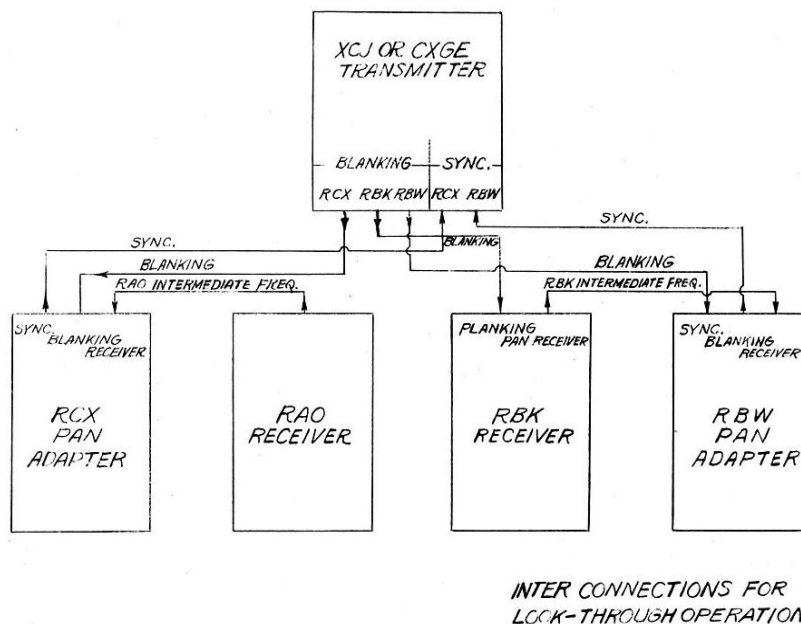


Bild 150
Verbindungsdiagramm für das ‚Durchblick‘-System
zum ‚gleichzeitigen‘ Empfang des Störsenders und des Lenkbombensignals

(Quelle [Secret]:

Navy Dept, NRL Report R-2241, March 3, 1944)

Alle Schaltungsteile zur Tastung des Senders und zur Erzeugung der Sperrspannung für den Panorama-Adapter waren im Störsender untergebracht (NRL-Report No. 2241 p. 9). Insgesamt ergibt sich bis hierhin folgendes Bild bezüglich der mit dem XCJ-3-System angewendeten Störmethoden:

1. Störung einer Frequenz (*spot jamming*), falls der Abschuss einer einzelnen Lenkbombe (optisch) beobachtet wurde oder auf dem Panorama-Gerät nur ein oder zwei Lenksignale sichtbar sind. Dabei sollte das Störsignal möglichst präzise auf die Frequenz des Lenksignals gesetzt werden. Der Störsender wurde mit 1000 oder besser mit 1500 Hz moduliert, den in zuvor analysierten Lenksignalen identifizierten Tonfrequenzen. Das Verfahren war nicht anwendbar, wenn mehr als ein oder zwei Lenksignale beobachtet wurden.
2. In einem solchen Fall – wenn also nahe beieinander liegende Lenksignale auf dem Schirm sichtbar wurden – sollte der Störsender mit breitbandigem Geräuschspektrum (ca. 500 kHz) moduliert werden. Nachteil: Die Senderleistung verteilt sich auf die gesamte Bandbreite.
3. Für den gleichen Fall, also das gleichzeitige Vorhandensein mehrerer Lenksignale, sollte der Störsender über deren Frequenzbereich mit unmoduliertem Träger bei voller Leistung langsam Hin- und Herbobeln und damit die Übertragung der Lenksignale unterbrechen. Auch hier wurde es für besser gehalten, den Träger mit 1000 oder 1500 Hz zu modulieren.
4. Eine weitere, von den Briten entwickelte Methode (*Typ 651 Jammer*) bestand darin, zwei starke Störsignale auszusenden, deren Abstand der Zwischenfrequenz des Lenkempfängers (»Straßburg«: 2.9 MHz) entspricht. Die ZF war inzwischen bekannt, ebenso die Tatsache, dass im Eingang des Lenkempfängers ein Bandpass

mit etwas mehr 3 MHz Bandbreite Verwendung fand. Lagen die Störfrequenzen also z. B. exakt bei 47.5 und 50.4 MHz, so bildete sich, unabhängig vom 1. Oszillator des Lenkempfängers, durch Mischung ein kräftiges Signal, das genau in die ZF fällt. Moduliert man einen der beiden Träger mit 1000 oder 1500 Hz oder mit anderer Störmodulation, so wird der Lenkkörper dadurch aus seiner Bahn gebracht. Voraussetzung ist die genaue Einstellung der beiden Störsignale auf den der ZF entsprechenden Frequenzabstand, bei der damaligen Frequenzkonstanz freischwingender Senderoszillatoren eine nur schwer zu erfüllende Bedingung!

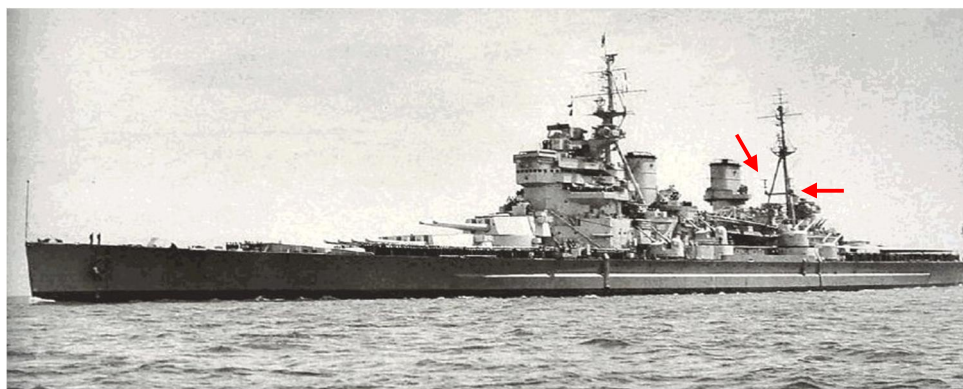


Bild 151

Royal Navy HMS »Anson« mit den beiden Antennen für das Jamming-System 651

(UK-National Archives)

Voraussetzung für den Erfolg der von den Briten vorgeschlagenen intelligenten Störmethode wäre die Sicherheit gewesen, dass auf deutscher Seite nur ein oder wenige Frequenzbereiche zur Bombensteuerung Verwendung finden, dass man die Zwischenfrequenz des Lenkempfängers kennt und diese nicht variiert wird. Dieses Kenntnis war – wie wir heute wissen – bei den Alliierten nicht oder nur eingeschränkt verfügbar.

Deutsche "Smart Bombs" 1944 – Zeitzeugenbericht von Orus Kinney

„Irgendwann um Mitte April 1944, in *Plymouth*, England, kam mein Radiohauptobermaat zu mir und sagte mir, dass ich einer "geheimen Mission" zugeteilt worden war ...

"Was ist die Aufgabe?" fragte ich *Carlquest*.

"Ich weiß nicht" antwortete er, "aber Sie müssen an einem Lehrgang teilnehmen, der ungefähr eine Woche dauern wird"...

Wir beide gehörten zum US-Navy-Personal, waren *Admiral Donald P. Moon's* unterstellt. *Carlquest* und ich waren zusammen mit ungefähr 70 anderen Marineoffizieren und Mannschaften an Bord der *USS Bayfield*, die von einem Kapitän der Küstenwache geführt wurde. Die *Bayfield* war das Flaggschiff von *Admiral Moon*, dem Kommandanten der Gruppe 2 der 11. amphibischen Truppen, und wir bereiteten uns vor auf die Invasion Frankreichs am »*Utah Beach*«, *Forces „U“*.

Vier von uns erhielten die angekündigte Ausbildung, zwei Radioteleute (Funker) von der Marine und zwei von der Küstenwache. Zuerst zeigte unser Trainer uns einen Radiosender, ein Oszilloskop und einen Panorama-Adapter. Mit solchen Geräten waren wir seit unserer Ausbildung vertraut, zumindest war ich es.

Der Sender hatte drei Spulen, um auf drei verschiedenen Wellenbereichen senden zu können. Das Oszilloskop besaß eine kleine Kathodenstrahlröhre, der Panorama-Adapter ebenfalls.

Ein der Trainer berichtete, dass eine deutsche Bombe auf dem Kreuzer *USS Savannah* eingeschlagen sei ohne zu explodieren. Untersuchung dieser Bombe zeigte den Technikern, dass sie mit

Funkwellen ins Ziel geführt worden war. Er erklärte weiter, dass die Bombe von einem in großer Höhe fliegenden deutschen Flugzeug aus ein, zwei, oder drei Meilen Entfernung abgeworfen und dann auf das Ziel gesteuert worden war. Im Schwanz der Bombe befände sich eine Fackel, die beim Führen in der Dämmerung oder bei Nacht half.

"Wir wissen also jetzt, wie die Bombe arbeitet," erklärte der Trainer, "und Ihre Aufgabe besteht nun darin, den Flug solcher Bomben mit der Ausrüstung, die ich Ihnen gezeigt habe, zu stören. Wir haben das Oszilloskop so ausgerüstet, dass es drei Wellenbereiche ständig abscannen kann. Mit dem Oszilloskop werden Sie imstande sein, eine ferngesteuerte Bombe zu entdecken, weil sie eine Zacke („Pip“) auf den Schirm schreibt, eine feste aufrecht stehende Zacke, fest wie der erigerte Penis eines Mannes. Alle anderen Zacken auf dem Schirm werden nach oben und unten modulieren, weil es Sprachübertragungen oder CW (Punkte und Striche) sind".



Bild 152

**USS Bayfield (APA-33 Attack-Transport-Klasse)
Flagschiff der Landungseinheit »Utah«-Beach
Lädt Einheiten für des Landeunternehmens (D-Day) am 6. Juni 1944
in der Bretagne**

(Foto: US National Archives)

Er erklärte uns weiter, dass, wenn eine "Bombenzacke" entdeckt worden ist, der Oszilloskop-Schirm die ungefähre Frequenz anzeigen würde, und man die Leistung abschätzen könnte, die zur Steuerung der Bombe von den Deutschen verwendet wird. Der Operator am Panorama-Adapter sollte dann auf die genaue Frequenz abstimmen. Währenddessen würde der Matrose am Sender die richtige Spule für das entsprechende Band einsetzen, auf Leistung schalten und den Hebel ziehen, um die Bombe durch sein Störsignal irrezuleiten, was dazu führen würde, dass die Bombe außer Kontrolle gerät.

Nachdem sich jeder von uns durch das Verfahren ein paar Male an wechselnden Positionen hindurchgearbeitet hatte, waren wir bereit, die Gerätschaft an Bord der *Bayfield* zu installieren und zu beginnen, uns auf Geschwindigkeit zu trainieren. Aufgabe war es, eine Bombenzacke zu erkennen, die ungefähre Frequenz zuzurufen, die genaue Frequenz einzustellen, die richtige Spule in den Sender einzusetzen und die Bombenfrequenz nach nicht mehr als 10 Sekunden zu stören.

Unsere Station war auf dem vorderen Vorderdeck untergebracht... Zuerst bastelten wir transparente Overlays für die beiden Schirme; sie wurden mit einer Skala versehen, so daß Frequenz und Leistung [abgeschätzt aus der Amplitude der Zacke, d. Verf.] der Bombensteuerung schnell festgestellt werden konnten. Einige andere benachbarte Schiffe waren ebenfalls mit Störsendern ausgerüstet und wir meldeten uns gegenseitig Zacken, ein Teil der Ausbildung. Am 1. Juni 1944 waren wir mit allen Vorbereitungen fertig.

Wie gut arbeitete unser System? Wir konnten eine ganze Anzahl von Signalen ferngesteuerter Bomben identifizieren, das Erste am späten Nachmittag und in der Nacht zum 6. Juni 1944, D-Day, dem Tag der Landung in der Normandie am 6. Juni 1944. Jedes, das wir entdeckten, wurde gestört. In den folgenden vier bis fünf Tagen sahen wir etliche Signale, sie schienen aber von Tag zu Tag an Zahl abzunehmen. Die Deutschen gingen nachts von Flächen- und Lufttorpedo-Bombardierung und dem Einsatz ferngesteuerter Bomben auf den von Luftminen über.

Meiner Meinung nach waren die Minen wirkungsvoller. Ich weiß nicht, welche Wirkung unser "Jamming" hatte. Ich habe dazu nie eine Angabe oder statistische Untersuchung gesehen. Was ich hörte war, dass ein Truppen-Transport durch eine ferngesteuerte deutsche Bombe getroffen und ein

Zerstörer versenkt worden war. Später hörte ich, dass das Flugzeug, das einen Zerstörer vernebeln sollte, abgeschossen worden war und die deutschen Küstenbatterien den Zerstörer versenkten.

Als *LST 282* in der Landezone ‚Grün‘ operierte, um Truppen und Ausrüstung auszuladen, entdeckten wir eine Radiobomben-Zacke auf unserem Schirm. Uns wurde befohlen, den Störsender nicht einzuschalten, ja, nicht zu stören!

Der Grund? Anscheinend gab es die Sorge, dass unser Schiff mit seiner Störausrüstung andere in der Normandie operierende Schiffe stören könnte. Ein Marineoffizier, ein Leutnant, wurde uns beigelegt, um unsere Aktionen zu beobachten und uns Anweisungen zu geben, wann gestört werden sollte. Als wir das Bombensignal sahen, schrien wir die Frequenz und die Leistung, und eine Spule wurde in den Sender geschoben, fertig zum Stören! Es wurde kein Befehl zum Stören gegeben! Wir hörten die Explosion!“

Waren deutsche Lenkwaffen tatsächlich gegen die Landungsflotte der Alliierten im Einsatz, so dass funktechnische Störmaßnahmen sinnvoll waren? Hatte man Fernsteuersignale der Lenkbomben gehört?

Am 8 Juni 1944 landeten die Alliierten in der Normandie. Dazu setzten sie extrem starke See- und Luftstreitkräfte ein, darunter 7 Schlachtschiffe, 23 Kreuzer, 105 Zerstörer, mehr als 1000 kleinere Kriegsschiffe und fast 4200 Landungsfahrzeuge. Dazu kamen 5100 Bomber, 5400 Jäger und 2300 Transportflugzeuge. Dieser überwältigenden Streitmacht konnte die deutsche Luftwaffe nur ca. 3200 Einsätze entgegensetzen. Unter diesen waren auch Angriffe mit Lenkkörpern des K.G. 100 »*Wiking*«, über die bei *Balke* berichtet wird:

8.6.1944: III. Gruppe, Feindeinsatz auf Landungsschiffe in der Seinemündung. Stärkere Beschädigung (nach: *Combined Operations Command*; bei *Balke*: Versenkung) des brit. Zerstörers »*Bulolo*« und Versenkung der Fregatte »*Lawford*« durch Hs 293-Lenkwaffen.

15.6.1944: III. Gruppe, Einsatz gegen Schiffe im Kanal und bei Portland. Versenkung des Zerstörers »*Boadicea*«. (*Balke* S. 304)

6.7.1944: Versenkung eines ungenannten Zerstörers der Invasionsflotte durch Hs 293.

15.8.1944: III. Gruppe, Einsatz gegen Landungsflotte, starke Beschädigungen des US-Zerstörers *Le Long* und der Landungsschiffe *LST 312* und *LST 384*, Versenkung von *LST 282* und 7000 to Frachter. (*Balke* S. 314)

16.8.1944: „Zwischen 19:15 Uhr und 22.20 Uhr flog die III. Gruppe Angriffe auf Schiffsansammlungen bei *St. Raphael* (Planquadrat 6463). Die Besatzung *Ofw. Kube* hatte einen großen Transporter im Visier, doch ließ sich die Hs 293 nicht steuern und stürzte ab - möglicherweise durch feindliche Funkstörung.“ (*Balke*, S. 315)

3./3.8. bis 8.9.1944: Erstmaliger Einsatz von Hs 293 und Fritz X gegen Landziele. Ziel war am 2./3.8. eine Brücke bei *Pontaubault* sein, um das Übersetzen feindlicher Kräfte zu verhindern. Wegen schlechten Wetters wurde ein Ausweichziel bei *Avranches* angegriffen. Am 4.8. konnte die Brücke durch eine Hs 293 zerstört werden. Weitere Angriffe auf Brücken endeten mit hohen Verlusten für die deutschen Einsatzkräfte.

Kapitel 6

Alliierte Lenkwaffen im 2. Weltkrieg

Wenig bekannt ist, dass auch die Alliierten an einer größeren Zahl unterschiedlicher Projekte zur Funk-fern-gesteuerten und auch an der fernseh-gestützten Lenkung von Gleitbomben arbeiteten. Hier können vier Entwicklungsansätze unterschieden werden:

- (1) Einfache Gleitkörper, deren Hauptmasse aus einer herkömmlichen Bombe bestand, die mit Tragflächen und einem Heckleitwerk ausgestattet waren, und die – durch vorkalkulierten Kurs und berechnete Höhe des werfenden Flugzeugs – ohne eigenen Antrieb in das Ziel gleiten sollten (USAAF; Projekte GB-1 bis GB-3)¹,
- (2) mit Sprengstoff beladene, im Zielflug unbemannte, aber mit ihrem normalen Antrieb versehene Flugzeuge, die von einem weit entfernten Führungsflugzeug über eine verhältnismäßig einfache Azimut-Funk-Fernsteuerung in das vorgesehene Ziel gelenkt werden sollten (US Air Force, Projekt »Aphrodite«),
- (3) Flugzeugsbomben wie (2), die aber zusätzlich mit einer Fernsehkamera ausgestattet waren. Das von ihr produzierte, über einen Sender abgestrahlte, zum Führungsflugzeug übermittelte Bild sollte dort mit Hilfe eines Monitors durch den Lenkschützen hinsichtlich der Ansteuerung des zu vernichtenden Zieles ausgewertet werden (US Air Force: Projekt »Castor«; US-Navy: Projekt »Anvil«, BQ-7).
- (4) Antriebslose, funkfernsteuerbare Gleitkörper, in die eine fernseh-gestützte Zielweisungsanlage mit Kamera und TV-Sender eingebaut war. Die Bilder konnten wie in (3) vom Lenkschützen im Trägerflugzeug ausgewertet werden (US Air Force, Projekt GB-4).

Antriebslose Gleitbomben der USA

Erste Untersuchungen zu ungesteuerten, ohne eigenen Antrieb gleitenden Bomben unternahm bereits 1940 das *U.S. Army Air Corps (USAAC)*. Ihr Aufbau war flugzeugartig, der Bombenkörper mit ca. 900 kg Sprengladung wurde, wie bei der Henschel Hs 293, mit Tragflächen und Heckleitwerk ausgerüstet, und – anders als bei dieser – lediglich mit einer einfachen Azimut-Kreiselstabilisierung ausgestattet.

Beispiele dafür sind die Gleitbomben GB-1 (»Aeronca«), GB-2 (»Bellanca«) und GB-3 (»Timm«).



Bild 153
United States Army Air Force (USAAF) Gleitbombe GB-1
(Foto: via Internet)

¹ Ähnlich dem deutschen Projekt »Hagelkorn«

Ziel dieser Entwicklungen war, eine Waffe zur Verfügung zu haben, die außerhalb der Reichweite des Gegners abgeworfen werden und von da aus ins Ziel gleiten konnte. Man versprach sich davon eine bessere Zielgenauigkeit, als sie durch normale Fallbomben erreichbar war.

Ein erstes Versuchsmuster war die GB-1 (*glide bomb 1*; Bild 153). Die Gleitbombe besaß eine Spannweite von 3.66 m, ein Doppelflossen-Heckleitwerk und erreichte eine Gleitgeschwindigkeit von 370 km/h.

Da ohne von außen beeinflussbares Lenksystem, musste sie vom Trägerflugzeug auf eine vorausberechnete Höhe und Entfernung zum Ziel transportiert werden. Die Bombe sollte dann im Gleitflug bis zum Einschlag fliegen (Bild 154). In Testabwürfen aus 4570 m Höhe wurden Gleitstrecken bis ca. 32 km erreicht.

Die folgenden ‚Modelle‘, GB-2 und GB-3, unterschieden sich nur wenig von der GB-1, sie flogen auf einem steileren oder flacheren Gleitweg schneller (GB-2: 497 km/h) bzw. langsamer (GB-3: 270 km/h). Bereits nach kurzer Testphase wurde die Entwicklung der GB-2 und GB-3 wegen zu geringer Treffsicherheit wieder eingestellt.

Von der GB-1 verlegte man im September 1943 einige Exemplare zu einer Bomberstaffel der USAAF (*United States Army Air Force*) in Großbritannien. Tatsächlich eingesetzt wurden sie aber erst später und zunächst in nur geringer Zahl mit dem amerikanischen Bomber B-17 (*Flying Fortress*) als Trägerflugzeug.

Die US Air Force warf – so wird vermutet – im Mai 1944 einige dieser Bomben beim Angriff auf *Köln* ab, dabei sollen keine nennenswerten Schäden verursacht worden sein. Sie erwiesen sich in Erprobungseinsätzen als weniger treffgenau als normale Fallbomben, ähnlich wie sich das schon bei den GB-2/GB-3-Gleitkörpern herausgestellt hatte. Trotzdem warfen die Amerikaner nach unbestätigten Angaben an verschiedenen Orten über Deutschland in der Folge noch ungefähr 1000 GB-1 ab. Versuche, diese Gleitbombentypen mit einer Funk-Fernsteuerung auszurüsten, die bei optischer Sicht zwischen werfendem Flugzeug und anvisiertem Ziel die Fernlenkung des Projektils erlaubte, wurden vor Erreichen der Einsatzreife abgebrochen.

In diesem Zusammenhang interessant ist allerdings das Projekt MX 645, das unter der Bezeichnung GB-8 »*Aeronca*« bekannt wurde. Es handelte sich dabei um eine über Funk ferngesteuerte Gleitbombe vom Typ GB-1, die hinter der Tragfläche mit einer Batterie aus



Bild 154 a/b

Boeing B-12 »Fortress« Bomber mit GB-1 Gleitbombe

Oben: 2 Bomben unter den Tragflächen

Unten: Abwurf

fünf hell leuchtenden Fackeln ausgestattet war, die es dem Lenkschützen ermöglichen sollten, die Bombe bei optischer Sicht ins Ziel zu lenken. Das gleicht ziemlich genau dem deutschen Konzept der funkgesteuerten »Fritz X« und Hs 293, die am Heck für Tag- und Nachteinsatz mit Farbfackeln bzw. einem Scheinwerfer ausgestattet waren.

Das Projekt »Aphrodite« I - BQ-7 mit Sichtsteuerung (US Air Force)

Eine gänzlich andere Methode der Funk-ferngesteuerten Bombenlenkung verfolgte die USAAF, indem man aus veralteten oder verschlissenen schweren Bombern aus Gründen der Gewichtsreduzierung alle für den Zweck überflüssigen Teile entfernte und einen auf den Autopiloten aufgeschalteten Fernsteuer-Empfänger einbaute. Diese Maschinen sollten dann mit bis zu 10 Tonnen Sprengstoff beladen werden. Die Besatzung bestand aus zwei Mann, dem Piloten und einem Funker, die die Flugzeugsbombe starten und auf Höhe bringen sollten. Sobald das parallel dazu gestartete Führungsflugzeug die ferngesteuerte Führung übernahm, sollten Pilot und Funker mit dem Fallschirm aus dem Flugzeug abspringen.



Bild 155

US Bomber B-17 »Flying Fortress« WK II

(Foto: via Internet)

Erste Versuche zeigten Probleme beim zeitkritischen Aussteigen der zweiköpfigen Besatzung aus der Maschine: Die kleine Ausstiegsluke lag unmittelbar vor den Motoren (linke Rumpfseite), an einem Ort extrem starker Strömung. Windabweiser sollten bei Testmaschinen dieses Problem beseitigen.

Die Besatzungen der für diese gefährliche »Aphrodite«-Mission mit viermotorigen B-17F/G-Bombern (Bild 155) bestanden aus freiwilligen Piloten und Funkern. Aus den Maschinen wurden in *Honington* vom *1st Strategic Air Depot* die gesamte Panzerung, die MG-Stände, die Sauerstoffeinrichtung und selbst der Copilotensitz ausgebaut. Damit konnte das Gewicht um mehr als zwei Tonnen reduziert und damit ‚Platz‘ für die Sprengladung geschaffen werden.

Die auf diese Weise ‚entkernten‘ B-17/F oder B-17/G (*Flying Fortress*, System »*Aphrodite*«, BQ-7) wurden nach *Burton Wood* überführt, erhielten dort zwei AZON-Empfänger (Azimut Only), die mit dem Autopiloten gekoppelt waren, einen für die Höhen-, den anderen für die Seitensteuerung, eine Antenne und einen Funkhöhenmesser zur automatischen Höhenhaltung. Die von nun an als „*Babies*“ bezeichneten Maschinen konnten mit bis zu 10 Tonnen Sprengstoff beladen werden, eine Waffe gegen schwere Befestigungsanlagen des Gegners.

Die 2-Mann-Crew hatte die Aufgabe, das mit Sprengstoff beladene Flugzeug normal zu starten, auf eine Höhe von 650 m zu bringen, die ungefähre Richtung zum festgelegten Ziel einzusteuern und die weitere Steuerung nach Schärfung der Aufschlagzünder an das Kommandoflugzeug zu übergeben, das in 6500 m Höhe flog. Danach sollten die beiden das Cockpit so schnell wie möglich verlassen und mit dem Fallschirm landen.

Aufgabe der Mannschaft der Kommandomaschine war es dann, die Flugzeugbombe zum Kontinent (Frankreich) zu steuern und die Instrumente so zu arretieren, dass dadurch der Kurs zum Ziel so genau wie möglich festgelegt war, bevor die Kommandomaschine abdrehte.



Bild 156

Führungsflugzeuge US-Bomber Consolidated B-24 »Liberator«

(Foto: via Internet)

Erste Tests des Gesamtsystems und 25 Flugstunden für die Crews mit intensiver Schulung in Ziel- und Streckennavigation, begannen am 1. Juli 1944 in *Bovington* unter strengster Geheimhaltung. Wenig zufriedenstellend zeigte sich dabei die Flugstabilität der beladenen Fernlenkbomber, so dass aus Sicherheitsgründen bei allen Versuchsflügen ein Pilot im Flugzeug verblieb.

Die Funk-Fernsteuerung erwies sich als hinreichend zuverlässig, so dass eine komplette »Aphrodite«-Einheit, bestehend aus 10 B-17-„Babies“, einem B-17- und drei *Consolidated* B-24 *Liberator*-Führungsflugzeugen für Fernlenkung und Beobachtung (Bild 156) nebst acht P-47 *Thunderbolt* (Bild 157) als Begleitschutz nach *Woddbridge* verlegt werden konnte. Das kleine Städtchen nordöstlich von *London*, nahe der englischen Ostküste, besaß einen Flugplatz mit extrem langer Piste. Außerdem war man hier praktisch in Sichtweite der französischen Kanal-küste, an der die zu bekämpfenden deutschen V1-Abschußrampen standen.



Bild 157

Begleitschutzstaffel US-Jagdflugzeug P 47 »Thunderbolt«
(Foto: via Internet)

Neun der ferngelenkten Bomber wurden mit jeweils etwa 9000 kg TNT, der zehnte mit der gleichen Menge Benzin-Gel (*Napalm*) beladen. Er sollte dazu dienen, ein getroffenes Ziel endgültig auszuschalten.



Bild 158

»Mosquito«-Jagdflugzeug der Royal Air Force (Holzkonstruktion)
Hersteller: de Havilland
(Foto: via Internet)

Aus Gründen der Geheimhaltung verlegte man die Einheit nach den Tests erneut – diesmal nach *Fersfield*, von wo aus die Ernsteinsätze geflogen werden sollten.

Ein erster Kampfeinsatz erfolgte am 4. August 1944 mit Ziel einer V1-Stellung am *Pas-de-Calais*. Das dabei eingesetzte Aufgebot an Flugzeugen war beachtlich: Zuerst starteten die beiden *AZON*-Kommandoflugzeuge vom Typ B-24 und als Reserve-Führungsflugzeug eine B-17 für den Fall, dass unterwegs die Funkverbindung durch technischen Defekt unterbrochen werden sollte. Die Führungsflugzeuge stiegen auf 6000 m Höhe und kreisten dort in ihren Warteräumen.

Nach 45 Minuten stiegen dann die beiden Flugzeughbomben², die man zur besseren Erkennbarkeit auf der Oberseite ihrer Tragflächen und der Flosse weiß angestrichen hatte, auf 600 m Höhe und mit Unterstützung durch ein B-17-Leitflugzeug wurden sie an die festgelegten Kontrollpunkte herangeführt. Auf dem Weg zum vorgesehenen Ziel flog ein *Mosquito*-Wetterbeobachtungsflugzeug (Bild 158) voran, einer weiteren B-17 kam die Rolle als Relaisstation für Wetterinformationen zu. In der Luft befanden sich für diesen Einsatz also insgesamt 8 Maschinen.

Die auf 600 m aufgestiegenen Flugzeughbomben absolvierten zunächst einen 80 km Rechteckkurs, während dessen die Funktionsfähigkeit der Fernsteueranlage überprüft werden sollte. Sobald die B-17-„*Babies*“ (BQ-7) einen vorgesehenen Kontrollpunkt erreicht hatten, übernahmen die Führungsflugzeuge die Funksteuerung.

Bei diesem ersten Start unter ‚Ernstbedingungen‘ geriet eine der Flugzeughbomben außer Kontrolle, beim Umschalten auf Fernsteuerung ging die schwere Maschine unerwartet in den Steigflug über, es kam zum Strömungsabriss, das Flugzeug geriet ins Trudeln, das vom Piloten nicht mehr abgefangen werden konnte. Der Funker konnte aussteigen und sich mit dem Fallschirm retten. Dem Piloten gelang dies nicht mehr, er kam ums Leben. Die nahe der englischen Küste aufschlagende BQ-7 hinterließ einen riesigen Krater, der bis heute zu besichtigen sein soll.

Das zweite Bombenflugzeug startete erfolgreich, konnte zunächst ohne Probleme über den Ärmelkanal in Richtung *Pas-de-Calais* gelenkt werden, dann allerdings verursachte eine Störung der Höhensteuerung den Absturz der Maschine nordwestlich von *Gravelines* – in einiger Entfernung zum vorgesehenen Ziel, der V1-Stellung in *Watten*.

Über das Schicksal der *BQ-7* gibt es abweichend vom Geschilderten weitere Versionen: Danach soll sie durch Flaktreffer einer deutschen Küstenbatterie zum Absturz gebracht und beim Aufschlag in kleinste Fragmente

‚zerlegt‘ worden sein. Andere Quellen sprechen davon, wegen plötzlich aufziehender Bewölkung habe man das Ziel nicht mehr präzise ansteuern können und dieses deshalb um 170 m verfehlt.

Am selben Tage – unmittelbar nach Rückkehr der Führungsflugzeuge zur Basis – starteten zwei weitere ‚*Babies*‘, diesmal gegen V1-Stellungen in *Wizernes* und *Mimoyecques*. Die Besatzungen beider Flugzeughbomben konnten wie vorgesehen mit dem Fallschirm abspringen, trotzdem wurde die Aktion kein Erfolg. Das Führungsflugzeug verlor die *BQ-7* mit Ziel *Vizernes* wegen niedrig hängender Wolken aus der Sicht, sie schlug östlich des Ziels auf. Vermutlich stimmte die Berechnung der Höhenrudereinstellung durch den Lenk-

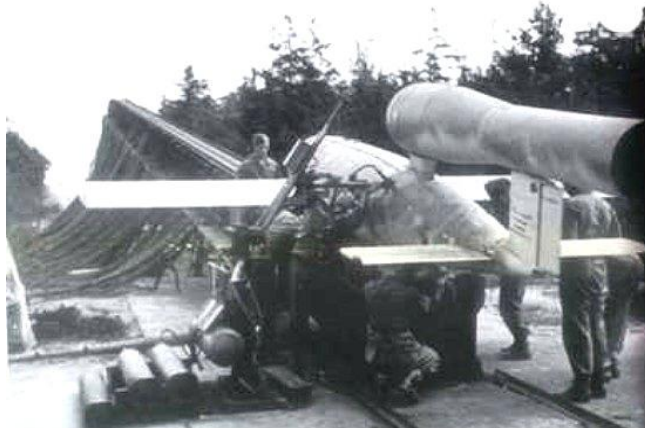


Bild 159

**Abschussrampe (sog. „Ski-Stellung“)
für eine Fi 103 (V-1) am Pas-de-Calais**

(Foto: Internet)

² Wegen knapper Frequenzen für die Fernsteuerung konnten jeweils nur zwei Flugzeughbomben gleichzeitig in die Luft gebracht werden.

schützen im Führungsflugzeug nicht. Die zweite Maschine verfehlte ihr Ziel um etliche Kilometer.

Eine weiterer Einsatz mit zwei Flugzeugsbomben *BQ-7* und vier Kommandomaschinen – je einem Haupt- und einem Reserve-Führungsflugzeug – wurde am 6. August 1944 geflogen, wiederum gegen V1-Stellungen. Diesmal konnten die beiden Zweimann-Crews ihre Maschinen problemlos per Fallschirm verlassen, aber schon wenige Minuten danach geriet die erste außer Funkkontrolle und stürzte ins Meer. Die zweite machte sich selbständig, kreiste über dem Industriegebiet von *Ipswich* (England), bevor sie in letzter Minute auf das nahe Meer gesteuert werden konnte und dort versank.

Nach diesen Misserfolgen wurden unpräzise Steuerung und zu geringe Ansprechempfindlichkeit des Systems Funk-Fernsteuerung/Autopilot für die Versager verantwortlich gemacht. Der »*Double-Azon*«-Empfänger musste durch ein deutlich verbessertes Empfangsgerät ersetzt werden.

Fernseh-gestützte Zielweisung: Das Projekt »*Aphrodite*« II (US Air Force)

Zum Einsatz kam nun ein in der Zwischenzeit in den USA entwickeltes FM-Fernsteuersystem, bestehend aus dem Funk-Fernsteuer-Empfänger *AN/ARW-1* für die Flugzeugsbombe und dem Sender *AN/ARW-18* im Führungsflugzeug. Dazu gehörten des Weiteren zwei miniaturisierte Fernsehkameras³ (Bild 163) in der Flugzeugsbombe. Eine davon war im Deck so montiert, dass ein Bild der für die Lenkung wichtigen Instrumente des Cockpits zum Kommandoflugzeug übertragen werden konnte, die zweite befand sich in der Plexiglasnase der Maschine. Sie übertrug das Bild der überflogenen Landschaft auf einen Monitor im Lenkstand der Kommandomaschine, von wo aus diese mit Hilfe eines Joystick-ähnlichen Steuerhebels (scherzhaft als »*Peter-Pilot*« bezeichnet; Bild 144b) ins Ziel gesteuert werden sollte. Das Gesamtsystem der damit ausgerüsteten »*Aphrodite*«-Maschinen erhielt den Tarnnamen »*Castor*«.

Die Flugzeugsbomben wurden weiterhin von einer 2-Mann-Crew geflogen, nun aber zusätzlich mit dem »*Rebecca/Eureka*«-Sekundär-Transponder-Radar ausgestattet, das eine Positionsbestimmung der ‚Bombe‘ auch dann ermöglichen sollte, wenn der Fernsehkontakt aus irgendwelchen Gründen verlorenging⁴.

Statt des Funkers saß nun neben dem Piloten ein Co-Pilot. Die Maschinen waren zur besseren Erkennbarkeit auf ihrer Oberseite gelb angestrichen.

³ Entwicklungen der Firma RCA, Typenbezeichnung CRV59AAE (s. w. u.) mit dem Bildaufnahme-Ikonoskop 1846 der gleichen Firma.

⁴ Ursprünglich war das »*Rebecca/Eureka*«-System dazu vorgesehen, die Abwurfgenauigkeit für Material der US-Steitkräfte aus Flugzeugen bei der Invasion in Europa zu verbessern. Später diente es als universelles Blindlande- und ‚Heimfindungssystem‘. In unserem Falle wurde es benutzt, um bei den längeren Anflügen in Richtung Ziel die »*Castor*«-Maschine (Bombe) nicht aus der ‚Sicht‘ zu verlieren. Bei »*Rebecca/Eureka*« handelte es sich um ein Transponder-(Sekundär)Radar-System, bestehend aus dem bodengebundenen »*Eureka*«-Impulsgeber/Empfänger, der vom im Flugzeug befindlichen »*Rebecca*«-Gerät ‚abgefragt‘ wurde. Dazu strahlte die Antenne des »*Rebecca*«-Abfragesenders 300 Impulse von 3 bis 4 µsec Länge auf Frequenzen zwischen 214 und 234 MHz ab. Diese Signale wurden vom »*Eureka*«-Empfänger aufgenommen, der Sender damit getriggert und von ihm auf einer anderen Frequenz bei exakter Einhaltung der Impuls-Zeitfolge wieder abgestrahlt. Im »*Rebecca*«-Flugzeug wurde dieses Signal über zwei links und rechts am Flugzeug angebrachte Richtantennen (Yagi) aufgenommen. Aus dem Unterschied der Signalstärke zwischen den beiden Yagis konnte der ‚Seitenwinkel‘ zur »*Eureka*«-Bake, aus dem Laufzeitunterschied zwischen Aussendung und Empfang die Entfernung ermittelt werden.

Erster Einsatz mit dem »Castor«-System war ein Angriff auf die Insel *Helgoland* am 11. September 1944, vermutlich mit Ziel, die dortigen U-Boot-Bunker zu vernichten. Anders als bei den früheren Einsätzen flog das Führungsflugzeug in einem Abstand von ca. 3 km hinter der Flugzeugsbombe her, aber auf gleicher Höhe in 600 bis 750 m. Bei Annäherung an das Ziel wurde der Abstand dann auf 12 km erweitert.

In Berichten heißt es, dass die Fernsteuerung während des immerhin 400 km langen Fluges perfekt funktioniert habe, das „Baby“ aber 10 Sekunden vor dem Ziel einen Flaktrefler erhielt, ins Meer stürzte und etwa 200 m vom Strand entfernt explodierte. Tragisch: Beim Verlassen der Maschine erlitt der Pilot wegen falscher Befestigung der Aufziehleine des Fallschirms beim Absprungversuch einen Genickbruch.

Am 14. September wurde ein weiterer Angriff auf die Ö raffinerie in *Heide/Hemmingstedt* geflogen. Die »Castor«-Maschinen verfehlten wegen schlechter Sicht ihr Ziel. Am 15. und 30. September folgten zwei Doppelangriffe auf *Helgoland*. Eine Flugzeugsbombe kam der Ortschaft auf der Insel ziemlich nahe, wurde dann aber – wie auch zwei weitere ‚Babies‘ – durch deutsche Flak abgeschossen und fielen ins Meer. Die vierte geriet durch Abbruch der Funkverbindung außer Kontrolle, flog in nordöstlicher Richtung bis Schweden und detonierte auf einem Bauernhof nahe der Stadt *Trollhättan*. Eine am 30. Oktober eingesetzte Maschine fiel ebenfalls der deutschen Flakabwehr zum Opfer.

Auch ein weiterer Einsatz misslang: Wegen schlechter Sichtbedingungen kurz vor Erreichen des vorgesehenen Zieles gab die Fernseh-Einrichtung kein verwertbares Bild. Die verärgerte Crew lenkte die Bombe deshalb kurzerhand in Richtung auf *Berlin* um und ließ sie ohne weitere Steuerung ‚laufen‘. Über einen durch sie angerichteten Schaden ist nichts bekannt geworden.

Ende Oktober 1944 wurde die Strategie der *US Strategic Air Forces* geändert. Wegen der geringen Erfolge gegen ‚harte Ziele‘ erhoffte man sich mehr Glück für die Bombardierung ausgedehnter Industriegebiete in deutschen Großstädten. Am 5. Dezember fand der erste Versuch statt, es sollte ein Eisenbahn-Hauptknotenpunkt, der Verschiebebahnhof *Herford*, zerstört werden.

Die erste *BQ-7* konnte ihr ursprüngliches Ziel nicht finden und wurde bei dem Versuch, das Sekundärziel zu erreichen, von deutscher Flak abgeschossen. Die zweite war ein Blindgänger, die kaum beschädigte Maschine mit vollständig erhaltenem Fernsteuersystem konnte auf deutscher Seite geborgen und von Militärtechnikern eingehend untersucht werden. Der Versuch, sie vom begleitenden »Mosquito«-Aufklärer durch Bordwaffen zu zerstören, war zuvor misslungen.

Aus anderen Quellen geht hervor, die Bombe sei erst mit Zeitverzögerung



Bild 160

Lockheed PV-1 »Ventura«
(Foto: via Internet)

explodiert, wobei einige deutsche Militärtechniker, die zur Untersuchung abgestellt waren, zu Tode gekommen seien.

Interessant ist die Tatsache, dass offenbar auf deutscher Seite die »*Aphrodite/Castor*«-Angriffe als die einer über Funk ferngelenkten Waffe bis Anfang 1945 nicht erkannt worden waren. Andererseits war den Amerikanern nicht bekannt, dass eine »*Castor*«-B-17 – am 20. Januar 1945 gegen ein Kraftwerk in *Oldenburg* eingesetzt – von der Flak abgeschossen worden war, aber nicht explodierte; dem Begleitflugzeug war dieser Sachverhalt entgangen. Deutsche Experten konnten die Flugzeugbombe untersuchen und die komplette Funk-Fernlenkeinrichtung bergen.

Dies soll der letzte Einsatz des »*Aphrodite/Castor*«-Systems gewesen sein. Die zu geringer Wirksamkeit des Systems, politische Meinungsverschiedenheiten zwischen den Amerikanern und Briten, die auf höchster Ebene ausgetragen wurden – die Briten fürchteten verstärkte A-4 (V2)-Vergeltungsschläge der Deutschen auf London – und schließlich das Ende des Krieges, verhinderten weitere Angriffe mit dieser unzuverlässigen Waffe.

Fernseh-gestützte Zielweisung: Das Projekt »*Anvil*« (US-Marine)

Etwa gleichzeitig mit der Indienststellung des »*Castor*«-systems der fernseh-gestützten Zielweisung bei der *USAAF* wollte auch die *US-Navy* an der Entwicklung und dem Einsatz



Bild 161
US Fighter »*Mustang*«

von ferngelenkter Flugzeugbom-ben teilhaben, die – vollgeladen mit Sprengstoff – auf Punktziele, vor allem U-Boot-Bunker an der französischen Küste, gesteuert werden konnten. Nach *Fersfield* wurde deshalb die am »*Aphrodite*«-Projekt interessierte *Special Air Unit No. 1* (SAU-1) verlegt, die dort unter dem Decknamen »*Anvil*« (‚Anstoß‘) eigene Erprobungen durchführte.

Dazu wurde in eine *PB4Y-1* »*Liebe-rator*« (Bild 156) ein Fernseh-Lenk-system eingebaut und die

Maschine mit 11 300 kg *Torpex*-Sprengstoff⁵ beladen. Die Angriffshöhe war wie beim »*Aphrodite*«-Projekt auf 600 m festgelegt. Die Führungsaufgabe der Flugzeugbombe fiel – nachdem die 2-Mann-Crew mit dem Fallschirm abgesprungen war, einer *PV-1*-»*Ventura*«-Maschine (Bild 160) zu.

⁵ Bei *Torpex* handelt es sich um einen hochbrisanten Sprengstoff, bestehend aus 40 % Hexogen (= Cyclo-trimethylen-trinitramin), 42 % TNT (Trinitrotoluol) und 18 % Aluminium; *Torpex* wurde im 2. Weltkrieg vor allem in Torpedos verwendet.

Der Ernsteinsatz erfolgte am 12. August 1944 gegen die V1-Rampe in *Mimoyecques*. Pilot war *Lt. Joe P. Kennedy* (Sohn des US-Botschafters in Großbritannien und Bruder des späteren US-Präsidenten *John F. Kennedy*). Für den Anflug wurde eine mit 240 km ungewöhnlich lange Strecke über den südlichen Ärmelkanal gewählt. Das einige Kilometer hinter der *PB4Y-1* fliegende Führungsflugzeug übernahm per Funk deren Steuerung, wobei sich der Operator auf Radar-Echos und Sichtbeobachtungen des Co-Piloten des Reserve-Führungsflugzeuges stützen musste, da sein Fernsehschirm kein brauchbares Bild lieferte. In dieser längeren Flugphase konnte – noch über britischem Hoheitsgebiet fliegend – nacheinander die Funktionstüchtigkeit aller Steuerorgane überprüft werden.

Begleitet von fünf »*Mustang*«-Jägern (Bild 161) erreichte der Angriffsverband den Küstenüberflugpunkt bei *Southwold*. In diesem Augenblick – um 18:20 GMT – explodierte ohne erkennbaren Grund die *PB4Y* in zwei gewaltigen Detonationen in 600 m Höhe über *Newdelight Wood*, die Trümmer fanden sich später in weitem Umkreis um die Ortschaft *Blythburgh*. Die Besatzung kam bei diesem Desaster ums Leben. Nach Untersuchung der Umstände des Unfalles wurde als wahrscheinliche Ursache ein Fehler in der elektrischen Anlage vermutet.

Ob es weitere Versuche mit dem System gegeben hat, ist hier nicht bekannt.

Die fernsehgesteuerte Minengleitbombe GB-4

Bereits im Juli 1942 hatte man im *Wright Field Equipment Laboratory* der USAAF mit der Entwicklung einer gelenkten Gleitbombe mit Fernsehkopf (Projektbezeichnung MX 108, später MX 618, GB-4) aufgenommen. Sie war 3.72 m lang bei 3.66 m Spannweite, das Heckleitwerk hatte die gleiche Form wie bei der GB-1. Der Bombenkörper enthielt 900 kg Sprengstoff.

Eine TV-Kamera mit Sender vom Typ *AN/AXT-2* saß unter der Sprengladung (Bild 162). Das Bild wurde per Funk zum Bombenschützen übertragen, der seinerseits Steuerkommandos an die Gleitbombe schicken konnte, um damit erforderlichenfalls die Flugbahn der Bombe zu korrigieren.

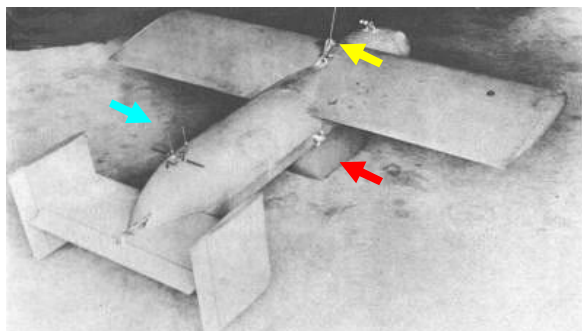


Bild 162 a-c

**USAAF fernsteuerbare,
fernsehgeleitete Gleitbombe GB-4**

Oben: Grundkörper GB-1

Mitte: GB-4 mit TV-Kamera und Sender

Roter Pfeil: Kameragehäuse mit TV-Sender

Gelber Pfeil: TV-Antenne (Sender ?) –

Blauer Pfeil: FS-Antenne

Unten: Lenkschütze am TV-Monitor (GB-4-System)

(Bilder ausgekoppelt aus: *Top Secret Smart Bomb*,
Real Military Flix-Film)

Vorliegende Angaben zur Gleitgeschwindigkeit sind widersprüchlich, sie schwanken zwischen 240 km/h und 385 km/h⁶. Unter optimalen Bedingungen soll das System eine Zielgenauigkeit von 60 m erreicht haben.

Der Druck auf die *USAAF*, die Waffe einzusetzen, stieg, als am 13. Juni 1944 deutscherseits von Startrampen im *Pas de Calais* aus mit dem Verlust-Flugkörper Fieseler Fi 103 (V1; „Vergeltungswaffe 1“) die Offensive gegen London eingeleitet wurde.

Die unbemannte Fernwaffe mit Pulsotriebwerk und Gefechtskopf schlug am gleichen Tag tatsächlich in London ein und verursachte nennenswerte materielle und psychologische Schäden. Weitere Schüsse auf London folgten in kurzen Abständen. Vermutlich war dies auch die Ursache dafür, dass das noch nicht vollständig erprobte fernseh-gestützte Zielweisungssystem der Amerikaner im Juli 1944 für einsatzfähig erklärt und für Abwürfe – von Basen in England ausgehend – vorgesehen wurde. Für diese Aufgabe war eine spezielle Bombergruppe aufgestellt worden.



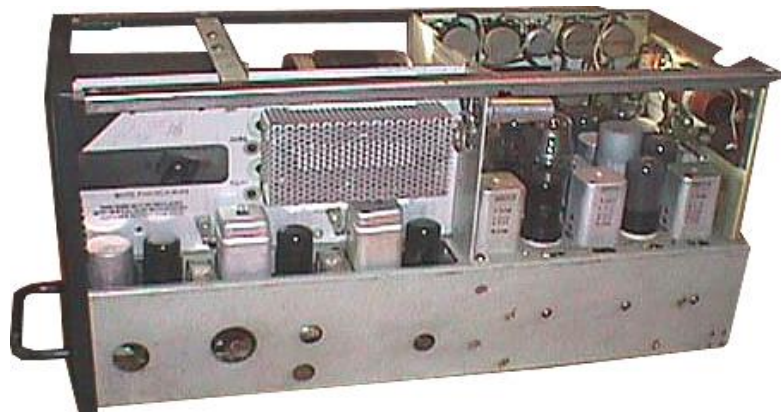
Bild 163

RCA-Fernsehkamera für militärische Anwendung im Gleitbomber BQ-7 der US Air Forces

(Abb.: via Internet)

Bild 164
RCA-Fernsehkamera
CRV-59AAE
mit RCA 1846 Ikonoskop
Bildspeicherröhre
(Bildwandler)
(Gehäuse entfernt)

(Foto: via Internet)



Alliierten Berichten zufolge verliefen erste Einsätze enttäuschend, es traten Probleme mit der Elektronik auf, und wie sich zeigte, lieferte das System nur bei bestem Wetter brauchbare Bilder auf dem Bildschirm des Lenkschützen.

Im Gegensatz zum deutschen System der Hs 293 D verfügten die etwa tausend gebauten GB-4 über keinen eigenen Antrieb, sie flogen deshalb mit geringer Geschwindigkeit und wären durch normale Flugabwehr zu bekämpfen gewesen. Von den GB-4 kamen nur wenige zum Kriegseinsatz. Eine späte Variante mit Raketentriebwerk (JB-4, *jet bomb-4*) wur-

⁶ Angaben beziehen sich vermutlich auf unterschiedliche Neigung der Gleitbahn des Flugkörpers (?)

de zwar getestet, die Entwicklung bis Kriegsende aber nicht zur Einsatzreife gebracht, das Projekt auch nach Beendigung des Krieges nicht weiterverfolgt⁷.



Bild 165 a/b

Abwurf einer GB-4 und Lenkschütze am Bildschirm in einer B-17
Beachte *joy stick*-Steuerung im Lenkstand

(Foto: via Internet)

Weitere Gleitbombentypen – alle basierten auf dem Grundmuster der GB-1 – sollten ihr Ziel mit Hilfe von Hell-Dunkel-Sensoren, die auf Kontrast reagierten oder mittels Höhen- oder Radarsensoren finden. Die Versuche wurden abgebrochen, die damit erzielten Treffergenauigkeiten waren durchweg unbefriedigend.



Bild 166

RCA-Kamera CRV-59AAE

Die geschilderten Einsätze zeigen, dass es dem fernseh-gestützten Fernlenk-system der Amerikaner, wie auch dem auf deutscher Seite erprobten Gerätesatz, an Entwicklungstiefe mangelte, die Zeit zum Erreichen einer sicheren Einsatzreife war einfach zu kurz.

Betrachtet man den enormen Aufwand und das technische Konzept der Amerikaner, so muss festgestellt werden, dass es sich nicht um ein technisches,

wohl aber militärisches und finanzielles Fiasko gehandelt hat, welches das der deutschen Wehrmacht (Luftwaffe) bei weitem übertrifft. Die BQ-7/»Castor«-Aktion war für die Crews der Flugzeugbombe gefährlicher als für die angegriffenen Ziele⁸

Zum Schluss sollen interessante Einzelheiten zum verwendeten Equipment der amerikanischen ‚Fernseh-Bomben‘ mitgeteilt werden.

1942 erhielt die *Radio Company of America* (RCA) den Auftrag zur Entwicklung einer transportablen Fernseh-Kamera mit Sender. Die Serie wurde bekannt als *Block 1*. Kamera und Sender waren in einem gemeinsamen Gehäuse untergebracht. Der Sender arbeitete auf vier Festfrequenzen (Quarz?) von 78, 90, 102 und 114 MHz mit einer Kanalbreite von jeweils 9 MHz (Doppelseitenband-AM). Die HF-Ausgangsleistung betrug 15 Watt. Als Sender-Endröhre wurde eine 829 eingesetzt. Der Gerätesatz konnte an 12.5 V Gleichspannung betrieben werden.

⁷ *Directory of U.S. Military Rockets and Missiles, Appendix 1: Early Missiles and Drones, GB Series*, © by Andreas Parsch; GB-1 through GB-15; GT-1 (via Internet)

⁸ Zusammenfassung und freie Übersetzung eines Beitrages des *Early Television Museum* in Hillard, Ohio: „*Television during World War Two*“

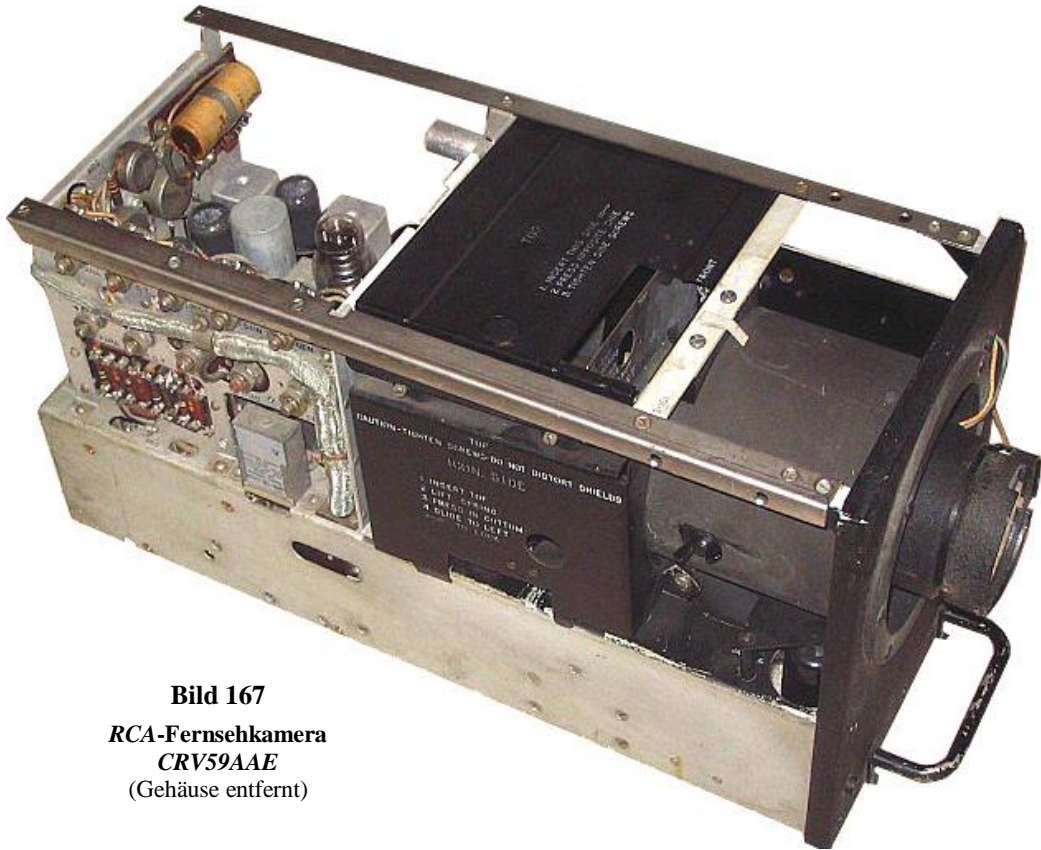


Bild 167
RCA-Fernsehkamera
CRV59AAE
(Gehäuse entfernt)



Bild 168 a/b
US Ikonoskop (1940?)
RCA 1846 (Foto via Internet)

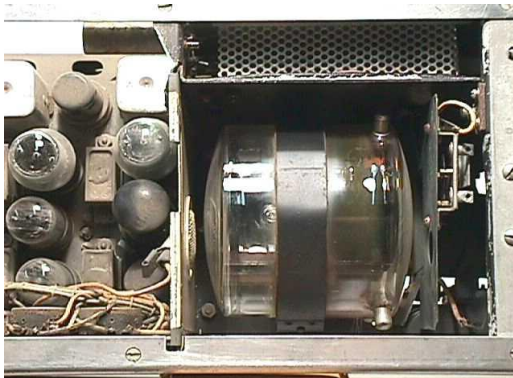
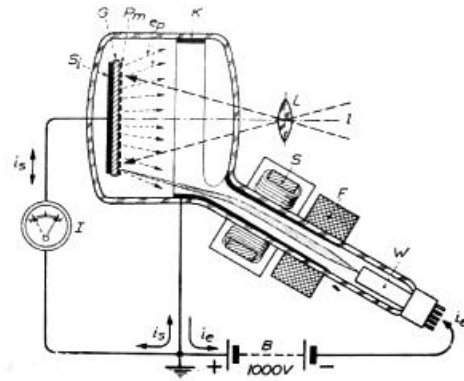


Bild 169 a/b
Fotokathode des Ikonoskops RCA 1846 (in der Kamera)
(Foto: via Internet)

Die Empfangseinrichtung bestand aus einem UKW-Empfänger für obige Festfrequenzen, einem 7 Zoll Monitor mit rundem Schirm (Phosphor grün); beide ließen sich aus dem 24 V-Flugzeug-Bordnetz betreiben.

1943 wurde von RCA eine überarbeitete Version (ATJ) an das Militär geliefert: Kamera und Sender waren jetzt getrennt, der Sender war auf 5 Frequenzen zwischen 264 und 312 MHz frei abstimmbar, die Kanalbreite betrug wieder 9 MHz. Als Aufnahmeöhre (*pic-up tube*) fand ein *Ikonoskop* Verwendung (Bild 168, 169), im Senderausgang arbeiteten 2 Stück 8025 (Gegentakt?), die 15 Watt Ausgangsleistung erzeugten.



Bild 170

**Monitor des US-Systems »Aphrodite«
(ohne Sichttubus)**

Der zugehörige Empfänger – ebenfalls fünf wählbare Frequenzen im 300-MHz-Bereich – gab das Bild an einem 7 Zoll-Monitor aus. Das Gerät erhielt seine Betriebsspannung aus dem Bordnetz (max. 28 Volt DC).

Spät im Jahr 1943 wurde der *Block 3-B* aufgelegt. Die Kamera verfügte nun über verbesserte Kippgeneratoren und der abstimmbare Sender war frequenzstabiler.

Die mechanischen Daten der in mehreren Serien gebauten Kamera sind aufschlussreich im Vergleich zu den deutschen Entwicklungen. Die RCA-Camera CRV-59AAE (Bild 166 und 167) war 23 cm breit, 25,5 cm hoch und 51 cm tief und damit deutlich größer als die »Tonne«.

Nachsteuerbare Sturzbomben der VB-Serie (»Azon« und »Razon«)

Kaum bekannt ist, dass die Vereinigten Staaten von Amerika im Zweiten Weltkrieg nicht nur fernlenkbare Gleitbomben entwickelt haben, sondern auch Sturzbomben, die von einem Trägerflugzeug aus ins Ziel gesteuert werden konnten.

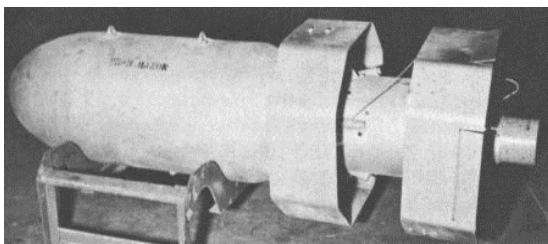
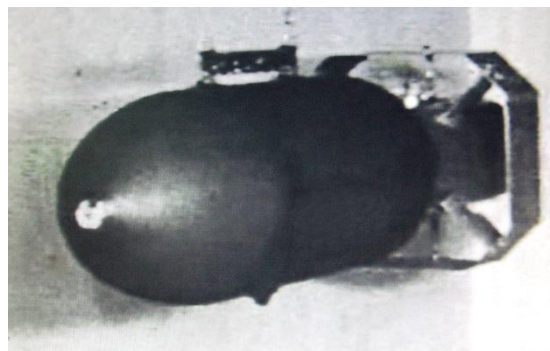


Bild 171 a/b

Nachsteuerbare US-Sturzbomben

Links: VB-3 Rechts: VB-4



Vorläufer der nachsteuerbaren Fallbombe »Razon« waren zwei ebenfalls ferngelenkte Bomben des *Material Command* der *USAAF*, später Teil des *Air Technical Service Command ATSC*, die ab Anfang 1942 entwickelt und getestet worden waren. Die VB-1 basierte auf einer 450 kg Bombe M44 (später *AN-M65*), die mit einem neuen Heckteil versehen worden war. Es bestand aus einem achteckigen Leitwerk mit Rudern, enthielt neben einem Kreiselgerät, das – wie bei der in Teil 1 ausführlich beschriebenen »Fritz X« – Rollbe-

wegungen der Bombe um ihre Längsachse verhindern sollte, einen Funklenk-Empfänger und einen nach hinten strahlenden Scheinwerfer für die Verfolgung der Flugbahn durch den Lenkschützen. Gesteuert wurde mit Hilfe eines Joystick-ähnlichen Gebers, allerdings konnten lediglich Seitenabweichungen der Flugbahn korrigiert werden. Das System wurde deshalb als »AZON« bezeichnet, Abkürzung für ‚Azimut only‘

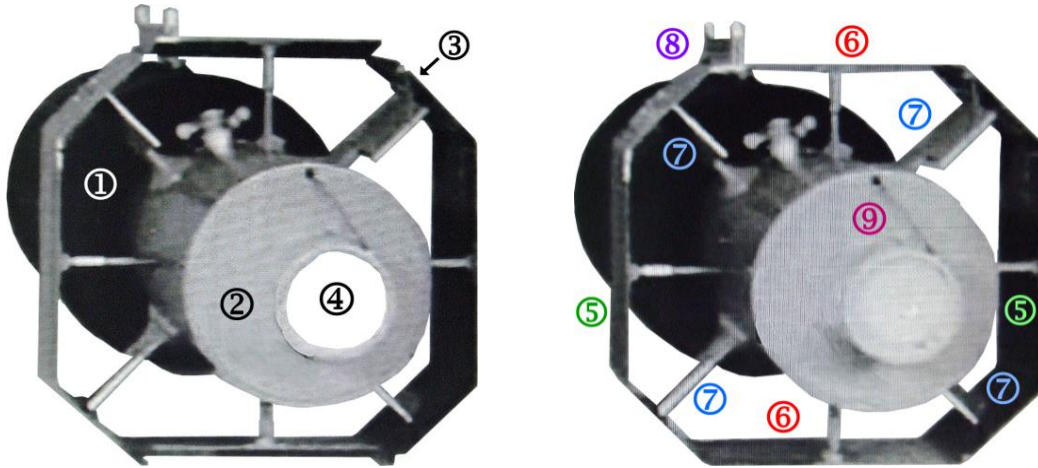


Bild 172 a/b

Heckleitwerk einer VB-4

Links: ① Bombenkörper ② Fernlenk-Container ③ Kastenleitwerk ④ Scheinwerfer
Rechts: ⑤ Seitenruder ⑥ Höhenruder ⑦ Kreiselruder ⑧ Bombenschloss ⑨ Antennenverbindung

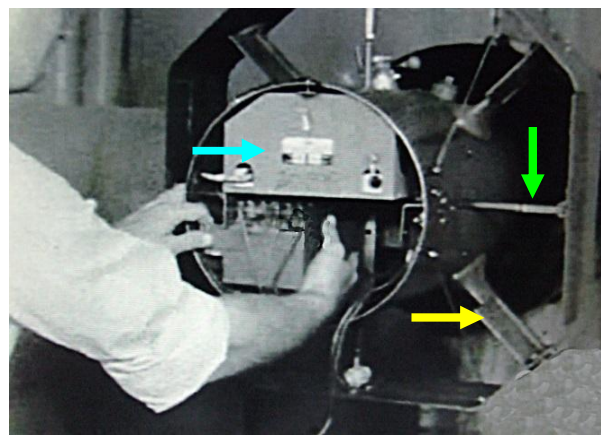
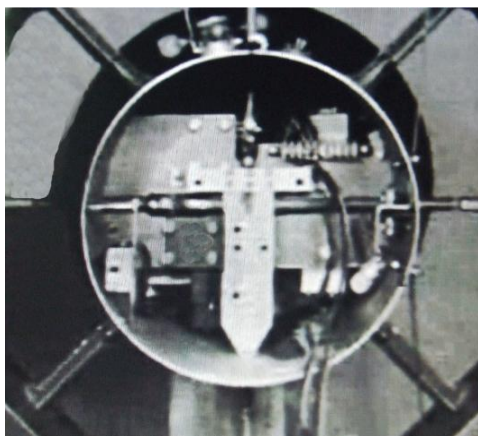


Bild 173 a/b

Fernlenkcontainer

Links: Ruder-Antriebseinheit
Rechts: Bestückung mit Fernlenkempfänger (blauer Pfeil), darunter 24 Volt-Spannungsversorgung
Grüner Pfeil: Seitenruder-Schubstange (Lenkhebel) **Gelber Pfeil:** Kreiselruder

Aufgrund dieser eingeschränkten Steuermöglichkeit war die VB-1 besonders geeignet zum Einsatz gegen lange schmale Objekte wie Brücken, Eisenbahnlinien, Autobahnen und dergleichen. Nachteil gegenüber dem Abwurf normaler Fallbomben gegen solche Ziele war allerdings, dass das Trägerflugzeug sich nach Abwurf nicht sofort entfernen konnte, weil der Lenkschütze ja die Fallbahn des Körpers bis zum Einschlag zwecks Nachsteuerung mit seinen Augen verfolgen musste.

Weiterer Nachteil der VB-1: Wegen der nur fünf unabhängigen Fernsteuerkanäle konnte sie nicht in größerer Serie von verschiedenen Flugzeugen im Gruppenangriff geworfen werden. Tests zeigten zudem, dass die Fallbombe trotz der Kreiselstabilisierung zu Instabilitäten der Flugbahn neigte, die vom Lenkschützen nicht vollständig ausgeglichen werden konnten. Trotzdem erreichte die US Air Force im Krieg gegen Japan in *Burma* gute Erfolge beim Einsatz gegen stark verteidigte Brücken. Es wird berichtet, dass weniger als 500 »AZONs« zur vollständigen Zerstörung von 27 Brücken ausreichten.

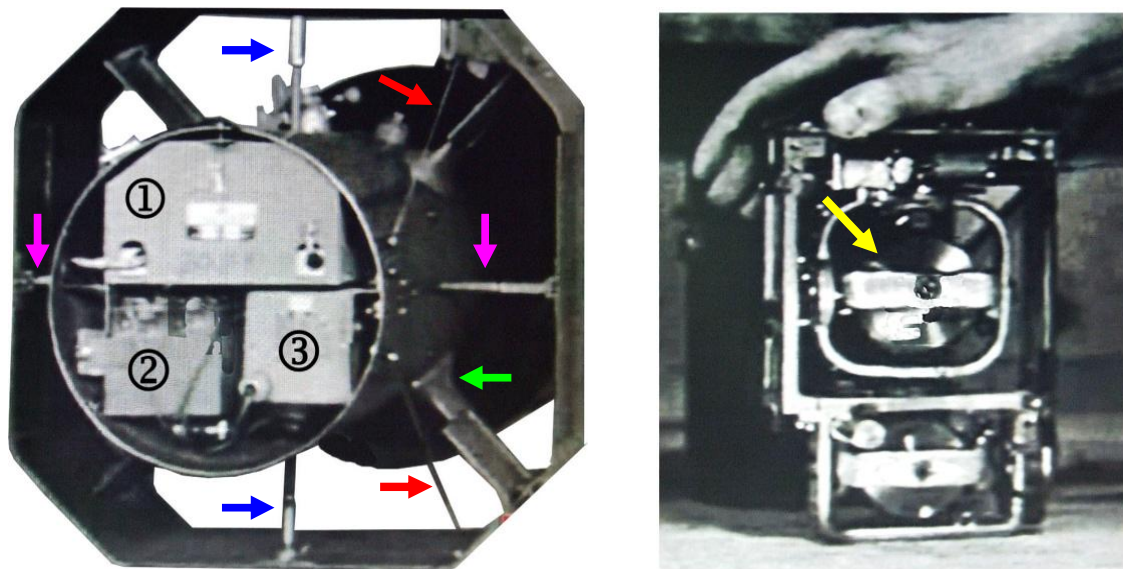


Bild 174 a/b

Fernlenkcontainer mit voller Bestückung

Links: ① Fernlenk-Empfänger ② 24 Volt Bordbatterie des Systems ③ Kreiselgerät
Blaue Pfeile: Höhenruder-Schubstangen **Violette Pfeile:** Seitenruder-Schubstangen
Rote Pfeile: Seilverspannung des Leitwerks **Grüner Pfeil:** Lager des Kreiselruders
Rechts: Kreiselgerät (Gehäuse geöffnet)
Pfeil: Kreisel in kardanischer Aufhängung

Die Entwicklung der VB-1 war Ende 1943 abgeschlossen und mündete in die Serienproduktion. Eine Variante, die VB-2, besaß einen schwereren Bombenkörper von 900 kg, aber aus unbekanntem Gründen ging sie nicht in die Massenherstellung.

Parallel zu den Tests der »AZON«-Sturzbombe wurden zwei potentere Varianten entwickelt, die den Namen »RAZON« (*Revised AZON*) erhielten. Unterschied zwischen ihnen war – wie bei VB-1 und VB-2 – ein unterschiedlicher Bombenkörper. Die leichtere Ausführung mit der Bezeichnung VB-3, wog 450 kg, die mit 900 kg doppelt so schwere VB-4.

Der Systemaufbau mit seinen Komponenten wurde einleitend skizziert. Hier einige Ergänzungen:

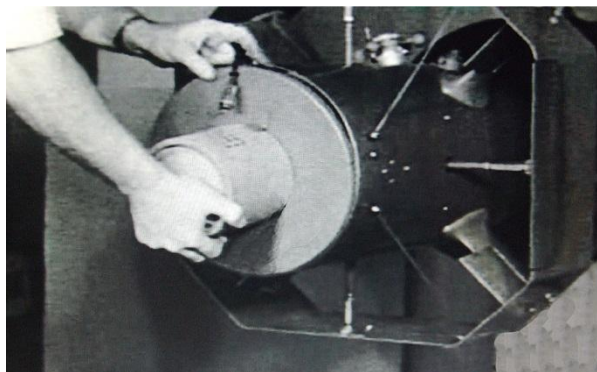


Bild 175

Montage des Rückstrahl-Scheinwerfers

Alle bisher erwähnten Sturzbomben bestanden aus dem mit Sprengstoff befüllten Bombenkörper aus Stahl, der durch einen Aufschlagzünder zur Explosion gebracht wurde.

Wie bei den Vorläufern hatte man bei der VB-3 und VB-4 kastenförmige Heckleitwerke angesetzt, bei der VB-3 zwei – eines über dem Bombenkörper, das andere über einem aus Aluminium gefertigten Heckrohr (Bild 171a). Offenbar diente das vordere der passiven Rollstabilisierung, ähnlich wie die X-förmig angeschraubten Flächen der »Fritz X«. In das hintere waren die Ruder eingebaut.

Bei der VB-4 kam man mit einem Leitwerk am Bombenheck aus.

Verblüffend ist die Ähnlichkeit der Leitwerksformen von »Fritz X« und VB-4. Auf den ersten Blick könnte man an eine ‚Raubkopie‘ denken, zumal die deutsche Sturzbombe schon 1938/39 in Planung war, die US-amerikanische erst ab Frühjahr 1942. Dieser spätere Entwicklungsbeginn führte übrigens dazu, dass VB-3 und VB-4 im Gegensatz zur »Fritz X« nicht mehr zum Einsatz im Zweiten Weltkrieg kamen. Beweisen lässt sich eine ‚Anleihe‘ an deutsche Technik allerdings einstweilen nicht, und sollte Spionage in dieser Sache erfolgreich gewesen sein, so zeigen doch Unterschiede in der Ausführungsform eigenständige Entwicklung in den USA (Bild 172).

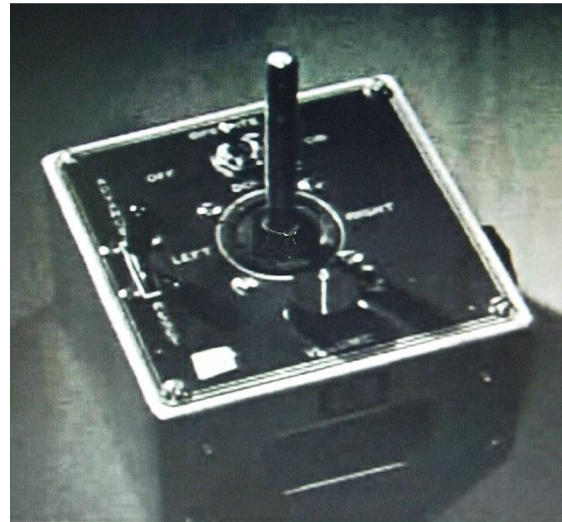


Bild 176

Lenkgeber für die VB-4

Zu einigen Konstruktionsdetails:

Das Leitwerk der VB-4 besteht – wie erwähnt – aus einem achteckigen, aus einem Stück gefertigten Stahlrahmen, der am zentralen Heckrohr befestigt und über schräglaufende Seile zusätzlich verspannt ist (Bild 174a). In ihn sind an der Hinterseite die aus Blechen bestehenden, beweglichen Ruder eingesetzt, oben und unten die beiden Höhenruder ② in Bild 172b, links und rechts zwei Seitenruder ①. Sie werden über Schubstangen (Lenkhebel, Bild 173) betätigt, die seitlich durch das Heckrohr geführt sind. Dessen Innenraum bietet Platz für die Baugruppen der Rudersteuerung (Bild 173 und 174a).

Bei den Steuerelementen von VB-4 und »Fritz X« kommen unterschiedliche Prinzipien zur Anwendung, bei Ersterer Klappenruder wie beim Flugzeug, bei Letzterer sog. Störkanten (Spoiler) (vgl. Teil I).

Interessant sind die vier über Kreuz im Leitwerk angebrachten Kreiselruder (③ in Bild 172b), die Rollbewegungen der Bombe aktiv ausregeln sollen. Das entspricht dem bei der »Fritz X« verwirklichten Stabilisierungsprinzip, unterscheidet sich in seiner Ausführung aber deutlich von jenem. Bei der VB-4 liegen die vier kreiselgesteuerten Klappenruder nicht horizontal, sondern schräg zur Längsachse des Bombenkörpers im Luftstrom. Wie bei der »Fritz X« werden sie gegensinnig angesteuert, wirken also auch hier wie geregelte lagestabilisierende Querruder. Zeigt die Bombe eine Rolltendenz, z. B. im Uhrzeigersinn, wird das backbordseitige, oben liegende Kreiselruder so angestellt, dass es dem Moment entgegengewirkt, das steuerbordseitige, unten liegende unterstützt die Aktion mit gleichem Ausschlag zur Gegenseite.

Die elektrischen und elektronischen Komponenten der Fernsteuer-Anlage, also der Kommando-Empfänger, die Stromversorgung für das Gesamtsystem (24 V Bordbatterie) und das Kreiselgerät, sind steckbar im Heckrohr untergebracht (Bild 153a). Das Kreiselgerät bildet einen eigenen Block (Bild 173 und 174b).

Wie in Bild 175 gezeigt, wird das Heckrohr nach Montage der Fernlenk-Baugruppen mit einem Deckel verschlossen, auf dem das zylinderförmige Gehäuse des Scheinwerfers sitzt.

Einzelheiten zu Empfänger und Kreiselgerät sind bislang nicht verfügbar. Immerhin ist bekannt, dass das gesamte Kastenleitwerk als Fernsteuer-Empfangsantenne verwendet wurde. Bei »Fritz X« übernahm diese Funktion eines der vier kurzen Bremsrohre.

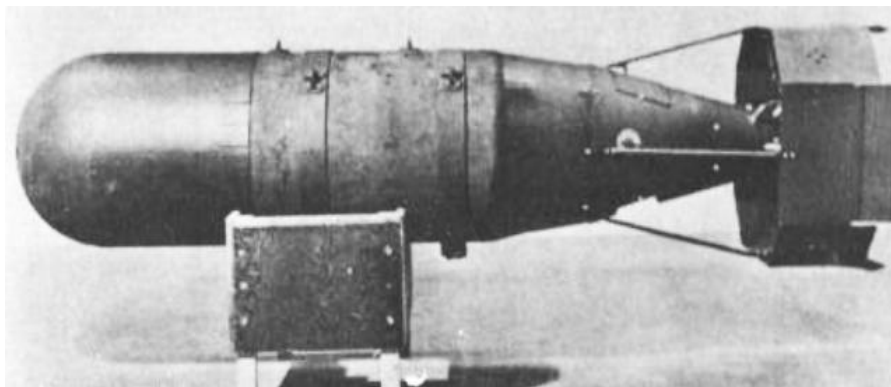


Bild 177
Ferngelenkte »AZON«-Sturzbombe
mit Kastenleitwerk

(Foto: US National Archives)

Gegensatz zum System der VB-1 und VB-2 verfügte das Sende-Empfangssystem der GB-4 über 47 Kanäle, die unabhängig voneinander eingesetzt werden konnten. Dadurch wurden der gleichzeitige Abwurf von Bomben mehrerer angreifender Flugzeuge und auch der Serienabwurf möglich.

Die Zielsteuerung vom Trägerflugzeug aus oblag einem Lenkschützen, der die VB-4 mit Hilfe eines Gebers (Bild 176) sowohl nach links und rechts wie auch nach vorn und hinten steuern konnte. Bei der Klappenruder-Konstruktion und dem Einsatz in einer Sturzbombe scheint sicher, dass er – wie bei der »Fritz X« - kartesische Koordinaten verwendete.

Sowohl die VB-3 als auch die VB-4 wurden erst im Sommer 1945 einsatzfähig, so dass keine der ungefähr 3000 gebauten »Razon«-Sturzbomben bis zum Ende des Zweiten Weltkrieges in Europa zum Einsatz kommen konnte.

Ein hochinteressanter Film des *National Defence Research Committee, Division 5*, zeigt Aufbau und Einsatz der VB-4. Er lässt sich aus dem Internet herunterladen unter: <http://www.realmilitaryflix.com/public/199.cfm?>

Alle Bilder dieses Abschnittes wurden ausgekoppelt (und verändert) aus dem Film: *RAZON, Developed under the Direction of Division 5 National Defence Research Committee* (Internet by *Real Military Flix*)

Abschließende Bemerkungen

Beruheten die beschriebenen Entwicklungsansätze der deutschen wie auch der amerikanischen Ingenieure, Konstrukteure und militärischen Auftraggeber also auf „naiven Allmachtsphantasien“, wie *Hoppe* meint?

Aus meiner Sicht kann festgehalten werden, dass technische Forschung und Entwicklung, auch militärische – zumal, wenn sie unter Zeitdruck erfolgt – immer in der Gefahr von Fehleinschätzungen bezüglich der Machbarkeit und des Entwicklungszeitrahmens bis zur Einsatzreife steht.

Es trifft zwar zu, dass die Testversuche mit der Hs 293 D auf dem Erprobungsplatz *Jesau* bei *Königsberg* und auf *Usedom* wegen technischer Mängel der Gesamtanlage aus Sendern und Empfängern nicht sonderlich erfolgreich verlief:

Von 12 abgeworfenen Hs 293 D konnte nur eine direkt ins Ziel gesteuert werden. Etwas später – nach Verbesserung der Kamera – wurde im August 1944 dann immerhin schon ein Volltreffer bei 5 Abwürfen erzielt, die übrigen lagen nahe am Ziel (*Trenkle* [2]). Die amerikanischen Misserfolge sind trotz der wesentlich günstigeren Ressourcenlage durchaus vergleichbar.

Trotzdem bleibt die technische Leistung erstaunlich, in Deutschland erbracht unter schwierigsten materiellen und zeitlichen Bedingungen. Das gilt nicht nur für die Raketentechnik, sondern auch für die für damalige Zeit herausragend miniaturisierte Funk- und Fernsteuertechnik und die Steuerelektronik der Fall- und Gleitbomben.

Das moralische Problem jeglicher Waffenentwicklung – auf allen Seiten – bleibt davon unberührt und ist hier nicht Gegenstand der Betrachtung!
(vgl. dazu *Gottmann* bzw. *Gottwaldt* und *Klewin*)

Anhang 1

Daten der Hs 293D-Fernsehanlage

(Stand 1942, nach *Schubert*):

Masse von Kamera, Netzgerät, Gussgehäuse und Batterien zusammen 28.3 kg,
drahtloser Sender mit Netzanschlussgerät (Stromversorgungsteil) 24.6 kg,
Empfänger einschließlich UKW- und Zwischenfrequenzteil 14.9 kg,
Niederfrequenz-Empfänger (Basisband-Empfänger) mit Bildröhre 11 kg.

Leistungsbedarf:

Kamera einschließlich Netzgerät bei 24 Volt 5 Amp = 120 W,

Drahtloser Sender einschließlich Netzgerät (Stromversorgungsteil),

bei 24 V / 12 A = 288 W, Senderseite incl. Kamera zusammen 408 W,

Empfänger einschl. Zielbildröhre und Netzgerät bei 24 V – 9 A = 216 W.

Anhang 2

Ergänzende Erläuterungen zu den Messungen am Fernseh-Sender (Fernseh-Sender)

Verwendete Messgeräte

Messsender:

Hewlett Packard 8640B Signal Generator (500 kHz – 1 GHz); +20...-140 dBm

HF-Millivoltmeter:

Rohde & Schwarz URV 2 16.3612.02 +20... -50 dB

Rohde & Schwarz URV 3 +30...-40 dBm

Rohde & Schwarz HF-Tastkopf, URV-Z7;

1 M Ω , C_e = 2.5 pF; mit Teilerkopf 20 dB, C_e = 1 pF

L/C-Messgerät:

All Digital Electronics L/C-Meter IIB (für Schaltungsrekonstruktion)

Digital-Multimeter (V/A/ Ω)

Voltcraft M-3830 (Widerstandsmessungen für Schaltungsrekonstruktion).

Die Messmethode

Bei der Ermittlung der Resonanzfrequenz des *Lechersystems* wurde das HF-Signal des Messsenders (HP 8640B) mit hohem Pegel (+ 20 dB_m) zunächst in den Messausgang für Diodenvoltmeter (vgl. Schaltung 63 und ① in Schaltung 150) in der Annahme eingespeist, dass über C9/C10 am ehesten ein einigermaßen definierter Anschluss für das Messsignal zustande käme, auch wenn damit eine brauchbare Anpassung zwischen Messsender (50 Ω) und der Messstelle auf der *Lecherleitung* (hochohmig) nicht vorläge. Bei einer so durchgeführten Messung lag die Resonanz des *Lecher-Gesamtsystems* bei ca. 459 MHz (Tastkopf ohne Verteiler).

Bei einer relativ hochohmigen Messung am *Lecherkreis* geht natürlich die Eingangskapazität des Tastkopfes – immerhin 2.5 pF, Streukapazitäten nicht berücksichtigt – stark in die Messung ein, die Messung zieht die Resonanzfrequenz ‚nach‘ unten, Handkapazitäten wirken sich bei den Messmanipulationen besonders stark aus.

Es wurde deshalb in der Folge die Einspeisung des Messsendersignals an der niederohmigen HF-Ausgangsbuchse des Senders vorgenommen (Schaltung 178 und ② in Bild 178). Das wäre ohnehin für die Prüfung von Strom-Spannungsverteilungen auf der *Lecherleitung* ohne Alternative gewesen. Die Messungen erbrachten bezüglich der Resonanz des Systems ein interessantes Ergebnis:

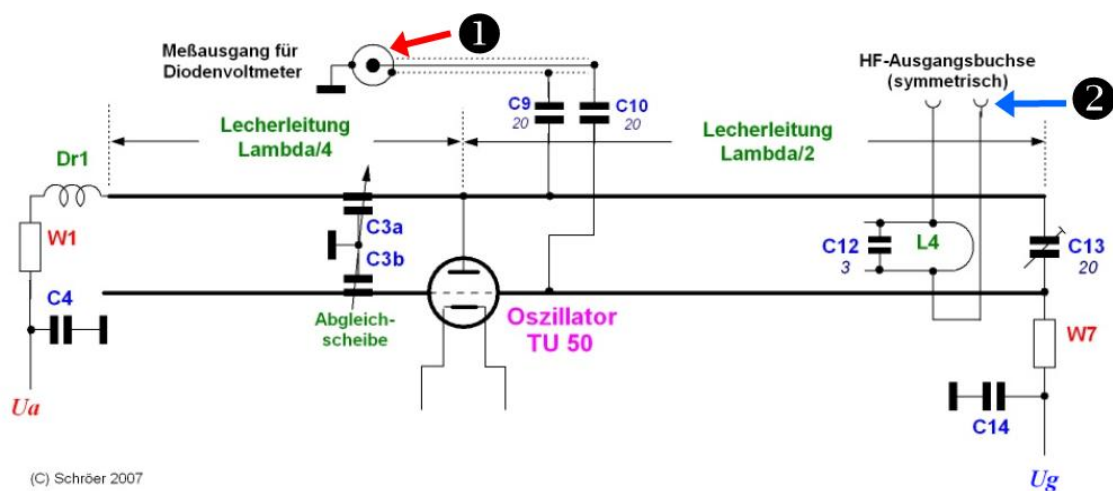
Lag der Tastkopf unmittelbar einmal am linken, dann am rechten Gitteranschluss der TU 50 (Bild 178), so zeigte das System zwei voneinander abweichende Resonanzen: Auf der Seite der $\lambda/4$ -Leitung lag sie bei 455 MHz, auf der der $\lambda/2$ -Leitung bei 479 MHz. Die Abgleichscheibe war dabei 10 mm von der *Lecherleitung* entfernt.

Bei ihrer Annäherung verminderte sich der Abstand zwischen den beiden Resonanzen, um bei ca. 3 mm Abstand nahezu gänzlich zu verschwinden. Dabei beobachtete man eine interessante Abnahme des Einflusses der Scheibe mit geringer werdendem Abstand zur *Lecherleitung*. Beträgt der Frequenzanstieg 24 MHz, wenn die Scheibe von 10 auf 5 mm

angenähert wird, so beträgt sie zwischen 5 und 3 mm nur noch 8 MHz. Die stärkere ‚Fernwirkung‘ liegt offenbar an der (bei völligem Fehlen der Abgleichscheibe an dieser Stelle) dort herrschenden höheren Feldliniendichte als in unmittelbarer Nähe der *Lecherleitung*.

Die Zuverlässigkeit dieses Ergebnisses ist als relativ hoch einzuschätzen, weil hier keine Manipulationen vorgenommen werden müssen, die durch unterschiedliche Handkapazitäten Verfälschungen der Messergebnisse hervorrufen können. Von außen muss die Abgleichscheibe lediglich mit dem Drehknopf in die gewünschte Position gebracht werden. Die Gewindeachse der Scheibe wurde dazu mit Filzstiftmarken versehen, um reproduzierbare Abstände Scheibe/*Lecherleitung* einstellen zu können.

Drei gleichartige Messdurchgänge wurden durchgeführt; Unterschiede in den Ergebnissen waren gering.



(C) Schröder 2007

Bild 178

Einspeisungspunkte des HF-Messsignals (HP 8640B)

- ① Probemessungen zur Ermittlung der Resonanzfrequenz
- ② Messeingang für Untersuchung der Strom-Spannungsverteilung auf der *Lecherleitung*

Die Prüfung der Spannungsverteilung auf der *Lecherleitung* bedurfte etlicher Vorversuche zur Messmethode. Die Gründe dafür sind nachfolgend ausführlich dargestellt.

Als besonders wichtig erwies sich, die Hand, die den Tastkopf hielt, fest auf dem Sendergehäuse abzustützen, um dadurch Lageveränderungen soweit möglich zu minimieren.

Messprobleme

Insgesamt erweisen sich Messungen bei Frequenzen im Bereich von 480 MHz als außerordentlich schwierig hinsichtlich der Aufrechterhaltung eines einheitlichen Messverfahrens. Das Wissen um unkalkulierbare Handkapazitäten, Streukapazität des Messkopfes (Masseleitung), dadurch kaum reproduzierbare kapazitive und induktive Belastung des Messobjektes und nicht hundertprozentig einzuhaltende Abnahme der Messgrößen vom Messobjekt führen zu der Einsicht, dass alle gemachten Angaben beim verwendeten Messaufbau unvermeidlich mit mehr oder minder großen Unsicherheiten belastet sind.

Zwar wurden alle erdenklichen Maßnahmen ergriffen, vor allem bei der in dieser Hinsicht besonders ‚empfindlichen‘ Aufnahme der Strom-Spannungsverteilung auf der *Lecherlei-*

tung. Es ist nämlich keineswegs einfach, den Tastkopf stets mit ‚gleichem Griff‘ auf die Leitung aufzusetzen, den Masseanschluss des Tastkopfes genau parallel zum Abgreifpunkt der Spitze anzulegen usw.

Bei diesem Vorgehen wird der Einfluss nicht konstant zu haltender Größen auf die Messungen klar; absolute Pegelaussagen sind überhaupt nicht möglich (außer den Angaben zu den eingespeisten HF-Spannungen), die Strom-Spannungsverteilung auf der *Lecherleitung* ist deshalb mit relativen Vergleichspegeln angegeben (vgl. Kapitel „*Leistungsszillator*“).

Um wenigstens eine gewisse Sicherheit bzgl. der Richtigkeit der Messungen zu erhalten, wurde jede Messreihe mindestens dreimal, wenn dabei starke Abweichungen auftraten, bis zu fünfmal wiederholt und die ‚Prüfwerte‘ schließlich gemittelt.

Die Wiederkehrgenauigkeit der Messungen hielt sich bei den Frequenzangaben (Kreisresonanzen) bei etwa 5%. Bei der Ermittlung der Strom-Spannungsverteilung (‚stehende Welle‘ auf den Lecherleitungen) fiel sie aus den o. a. Gründen deutlich ungünstiger aus, stimmte jedoch in der Tendenz bei allen Messdurchgängen bezüglich der geometrischen Lage auf der Leitung überein.

Anhang 3

Spezial-Röhrenvoltmeter UDC (Rohde & Schwarz)

Zur Zeit der Entstehung des Dezimeter-Fernsehsenders der Hs 293 D gab es – vor allem von der Firma Rohde & Schwarz und von Siemens – leistungsfähige Messgeräte für Entwicklung und ‚Service‘ militärischer Geräte. Ein Beispiel zeigt das Röhrenvoltmeter UDC (R & S), das möglicherweise für die Prüfung der Schwingfähigkeit des Senders eingesetzt worden ist.

Beschreibung und Spezifikationen der Herstellerfirma:

„Sollen mit einem Röhrenvoltmeter Spannungsmessungen ohne Leistungsverbrauch durchgeführt werden, so muss das Kompensationsverfahren Anwendung finden. Diese Methode hat den Vorteil, dass durch das Messvorgang keinerlei Verzerrungen der ursprünglichen Kurvenform der Messfrequenz hervorgerufen werden.“

Für diese spezielle Art von Spannungsmessungen ist unser Dioden-Voltmeter Type UDC vorgesehen. Es besitzt 2 Klemmen zum Anlegen der Kompensationsspannung, zu deren Messung jedes beliebige Gleichspannungs-Messinstrument verwendet werden kann. Außerdem können mit dem Gerät auch Nieder- und Hochfrequenzspannungen direkt gemessen werden. Nach Kurzschließen des Kompensierungs-Klemmenpaares erfüllt es alle Aufgaben eines normalen Diodenvoltmeters. Ein Bereichsschalter gestattet das Umschalten von Kompensation auf die Messbereiche 5, 25, 100 und 500 Volt.


Der große Spannungsbereich, der ausgedehnte Frequenzbereich von 50 Hz ... 500 MHz, dazu die durch Einbau einer Spezial-Diode erreichte kleine Eingangskapazität von 0,5 pF, sowie hohe Eingangswiderstände in allen Messbereichen machen das Voltmeter zu einem universellen Hilfsmittel des HF-Technikers.

Für Messungen am Lecher-System stellen wir in gleicher Ausführung eine besondere Type UDP (B. N. 1021) her, die mit Hilfe eines symmetrischen Vorsatzes, der nur über bewegliche Gleichstromleitungen mit dem Gerät verbunden ist, störungsfreie Messungen am Paralleldraht-System ermöglicht. Dabei hängen die Messröhren direkt verschiebbar am System, die Spannung an den beiden Drähten wird durch Umschalten gemessen. Diese Type UDP besitzt im Übrigen alle Eigenschaften des oben beschriebenen Gerätes UDC.


Zum Betrieb werden die Instrumente am das Wechselstromnetz angeschlossen und sind sofort beim Einschalten messfertig.

Literatur:

- 1) L. Rohde, Z. Techn. Phys. 12 (1931) 263
- 2) L. Rohde und F. Bahnemann ENT 8 (1931) 335
- 3) F. Bahnemann, Z. Hochfrequenztechn. 40 (1932) 187
- 4) L. Rohde, ATM 335-1, März 1935



Kompensations-Röhrenvoltmeter
Type UDC



ca. 1/4 nat. Größe

Eigenschaften:

Messbereiche	
direkt	0,5 . . . 5/25/100/500 Volt
Kompensation	0,1 . . . 700 Volt
Genauigkeit	
direkt	± 3% v. E.
Kompensation	± 0,5% ± 0,05 Volt
Frequenzbereich	60 Hz . . . 500 MHz
Eingangskapazität	0,5 pF.
Eigenfrequenz bei Kurzschluß	ca. 1000 MHz
Betriebspannung	220 Volt ~
Abmessungen:	210 x 140 x 85
Gewicht:	1,9 kg

Physikalisch-techn. Entwicklungslabor. Dr. Rohde & Dr. Schwarz, München 9	B. N. 102
--	-----------

Anhang 4

Bauteileliste des Fernseh-Senders der Hs 293 D

Bauteil	Dimensionierung	Typenbezeichnung	Material/Maße
C1	18 pF	Trimmer 510/18	Keramik
C2	18 pF	Trimmer 510/18	Keramik
C3a/C3b		Abgleichscheibe	Aluminium
C4	50 pF	Rohrkondensator	dklgn
C5/C6	?	Glimmerkondensator*	Vgl. Text
C7	50 pF	Rohrkondensator	Keramik dklgn
C8	5 pF	Scheibenkondensator	Keramik hgn
C9	20 pF	Rohrkondensator	Keramik dklgn
C10	20 pF	Rohrkondensator	Keramik dklgn
C11	27 pF	Trimmer 509/27	Markierung rot
C12	3 pF	Walzenkondensator	Keramik hgn
C13	20 pF	Trimmer (groß)	Keramik
C14	50 pF	Rohrkondensator	Keramik dklgn
C15	0.8 µF (Meßwert)	Blockkondensator	Quader
C16	0.27 µF	Blockkondensator	Quader
W1	500 Ω - 3 W	Schichtwiderstand	10 x 60 mm
W2	25 Ω - ½ W	Schichtwiderstand	
W3	25 Ω - ½ W	Schichtwiderstand	
W4	25 Ω - ½ W	Schichtwiderstand	
W5	25 Ω - ½ W	Schichtwiderstand	
W6	10 kΩ – 1 W	Schichtwiderstand	
W7		Schichtwiderstand	
W8		Schichtwiderstand	8 x 15 mm
W9	30 Ω – ½ W	Schichtwiderstand	
W10	150 Ω – 1 W	Schichtwiderstand	5 x 25 mm
W11	1 MΩ – ½ W	Schichtwiderstand	
W12	2.3 kΩ – 5 W	Schichtwiderstand	13 x 75 mm
W13	3 kΩ – ½ W	Schichtwiderstand	
W14	50 Ω – 5 W	Draht	8 x 45 mm
W15	400 Ω – 5 W	Draht mit Schelle	
W16	600 Ω – 5 W	Draht mit Schelle	
W17	15 kΩ – 10 W	Draht mit Schelle	ca. 3 kΩ/12 kΩ
P1	500 Ω – 1 W (?)	Drahtwiderstand (?)	30 mm Ø
L1/L2	Kathodenkreis TU 50		Drahtbügel 1.5 mm
L3	Monitorausgang		Auskoppelschleife
L4	HF-Ausgang Haarnadel		HF-Auskopplung
Dr1	HF-Drossel (Anode TU 50)	CuAg-,Locke'	4 Wdgn.

Anhänge und Fundgrube

Dr2	41 μ H (HF-Drossel)	Kreuzwickelspule	Ø 10 mm Pappe
Dr3	430 μ H (HF-Drossel)	Kreuzwickelspule	Ø 10 mm Pappe
Ew 1	6-18 V, 0.5 A; kalt 3.3 Ω	Osram Ew 0506 M	Fe-H-Wid.
Ew2	6-18 V, 0.5 A; kalt 3.3 Ω	Osram Ew 0506 M	Fe-H-Wid.
Urdox	Kaltwiderstand 130 Ω	AEG Osram U3/100	Uran-Dioxid-Wid.
Tr1	36 V/1,4 V - 500 Hz	geschichteter Transform.	vgl. Bild 44, 64
Tr2	36 V/1,5 V - 500 Hz	geschichteter Transform.	vgl. Bild 64

Anhang 5

Lecherleitungen – etwas Theorie

Eine Lecherleitung wird aus zwei parallelen Leitern (Drähten oder Rohren) gebildet, deren Abstand groß im Verhältnis zum Durchmesser ist. Auf den Eingang der Leitung wird eine HF-Wechselspannung gegeben mit

$$U = U_0 \cdot \sin \omega t \quad [1]$$

Sie pflanzt sich auf der Doppelleitung mit der Geschwindigkeit v fort; am Ort x zwischen den Drähten beträgt die Spannung

$$U = U_0 \cdot \sin \omega (t - x/v) \quad [2]$$

Bei kurzgeschlossener Lecherleitung erreicht der Strom am Ort des Kurzschlusses sein Maximum, die Spannung ist hier null. Am kurzgeschlossenen Ende entsteht eine reflektierte Spannungswelle, die gegenüber der hinlaufenden Welle die Phasenverschiebung π besitzt. Für sie gilt:

$$U = U_0 \cdot \sin \omega (t + x/v) \quad [3]$$

Die reflektierte Welle interferiert mit der einfallenden Welle, so daß sich auf den Drähten stehende Wellen ausbilden:

$$U = -2U_0 \cdot \sin \omega x/v \cdot \cos \omega t \quad [4]$$

Dabei wird x als Abstand vom kurzgeschlossenen Ende gemessen. An Orten auf der Leitung, die $k \cdot \lambda/2$ vom Kurzschlusspunkt entfernt sind, erreicht die Spannung ihr Minimum (Spannungsknoten). Die stehende Spannungswelle ist mit einer ebenfalls stehenden Stromwelle verbunden. Da die hinlaufende Stromwelle bei der Reflexion keinen Phasensprung erleidet, gilt für die stehende Stromwelle:

$$I = 2 I_0 \cdot \cos \omega x/v \cdot \sin \omega t \quad [5]$$

Dabei wird, falls x vom kurzgeschlossenen Ort $(2k - 1) \cdot \lambda/4$ entfernt ist, der Strom sein Minimum (Stromknoten).

Bei der offenen Lecherleitung wird das Ende der Leitung nicht miteinander verbunden. Die Spannung erreicht ein Maximum, es fließt dort kein Strom ($I = 0$). Am offenen Ende entsteht eine Stromwelle, die gegenüber der hinlaufenden Welle die Phasenverschiebung π aufweist. Für sie gilt:

$$I = - I_0 \sin \omega (t + x/v) \quad [6]$$

Die reflektierte Welle interferiert mit der einfallenden Welle, so dass sich stehende Wellen ergeben:

$$I = -2 I_0 \cdot \sin \omega x/v \cdot \cos \omega t \quad [7]$$

Dabei ist x der von der offenen Stelle gemessene Ort.

Das bedeutet, dass an Orten, die $k \cdot \lambda/2$ vom offenen Ende entfernt sind, der Strom sein Minimum erreicht; es bildet sich hier ein Stromknoten aus. Die stehende Stromwelle ist mit einer ebenfalls stehenden Spannungswelle verbunden. Da die hinlaufende Spannungswelle bei der Reflexion keinen Phasensprung erleidet, gilt für sie:

$$U = 2 U_0 \cdot \cos \omega x/v \cdot \sin \omega t \quad [8]$$

x ist der von der offenen Stelle gemessene Abstand.

Das bedeutet, dass an Stellen, die $(2k - 1) \cdot \lambda/4$ vom offenen Ende entfernt sind, die Spannung ihr Minimum erreicht (Spannungsknoten).

Anhang 6

Unretuschierte Großbilder¹

Die Fernsehkamera

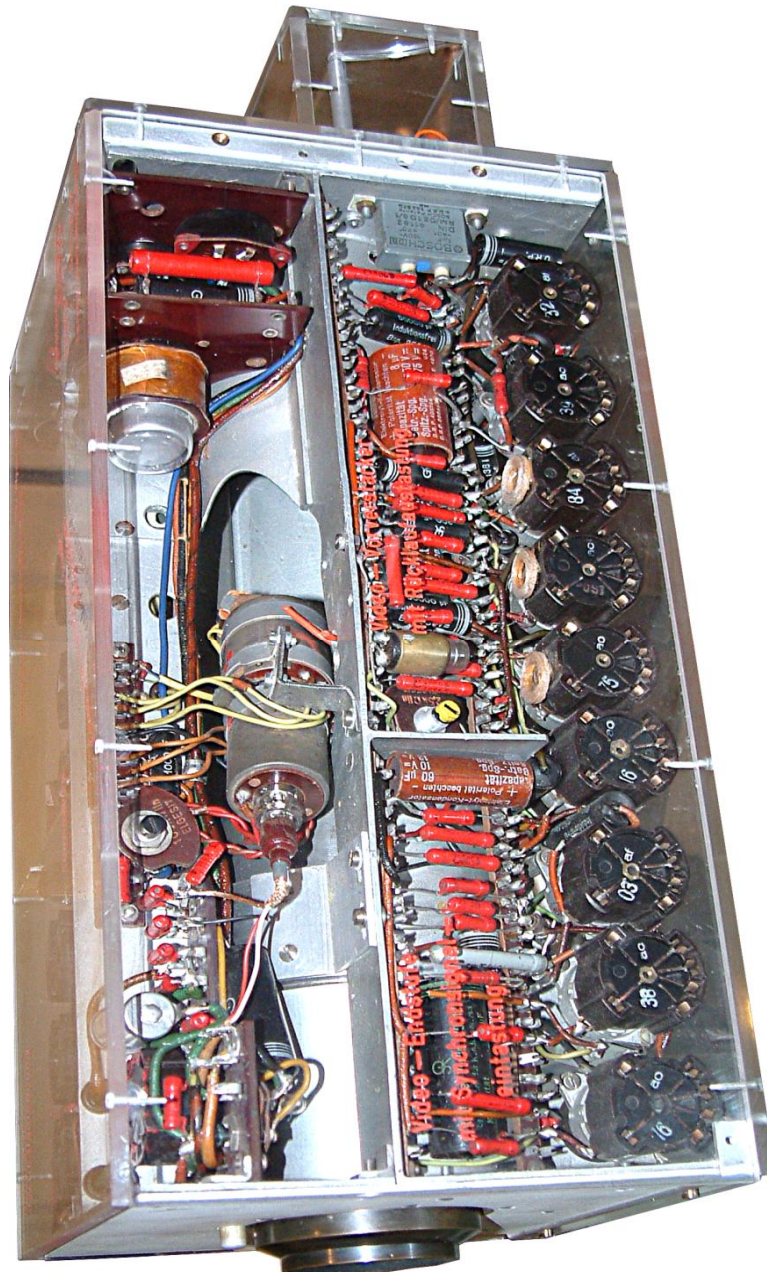


Bild 179

**Kamera, vermutlich Reportagegerät (rechte Seite)
Super-Ikonoskop IS 9 eingebaut**

(Foto Schröder; Objekt DTMB)

¹ Die Gravur auf den Plexiglasabdeckungen wurden vermutlich in der Lehrlingswerkstatt der Firma *Bosch* kurz nach dem Kriege angefertigt, möglicherweise auch die Baugruppen nach dort noch vorhandenen Unterlagen und Materialien der Fa. *Fernseh GmbH* (später *Fernseh AG*).



Bild 180

Fernseh-Kamera, ähnlich »Tonne A« (Oberseite)

Vermutlich ‚Reportage-Gerät‘; militärische Abnahmestempel fehlen!

(Foto Schröer; Objekt DTMB)

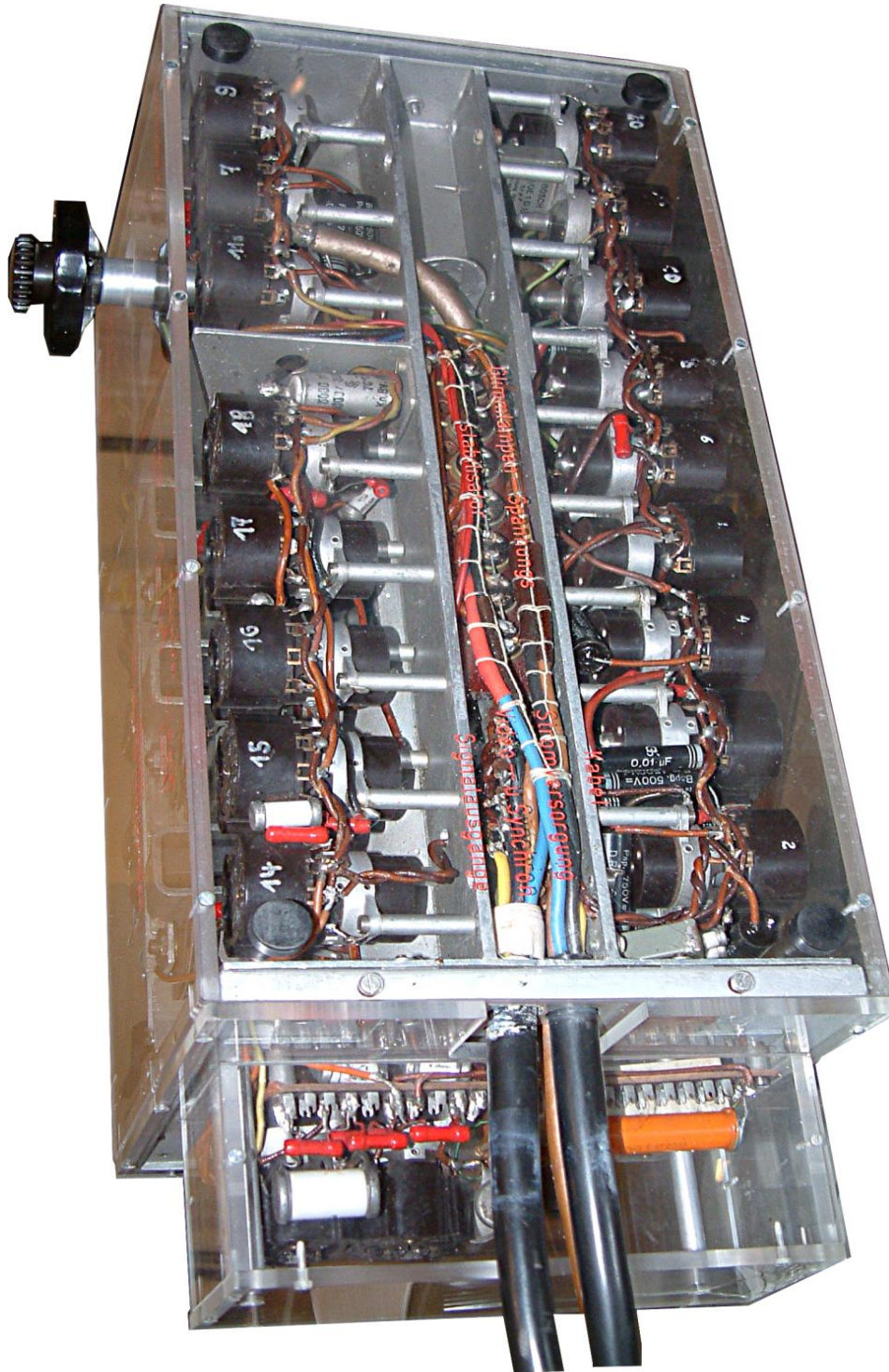


Bild 181

Fernseh-Kamera, ähnlich »Tonne A« (Unterseite)

(Foto Schröder; Objekt DTMB)



Bild 182

Fernseh-Kamera, ähnlich »Tonne A« (linke Seite)

(Foto Schröder; Objekt DTMB)

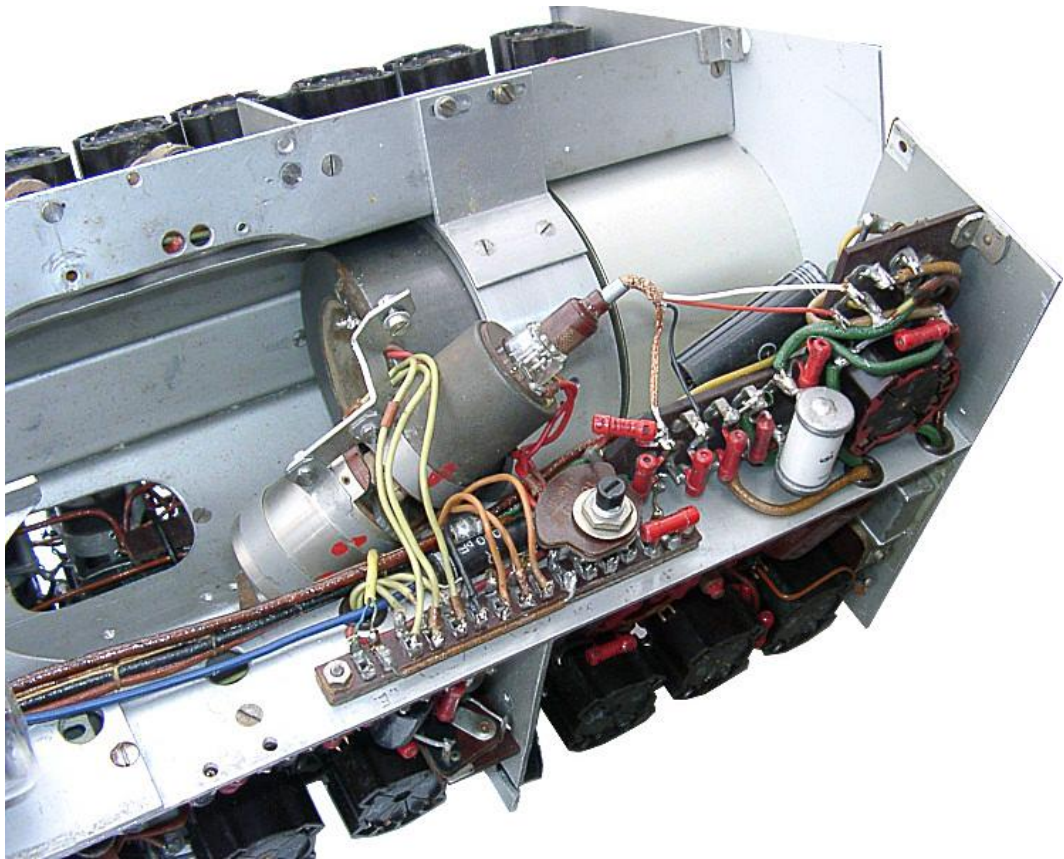


Bild 183
Super-Ikonoskop IS 9
im eingebauten Zustand, seitlich abgeklappt
(Foto *Schröer*; Objekt DTMB)

Das Fernseh-Sichtgerät (Bildschreiber)

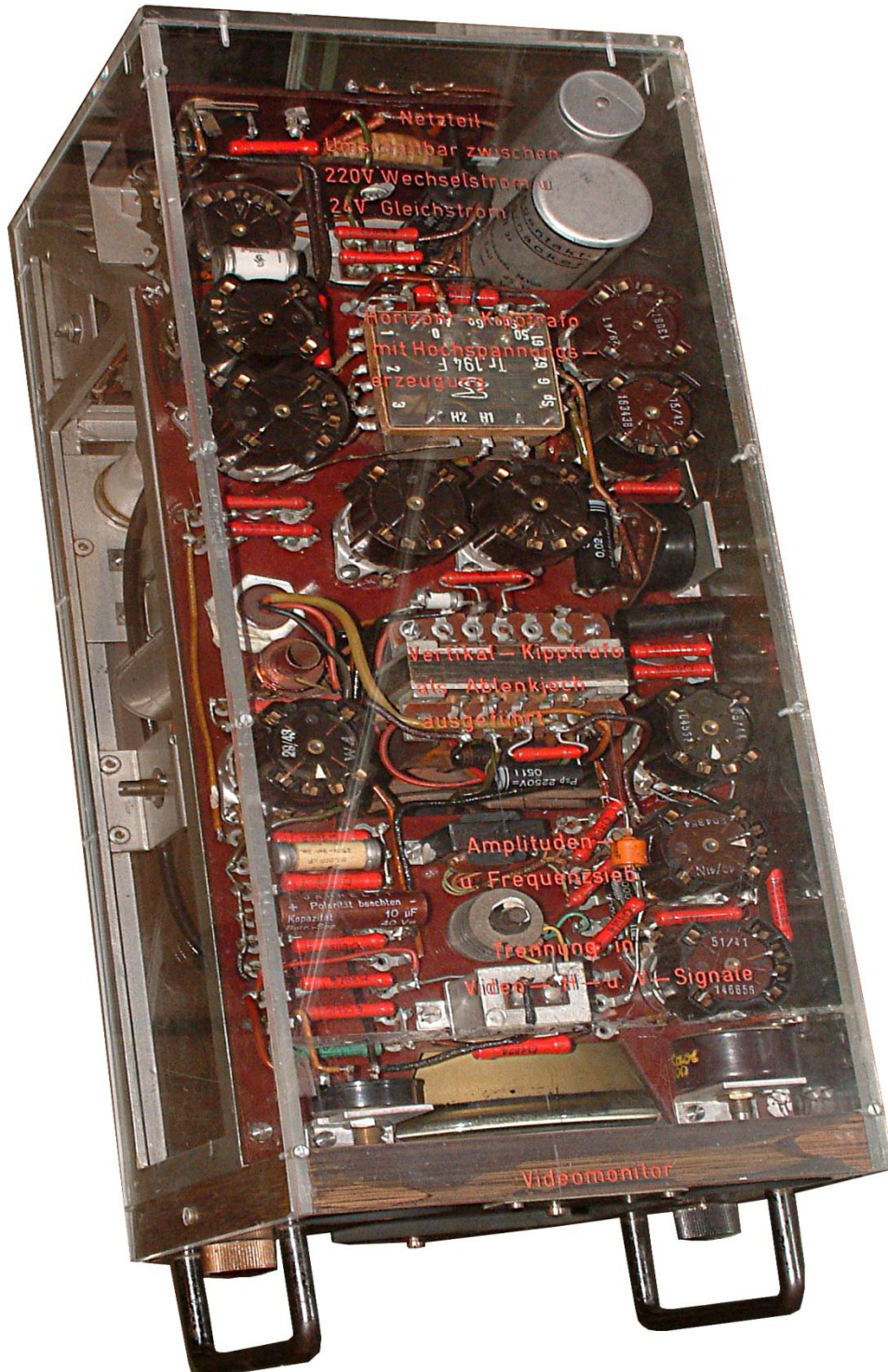


Bild 184

Sichtgerät (TV-Monitor), ähnlich »Seedorf A« (Oberseite)

(Foto Schröer; Objekt DTMB)

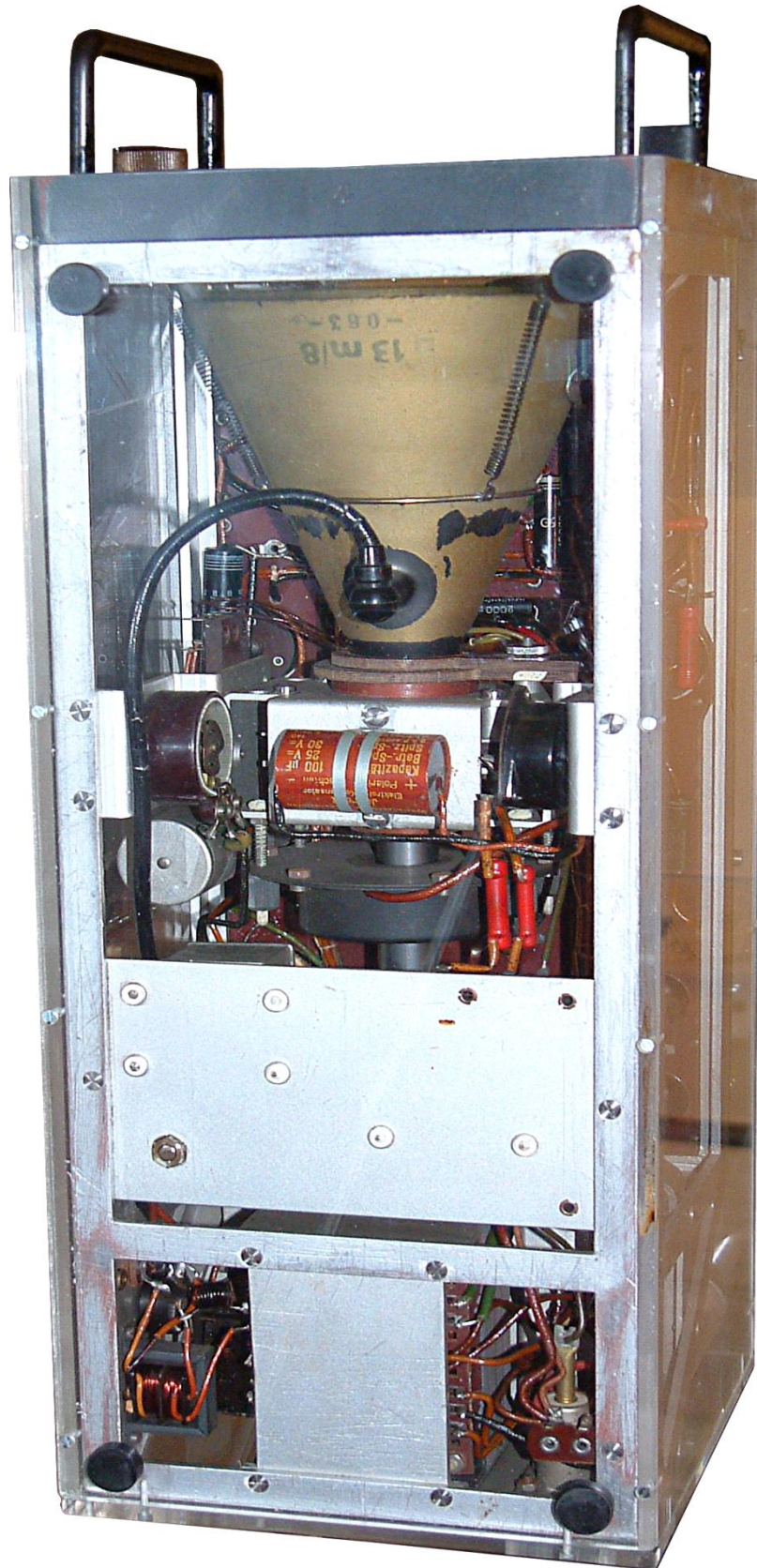


Bild 185

Sichtgerät (TV-Monitor), ähnlich »Seedorf A« (Unterseite)
(Foto Schröder; Objekt DTMB)

Der Fernseh-Sender

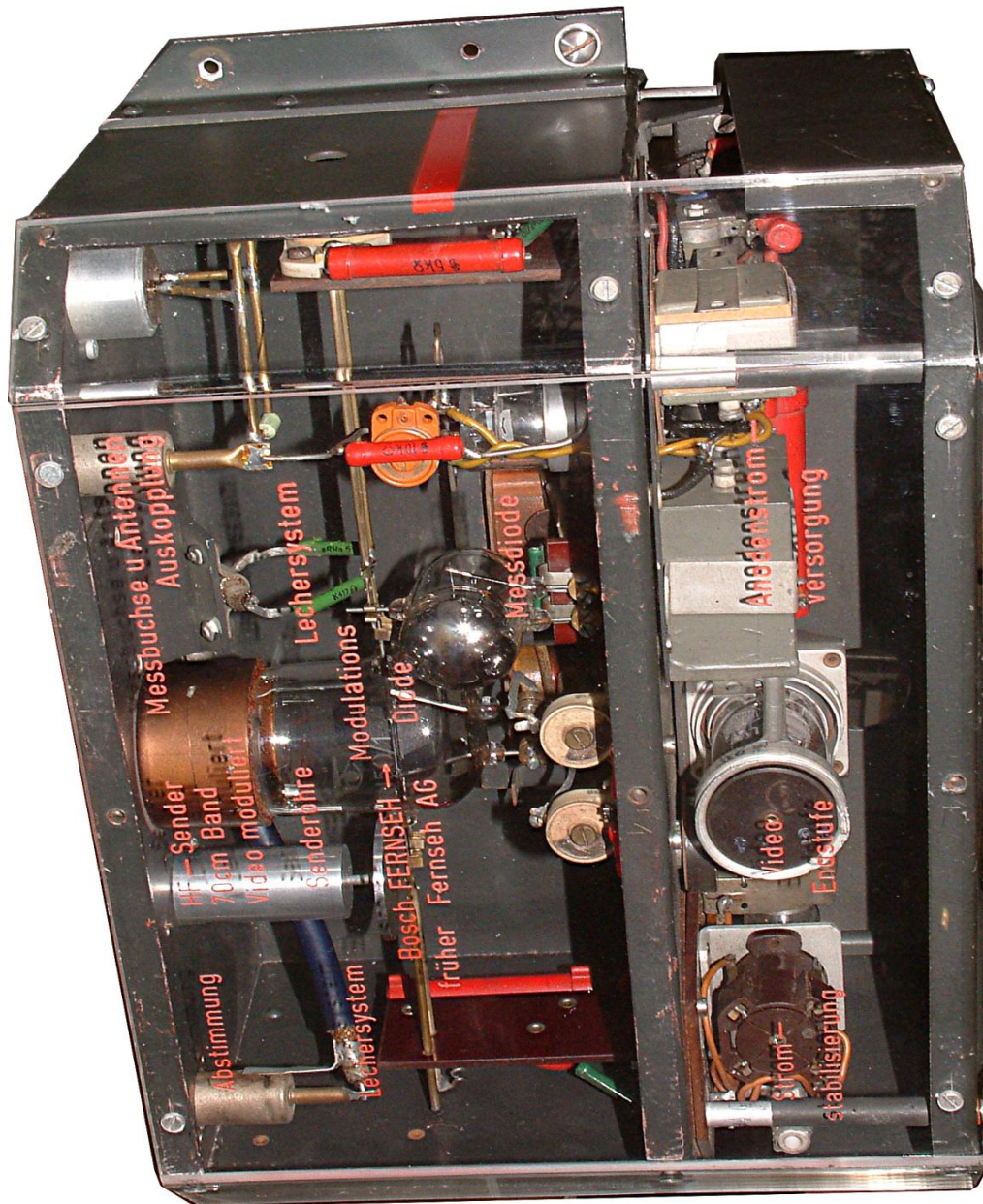


Bild 186

TV-Sender ($\lambda \sim 64$ cm)
Exponat im Ausstellungszustand

(Foto Schröder; Objekt DTMB)

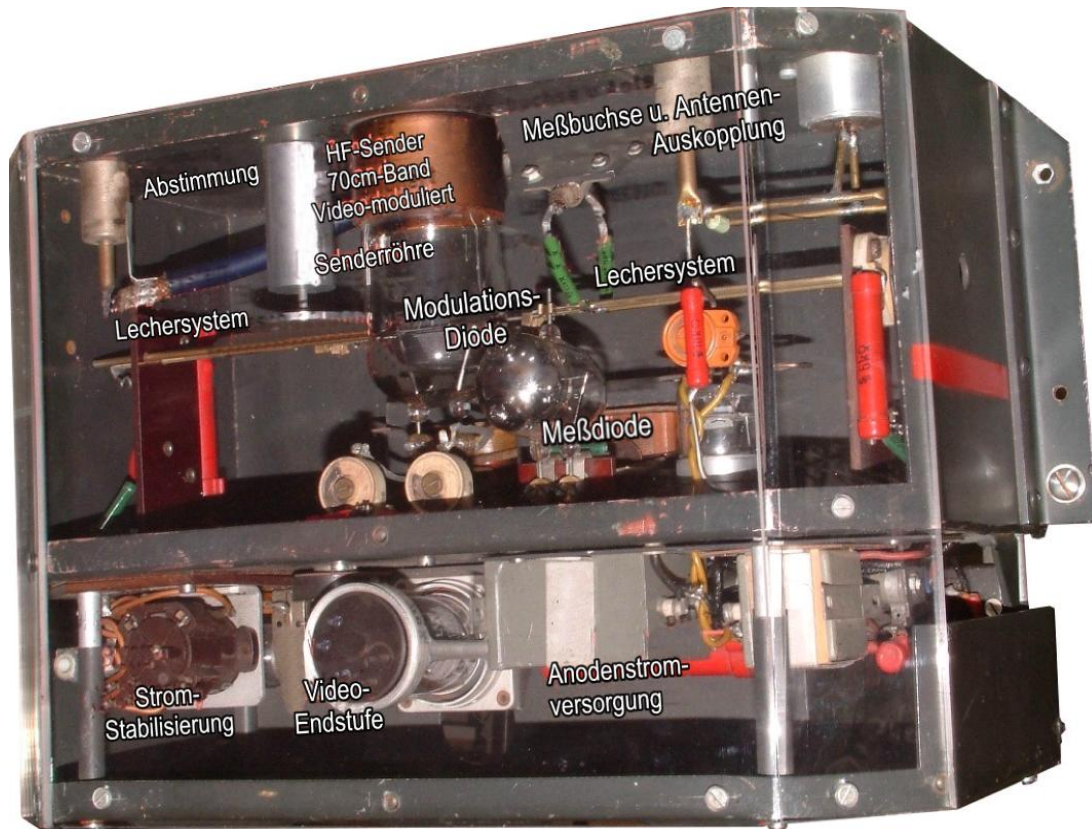


Bild 187

Museumsobjekt (DTMB) Lenkbomben-TV-Sender mit Spezialtriode TU 50, Modulationsdiode DU 10 und Video-Endröhre LV 1

(Beschriftung verändert)



Bild 188
Fernseh-Sender
Übersichtsbild
in Schrägansicht

(Foto Schröder; Objekt DTMB)

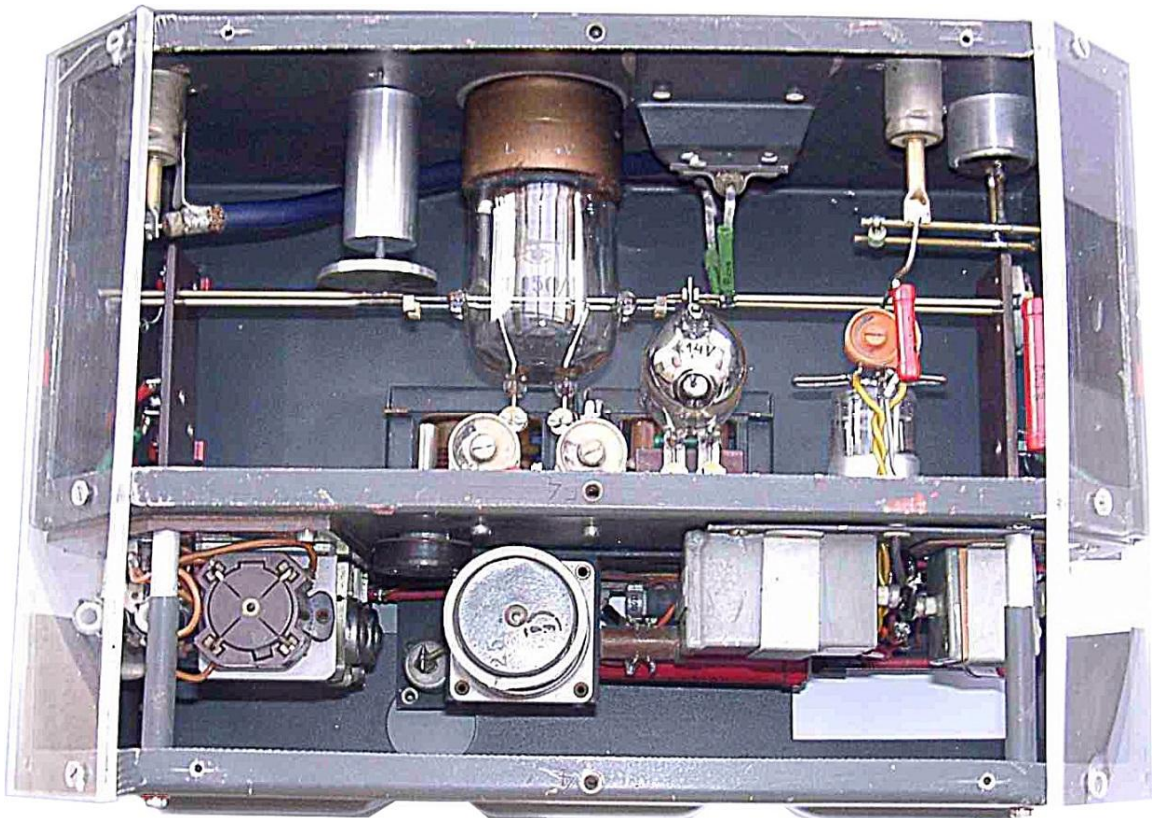


Bild 189

Einstufiger 70cm TV-Sender
(Plexiglas-Verkleidung abgenommen)

(Foto: Rücker, DTMB)

Der Hochleistungsempfänger »Seedorf III«

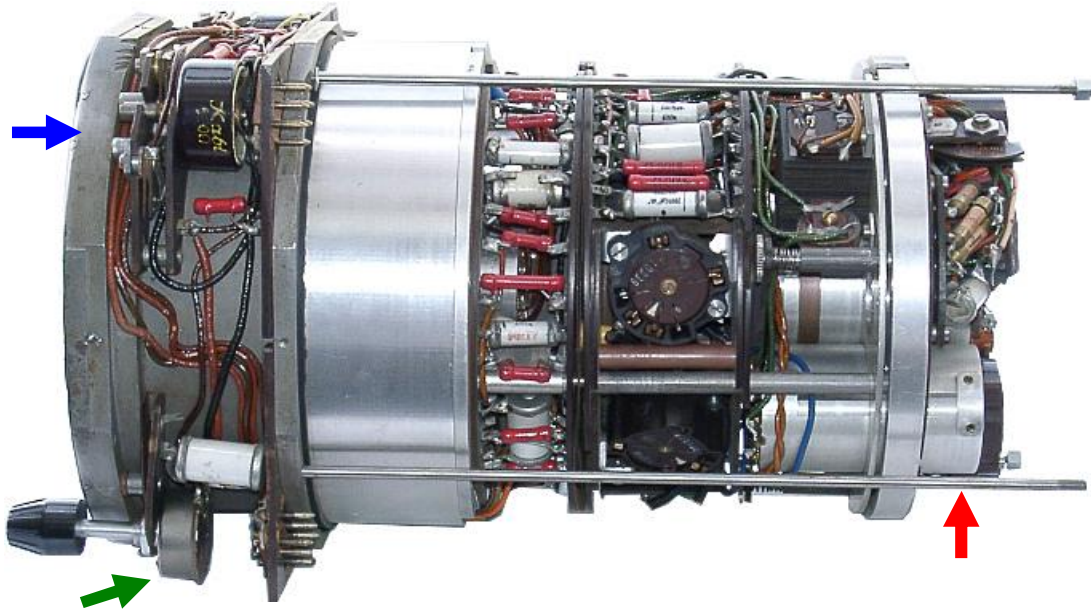


Bild 190

Bildempfänger »Seedorf III«
(linke Seite, Frontblende abgenommen)

Roter Pfeil: Röhren-Kühlhülse - **Blauer Pfeil:** Druckknopf Bildphase
Grüner Pfeil: Synchronisationsregler

(Foto *Schröder*; Objekt DTMB)

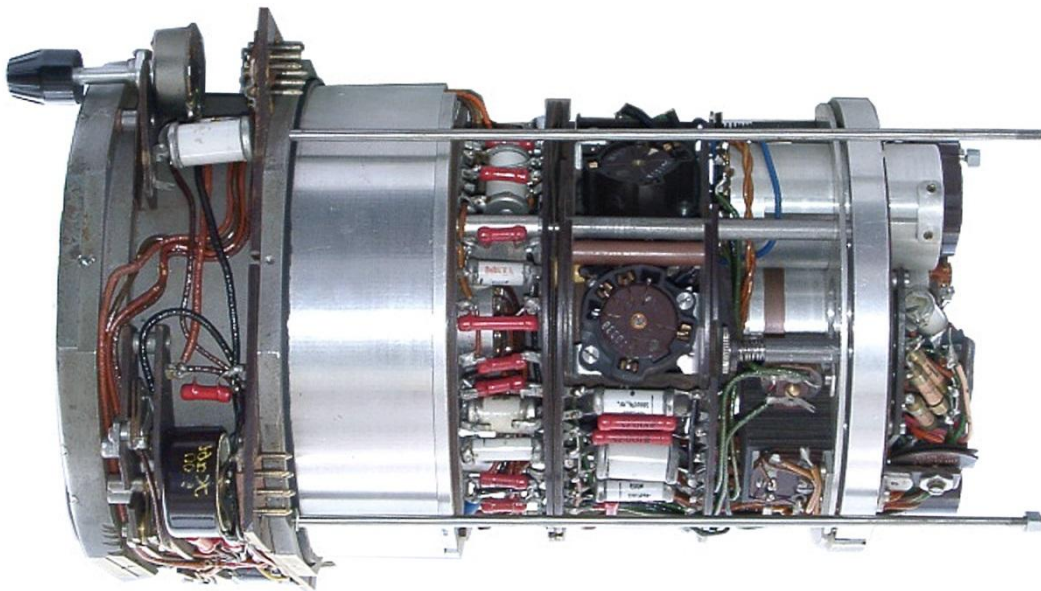


Bild 191

Bildempfänger »Seedorf III« (rechte Seite, Frontblende abgenommen)

(Foto *Schröder*; Objekt DTMB)

Anhang 7

Röhrendatenblätter

TELEFUNKEN

LD 1	UKW-Triode für Dezimeterwellen
------	--

Vorläufige technische Daten

1. Allgemeine Daten

Heizspannung 12,6 V
 Heizstrom 80—100 mA
 Oxydkathode, indirekt geheizt.

Serienheizung von zwei Röhren zulässig. Als Ersatz für eine in der Serienschaltung fehlende Röhre ist ein Widerstand von $140 \Omega \pm 3\%$ einzuschalten. Zur Erzielung guter Frequenzstabilität im Dezimeterwellenbereich wird eine Stabilisierung der Heizspannung mit maximalen Schwankungen von $\pm 5\%$ vom Sollwert empfohlen.

Kapazitäten:

C_{Eingang} $1,55 \pm 0,2$ pF
 C_{Ausgang} $0,85 \pm 0,15$ pF
 C_{Gitter/Anode} $1,15 \pm 0,2$ pF

Die Kapazitätsangaben beziehen sich auf Messungen, bei denen Sockelkappe und Fassung mit der Kathode verbunden sind.

2. Maximale Betriebsdaten

Anodenspannung 300 V¹⁾
 Gitterspannung (Momentanwerte) + 50 V, - 250 V²⁾
 Anodenverlustleistung 5 W
 Gitterverlustleistung 0,25 W
 Kathodengleichstrom 30 mA
 Kathodenspitzenstrom 200 mA
 Spannung Faden/Schicht 100 V
 Außerer Widerstand zwischen Faden und Schicht 5 k Ω
 Gitterwiderstand 0,5 M Ω

¹⁾ Anodenkaltspannung 430 V
²⁾ Gitterkaltspannung ± 150 V

3. Statische Kennwerte

Bei Anodenspannung 100 V
 Anodenstrom 10 mA
 Heizspannung 12,6 V

betragen:

Steilheit 3 ± 1 mA/V
 Gitterspannung -4 ± 2 V
 Durchgriff 9 ± 3 %

4. Anodenschwanzstrom

Bei Anodenspannung 100 V
 Anodenstrom 1 mA
 Heizspannung 12,6 V

betragt:

Negative Gitterspannung ≤ 16 V

5. Gitterstromereinsatz

Bei Anodenspannung 100 V
 Gitterstrom 3×10^{-7} A
 Heizspannung 12,6 V

betragt:

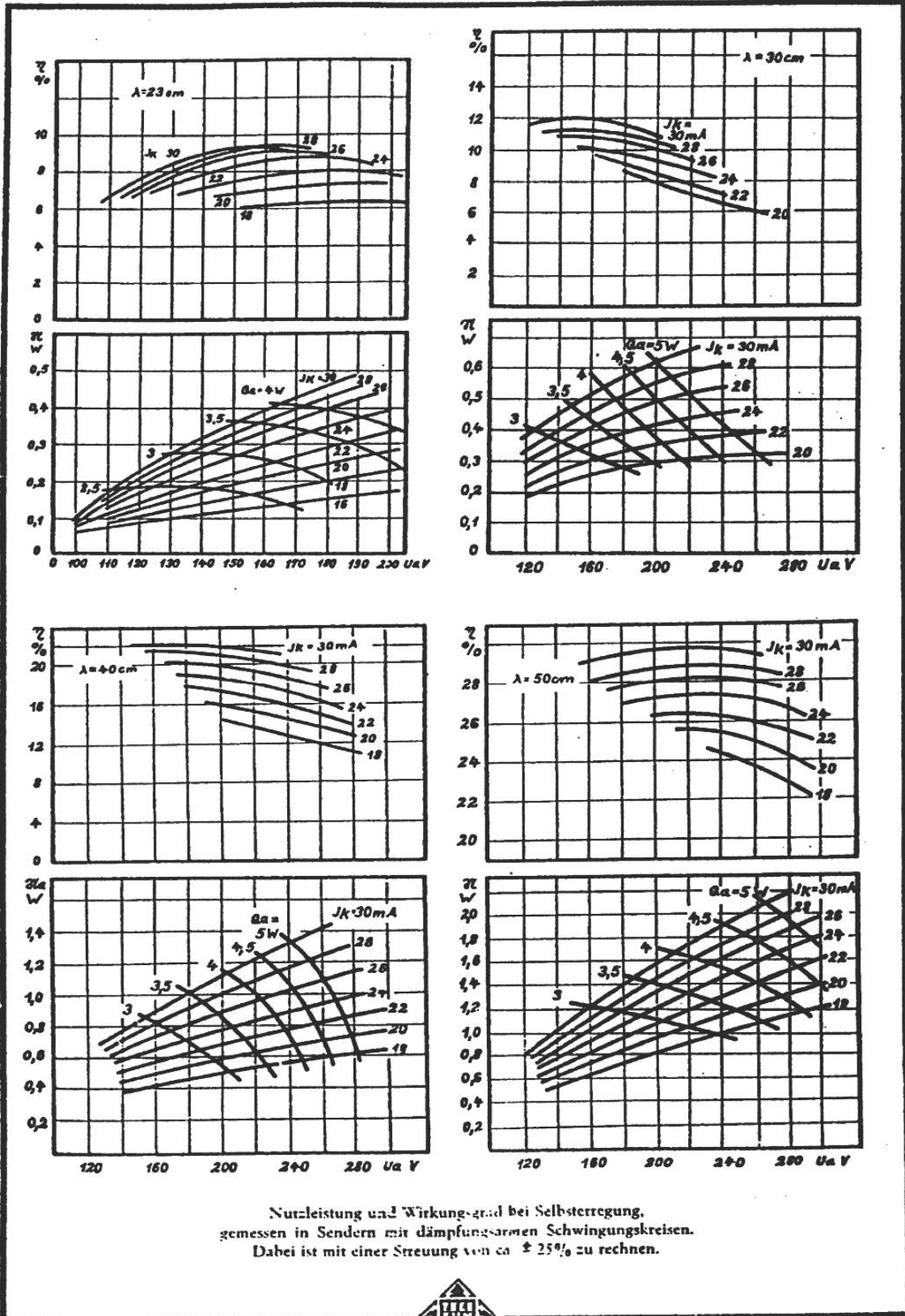
Gitterspannung $-1,5 - 0$ V

Sockelanschlüsse von unten gegen die Röhre gesehen.
Gewicht der Röhre ca. 30 g

Fassung Lg.-Nr. 1710. Diese Fassung besteht lediglich aus einem Halterungs- und Führungsteil für die Röhre. Die Kontaktfäden werden zur Vermeidung von Verlusten zweckmäßig auf die Schwingungskathodeelemente montiert. Diese Art der Röhrenmontage ist bei Verwendung der Röhre im Dezimeterwellenbereich notwendig.

Fassung Lg.-Nr. 1727. Diese Fassung dient zur Halterung und Kontaktabgabe der Röhren. Sie kann bis zu einer Wellenlänge von etwa 1 m eingesetzt werden, wobei allerdings am unteren Ende des Meterwellenbereiches durch Verluste im Preßstoffsockel bereits mit einem merklichen Rückgang des Wirkungsgrades zu rechnen ist.

Wenden!



Nutzleistung und Wirkungsgrad bei Selbsterregung,
gemessen in Sendern mit dämpfungsarmen Schwingungskreisen.
Dabei ist mit einer Streuung von ca. $\pm 25\%$ zu rechnen.

G. R. B. 51 D (2000)

Für Lieferung unverbindlich

Antenne v. =

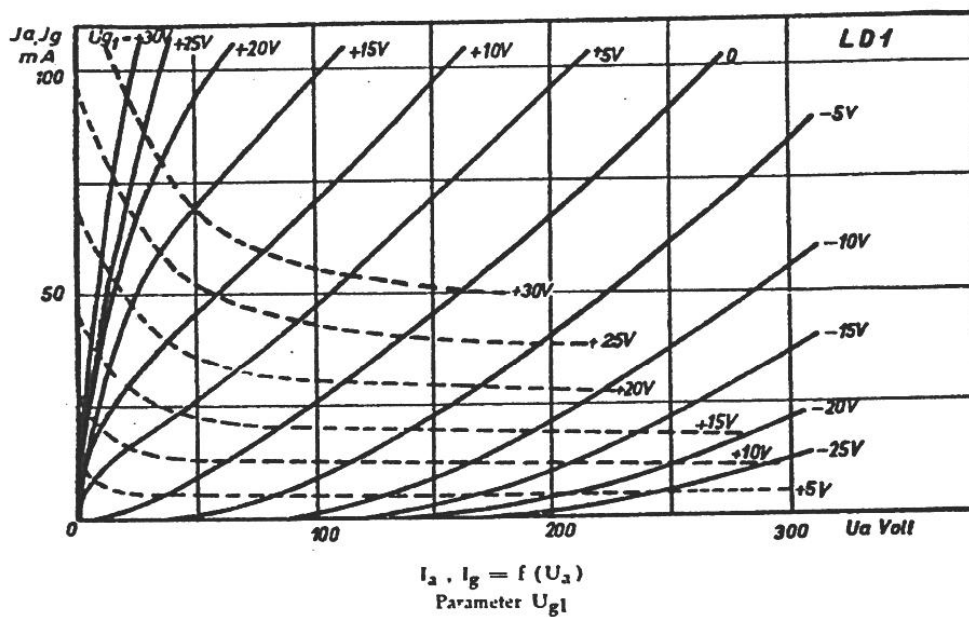


Nachdruck nur mit Quellenangabe gestattet VII R6

Januar 1941

7. Betriebsdaten bei Selbsterregung

Es wird empfohlen, die Gittervorspannung mittels Kathodenwiderstand, nicht mittels Gitterwiderstand zu erzeugen. Zur Verringerung der Leistungsstreuung bei Röhrenwechsel ist es zweckmäßig, den Kathodengleichstrom durch Erhöhung des Kathodenwiderstandes (z. B. auf ca. 1 kΩ) zu stabilisieren und zur Einstellung der Gittervorspannung die am Kathodenwiderstand entstehende Gittervorspannung durch eine zusätzliche positive Gegenspannung teilweise zu kompensieren. Beim Auftreten von Störschwingungen (Pendeln) empfiehlt sich, den Kathodenwiderstand zwischen Faden und Schicht zu legen, ihn mit ca. 10–50 pF zu überbrücken und die Batteriespannung über die ev. vorhandene Kathodenabstimmung dem am Kathodenwiderstand angeschlossenen Fadenende zuzuführen.



Die oben angegebenen Meßwerte und Kurven sind unverbindliche Mittelwerte.

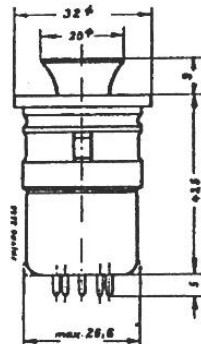
TELEFUNKEN

LG 1

Duodiode für Dezimeterwellen

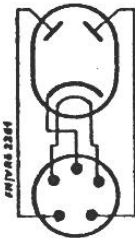
Technische Daten und Streuwerte

1. Abmessungen der Röhre



M. 1:1,5

Sockelknopf abschraubbar.

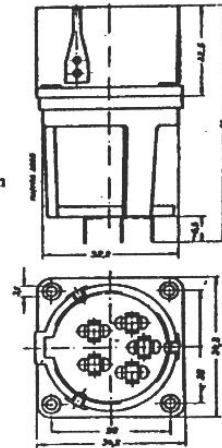


Sockelanschlüsse
von unten gegen die Röhre gesehen.

Verbindliche Angaben für die äußeren Abmessungen der Röhre und der Fassungen sind nur den vom RLM. herausgegebenen Ln-Blättern mit den angegebenen Ln-Nummern zu entnehmen.

2. Röhrenfassung

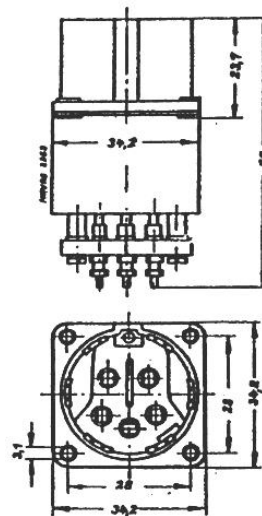
für
Wellenlängen
> 1 m



M. 1:1,5

Telefunken Lg.-Nr. 1726

für
Wellenlängen
≤ 1 m



M. 1:1,5

Telefunken Lg.-Nr. 1809

Außerdem besteht für Dezizwecke noch ein Führungs- und Halteteil Telefunken Lg.-Nr. 1710, das jedoch für Neuentwicklungen nicht mehr verwendet werden soll. Zur Kontakt-



gabe werden hierzu 5 Federn Telefunken Lg.-Nr. 1798 benutzt. Der Aufbau der Federn muß mit einer Lehre nach Zeichnung RÖL Nr. 101 erfolgen. Die Zeichnung kann von der Entwicklungsfirma bezogen werden.

3. Allgemeine Daten

Die Röhre ist für Bordbetrieb geeignet.
Schüttelfestigkeit 5 g bei 1 mm Hub,
Beschleunigungsfestigkeit 8 g, wobei als Sicherheitsfaktor das 1,8fache des angegebenen Wertes vorgesehen ist.

Heizdaten:
Heizspannung 12,6 V
Heizstrom 68... 78 mA
Oxydkathode, indirekt geheizt.

Kapazitäten:
C_{Anode/Kathode} 0,45... 0,65 pF
C_{Anode 1/Anode 2} 0,12... 0,22 pF
Die Kapazitätsangaben beziehen sich auf Messungen, bei denen Sockelkappe und Fassung mit der Kathode verbunden sind.

4. Maximale Betriebsdaten

Anodenwechselspannung 100 V
(Scheitelwert)
Anodenkaltspannung 250 V
Anodengleichstrom je System ... 2 mA
Anodenstrom,
Spitzenwert je System 20 mA
Spannung Faden/Schicht 100 V
Äußerer Widerstand zwischen
Faden und Schicht 20 kΩ
Anodenverlustleistung je System 0,1 W

5. Anodenstrom je System

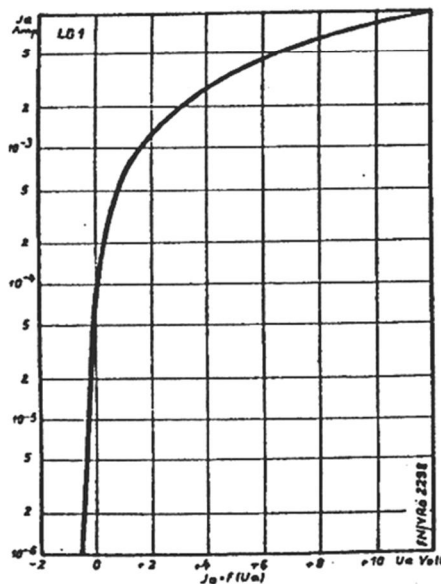
Bei Anodenspannung 10 V
Heizspannung 12,6 V
beträgt:
Anodenstrom 4,5... 13 mA
Bei Heizspannung 10,8 V: I_a (min) 3,0 mA

6. Steilheit im Anlaufstromgebiet

Für Anodenstrom ≤ 30 μA
Heizspannung 12,6 V
beträgt:
Steilheit etwa 10 × I_a/V
Steilheit minimal 7 × I_a/V

7. Anodenstrom-Einsatz

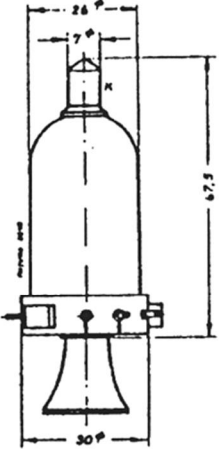
Bei Anodenstrom 3 × 10⁻⁷ A
Heizspannung 12,6 V
beträgt:
Anodenspannung — 1,5... 0 V



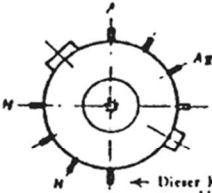
<h1>LUFTFAHRTRÖHRE</h1>	ENTWICKLUNGSFIRMA TELEFUNKEN
<h2>LG 4</h2>	ANFORDERUNGSZEICHEN Ln 30044
Duodiode für Spezialzwecke	

Vorläufige technische Daten

1. Abmessungen der Röhre

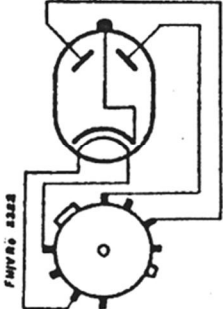


M. 1: 1,5



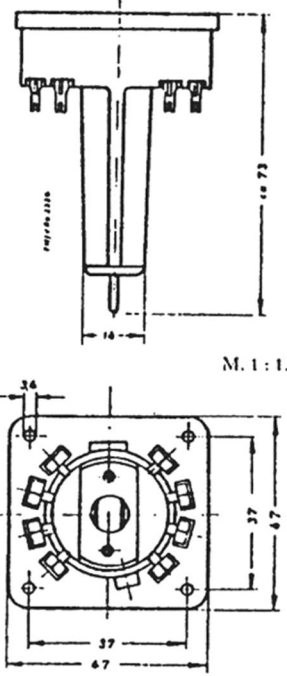
← Dieser Kontakt darf nicht angeschlossen werden

Sockelknopf abschraubbar.
Anforderungszeichen Ln 30044
Sachnummer 124 — 6019



Anschlüsse auf beiden Abbildungen von unten gegen die Röhre gesehen.

2. Röhrenfassung



M. 1: 1,5

Anforderungszeichen Ln 30139
Sachnummer 124 — 6050 A
Telefunken I.g.-Nr. 1755

Verbindliche Angaben für die äußeren Abmessungen der Röhre und der Fassung sind nur den vom R.I.M. herausgegebenen Ln-Blättern mit den angegebenen Ln-Nummern zu entnehmen.

Wenden!

3. Allgemeine Daten

Die LG 4 ist ausschließlich für Impulszwecke als Begrenzerdiode mit hoher Spannungsfestigkeit zwischen Kathode und Anode in der Sperrphase und zwischen Kathode und Brenner zu verwenden. Diese hohe Spannungsfestigkeit gilt jedoch nur für Impulsspannungen mit Impulszeiten $\leq 20 \mu\text{sec}$ und besteht nicht für Gleichspannungen, auch wenn die Werte kleiner sind als unter den max. Betriebsdaten (s. Punkt 4) angegeben. Unzulässig — weil zu Schwierigkeiten führend — ist allgemein jeder Betrieb, bei dem höhere Gleichspannungen als 500 V zwischen Kathode und Anode in der Sperrphase auftreten. Auch die unter den max. Betriebsbedingungen angegebene Spitzenstrom von 2 A für Anode 1 und 100 mA für Anode 2 ist nur bei Tastzeiten $\leq 20 \mu\text{sec}$ zulässig. Ebenso gilt die Spannungsfestigkeit zwischen Faden und Schicht in Höhe von 4,5 kV nur für Impulse, nicht aber für Gleichspannungen, bei denen zwischen Faden und Schicht eine Spannung von nur etwa 500 V zugelassen werden kann.

Die angegebenen Bedingungen verbieten den Einsatz der LG 4 als Netz- oder Meßgleichrichter.

Die Röhre ist für Bordbetrieb geeignet. Schütteltestigkeit 5 g bei 1 mm Hub. Beschleunigungsfestigkeit 8 g, wobei als Sicherheitsfaktor das 1,8fache des angegebenen Wertes vorgesehen ist.

Heizdaten:

Heizspannung	12,6 V
Heizstrom	ca. 0,53 A
Oxykathode, indirekt geheizt	

Kapazitäten:

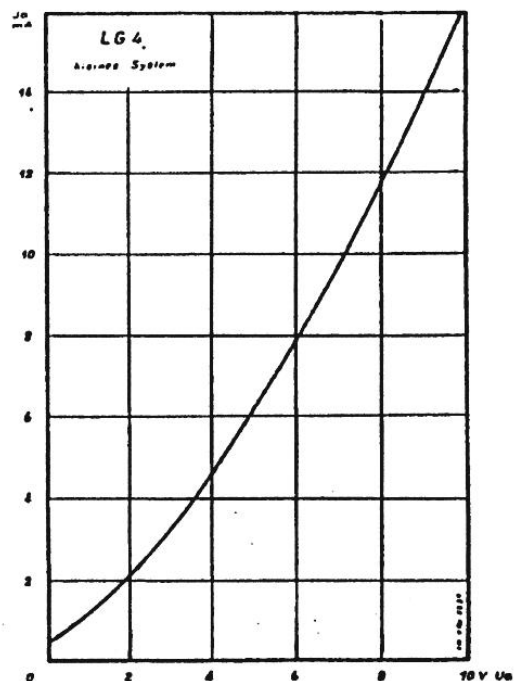
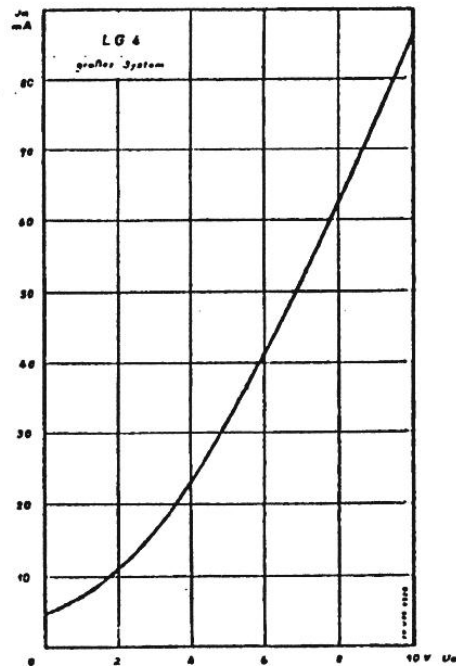
C Anode 1/Kathode	ca. 4,8 pF
C Anode 2/Kathode	ca. 1,0 pF
C Anode 1/Anode 2	ca. 0,9 pF
C Faden/Kathode	ca. 2,1 pF
C Faden/Anode 1 + 2	ca. 0,8 pF

4. Maximale Betriebsdaten

Anodenspannung (Sperrspannung bei Tastung, Tastzeit $\leq 20 \mu\text{sec}$)	4,5 kV
Spannung Faden/Schicht (bei Tastung, Tastzeit $\leq 20 \mu\text{sec}$)	4,5 kV
Anodengleichstrom (große Anode A ₁)	100 mA
Anodengleichstrom (kleine Anode A ₂)	6 mA
Anodenspitzenstrom (bei Tastung, Tastzeit $\leq 20 \mu\text{sec}$)	
Anode 1	2 A
Anode 2	100 mA

5. Anodenstrom

Bei Heizspannung	12,6 V
Anodenspannung, Anode 1 und 2	12 V
beträgt	
Anodenstrom, Anode 1	70-120 mA
Anode 2	$> 8 \text{ mA}$



Die oben angegebenen Meßwerte und Kurven sind unverbindliche Mittelwerte.

C. 1094

<p>Type: Indirekt geheizte gasgefüllte Triode zur Erzeugung von Kippschwingungen. (höchstreichbare Frequenz etwa 150000 Hz) (Valve)</p>		
<p>1) <u>Allgemeine Daten.</u></p> <p>Heissspannung 12,6 V Heizstrom 0,67± A Maximale Streuung 10,8-14,5 V</p> <p><u>Kapazitäten</u></p> <p>0 Steuergitter/Kathode 6,7± $\mu\mu\text{F}$ 0 Anode/Kathode 4,2± $\mu\mu\text{F}$ 0 Steuergitter/Anode 2,3± $\mu\mu\text{F}$ 0 Steuergitter/Heizfaden 1,5 $\mu\mu\text{F}$</p> <p>Bogenspannung 33 V</p> <p>Verhältnis zwischen Zündspannung und Gitterspannung 35 -</p> <p><u>Grenzdaten für Verwendung als Kippspannungserzeuger</u></p> <p>Höchster Scheitelwert der Spannung zwischen Anode und Gitter 1500 V Höchster Scheitelwert der Spannung zwischen Anode und Kathode 1000 V Höchster Scheitelwert des Anodenstromes 750 mA (1) Höchstwert des mittl. Anodenstromes in schwingendem Zustand 10 mA Höchster Scheitelwert des Gitterstromes 1,4 mA (2) Höchster Scheitelwert der Spannung zwischen Kathode und Heizfaden (Kathode immer positiv gegen den Heizfaden) 100 V Kleinster Widerstand Rg im Gitterkreis 1000 Ω (3) Höchster Widerstand Rg im Gitterkreis 0,5 MΩ (4)</p>		<p>LG 200</p> <p>(1)</p> <p>Der augenblickliche Bogenstrom muss bis auf diesen Wert mittels eines Widerstandes, der in die Kathoden- oder Anodenleitung geschaltet werden kann, beschränkt bleiben. Der Wert dieses Widerstandes R_a wird durch die max. Spannung am Kondensator bestimmt und muss zumindest gleich $R_a = \frac{V_{ol\ max}}{0,75}$ sein, wo $V_{ol\ max}$ der Scheitelwert der Spannung am Ladekondensator ist.</p> <p>(2)</p> <p>Für das Bestimmen des max. Gitterstromes gilt, dass während des Durchschlages der Röhre, Gitter, Anode und Kathode etwa dasselbe Potential besitzen. Die Röhre bildet dann einen Knotenpunkt im Netze der Schaltung. Aus den vorhandenen und nicht durch Kondensatoren überbrückten Widerständen folgt dann der Strom zum Gitter. In der untenstehenden Schaltung z.B. ist das Gitterspannungspotentiometer im tiefsten Stand gleichwertig mit einer Spannungsquelle von $\frac{1}{8} \times 300 = 38$ V. in Bezug auf die Minusleitung mit einem Innenwiderstand von ca. 0,1 MΩ. Im Augenblick eines Durchschlages ist die Spannung am Gitter + 300 V. Im Gitterkreis ist also eine Spannung von $300 - 38 = 262$ V. wirksam.</p>
<p>Vorläufige Technische Daten.</p>	<p>BLATT FEUILLE SHEET</p>	<p>1</p> <p>TYPE LG 200</p>
<p>Date Date</p> <p>22.10.1942.</p>	<p>Ursprüngl. Blatt Datum Supprimés: Feuille date Cancelled: Sheet date</p>	<p>Anzahl Blätter Nombre de feuilles Number of sheets</p>

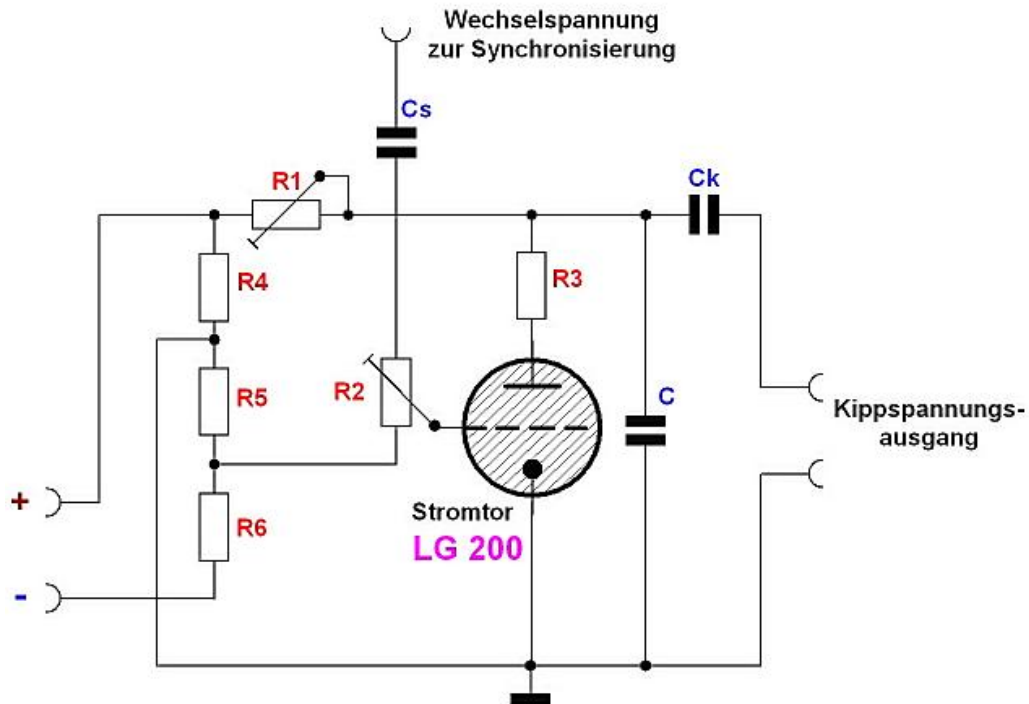


Bild 192

Kippspannungsgenerator mit Stromtor LG 200 (gasgefüllte Triode)

R_1 und C bestimmen die Kippfrequenz, R_3 legt den höchstzulässigen Entladestrom fest, bei C_s kann eine Wechselspannung zur Synchronisierung eingespeist werden, Anschluss gegen Masse; R_2 ermöglicht die Einstellung der Stärke des Gleichlaufzwanges.

Bei C_k wird die erzeugte Kippspannung ausgekoppelt. Durch entsprechend gewählte Gittervorspannung am Spannungsteiler R_5/R_6 kann die Größe der negativen Gittervorspannung der LG 200 eingestellt werden. Die Kippspannung steigt mit negativer werdender Vorspannung. Die erzeugte Kippspannung ist nicht zeitlinear. R_3 begrenzt den Entladestrom auf den für die Röhre höchstzulässigen Wert.

(Einzelheiten im obigen Datenblatt; die Schaltung entspricht nicht der im Datenblatt erwähnten)

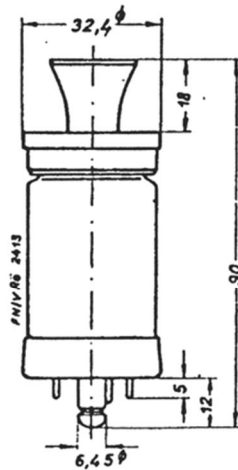
Die oben abgebildete Kippschaltung produziert keine zeitlineare Kippspannung. Sie ließe sich durch den Einsatz einer zusätzlichen sog. Laderöhre herstellen.

TELEFUNKEN

LV 1

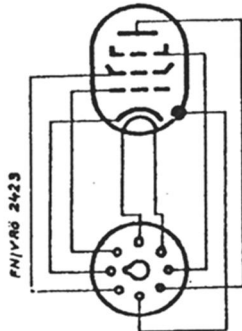
Rauscharme Pentode
für Breitbandverstärker, Vor-, End- und Sendestufen
Technische Daten und Streuwerte

1. Abmessungen der Röhre



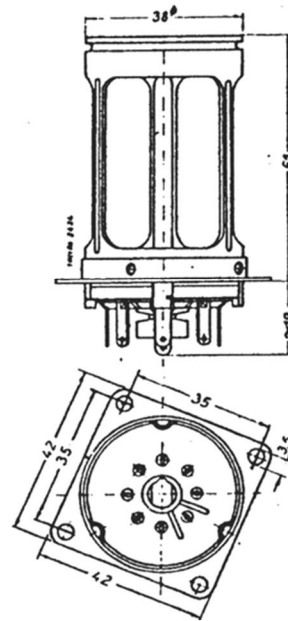
M. 1:1,5

Sockelknopf abschraubbar.



Sockelanschlüsse von unten gegen die Röhre gesehen.

2. Röhrenfassung



M. 1:1,5

Telefunken Lg.-Nr. 1731.

Verbindliche Angaben für die äußeren Abmessungen
sind nur den vom RLM herausgegebenen Ln-Blättern:
Ln 30 402 für die Röhre
Ln 30 115 für die Fassung
zu entnehmen.



Wenden!

3. Allgemeine Daten

Die Röhre ist für Bordbetrieb geeignet.
 Schüttelfestigkeit 5 g bei 1 mm Hub.
 Beschleunigungsfestigkeit 8 g, wobei als Sicherheitsfaktor das 1,8fache des angegebenen Wertes vorgesehene ist.

Heizdaten:

Heizspannung 12,6 V
 Grenzwerte der Heizspannung 10,9...14,5 V
 Heizstrom 210 ± 17 mA
 Oxydkathode, indirekt geheizt.

Reihenschaltung zweier Röhren bei Betrieb aus 25-V-Batterie zulässig. Als Ersatz für eine in der Reihenschaltung fehlende Röhre ist ein Widerstand von $50 \Omega \pm 5\%$ einzuschalten. Zur Erhöhung der Lebensdauer wird eine Stabilisierung der Heizspannung auf 12,6 V mit möglichst kleinen Abweichungen vom Sollwert empfohlen.

Kapazitäten:

C Eingang $10,2 \pm 1,3$ pF
 C Ausgang $6,6 \pm 1,1$ pF
 C Gitter-Anode $\leq 50 \cdot 10^{-8}$ pF

4. Maximale Betriebsdaten

Anodenspannung 800 V
 Anodenkaltspannung 900 V
 Schirmgitterspannung 400 V
 Schirmgitterkaltspannung 500 V
 Anodenverlustleistung 10 W
 Schirmgitterverlustleistung 1,5 W
 Kathodenstrom (Gleichstrom) 40 mA
 Kathodenstrom, Spitzenstrom bei Tastung mit Tastzeiten ≤ 5 μ sec. 0,5 A
 Kathodenstrom, Spitzenstrom bei Tastung mit überlagelter Hochfrequenz bei Tastzeiten ≤ 5 μ sec. 1 A
 Gitterwiderstand bei $Q_a \leq 5$ W 1 M Ω
 bei $Q_a > 5$...10 W 0,7 M Ω
 Bremsgitterwiderstand 0,1 M Ω
 Spannung Faden/Schicht 100 V
 Fehlstrom zwischen Faden und Schicht bei 100 V Spannungsdifferenz ≤ 100 μ A
 Außenwiderstand zwischen Faden und Schicht 5 k Ω

Dieser Wert kann bis zu einem Maximalwert von 200 k Ω erhöht werden, wenn der Isolationsstrom und die dadurch am Widerstand zwischen Faden und Schicht entstehende Spannung nicht als Störung empfunden wird. Dabei ist zu beachten, daß der Isolationswiderstand zwischen Faden und Schicht (≈ 1 M Ω) seitlich und von Röhre zu Röhre schwankt.

5. Anodenruhestrom

Bei Anodenspannung 150 V
 Schirmgitterspannung 200 V
 Gitterspannung 0 V
 Bremsgitterspannung 0 V
 Heizspannung 12,6 V

beträgt:

Anodenstrom 35...75 mA
 Bei Heizspannung 10,9 V $\Delta I_a \leq 12$ mA, I_a jedoch nicht unter 30 mA!

6. Anodenschwanzstrom

Bei Anodenspannung 250 V
 Schirmgitterspannung 200 V
 Bremsgitterspannung 0 V
 Gitterspannung -10 V
 Heizspannung 12,6 V

beträgt:

Anodenstrom $\leq 1,5$ mA

7. Gitterstromeinsatz

Bei Anodenspannung 150 V
 Schirmgitterspannung 200 V
 Bremsgitterspannung 0 V
 Gitterstrom $3 \cdot 10^{-7}$ A
 Heizspannung 12,6 V
 beträgt:
 Gitterspannung -1,5...0 V

8. Normale Betriebsdaten für HF- und NF-Vorstufen- (A-Betrieb)

Anodenspannung 250 V
 Schirmgitterspannung 200 V
 Bremsgitterspannung 0 V
 Anodenstrom 20 mA
 Kathodenwiderstand 110 Ω ¹⁾
 Gitterspannung etwa -2,5 V
 Schirmgitterstrom etwa 2,5 mA
 Schirmgitterdurchgriff etwa 2,5 %
 Steilheit $9,5 \pm 2,2$ mA/V
 Innenwiderstand etwa 0,2 M Ω
 Äquivalenter Gitterauschswiderstand etwa 0,8 k Ω
 Eingangswiderstand bei $\lambda = 10$ m ... etwa 8,5 k Ω ²⁾

¹⁾ Der Arbeitspunkt ist stets durch Kathodenwiderstand einzustellen.

²⁾ Für andere Arbeitspunkte und Wellenlängen errechnet sich der Eingangswiderstand R_e aus der Beziehung $S \cdot R_e \approx 0,35 \lambda^2$ (λ in m).

9. Normale Betriebsdaten für NF-Endverstärker in Eintakt-A-Betrieb

Anodenspannung	250	300	350	400	V
Schirmgitterspannung	250	250	250	250	V
Anodenstrom	etwa 25	25	25	25	mA
Kathodenwiderstand ¹⁾	110	110	110	110	Ω
Schirmgitterwiderstand ²⁾	0	20	40	65	k Ω
Opt. Außenwiderstand	etwa 12	15	17	19	k Ω
Nutzleistung	etwa 2,6	3,5	4	4,5	W
Wirkungsgrad	etwa 40	45	45	45	%

Die unter 4 angegebene max. Schirmgitterverlustleistung ist bei Aussteuerung der Röhre im Niederfrequenzendverstärker als zeitlicher Mittelwert aufzufassen. Überschreitungen dieses Wertes infolge der Dynamik von Sprache und Musik sind kurzzeitig also durchaus zulässig, wenn dieser Wert als zeitlicher Mittelwert eingehalten wird. Dauerton mit Überschreitung der max. Schirmgitterverlustleistung dagegen gefährdet die Röhre.

¹⁾ Der Arbeitspunkt ist stets durch Kathodenwiderstand einzustellen.

²⁾ Bei Batteriespannung = Anodenspannung.

Es wird empfohlen, die Bremsgitterspannung positiv, und zwar +20 V, zu wählen. Diese Bremsgitterspannung ist mittels Potentiometer mit einem Querwiderstand $\leq 0,1$ M Ω zu erzeugen und gegen Erde kapazitiv gut zu überbrücken. Der Steuergitterwiderstand soll einen Wert von 0,7 M Ω nicht überschreiten.



<h1>LUFTFAHRTRÖHRE</h1>	ENTWICKLUNGSFIRMA TELEFUNKEN
<h2>LV 3</h2>	Pentode für Vor-, End-, Sendestufen und Impulsbetrieb
ANFORDERUNGSZEICHEN Ln 30409	

Vorläufige technische Daten

1. Allgemeine Daten

Heizspannung 12,6 V,
Grenzwerte der Heizspannung 10,3 14,5 V
Heizstrom ca. 0,55 A ± 10%
Oxydkathode, indirekt geheizt.
Fehlstrom zwischen Faden und Schicht
bei 25 V und Heizspannung 14,5 V ≤ 25 µA

Kapazitäten:
C_{Eingang} ca. 18 pF ± 10%
C_{Ausgang} ca. 8,5 pF ± 20%
C_{Gitter/Anode} ≤ 0,2 pF

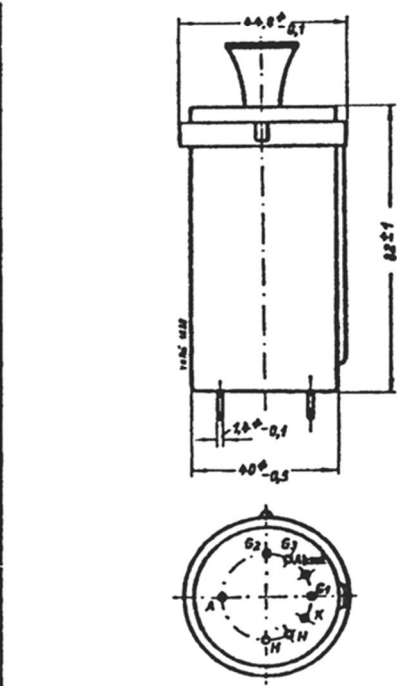
2. Maximale Betriebsdaten

Anodenspannung 1000 V
Anodenspannung bei Tastbetrieb 3500 V
Anodenkaltspannung 3500 V
Schirmgitterspannung 400 V
Schirmgitterkaltspannung 500 V
Anodenverlustleistung 12 W
Anodenverlustleistung bei U_a bzw.
U_a Kaltsp. ≤ 1000 V 18 W
Schirmgitterverlustleistung (für Aussteuerung
mit Sinuston konstanter Amplitude) 3,5 W
Schirmgitterverlustleistung (dynamisch) 5,0 W
Kathodenstrom (Gleichstrom) 100 mA
Kathodenstrom, Spitzenstrom bei Tasting
mit Tastzeiten < 5 µ sec. 2 A
Gitterwiderstand 0,3 MΩ
Bremsgitterwiderstand 50 kΩ
Spannung Faden/Schicht ≤ 100 V
Außenwiderstand
zwischen Faden und Schicht ≤ 3 kΩ

Steilheit etwa 15 mA/V

3. Anodenruhestrom

Bei Anodenspannung 250 V
Schirmgitterspannung 250 V
Gitterspannung -5 V
Bremsgitterspannung 0 V
Heizspannung 12,6 V
beträgt:
Anodenstrom ca. 105 mA ± 35%



Sockelanschlüsse von unten gegen den Röhrenboden gesehen.

Fassung RLM-Norm D 3219, Telefunken-Lg.-Nr. 1761

4. Anodenschwanzstrom

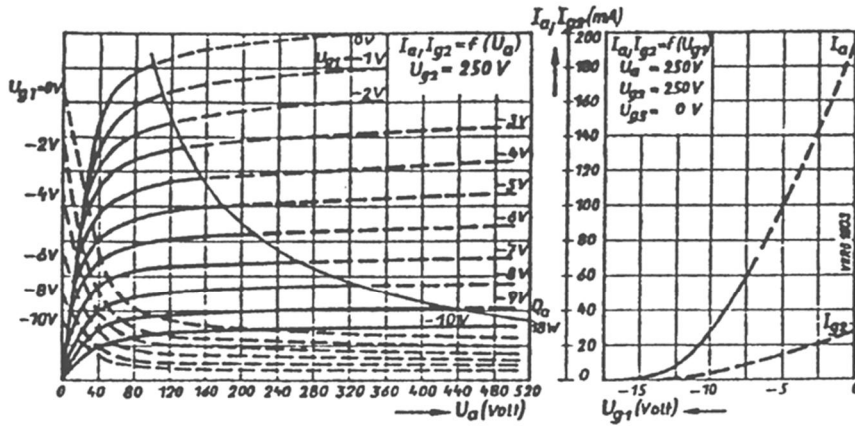
Bei Anodenspannung 250 V
Schirmgitterspannung 250 V
Bremsgitterspannung 0 V
Anodenstrom 5 mA
Heizspannung 12,6 V
beträgt:
Gitterspannung ≤ -18 V

5. Gitterstromeinsetzung

Bei Anodenspannung 100 V
Schirmgitterspannung 100 V
Bremsgitterspannung 0 V
Gitterstrom 3 × 10⁻⁷ A
Heizspannung 12,6 V
beträgt:
Gitterspannung -1,8 bis 0 V

Bei Verwendung indirekt geheizter Röhren zu Impulszwecken ist stets zuerst die Heizspannung einzuschalten. Erst nach etwa 1 Minute — wenn der Brenner richtig durchgeheizt ist — dürfen die übrigen Spannungen zugeschaltet werden!

Wenden!



6. Normale Betriebsdaten für NF-Endverstärker im Eintakt-A-Betrieb

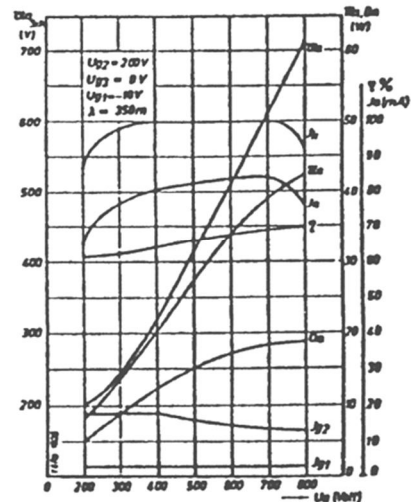
Anodenspannung	250 V
Schirmgitterspannung	250 V
Gittervorspannung	ca. -7 V
Anodenstrom	72 mA
Schirmgitterstrom	ca. 9,5 mA
Gitterwechselspannung	ca. 4,8 V _{eff}
Sprechleistung (K = 8%)	ca. 8,5 W
Außenwiderstand	3000 Ω
Kathodenwiderstand	90 Ω

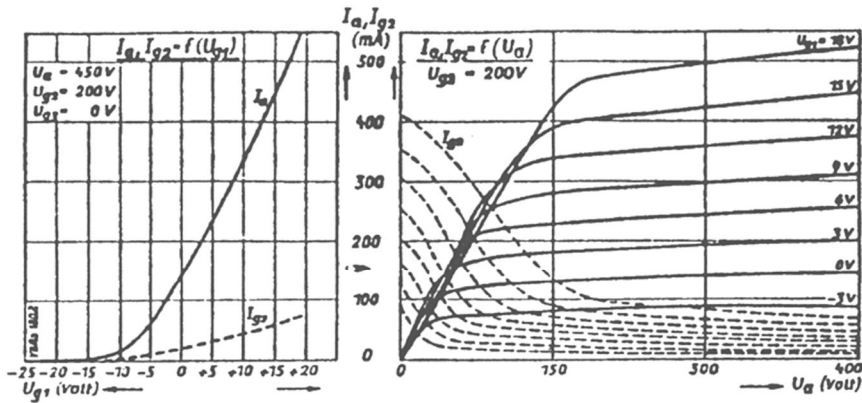
7. Normale Betriebsdaten für NF-Endverstärker im Gegentakt-AB-Betrieb

Anodenspannung	250	300	350 V
Schirmgitterspannung	250	300	350 V
Gittervorspannung	ca. -7	-10	-13 V
Anodenstrom	2 × 72	2 × 60	2 × 50 mA
Schirmgitterstrom	ca. 2 × 0,5	2 × 8	2 × 7 mA
Schirmgitterstrom bei Aussteuerung	ca. 2 × 18	2 × 15	2 × 14 mA
Gitterwechselspannung (von Gitter zu Gitter)	ca. 8	10	13 V _{eff}
Sprechleistung (K = 5%)	ca. 15,5	22,5	28 W
Außenwiderstand (von Anode zu Anode)	5	6	6 kΩ

8. Normale Betriebsdaten für HF-Senderverstärker (B-Betrieb $\lambda \geq 10$ m)

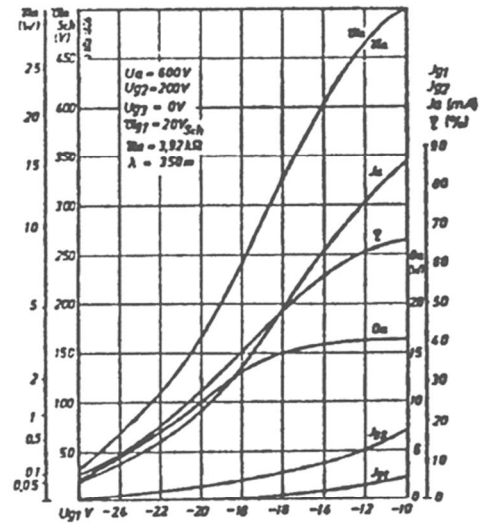
Anodenspannung	200–600 V
Schirmgitterspannung	200 V
Bremsgitterspannung	0 V
Gittervorspannung im Mittel	-10 V
Gitterwechselspannung (mittlerer Scheitelwert)	16 V
Nutzleistung	8–12 W





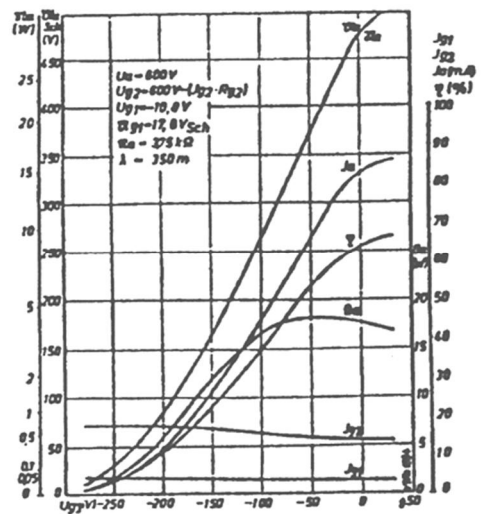
9. Steuergittermodulation

	Trägerwert	Oberstwert
Anodenspannung	600	600 V
Schirmgitterspannung	200	200 V
Bremsgitterspannung	0	0 V
Gittervorspannung	ca. -18	-12 V
Gitterwechselspannung (HF-Scheitel)	ca. 20	20 V
Gitteramplitude (NF-Scheitel)	ca. 6	V
Anodenstrom	ca. 33	76 mA
Schirmgitterstrom	ca. 5	12 mA
Gitterstrom	ca. 0,5	3 mA
Nutzleistung	ca. 7	27,5 W
Außenwiderstand	ca. 4	4 kΩ



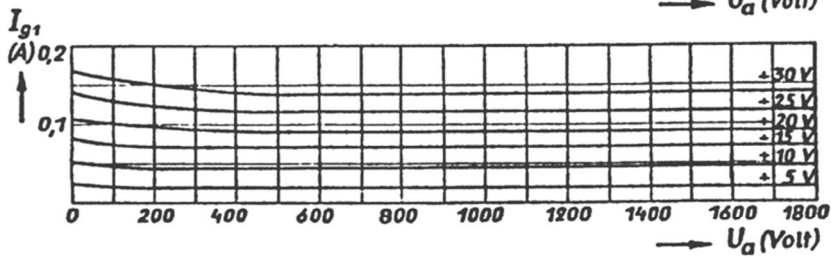
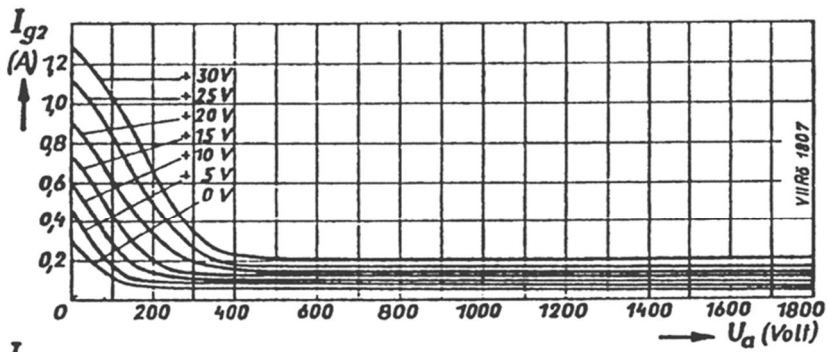
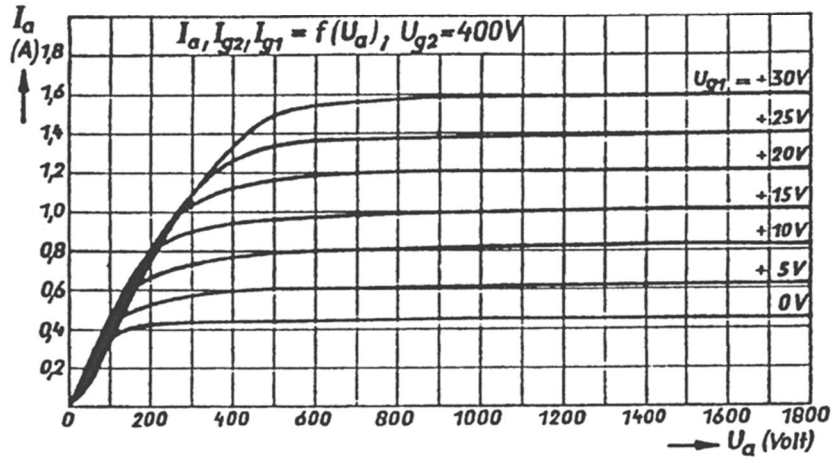
10. Bremsgittermodulation

	Trägerwert	Oberstwert
Anodenspannung	600	600 V
Schirmgitterspannung	600	600 V
Gittervorspannung	ca. -11	-11 V
Gitterwechselspannung (HF-Scheitel)	ca. 18	18 V
Bremsgittervorspannung	ca. 120	0 V
Bremsgitteramplitude (NF-Scheitel)	ca. -120	V
Anodenstrom	ca. 40	85 mA
Schirmgitterstrom	ca. 18	14 mA
Gitterstrom	ca. 5	3 mA
Schirmgittervorwiderstand	ca. 28	28 kΩ
Nutzleistung	ca. 7,5	30 W
Außenwiderstand	ca. 3,6	3,6 kΩ



11. Impulsverstärkung

Die Betriebsdaten sind den nachstehenden Kurven zu entnehmen, in denen Anodenstrom, Schirmgitterstrom und Gitterstrom in Abhängigkeit von der Anodenspannung (Parameter Gittervorspannung) aufgetragen sind. Die unter Punkt 2 angegebenen zulässigen Werte (insbesondere Tastzeit $\leq 5 \mu\text{sec.}$) sind sorgfältig zu beachten!

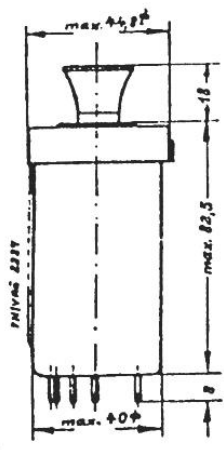


Die oben angegebenen Meßwerte und Kurven sind unverbindliche Mittelwerte

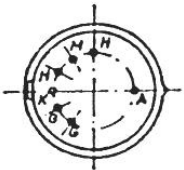
LUFTFAHRTRÖHRE		ENTWICKLUNGSFIRMA TELEFUNKEN
LV 13	Triode für Tastverstärker und getastete fremd- oder selbsterregte Senderstufen	ANFORDERUNGSZEICHEN Ln 30073

Vorläufige technische Daten

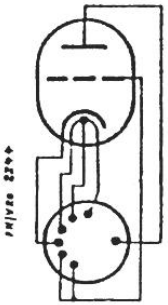
1. Abmessungen der Röhre



M. 1 : 2

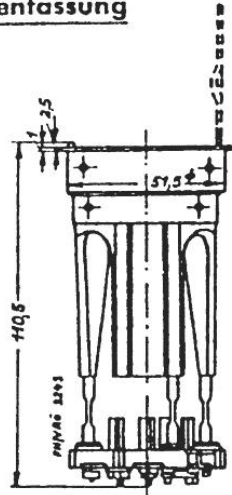


Aufbau der Röhre nach RLM-Norm D 3201.
Sockelknopf abschraubbar.
Verbindliche Angaben für die äußeren Abmessungen
sind nur in dem vom RLM herausgegebenen Ln-Blatt
30073 enthalten.

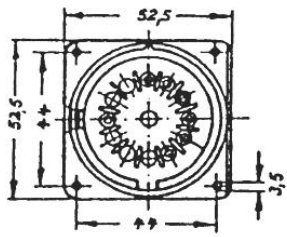


Anschlüsse von unten gegen die Röhre gesehen.

2. Röhrenfassung



M. 1 : 2



Aufbau der Fassung nach RLM-Norm D 3201
Anforderungszeichen Ln 30 123
Sachnummer 124-6034 B
Telefunken Lg.-Nr. 1778.
Verbindliche Angaben für die äußeren Abmessungen
sind nur dem vom RLM herausgegebenen
Ln-Blatt 30 123 zu entnehmen.

3. Allgemeine Daten

Höhensicherheit von Röhre und Fassung:
Bei Betrieb mit Anodengleichspannung innerhalb der zugelassenen Grenzen (siehe unter 4) ist die Fassung für alle in Frage kommenden Unterdrucke (Höhe ≤ 18 km ü. N.N.) überschlagsicher.

Wendel

Auch bei Tastung sind Fassung und Röhre bis zu den unter 4 angegebenen maximalen Betriebsdaten überschlagsicher. Lediglich bei Anodentastung und gleichzeitiger Selbst- oder Fremderregung von UKW und bei Höhen oberhalb 14 km (Luftdruck ca. 100 mm) darf der Spitzenwert der Anodenspannung (Tastspannung + HF) den Betrag von 3 kV nicht überschreiten.

Die Temperatur des Röhrenkolbens darf an keiner Stelle einen Wert von 300° C überschreiten. Bei Einbau in abgeschlossene Gehäuse erfordert dies für Verlustleistungen oberhalb ca. 20...25 W eine geringe zusätzliche Kühlung (z. B. durch Anblasen oder infolge Schornsteinwirkung).

Die maximal zulässige Temperatur an den Fassungsbuchsen beträgt 100° C.

Die Röhre ist für Bordbetrieb geeignet: Schüttelfestigkeit 5 g bei 1 mm Hub.

Beschleunigungsfestigkeit 8 g, wobei als Sicherheitsfaktor das 1,8fache des angegebenen Wertes vorgesehen ist.

Heizdaten:

Heizspannung 12,6 V
 oder wahlweise 25,2 V
 Heizstrom ca. 1,4 A
 bei Heizspannung 12,6 V

Oxydkathode, indirekt geheizt

Für Tastbetrieb wird Überheizung mit einer Heizspannung von 14,5 V dringend empfohlen. Impulsbetrieb bei Heizspannungen unter 12,6 V führt im allgemeinen zu starker Leistungsminderung, so daß Unterheizung vermieden werden muß.

Kapazitäten:

C_{Gitter/Kathode} ca. 18 pF
 C_{Anode/Kathode} ca. 2,3 pF
 C_{Gitter/Anode} ca. 12 pF

4. Maximale Betriebsdaten

Anodenspannung 1200 V
 Anodenkaltspannung 1400 V
 Anodengleichspannung bei Impulsbetrieb mit Anodentastung (Tastzeiten $\leq 3 \mu\text{sec}$) 2000 V
 Anodenverlustleistung 30 W
 Gitterverlustleistung 4 W
 Kathodenstrom (mittlerer Gleichstrom) 200 mA

Kathodenspitzenstrom bei Betrieb als Tastverstärker (Tastzeiten $\leq 3 \mu\text{sec}$) 15 A
 Kathodengleichstrom während der Tastung (Tastzeiten $\leq 3 \mu\text{sec}$) bei Betrieb als selbst- oder fremderregte Senderöhre 8 A
 Gitterspannung (Momentanwerte) $\pm 250 \text{ V}$
 Äußerer Gitterwiderstand (nur zulässig bei B- und C-Betrieb) 5 k Ω
 Spannung Faden/Schicht $\pm 100 \text{ V}$
 Äußerer Widerstand Faden/Schicht 2 k Ω

5. Statische Daten (siehe Kennlinienfeld)

a) Kennwerte:

Bei Anodenspannung 250 V
 Anodenstrom 160 mA
 Heizspannung 12,6 V

betragen:

Gitterspannung . . ca. -7 V
 Steilheit ca. 30 mA/V
 Verstärkungsfaktor ca. 20

b) Schwanzstrom:

Bei Anodenspannung 800 V
 Anodenstrom 5 mA
 Heizspannung 12,6 V

beträgt:

Negative Gitterspannung $\leq 90 \text{ V}$

c) Gitterstrom:

Die nachstehende Tabelle gibt den Wert des Gitterfehlstromes an, mit dem in Abhängigkeit von der Anodenverlustleistung Q_a und der Gitterverlustleistung Q_g maximal gerechnet werden muß:

I_g max. in mA für

	$Q_g = 0 \text{ W}$	1 W	2 W	3 W	4 W
$Q_a = 0 \text{ W}$	0,2	0,2	0,3	0,3	0,3
10 W	0,2	0,2	0,3	0,5	1
20 W	0,2	0,4	0,7	1,5	3
30 W	0,2	1	2,5	5	10

Wegen des Gitterstromes wird für alle Betriebsarten Transformatoreingang empfohlen.

d) R_{IL} ca. 20 Ω

6. Verwendung als Impulsverstärker
(Tastzeit $\leq 3 \mu\text{sec}$)

- a) Bei Anodenspannung 850 V
abzüglich Spannung
am Kathodenwider-
stand ca. - 90 V
Heizspannung 12,6 bis 14,5 V

beträgt:
Nutzleistung ca. 4 kW

Dabei sind:
Anodenspitzen-
strom ca. 6,5 A
Außenwiderstand . ca. 100 Ω
Gitterspannung
(Spitzenwert der
von der Steuerstufe
gelieferten Span-
nung) ca. 200 V
Steuerleistung . . . ca. 0,5 kW

Als Steuerröhre kann in diesem Falle
1 Röhre LD 2 mit gleicher Anoden-
spannung von 850 V benutzt werden.

- b) Bei Anodenspannung 1200 V
abzüglich Spannung
am Kathodenwider-
stand ca. - 120 V
Heizspannung 12,6 bis 14,5 V

beträgt:
Nutzleistung ca. 9 kW

Dabei sind:
Anodenspitzen-
strom ca. 11 A
Außenwiderstand . ca. 75 Ω
Gitterspannung
(Spitzenwert der von
der Steuerstufe ge-
lieferten Spannung) ca. 300 V
Steuerleistung . . . ca. 1 kW

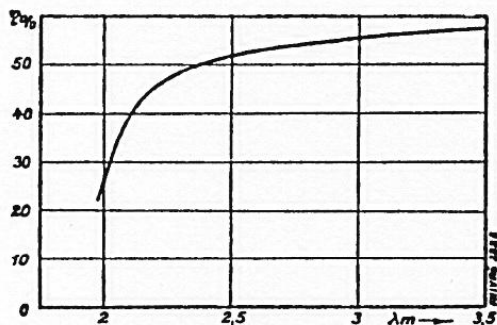
Als Steuerröhren kommen LD 2 mit einer
Betriebsspannung von 800 V in Frage.
Für 2 Röhren LV 13 sind zweckmäßig
2 bis 3 Röhren LD 2 als Steuerröhren
einzusetzen.

7. Verwendung als hochgetastete

Oszillatorröhre

Die LV 13 ist bis herunter zu $\lambda \approx 2,3 \text{ m}$ auch
als Oszillatorröhre mit Anodenspannungs-
tastung brauchbar. Allgemein ist dabei

Gegentaktschaltung zu empfehlen. Sie hat
u. a. den Vorteil, eine wesentlich kleinere
kapazitive Belastung des Tastgerätes dar-
zustellen und erlaubt somit, kürzere Tast-
zeiten herzustellen. Dabei sind für Wellen-
längen unterhalb von etwa 10 m Kathode
+ Heizung jeder Röhre gegen Erde abzu-
stimmen. Wegen der relativ hohen Kapazi-
täten sind die äußeren Kreisinduktivitäten in
der Nähe der Grenzwellen außerordentlich
klein. Diese Tatsache ist im Hinblick auf die
beim Auswechseln der Röhren ohne Nach-
stimmen infolge der Kapazitätsstreuungen
auftretenden Frequenzänderungen zu be-
achten. Als maximaler Gleichstrom während
des Tastimpulses ($\leq 3 \mu\text{sec}$) ist ein Wert von
etwa 8 A je Röhre anzusetzen.



Das obenstehende Kurvenbild zeigt den Wirkungsgrad in Abhängigkeit von der Wellenlänge, der für Anodenspannungen von 500 bis 2000 V praktisch unabhängig von dieser ist.

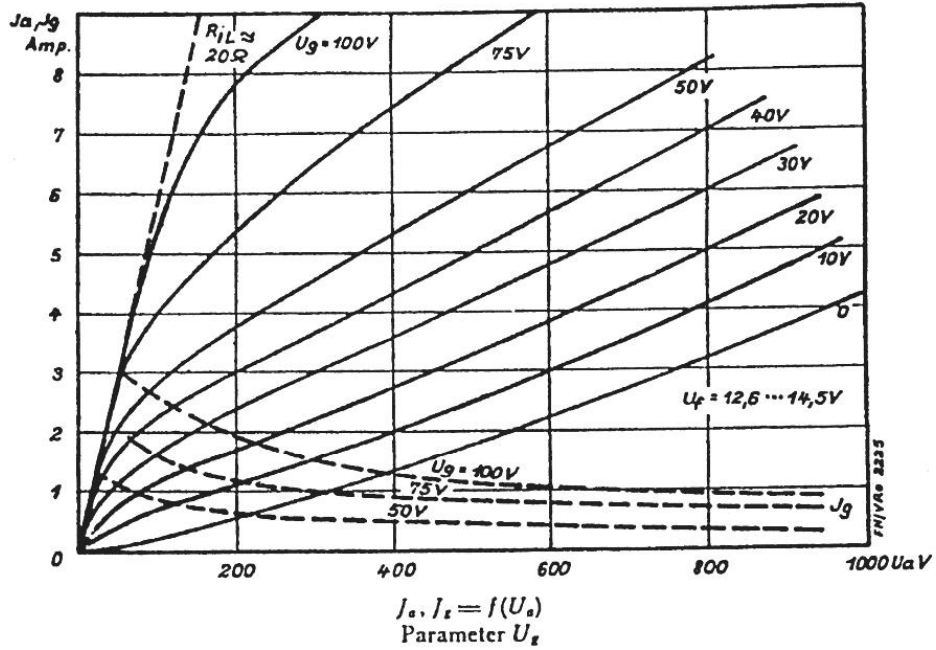
Es ergibt sich bei

- Wellenlänge 3 m
- Anodentastspannung 1500 V
- Kathodengleichstrom
während des Tastimpulses
für 2 Röhren ca. 16 A
- Anodengleichstrom wäh-
rend des Tastimpulses für
2 Röhren ca. 13 A
- Tastleistung ca. 20 kW
- Wirkungsgrad ca. 55 %
- Nutzleistung ca. 11 kW
- Anodenverlustleistung
für 2 Röhren ca. 9 kW

Wenden!

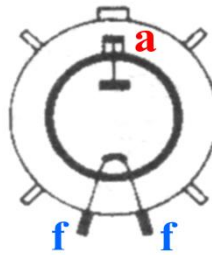
Zur Einhaltung des maximalen zeitlichen Mittelwertes der Anodenverlustleistung von 30 W ist also unter diesen Bedingungen ein

Tastverhältnis von 1:150 nicht zu unterschreiten.



Röhrendaten des HV-Einweggleichrichters LG 15

LG 15	Fernseh GmbH
Typ	Einweg-HV-Gleichrichter
Heizung	direkt
Heizspannung U_f	1.2 V
Heizstrom I_f	0.09 A
Sperrspannung U_{sperr} (max.)	6 kV
Anodenstrom I_a (max.)	2 mA



LG 15

Anhang 8

Fernsehkamera der USAAF für Gleitbomben

Bild 193 a
Schaltung (Teil 1)
der RCA Television Camera CRV-59AAE (USAAF)
© Schröder, 2008

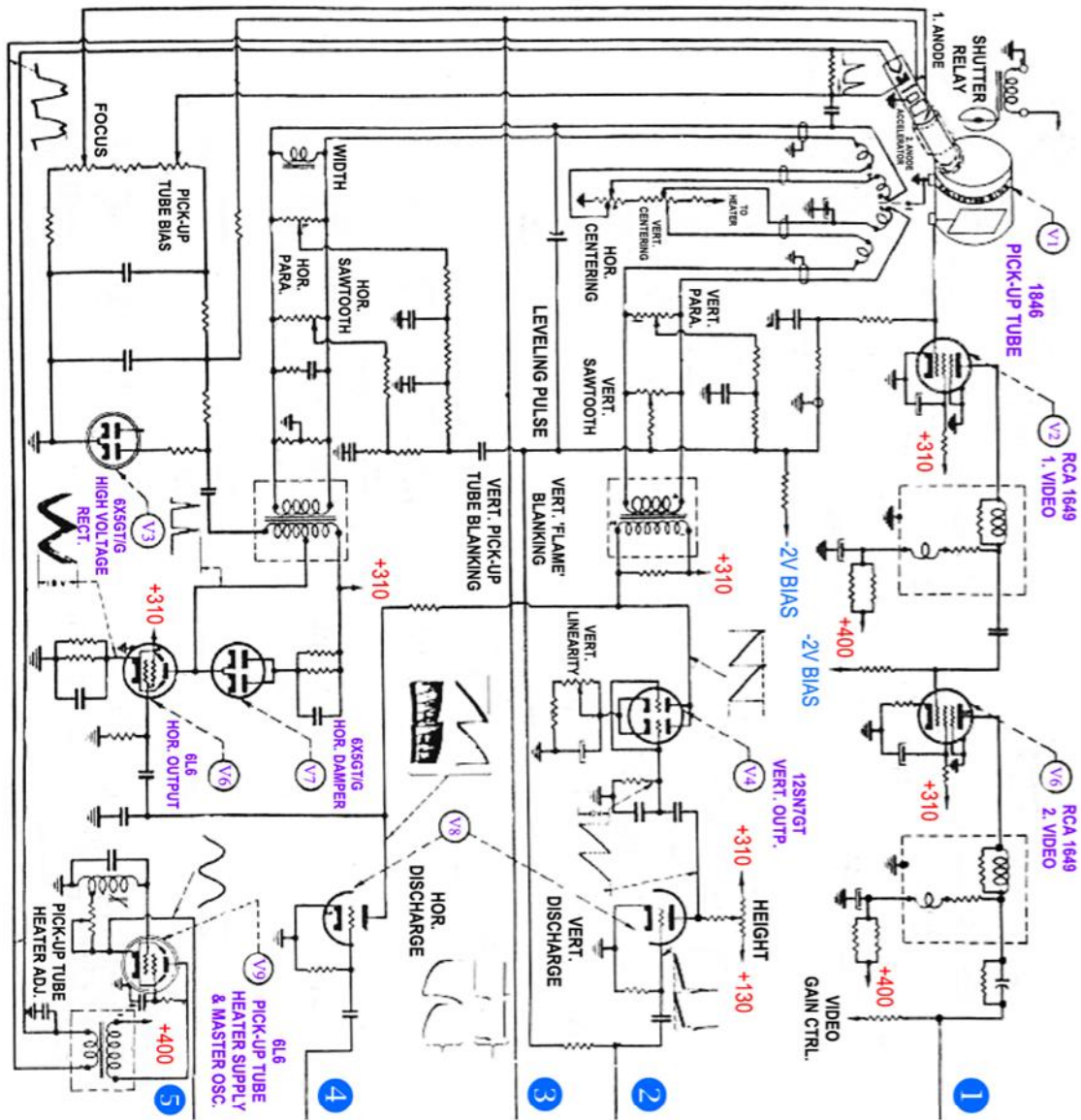
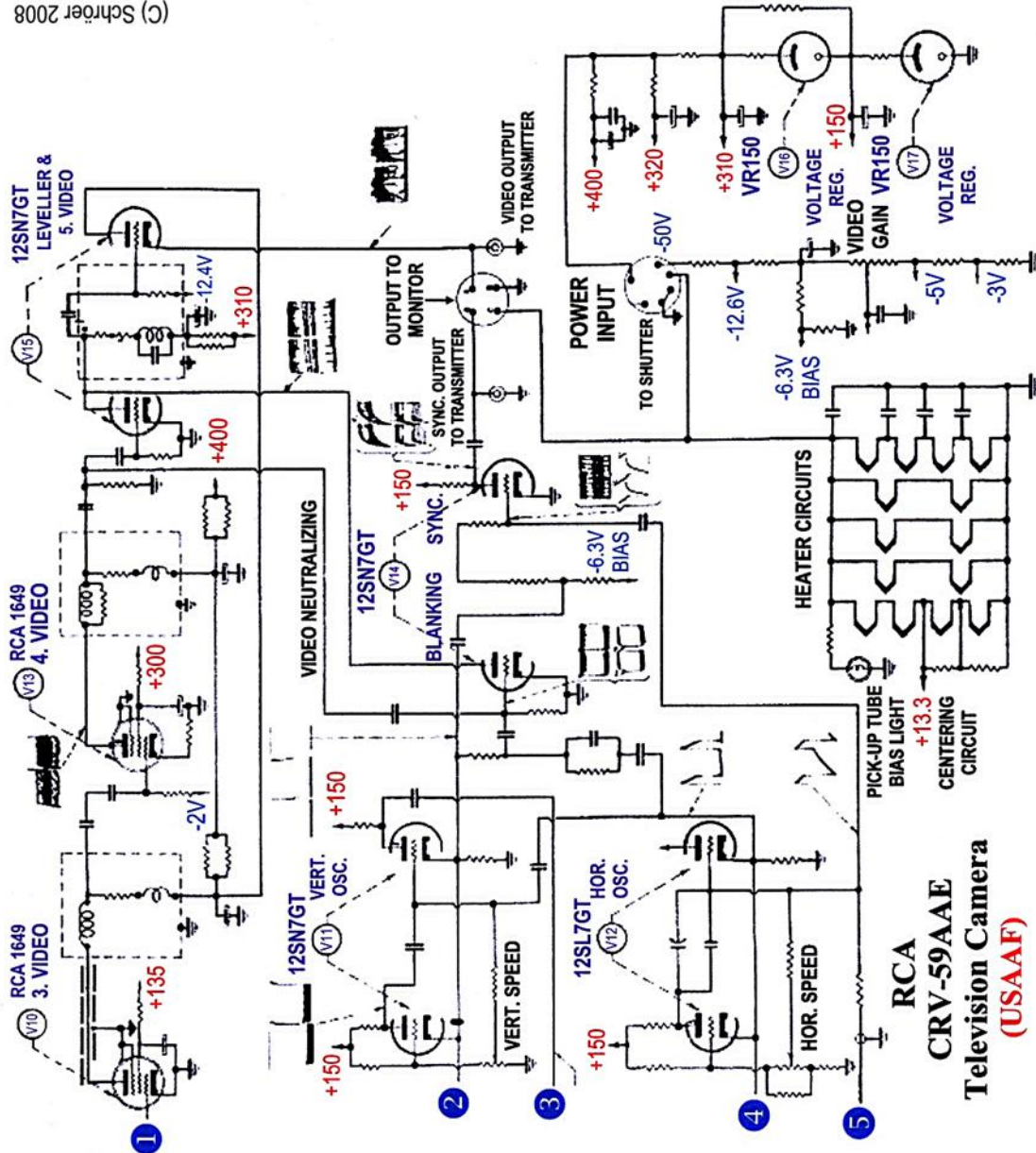


Bild 193 b
 Schaltung (Teil 2)
 der RCA Television Camera CRV-59AAE (USAAF)
 © Schröder, 2008

(C) Schröder 2008



Anhang 9

Fernsehzielverfahren für Gleitbomben

von Georg Schubert²

Einleitung

Als man 1939 in Erwägung zog, zur Fernsteuerung von Gleitbomben die Fernsehtechnik einzusetzen, schien diese Aufgabe fast unlösbar. Man konnte um diese Zeit zwar Freilichtaufnahmen³ mit einem Verhältnismäßig großen technischen Aufwand bei guten Lichtverhältnissen übertragen, die Apparaturen aber waren umfangreich und hatten die Größe von mehreren Schrankkoffern. Es galt also zunächst, die Apparaturen rücksichtslos zu verkleinern, die vielfach mit Spezialröhren arbeitenden Fernsehgeräte auf bei der Wehrmacht übliche Röhren umzustellen und trotz der ebenfalls notwendigen Verkleinerung der Bildfängerröhre diese hinsichtlich ihrer Empfindlichkeit noch zu verbessern. Diese gewaltige Aufgabe ist heute im großen und ganzen gelöst. Es wird erwartet, daß in der nächsten Zeit in Verbindung mit der Hs 293 D der erste Wurf nach dem Fernsehsteuerungsverfahren durchgeführt wird.

Die zur Fernsehsteuerung verwendete Fernsehapparatur besteht grundsätzlich aus der Aufnahmekamera und dem drahtlosen Sender in der Bombe und der Empfangsanlage im angreifenden Flugzeug. Die Kamera enthält neben der Optik, welche auf der Photokathode des Bildspeicherrohrs mit Vorabbildung (Super-Ikonoskop) das zu übertragende Bild entwirft, die zum Bildspeicherrohr gehörige Elektronenoptik, die Ablenkorgane, die Hochspannungserzeugung, einen Kleinsttaktgeber zur Erzeugung der Synchronisierungsimpulse und den Bildverstärker, welcher das Einkanalgemisch für den drahtlosen Sender liefert. Der drahtlose Sender enthält außer dem einstufigen Nachverstärker lediglich die eigenerregte Senderöhre, die mit Hilfe einer besonders einfachen Gitterdioden-Steuerung moduliert wird. Die Abstrahlung erfolgt über eine sogenannte Yagi-Antenne, die aus dem eigentlichen $\lambda/2$ -Strahler, einem Reflektor und mehreren Wellenrichtern besteht. Die Empfangsanlage besteht zur Zeit ebenfalls aus einer Yagi-Richtantenne, dem UKW-Empfänger, dem Zwischenfrequenzverstärker und wahlweise einem oder zwei niederfrequenten Empfängern mit Bildwiedergaberohr, so daß gleichzeitig 2 Beobachter das Bild sehen können.

Die Fernsehübertragung erfolgt bekanntlich in der Weise, daß in dem Bildfängerrohr (Kamera) das auf die Bildspeicherplatte optisch oder elektronenoptisch entworfene Bild zeilenweise nach Bildpunkten aufgerastert und jedem Bildpunkt zugeordnete Helligkeitswert in einen elektrischen Impuls umgewandelt, verstärkt und ausgestrahlt wird. Im Bildwiedergabegerät werden die nacheinander synchron einfallenden elektrischen Impulse verstärkt und dadurch, daß sie über den *Wehneltzylinder* die Intensität des auf den Leuchtschirm fallenden Elektronenstrahls der Braunsehen Röhre steuern, in Lichtimpulse und so in das Bild rückverwandelt. Verwendet man z. B. zur Übertragung eines Bilds eine Aufrasterung in 441 Zeilen, so ergibt das bei quadratischem Format eine Bildpunktzahl von rund 200 000. Überträgt man diese nach dem sogenannten Zeilensprungverfahren, indem man bei einem Rasterwechsel z.B. die 1., 3., 5., 7. usw. und bei dem darauffolgenden die 2., 1., 6., 8. Zeile abtastet. so entstehen für das Auge zwar 50 Rasterwechsel und damit ein flimmerfreies

² Vortrag *Georg Schuberts* am 5. November 1942 anlässlich der Arbeitstagung der *Deutschen Akademie für Luftfahrtforschung* in Berlin

³ 441 Zeilen, Zeilensprungverfahren, 50 Bildwechsel

Bild, hinsichtlich der Berechnung des Frequenzbandes aber nur 25 echte Bildwechsel. Man hat nach diesem Verfahren pro Sekunde 5 000 000 Impulse zu übertragen. Nach einer vereinfachten Annahme ergibt sich ein zu übertragendes Frequenzband von 2,5 MHz. Daraus geht hervor, daß zur Übertragung nur Ultrakurzwellen im m oder dm-Gebiet verwendet werden können, da die Trägerwelle ein Vielfaches des zu übertragenden Frequenzbandes sein soll. So entspricht z. B. eine 10m-Welle 30 MHz, eine 1m-Welle 300 MHz und eine 0.50m-Welle 600 MHz...

Erkennbarkeit des Ziels

Eine der wichtigsten Fragen beim Fernsehzielverfahren ist die Erkennbarkeit des Ziels. Wie bereits eingangs erwähnt, ist das Auflösungsvermögen des Fernsehbilds von der Zeilenzahl abhängig. Im Fernsehbild kann grundsätzlich nur, und zwar um die entsprechende Aufrasterung verschlechtert, das Bild übertragen werden, welches rein optisch auf die Photokathode der Bildfängerröhre entworfen wird. Daraus geht hervor, daß der Bildwinkel des Objektivs zu berücksichtigen ist, wenn die Frage gestellt wird, auf welche Entfernung ein Ziel in dem Fernsehempfänger auszumachen ist. Bezeichnet man die Größe des Ziels mit y , den Bildwinkel des Objektivs mit w , die Zeilenzahl des Bilds mit z , die Entfernung zur Aufnahmekamera mit α , so ergibt sich nach Abbildung 1 die Beziehung:

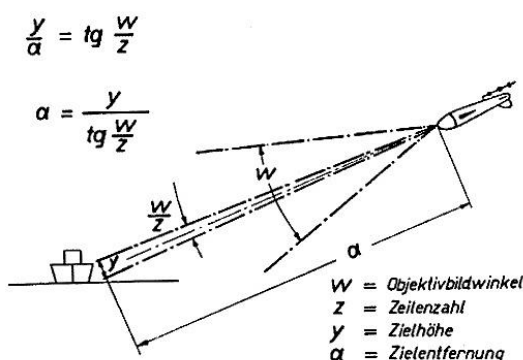


Abb. 1
Erkennbarkeit des Ziels (geometrisch)

Das ist, abgesehen von allen anderen störenden Einflüssen, die optimale Entfernung, aus welcher das Ziel bei gegebener Zeilenzahl rein geometrisch erkannt werden kann. Nimmt man als Zielhöhe z. B. 20 m an, ferner einen Bildwinkel von 10° , so wäre nach dieser Überlegung bei einer Zeilenzahl von 50 das Ziel bestenfalls aus 3.6 km, bei einer Zeilenzahl von 400 aus 45,5 km und bei einer Zeilenzahl von 1000 aus einer Entfernung von 114 km zu erkennen. Leider können diese Entfernungen praktisch nicht erreicht werden, denn es spielen die Lichtstärke des Objektivs, die Spektralempfindlichkeit der Photokathode, der Kontrast des Ziels gegen die Umgebung (Tarnung), die Sicht (Luft, Licht, Nebel, Wolken), die Beleuchtung des Ziels, die Ziellage, die Gleichmäßigkeit der Beleuchtung in der Bildebene, die Schärfe des Objektivs und schließlich auch die Form des Bildpunkts eine ausschlaggebende Rolle.

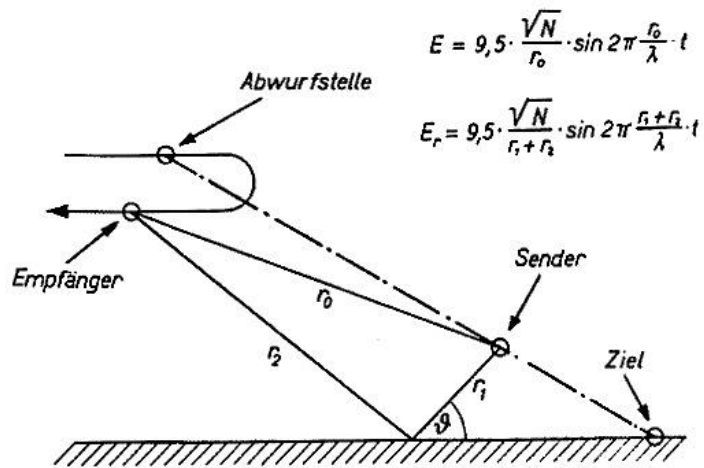
Wie aus der obengenannten Formel hervorgeht, ist rein geometrisch gesehen die Reichweite der Aufnahmekamera umgekehrt proportional dem Bildwinkel des Objektivs. Eine Verkleinerung des Bildwinkels ist daher in der Wirkung direkt einer Vergrößerung der Zeilenzahl gleichzustellen. Daraus erhellt, wie wichtig es ist, mit einem möglichst kleinen Bildwinkel auszukommen. So kommt z. B. bei der Anwendung eines 50-zeiligen Fernsehbildes die Verkleinerung des Bildwinkels auf die Hälfte, z. B. von 10° auf 5° , einer Verdop-

pelung der Reichweite, und zwar von 5,6 auf 11,2 km gleich. Man hat also den gleichen Effekt, als ob man bei einer Reichweite von 5,6 km mit 100 Zeilen arbeiten würde.

Das Problem der Übertragung des Zielbilds

Wie bereits erwähnt, kommt für die Übertragung des Bilds aus Gründen der Frequenzbandbreite nur eine Welle unter 10 m, vorzugsweise zwischen 50 cm und 3 m in Frage. Bei 441 Zeilen nach dem Zeilensprungverfahren rechnet man normalerweise als notwendige Bandbreite für eine gute Übertragung, bei der man die durch die Aufrasterung erzielbare Schärfe voll ausnutzen will, ca. 3,5 MHz. Man kann jedoch bei gewissen Zugeständnissen an die Bildschärfe bis zu 2 MHz heruntergehen. Da aus praktischen Gründen eine größere Anzahl von Bombern zum Angriff gleichzeitig angesetzt werden müssen, ist es in erster Linie wichtig festzustellen, wie viele Sender gleichzeitig nebeneinander betrieben werden könnten, ohne sich gegenseitig zu stören. Dabei soll zunächst einmal ganz außer acht gelassen werden, welches Wellenband für die Fernsehsteuerung aus Gründen der Wellenverteilung überhaupt zur Verfügung gestellt werden kann.

Der Mindestfrequenzabstand zweier nebeneinander laufender Sender muß, sofern eine Vorröhre im Empfänger nicht verwendet werden kann, $2z + b$ sein, wobei z die Zwischenfrequenz, die durch Überlagerung der Übertragungswelle im Empfänger mit Hilfe eines Oszillators erzeugt wird, und b die Bandbreite der Bildübertragung ist. Da z mit 8,4 MHz gewählt wurde, wird der Abstand der Sender ohne genügende Vorselektion mindestens rund 20 MHz.



$$E = 9,5 \cdot \frac{\sqrt{N}}{r_0} \cdot \sin 2\pi \frac{r_0}{\lambda} \cdot t$$

$$E_r = 9,5 \cdot \frac{\sqrt{N}}{r_1 + r_2} \cdot \sin 2\pi \frac{r_1 + r_2}{\lambda} \cdot t$$

Abb. 2
Direkte und reflektierte Senderstrahlung

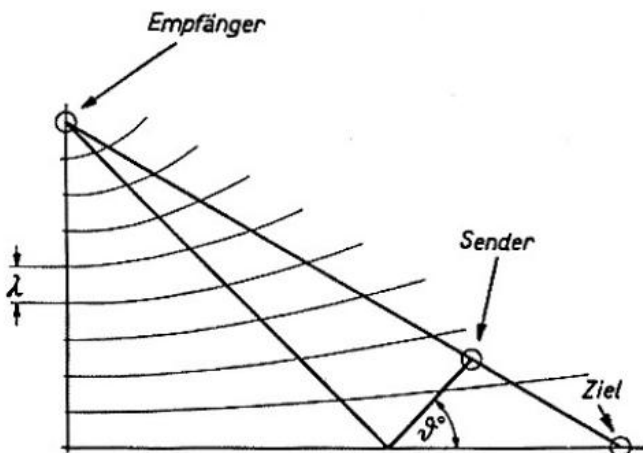


Abb. 3
Kurven der Interferenzminima

Bei dieser Betrachtung sind Oberwellen außer Betracht gelassen. In Zukunft ist damit zu rechnen, daß sich durch Einsatz neuer geeigneter Vorröhren und hochselektiver Kreise (evtl. auch durch Wahl einer geeigneteren Zwischenfrequenz) ein Abstand von 10 MHz oder darunter wird einhalten lassen. Unter dieser Annahme würden sich auf einem Frequenzband von 300 MHz, also z.B. zwischen 50 bis 100 cm, 30 Sender gleichzeitig unterbringen lassen.

Abgesehen von der Frage des zu übertragenden Frequenzbandes ist für die Wahl der Übertragungswellenlänge die Reichweite und der Leistungsbedarf maßgebend. Die Wellen unter 1 m haben im allgemeinen geringere Reichweiten, denn der Wirkungsgrad der Sender nimmt ab, und es standen bis heute nur Röhren kleinerer Leistung zur Verfügung. Die Empfangsantenne nimmt ferner unter Voraussetzung eines $\lambda/2$ -Dipols nur geringere Spannung auf. Eine Vorverstärkung unter 1 m ist bei Verwendung zur Zeit erhältlicher Röhren nicht mehr oder nur mit einem sehr geringen Verstärkungsfaktor möglich. Bei Verwendung der Mischstufe als Eingangsstufe liegt die Rauschgrenze höher.

Bei Streifen der Ausbreitung über Land oder über See, also geringer Antennenhöhe (optische Sicht) findet starke Absorption statt. Andererseits kann mit Wellen unter 1 m mit leichter mit Richtverstärkung gearbeitet und damit eher eine Geheimhaltung erzielt werden. Ferner treten weniger atmosphärische Störungen auf. Die Funkstörungen durch Motoren sind geringer. Die Störmöglichkeiten durch Feinstörsender sind ebenfalls geringer, da die Wellen schwerer zu finden sind und Störmöglichkeiten schlechter beherrscht werden. Als Vorteile der längeren Wellenlängen sind zu verbuchen: besserer Wirkungsgrad der Sender, größere Senderleistung, größere Spannungen in der Empfangsantenne, gute Vorverstärkung in der Eingangsstufe, niedrigere Rauschgrenze, bessere Ausbreitungsverhältnisse, mit Rücksicht auf Reichweite Bündelung nicht notwendig, hingegen allerdings leichtere Störmöglichkeit.

Bezeichnet man mit N die abgestrahlte Leistung des Senders, so gehorcht die Feldstärke am Empfangsort, wobei die Verhältnisse beim Abwurf durch Abbildung 2 gegeben seien, [obigen] Bedingungen.

Die Amplitude des reflektierten Strahls längs $r_1 + r_2$ ist, da sie einen größeren Weg zurücklegt, kleiner als die des direkten Strahls über r_0 . Eine weitere Schwächung des reflektierten Strahls findet durch den Reflexionskoeffizienten an der Oberfläche statt; er ist kleiner als 1. Je nach Phasenlage findet am Empfangsort eine Addition oder Subtraktion des Strahls statt. Bei Veränderungen des Empfangsorts (bewegtes Flugzeug – Bombe) wird das Feld daher ein Maximum oder Minimum, siehe Abbildung 3. Die Interferenzscharen stellen Hyperbeln dar.

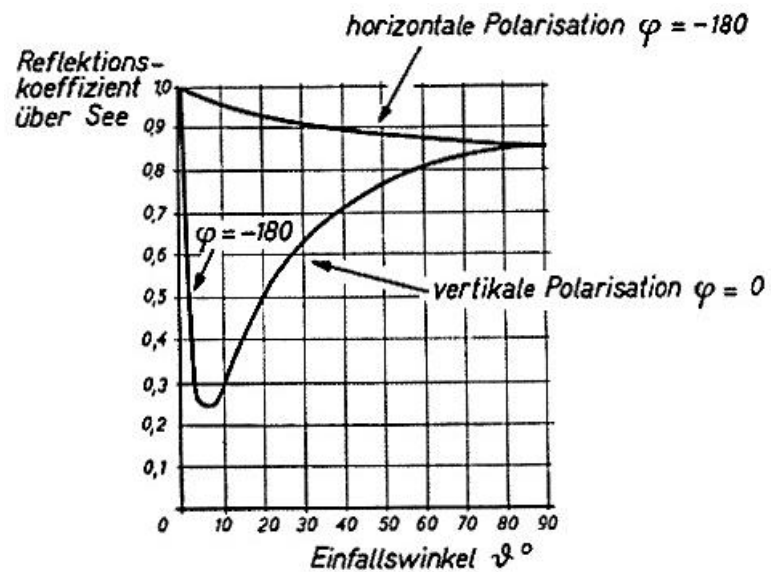


Abb. 1
Reflexionskoeffizient ($\lambda = 70$ cm)

Der Minimalabstand zweier Interferenzkurven beträgt $\lambda/2$. Die beim Abwurf schnell pulsernde Spannung am Empfänger muß durch eine Fadingregulierung ausgeglichen werden. Die Zeitkonstante der Fadingregulierung ist entsprechend klein zu halten. Die Fadingregulierung wird unwirksam, wenn die Empfangsspannung einen gewissen Wert unterschreitet. Es tritt dann ein kurzzeitiges Verschwinden des Bilds bzw. sehr starker Grieb im Empfänger auf. Dieser Minimalwert hängt von der Polarisationsrichtung der Übertragungswelle ab.

Abbildung 4 zeigt die Abhängigkeit des Reflexionskoeffizienten vom Einfallswinkel über See, wo alle Erscheinungen besonders klar und eindeutig auftreten. Über Land sind Minimum und Maximum weniger ausgeprägt. Bei horizontal polarisierten Wellen ist der Reflexionskoeffizient ungefähr 1, bei Vertikalpolarisation dagegen durchläuft er ein Minimum im sogenannten Brewster'schen Winkel und nähert sich bei großem Einfallswinkel dem Horizontalkoeffizienten.

Zur Erzielung einer gering reflektierenden Strahlung ist ein Abwurf über See. z. B. bei 3 bis 7°, für die Reichweite besonders günstig, was etwa 6 bis 14° Neigungswinkel der Flugbahn des Körpers entspricht. Versuchsergebnisse bestätigen diese Anschauung. Die Minima sind bei vertikaler Polarisation wesentlich schwächer. Durch Anwendung einer zirkulär polarisierten Welle wäre für steilere Winkel eine Verbesserung zu erzielen. Versuche in dieser Richtung sind im Gange. Bei Zirkularpolarisation subtrahieren sich die reflektierten Anteile, da der horizontale und der vertikale Strahlungsanteil entgegengesetzte Phase besitzen. Als Richtantenne haben sich wegen ihrer Einfachheit Anordnungen nach Yagi besonders bewährt. Bei diesen Richtstrahlern erfolgt die Kopplung der einzelnen Strahlungselemente durch Strahlung. Die Abstimmung ihrer Phasenlage erfolgt durch ihre Längen und durch ihre gegenseitigen Abstände. Der Halbwertswinkel der Horizontalcharakteristik beträgt bei den angewandten Antennen $\pm 35^\circ$, der der Vertikalcharakteristik unter $\alpha = 10^\circ$ nach schräg oben $\pm 30^\circ$.

Zur Frage der Synchronisierung des Zielbilds

Bei allen Versuchen zeigte sich, daß beim Durchlaufen der Minima ebenso wie beim Einfall fremder Störer die zur Übertragung des Fernsehbilds erforderlichen Synchronisiersignale am störempfindlichsten sind. [...] Bei der Übertragung [werden] etwa 50% der Senderleistung für das Synchronisiersignal und 50% für den Bildinhalt verwendet. Bei den sonst üblichen Fernsehübertragungen ist der Synchronisieranteil geringer, und zwar nur 25%. Es hat sich jedoch als erforderlich gezeigt, mit Rücksicht auf Störungen den Synchronisieranteil im vorliegenden Fall zu erhöhen.

Wenn es gelingt, die Synchronisierung störfest zu machen, ist der Bildinhalt noch unter verhältnismäßig schlechten Empfangsbedingungen zu erkennen, und zwar praktisch so lange, bis das Bild im Empfangsgriß verschwindet. Es wurde daher versucht, sowohl in der Kamera als auch im Empfänger die Synchronisierfrequenz für Bild und Zeile örtlich durch entsprechende Teilerschaltungen von zwei gleichen Quarzen abzuleiten. Es ist dabei natürlich Voraussetzung, daß die Frequenz der Quarze über einen längeren Zeitraum konstant bleibt. Erforderlich ist eine Genauigkeit von mindestens 10^6 . Außerdem ist Voraussetzung, daß man Quarze in genügender Anzahl findet, welche die genau gleiche Frequenz erzeugen.

Nachdem ein prinzipieller Versuch mit solchen quarzsynchronisierten Apparaturen gezeigt hatte, daß alle erwarteten Vorteile auftreten, wurde versucht, die Quarze durch andere Mittel zu ersetzen. Nach Abschluß einer größeren Reihe von Versuchen wurde die sogenannte Mitnahmesynchronisierung als am geeignetsten befunden. Sie besteht im wesentlichen darin, daß sowohl Sender als auch Empfänger an Stelle der Quarze einen Schwingungskreis von etwa 10^{-4} Genauigkeit besitzen, der die Zeilenfrequenz erzeugt.

Der im Empfänger eingebaute Schwingungskreis wird durch die ankommenden Synchronisiersignale im Mitnahmebereich korrigiert. Dabei ist es jedoch nicht notwendig, daß jedes Synchronisiersignal ankommt. Auch beim Ausfall einzelner Synchronisiersignale hält der Schwingungskreis wie ein »elektrisches Schwungrad« den Empfänger in Takt, und es hängt im wesentlichen von der Ausführung der Schaltung im einzelnen ab, wie fest die

Synchronisierung auch bei Störungen ist. Die Bildfrequenz kann dann entweder aus der so stabilisierten Zeilenfrequenz abgeleitet oder auch nach der gleichen Methode direkt erzeugt werden. Diese Methode gestattet auch eine bessere Ausnutzung der Senderleistung, da es nicht mehr notwendig ist, etwa 50% derselben zur Übertragung der Synchronisierung einzusetzen. Vielmehr kann man bis auf etwa 5% heruntergehen, was einer entsprechenden Steigerung der Reichweite gleichkommt. Es ist dabei jedoch notwendig, bei Beginn der Übertragung im Empfänger Bild und Zeilenphase einzustellen, was aber durch wenige Handgriffe leicht möglich ist.

Eine zweite, sehr interessante Methode einer störtesten Synchronisierung sei ebenfalls noch erwähnt. Man kann sowohl für Sende- als auch Empfangsseite die Synchronisierungssignale durch entsprechende Teiler-Schaltungen aus einer Mutter- oder Taktgeberfrequenz ableiten, die entweder mit einem besonderen Sender ausgestrahlt oder durch einen sonst vorhandenen Sender direkt gegeben ist.

So wurden sehr erfolgreiche Versuche mit der Welle des Deutschlandsenders als Mutterfrequenz zur Synchronisierung von Fernsehübertragungen durchgeführt. Die dabei auftretende Schwierigkeit, daß bei eventueller Übersteuerung des Deutschlandsenders die Taktgeberfrequenz ausfällt, kann durch Anwendung des bereits erwähnten »elektrischen Schwungrads« behoben werden. Auch in diesem Fall muß Bild- und Zeilenphase beim Beginn der Sendung am Empfänger eingestellt werden. Diese Methode würde es also dem Gegner erschweren, die Fernsehübertragung restlos zu zerstören, da er dann gleichzeitig auch die für die Synchronisierung benutzten Wellen ermitteln und stören müßte. Selbstverständlich muß dabei gewährleistet sein, daß der die Mutterfrequenz liefernde Sender nicht abgeschaltet wird. Zunächst wird jedoch wahrscheinlich die zuerst erwähnte einfachere Mitnahmesynchronisierung allen Anforderungen genügen.

Ausgeführte Geräte und Stand der Erprobung

Es soll nun eine kurze Übersicht über bisher ausgeführte Geräte (für 441 Zeilen nach dem Zeilensprungverfahren mit 50 Bildwechseln) gegeben werden [...].

Die Fernsehkamera ist so auf die Bombe aufgesetzt, daß Bombenachse und optische Achse zusammenfallen. Da durch die Pendelungen des Bombenkörpers (der Bildwinkel beträgt etwa $\pm 7^\circ$) bei diesem Aufbau das Ziel zeitweise aus dem Bildfeld verschwinden würde, wird das Objektiv mittels einer Windfahnensteuerung in der Vertikalen verschoben, so daß der Gesamtbildwinkel etwa 30° beträgt. Dem Zielvorgang selbst dient ein Zielkreis, der auf der Photokathode des Bildspeicherrohrs markiert ist.

Nach grundsätzlichen Übertragungsversuchen von Erde zum Flugzeug und umgekehrt wurden zahlreiche Versuche zwischen zwei Flugzeugen sowohl über Land als auch über See in der Art des Anflugs beim Projekt Hs 293 durchgeführt, wobei das mit der Kamera ausgerüstete Flugzeug die Rolle der Bombe übernahm und verschiedene Ziele anflug. Gearbeitet wurde auf einer Wellenlänge von 0,73 m bzw. 2 m bzw. 3,5 m. Die Versuchsflugzeuge flogen zunächst parallel, dann bog das die Bombe darstellende Flugzeug im scharfen Winkel ab, um das Ziel anzufliegen. Nach anfänglich etwas entmutigenden Ergebnissen – die Reichweite betrug nur 2 bis 3 km – wurden bei Anwendung von Yagi-Antennen, wodurch störende Reflexionen weitgehend vermieden werden konnten – Reichweiten von 50 bis 60, ja sogar über 100 km erzielt. Die Versuche waren bei Anwendung der Mitnahmesynchronisierung ebenfalls recht zufriedenstellend.

Man kann heute sagen, daß die Überbrückung von 20 km trotz der geringen Antennenleistung von etwa 10 Watt unter allen Umständen gesichert ist. Die Empfangsfeldstärke wurde mit Hilfe eines Pegelschreibers registriert. Die Versuchsflüge wurden von der *For-*

schungsanstalt der Deutschen Reichspost und der Deutschen Forschungsanstalt für Segelflug Ernst Udet, Ainring, in dankenswerter Weise durchgeführt. In der DFS, Ainring, wurden ferner Versuche unternommen, ein Segelflugzeug nach dem auf das Steuerflugzeug übertragenen Fernsehbild in ein Ziel zu lenken. Alle diese Versuche ergaben, daß die physikalischen Grundlagen der Aufgabe, eine Bombe nach dem Fernsehbild zu steuern, sowohl bild- als auch übertragungsmäßig als geklärt betrachtet werden können. Die Hauptaufgabe der Erprobung besteht zur Zeit darin, alle Mängel und schwachen Stellen der Fernsehapparaturen zu beseitigen und auch den Einfluß verschiedener Witterungsbedingungen, Sicht usw. kennenzulernen. Es ist zu hoffen, daß in absehbarer Zeit die erste Bombe nach dem Fernsehzielverfahren ins Ziel gesteuert werden kann.

Die geschilderten Versuche wurden, wie bereits erwähnt, mit 441 Zeilen und 50 Rasterwechseln durchgeführt. Eine Versuchsapparatur mit 200 Zeilen und 25 Bildwechseln wird in den nächsten Tagen zur Erprobung gelangen. Diese Versuche liegen in Richtung der Vereinfachung der Fernsehapparatur hinsichtlich geringerer Frequenzbandbreite.

In diesem Zusammenhang soll auf die Erfolge hingewiesen werden, die mit einer sehr einfachen Fernsehübertragungsanlage für 50 Zeilen erzielt wurden (FB 50). Dabei wird in der Aufnahmekamera kein Speicherrohr, sondern eine Spirallochscheibe in Verbindung mit einer hochempfindlichen Sekundärelektronenphotozelle verwendet. Diese Apparatur eignet sich in erster Linie zum Angriff auf Seeziele, besonders wenn man von der Voraussetzung ausgeht, daß es beim Anflug vollkommen genügt, wenn das Ziel sich zunächst als Kontrastunterschied abhebt und erst bei geringerer Entfernung der Bombe vom Ziel die Bild Einzelheiten wiedergegeben werden. Der gesamte Aufwand bei dieser vereinfachten Übertragungsanlage ist etwa $\frac{1}{3}$ der mit 441 Zeilen arbeitenden. Es ist noch bemerkenswert, daß bei diesem Verfahren störende Unreinheiten oder Flecke, die beim Speicherrohr auf Photokathode bzw. Signalplatte leider zur Zeit nicht ganz vermeidbar sind, nicht auftreten, sondern man auf einer absolut gleichmäßigen Fläche das Ziel, z. B. ein Schiff, erkennen kann. Durch diesen Umstand werden manche Mängel hinsichtlich Bildauflösung wieder ausgeglichen.

Nicht unerwähnt soll bleiben, daß gleichzeitig mit dieser Angriffswaffe auch eine Abwehrwaffe in Form eines dm-Horchgeräts entwickelt wurde...“

Anhang 10

Versuchsversion (?) einer Hs 293D / V-6
mit Zwischenring

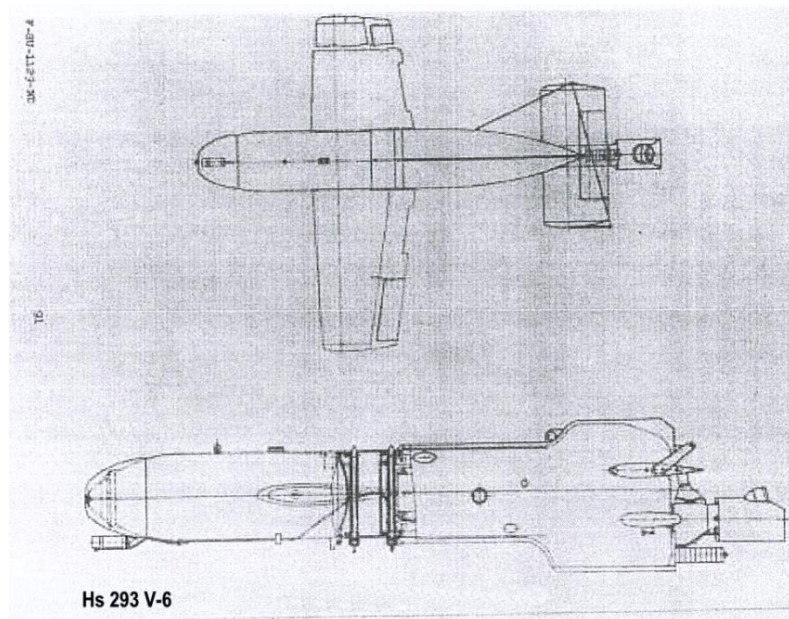


Bild 197
Hs 293 V-6
(Versuchsversion für Fernseh-Zielweisung ?)

Hs 293D
Querschnitt durch das Gerätebrett

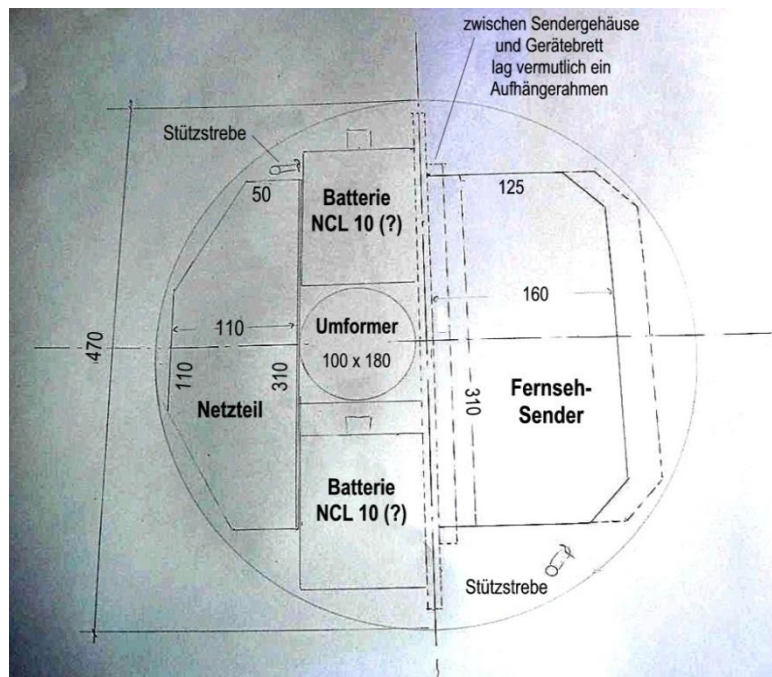


Bild 198
Hs 293D
Querschnitt durch das Gerätebrett in Höhe des Fernseh-Senders

Anhang 11

Pioneers of uhf television

Origins of uhf television go back over 40 years when it was exploited for a most remarkable use as part of the German war effort. Andrew Emmerson gives the archival details and dates the first use of cctv.

To many people u.h.f. television broadcasting is still a relatively recent phenomenon. Although exploited soon after World War 2 in the USA to a limited extent, for practical purposes the u.h.f. bands were not used for tv broadcasting in Europe until the 1960s. Experiments with tv in the u.h.f. region had gone on previously, notably by amateurs on 70 centimetres, starting with W2LNP in the USA (1950), G5ZT in Britain (1952) and growing numbers thereafter. Also the BBC's first point-to-point link, provided from London to Birmingham by the Post Office in 1949, operated in the upper reaches of u.h.f. But the origins of u.h.f. television go back further, to the period 1940-43, when it was exploited for a most remarkable purpose as part of a little-known programme of the German war effort.

The story of Allied, and particularly British, development of radar techniques has been told many times, even if not in great detail, and coupled with understandable reticence on the part of the Germans since the war, this has meant that the German achievements have received rather less attention. Nonetheless, during the years from 1940 to 1943 the Germans were the first to exploit the u.h.f. region for television, while at the same time exploiting the use of closed-circuit television. In both cases it was in connection with missiles: in the first, u.h.f. television was being used to guide radio-controlled flying bombs, and in the second c.c.tv was employed for remote observation at the V2 rocket establishment at Peenemünde. Both are remarkable in that they pre-date later work by several years and, rather like Britain's pioneer Colossus computers, have received little attention until recently. Both developments came to light during the mid-seventies, though their existence had not previously been an official secret in the same way Colossus had been. The television-controlled missiles came to light in Brian Johnson's book *The Secret War* which accompanied a BBC-tv series of the same name. And the use of closed-circuit tv at Peenemünde was recalled by Prof. Walter Bruch at the Berlin radio exhibition in 1973. Of these two early non-broadcast tv applications the guidance system is the more spectacular.

The missile which used television for guidance was the Hs293D class of flying

by Andrew Emmerson

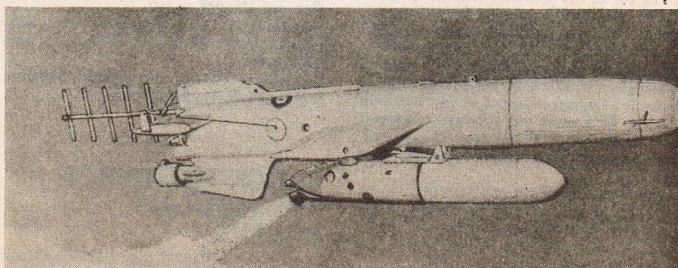
bomb and the principle was simple. The missile was launched and controlled by radio from a transmitter in a parent aircraft. A tv camera and transmitter built into the missile relayed a picture back to the bomb controller aboard the aircraft. The controller could 'fly' the missile from the relative safety of the aeroplane: when 20 km from the target the plane would turn for home while the bomb aimer would continue to 'fly' his missile, monitoring progress on the tv screen. Surviving reports indicate that the technique worked well in theory but in reality there was a fatal flaw. Just before impact, radio reflections off the target tended to break up the picture, leaving the bomb aimer very much in the dark. As a result, of the 60 to 80 flights eventually made at the Peenemünde research station on the Baltic coast only 2% were direct hits. Like so many other ingenious conceptions of the war, the Hs293D flying bomb with its tv guidance failed to see operational service. Nonetheless, the tv camera and transmitter were successful and deserve closer attention in view of their sophistication.

For capturing the images a complete miniature camera chain was developed by the Fernseh company in collaboration with the German Post Office. The standard broadcast scanning rates of 441 lines, 50 interlaced fields were followed, and the pickup tube was a Super Iconoscope fitted

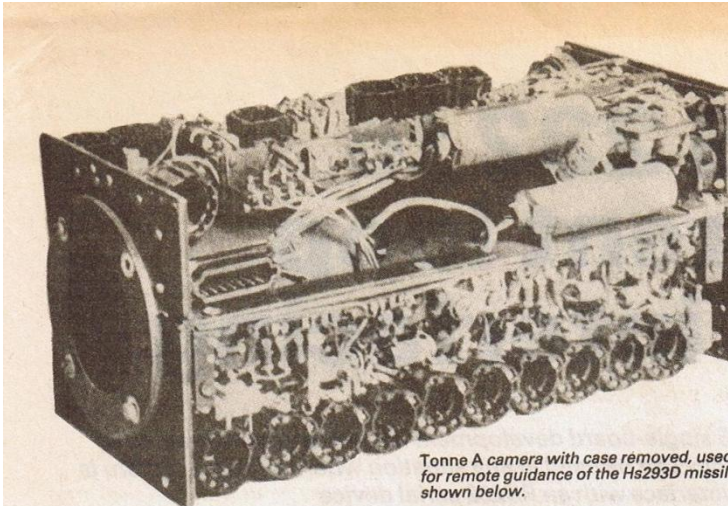
behind an electrically heated glass window in the nose of the missile. Codenamed Tonne A, the entire airborne video chain (including pulse and sweep generators) was contained on a single chassis, approximately $17 \times 17 \times 40$ cm. Apart from the picture tube, 29 miniature valves of just two types were used (RV12P2000 and RL12T1). As the illustration shows, this was a significant achievement in miniaturization.

The output from the camera fed into another minor miracle of engineering, a compact 10 watt tv transmitter. This employed self-excited TU50 triodes in combined diode load/grid bias modulation, the valves specially designed for the purpose by the Fernseh company. Transmissions were double sideband with around 2MHz bandwidth. Contrary to previous broadcast practice negative modulation was used to improve reception under weak field strength conditions and so that interference would not mask the picture with bright spots. The wavelength in use seems to have varied from one unit to another according to manufacturer — both 70 and 73 cm were used. A small five-element yagi antenna completed the package, weighing a mere 130 kg. On board the controlling aircraft a compact tv receiver comprised r.f. amplifier, receiver and 8×9 cm display tube together with another yagi antenna.

In operation the range of this transmitter was up to 150 km aircraft to aircraft with 10 watts. Flight time of the missile lasted about six minutes, and power for the transmitter and camera was derived from a battery-driven 500 Hz inverter with im-



Artist's impression of the Hs293D missile showing 70cm aerial at rear for transmitting tv pictures back to the controlling aircraft.



Tonne A camera with case removed, used for remote guidance of the Hs293D missile shown below.

portant voltages and currents stabilized. The camera - 400 were built - had remote iris control and a f2.8 35 mm lens. Codenamed Seedorf, the receiver used a 13cm diameter tube, 28cm long, giving a visible screen 8 x 9cm. Interchangeable modular r.f. sweep generator and video amplifier stage subchassis were used for ease of maintenance. Receiver sensitivity was 25 microvolts.

A film showing results from a test flight was shown to Hitler in 1943, and experiments using similar apparatus were made involving the remote control of tanks. The radio apparatus in this case used a 20 watt transmitter operating on a frequency of 86MHz (3.5 metres). Usable range was about 7km in moderately hilly countryside and up to 300km to an airborne receiver at 4000m height.

Today Prof. Walter Bruch is best known as the leader of the team who devised the PAL system of colour television used in many parts of the world. The terms Bruch blanking (and Hanover Blinds) are familiar to most tv technicians even if Bruch's further identity and his work at the Telefunken works at Hanover are unknown. But back in 1942 Bruch was leading a different team, making a unique contribution to television history. The research establishment of Peenemünde was also the site where V1 and V2 rockets were developed. Many of the early launches were distinctly unsuccessful and thought was given to a method of observation which involved the onlookers in less personal risk.

Thus it was that already in 1941 consideration was given to installing a c.c.tv

system and Bruch was summoned to Peenemünde. The task was straightforward: to link Test Site VII, where the launches were made, with the control room, a distance of some 2½km. Two cameras would be used, one with a wide-angle lens to take close-up shots of the launching ramp and the other, equipped with a telephoto lens, would take in the whole panorama as seen from the nearby Test Site I. A direct radio-frequency link that would have been ideal was rejected on security grounds, so it was decided that the signals would be transmitted by cable. An r.f. carrier of 8.4MHz was used, with vestigial sideband transmission, which had not previously been used for broadcast tv in Europe (it was part of the American RMA specification of June 1939). Despite problems encountered in procuring suitable feeders and in laying the cables, high quality picture transmission was eventually achieved.

The compact cameras and monitors incorporated some features later to be used in many subsequent c.c.tv installations. The cameras used iconoscope pickup tubes and avionic valves and the third to be built after one was lost when the first V2 rocket blew up at launch was fitted with motorized optics and a substantial glass filter to protect the lens. For lining up the camera a diascope was used, a miniature slide viewer which projected a test card onto the pickup tube, thus removing the need for any external picture source. Picture monitors were fitted with proper rectangular tubes measuring 16 inches diagonally. But unlike so many of the rocket experiments the c.c.tv equipment performed very well, though the main development work of the Peenemünde establishment tended to overshadow this and the missile researchers paid scant attention to television; for them it was merely a means to an end.

* * *

These two developments do not exhaust the experimental use of television made by the Germans. In mid-1940 Fernseh technical experts developed and demonstrated a complete 1029 line high-resolution tv system. Employing a slide scanner as pickup device the apparatus gave exceptional results, exceeding 16mm film in image resolution. The pictures were transmitted experimentally with a 10watt transmitter on 1.5metres and also down a cable at baseband, where 15MHz bandwidth was achieved. Despite the superb results produced, the authorities remained unconvinced of the system's strategic value. Another device developed was a high-speed facsimile machine with long-persistence display on memory tubes; alternatively sensitized paper could be used to take prints.

Sources: My gratitude to Fritz Trenkle who made available the documentation from which this article was compiled, all derived from public records. Also consulted: Brian Johnson, "The Secret War" BBC, 1978; Rudert von Frithjof, 50 Jahre Fernseh, *Bosch Techn. Berichte* 6, 1979 5/6; Prof. Dr Walter Bruch, Peenemünde 1942, *Funkschau* 1974, 5. WWW



S: 5,0 km
E: 5,8 km



S: 3,7 km
E: 7,4 km



S: 4,9 km
E: 5,9 km



S: 1,8 km
E: 9,8 km

TV pictures taken from flying bomb and received in nearby aircraft were to guide missile to its target.

Anhang 12

Zum Super-Ikonoskop IS 9

...Die als Vorsatz (»Vorschuh«) auf den Bug des Flugkörpers gesetzte Fernsehkamera »Tonne A« besaß als Bildabtaströhre das Superikonoskop IS9. Hierin wurde das vom Kameraobjektiv auf eine Cäsium-Fotokathode oder Mosaikplatte vom Format ca. 7 x 9 mm projizierte optische Bild (Ziel) elektronenoptisch durch einen Elektronenstrahl mit Hilfe einer magnetischen Linse als Sendebild abgetastet [...] Das Ikonoskop war eine Abart der Kathodenstrahlröhre. Anstelle des Leuchtschirmes besaß es im Inneren seines evakuierten Glaskolbens G eine Cäsium-Fotokathode (Mosaikplatte). Sie bestand einerseits aus einer fein unterteilten lichtelektrisch wirksamen Schicht S und andererseits aus einem metallischen Signalplättchen M. Die Schicht S setzte sich aus vielen feinen, tropfenförmigen, elektrisch voneinander isolierten Fotozellen zusammen. Die Zellen waren unter Zwischenlage einer Isolierhaut auf dem Plättchen M aufgebracht, das wiederum über den Widerstand R mit der Absaugelektrode A elektrisch verbunden war.

Wie in jeder Kathodenstrahlröhre wurde auch im Ikonoskop ein Elektronenstrahl E mit Hilfe einer elektrisch geheizten Kathode K erzeugt. Die aus der Kathode austretenden Elektronen wurden durch ein nachgeschaltetes elektrisches Linsensystem H zu einem scharfen Strahl gebündelt. Ehe der Strahl auf die Fotokathode traf, mußte er zwei waagrecht liegende Platten P1, P2 und zwei senkrecht angeordnete Ablenkplatten P3, P4 passieren. Die beiden Platten P1, P2 waren mit dem Kippgerät KG1 und die Platten P3, P4 mit dem Kippgerät KG2 verbunden. Beide Kippgeräte hatten die Aufgabe, den Elektronenstrahl über die Ablenkplatten durch Spannungsimpulse bestimmter Frequenz so zu beeinflussen, daß er die Fotokathode – z. B. beim damaligen Ikonoskop IS9 – mit einem senkrecht liegenden 224zeiligen Raster überzog.

Nach Beendigung einer Bildflächenabtastung mußte dieser Vorgang entsprechend der Bildfolgefrequenz von 25 Hz nach 1/25 sec wieder erfolgen, bis in 1 sec die Fotokathodenfläche 25mal abgetastet war. Um das zu erreichen, wurde den Ablenkplatten P3, P4 vom Kippgerät KG2 eine Spannung von 25 Hz (Kippspannung) und den Ablenkplatten P1, P2 vom Kippgerät KG1 eine Spannung von $25 \times 224 = 5600$ Hz zugeführt.

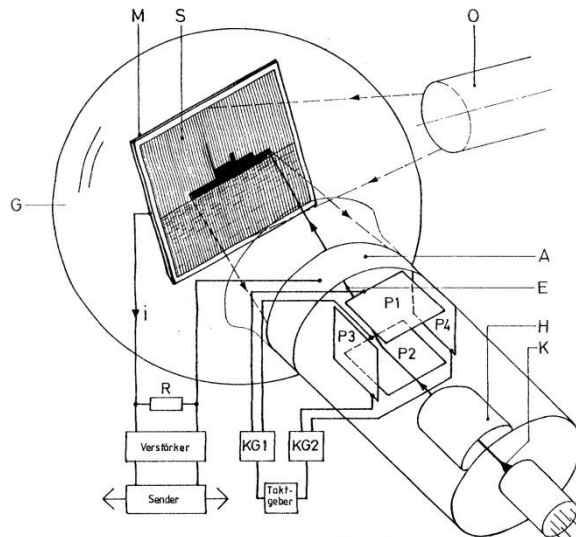


Bild 199

Prinzip der Elektronenstrahlabtastung

in einem Ikonoskop

Sofern das optische Bild (Ziel) von Objektiv O der Kamera auf Schicht S projiziert wurde, erhielt jede Fotozelle eine der Helligkeit des jeweiligen Bildpunktes entsprechende Lichtmenge. Infolgedessen wurden in den Fotozellen – analog der Lichtmenge – Elektronen frei, die durch eine an die Anode A gelegte positive Vorspannung von S nach A abgesaugt wurden. Infolge des Elektronenverlustes wurde jede Fotozelle während der Bilddauer gegenüber der Anode A auf eine positivere Spannung aufgeladen, die dem Helligkeitswert der zugehörigen Bildpunkte entsprach. Die freigewordenen Fotoelektronen flossen in Form eines sich durch die mittlere Bildhelligkeit ändernden Gleichstromes zur Anode A. Dadurch bildete jede der kleinen Fotozellen mit der Metallplatte M, die keinem Elektronenabzug unterworfen war und demzufolge auch ein anderes Potential besaß, einen kleinen Kondensator. Glitt der Elektronenstrahl rasterförmig über die Fotokathode, konnte man ihm die Funktion eines »Umschalters« zuweisen. Sofern er eine Fotozelle traf, löste er einen Entladungsstoß des Elementarkondensators: Fotozelle – Platte M aus. Dessen Strom i floß über den Widerstand R zur Anode A. Die Stromstärke wurde durch die dem Helligkeitswert entsprechende Kondensatorladung bestimmt. An R entstand

also ein Spannungsabfall, der dem Helligkeitswert des abgetasteten Bildpunktes entsprach. Nach Beendigung einer Rasterabtastung, die $1/25$ sec dauerte, begann das Spiel von neuem. Am Widerstand R entstand also ein Spannungsprofil, das $1/25$ sec dauerte und dem Bildinhalt entsprach. Dieser Bildinhalt wurde verstärkt und zur Modulation der Trägerwelle des Fernsehsenders herangezogen (Stüwe S. 376/377)

Zunächst wird das vom Linsensystem des Kameraobjektivs gelieferte ‚optische‘ Bild auf eine Cäsium-Fotokathode von 7×9 mm projiziert, die aus einem dichten Raster feinsten, voneinander isolierter Fotozellen besteht (‚lichtsensible Schicht‘ in Bild 25). Sie liegt auf einem metallischen Signalplättchen, das von den Fotozellen durch eine sehr dünne Zwischenlage, gewissermaßen eine ‚Isolierhaut‘, getrennt ist. Das Signalplättchen ist seinerseits über den Widerstand R mit der Absaugelektrode verbunden.

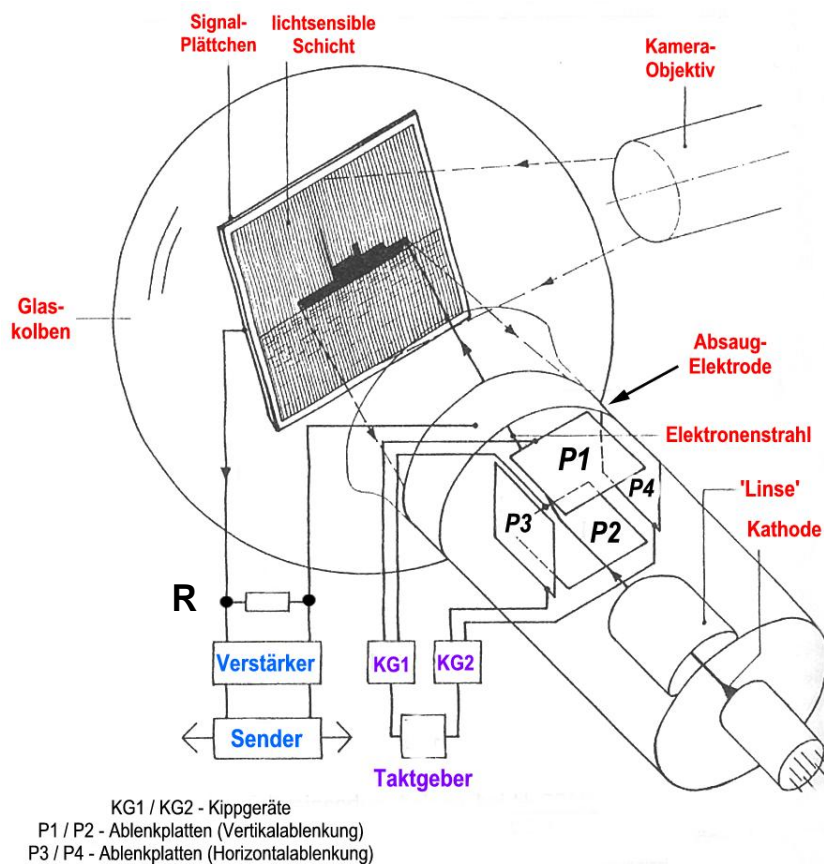


Bild 200

Schematische Darstellung einer Bildwandlerröhre

Entwicklung der Fernseh GmbH (1939)

Der von der Fotokathode emittierte Elektronenstrahl durchläuft zur Bündelung eine elektronenoptische Linse, die Kippgeräte KG 1 und KG 2 liefern die Ablenkspannungen, mit denen das auf das Signalplättchen projizierte Bild abgetastet wird. Das erfolgt mit Hilfe von Kippspannungen (‚Sägezahn‘) an den horizontalen und vertikalen Ablenkplatten.

Für ein ruhig stehendes Bild müssen wegen der ‚Verschmelzungsfrequenz‘ des menschlichen Auges mindestens 25 vollständige Bildwechsel erfolgen. Dafür werden P3 und P4 mit einer Kippspannung von 25 Hz angesteuert, P1 und P2 für 224 Zeilen mit $25 \times 224 \text{ Hz} = 5600 \text{ Hz}^4$. Hochinteressant sind die Vorgänge auf dem Signalplättchen. Mit der Projektion des optischen Bildes auf die fotosensible Schicht erhält jede diskrete darin befindliche Fozelle eine dem jeweiligen Lichtpunkt proportionale Lichtmenge, die in der Zelle eine entsprechende Zahl von ‚Fotolektronen‘ freisetzt⁵. Sie werden von der positiv vorgespannten Anode (Absaugelektrode) abgezogen. Der dadurch entstehende Elektronenverlust bewirkt, daß die einem Bildpunkt repräsentierenden Fozellen während der Bilddauer gegenüber der Absaugelektrode auf eine positivere Spannung aufgeladen werden, die jeweils dem Helligkeitswert eines einzelnen Bildpunktes entspricht. Gegenüber der Metallplatte und den ‚Elementarfozellen‘, die, wie erwähnt, durch eine dünne Isolierschicht von der Trägerplatte getrennt sind – sie kann daher keinen Elektronenverlust erleiden – bilden sich lokale Kondensatoren aus.

Tastet nun der Elektronenstrahl die Fotokathode rasterförmig ab, löst er nacheinander in jeder Fozelle einen Entladungsstoß aus, der im Widerstand einen Strom zur Folge hat, welcher zur Absaugelektrode fließt. Dabei ist der Strom dem Helligkeitswert des gerade durchlaufenden Bildpunktes proportional. Die durch den Strom an R erzeugte Spannung – sie entspricht natürlich ebenfalls dem Helligkeitswert des Bildpunktes – wird verstärkt, für Negativmodulation (Schwarzsteuerung) invertiert, so daß helle Bildteile einer niedrigen, dunkle einer hohen Spannung entsprechen, und anschließend unter Zwischenschaltung eines Video-Endverstärkers im Sender zur Modulation des Fernseh-Trägers verwendet. Nach $1/25 \text{ sec}$ ist ein vollständiges Bild geschrieben, der Vorgang läuft erneut ab. Zur Erzielung einer hohen Bildauflösung mußte der das Bild abtastende Elektronenstrahl scharf gebündelt werden. Bei der IS 9 wurden Bildfleckdurchmesser von 0.02 bis 0.04 mm erreicht (letzterer Wert bei stärkster Auslenkung des Strahls).

Es muß noch erwähnt werden, daß für die in der Hs 293 D verwendete Kamera (»Tonne«) zunächst eine automatische, mechanisch arbeitende Einstellung der Objektivblende vorgesehen war. Für ein schnellfliegendes Projektil erwies sie sich aber in Zielnähe als zu träge. Man ging deshalb zur oben erwähnten Negativmodulation mit anschließender automatischer Verstärkungsregelung über, bei der „unabhängig vom Helligkeitsumfang des Zielobjektes stets der ganze für die Bildübertragung zur Verfügung stehende Modulationsbereich durchgesteuert werden“ kann [Stüwe S. 379].

⁴ Bei später verwendeten Bildwandlerröhren wurden bei ebenfalls 25 Hz-Bildwechselfrequenz für ein besser aufgelöstes Bild 441 Zeilen geschrieben, Kippfrequenz in diesem Falle $25 \times 441 = 11\,025 \text{ Hz}$. Stüwe (S. 377) berichtet, dass zu Beginn der Entwicklung des »Tonne-Seedorf«-Systems die Kamera das Bild mit 224 Zeilen bei 50 Bildwechseln aufnahm, offenbar in diesem Falle auf das Zeilensprungverfahren, das ein schärferes Bild ergibt, verzichtet worden ist. Bei Anwendung des Zeilensprungverfahrens muss grundsätzlich von einer ungeraden Zeilenzahl ausgegangen werden!

⁵ Der Vergleich mit den modernen, in Digitalkameras eingebauten Bildsensoren ist nicht abwegig; das Prinzip ist in beiden Fällen gleich, die technische Realisation unterscheidet sich allerdings grundlegend.

Anhang 13

Kleinst-Bildspeicherröhre

(Fernseh GmbH)

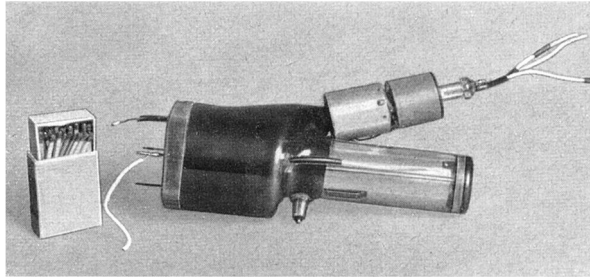


Bild 201

Kleinst-Bildspeicherröhre *(Fernseh GmbH)*

(aus Müller)

Literatur und Quellen

- Aichner, Peter:* „funkbase“-Datenbanken
Enthält Erläuterungen zu den FI-Nummern der Luftwaffe bis ca. 1944
Kontakt: Weinberger Straße 39, I - 39042 Brixen, Italien
- Andrieu, R. und Rudert, F.:* Der Einheits-Fernsehempfänger E 1
TFT Telegraphen- und Fernsprech-Technik 28, 7 (1939) S. 249-257
Hrsg.: Vereinigung der höheren Reichs-Post- und Telegraphenbeamten
Unter Mitwirkung des Reichpostministeriums
- Bähring, H., Dillenburger, W.,* Über die Entwicklung der Fernsehtechnik bei der Fernseh G.m.b.H.
1939 - 1945
- Barkhausen, H., Woschni, E.-G.:* Lehrbuch der Elektronenröhren und ihrer technischen Anwendungen
2. Band: Verstärker, 8. Aufl., S. Hirzel Verlag Leipzig (1962)
- Benecke, Theodor, Hedwig, Karl-Heinz, Herrmann, Joachim:* Flugkörper und Lenkraketen
Bernard und Graefe Verlag, Koblenz (1987)
- Benecke, Theodor, Quick, A.W. (ed):* History of German Guided Missiles Development
AGARD first Guided Missiles Seminar, Munich, Germany / April, 1956
Advisory Group for Aeronautical Research and Development (AGARD)
North Atlantic Treaty Organization by
Wissenschaftliche Gesellschaft für Luftfahrt e.V.,
Verlag E. Appelhans & Co., Brunswick (Braunschweig) (1957)
- Bollinger, Martin J.:* Warriors and Wizards
The Development and Defeat of Radio Controlled Glide Bombs
of the Third Reich
Naval Institute Press, Annapolis, Maryland (2010)
- Böndel, Dirk:* Ich habe mich nicht zu entschuldigen - Karl Dönitz und der U-Boot-
Krieg im Atlantik
In: Ich diene nur der Technik, Sieben Karrieren zwischen 1940 und 1950
Museum für Verkehr und Technik, Nicolaische Verlagsbuchhandlung (1995)
- Dantscher, Josef:* Guided Missiles Radio Remote Control
In: Benecke, Th. Und Quick, A.W.:
History of German Guided Missiles Development
Wissenschaftliche Verlagsgesellschaft für Luftfahrt
Verlag E. Appelhans & Co. Braunschweig (1957) S. 109-134
- Dressel, Joachim, Griel, Manfred:* Bombers of the Luftwaffe
Arms and Armour (Verlag) (1994)
- Emmerson, Andrew:* Pioneers of uhf television
Wireless World, February 1983, S. 62-63
- v.Felgel-Farnholz, R., Mulert, Th., Rudert, F., Strübig, H.:* Fernmeldetechnische Zeitschrift (FTZ) Heft 8 (1950), 308-316
Vieweg Verlag, Braunschweig
- von Felgel-Farnholz, Richard:* Fernsehen zwischen bewegten Objekten,
Die Reportageanlagen der Fernseh-G.m.b.H
Radiotechnik 14, 11 (1948)

Literatur und Quellen

- von Felgel-Farnholz, Richard:* Ein Fernseh-Hochleistungsempfänger
Radiotechnik 15, 2 (1949)
- Fölsche, T.:* Die Erkennbarkeit von Land- und Seezielen mit rot- und blauempfindlichen Ikonoskopen bei natürlichen Beleuchtungs- und Dunstverhältnissen
DFS-Forschungsbericht (1943), Deutsche Luftfahrtforschung, Untersuchungen und Mitteilungen Nr. 3506 Archiv Deutsches Museum, München
- Goebel, Gerhard:* Das Fernsehen in Deutschland bis zum Jahre 1953
In: Archiv für das Post- und Fernmeldewesen, 5 (1953) S. 259 ff. (Hoppe)
- Gottmann, Günther:* Vorwort zu: Ich diene nur der Technik
Sieben Karrieren zwischen 1940 und 1950
Museum für Verkehr und Technik;
Nicolaische Verlagsbuchhandlung Beermann GmbH, Berlin (1995)
- Gottwaldt, Alfred und Klewin, Silke:* Technik. Macht. Krieg
Vorbemerkungen zu Buch und Ausstellung
In: Ich diene nur der Technik, Museum für Verkehr und Technik;
Nicolaische Verlagsbuchhandlung Beermann GmbH, Berlin (1995)
- Griel, Manfred:* German Twin-Engine Bombers of World War II
Schiffer Publishing (1989)
- Gunston, B.:* The Illustrated Encyclopedia of Rockets and Missiles
Salamander Books Ltd. (1979)
- Hahn, Fritz:* Deutsche Geheimwaffen 1939 – 1945 (Flugzeugbewaffnungen)
Erich Hoffmann Verlag Heidenheim (1963)
- Hollmann, H.E. [1]:* Physik und Technik der ultrakurzen Wellen,
Erster Band: Erzeugung ultrakurzweiliger Schwingungen
Verlag von Julius Springer, Berlin (1936)
- Hollmann, H.E. [2]:* Physik und Technik der ultrakurzen Wellen,
Zweiter Band: Die ultrakurzen Wellen in der Technik
Verlag von Julius Springer, Berlin (1936)
- Hoppe, Joseph:* Fernsehen als Waffe
Militär und Fernsehen in Deutschland 1935-1950
In: Ich diene nur der Technik, Sieben Karrieren zwischen 1940 und 1950
Museum für Verkehr und Technik,
Nicolaische Verlagsbuchhandlung Berlin (1995)
- Judkins, Phil:* Before Exocet
Teil I in: Newsletter of the *Defence Electronics History Society* (DEHS), UK
Nr. 11 (2013)
- Klöckner, Erich:* Fernseh-Lenkung gesteuerter Gleitbomben
In: Späte, Wolfgang (Hrsg.), Testpiloten
Planegg (1993) S. 104; Zitat nach *Hoppe*, 1995
- Kopp, Carlo:* The Dawn of the Smart Bomb
Technical Report APA-TR-2011-0302 (IV/2012) via Internet

- Laue, Ernst:* Staßfurter Aktivitäten am Bau von Lenk-Flug-Körpern
Beitrag zur Industriegeschichte in Staßfurt von 1936 bis 1945
Teil I, II und III, Salzland-Kurier Staßfurt 6.7., 9.7. und 10.7.2001
- Lickfeld, K. G.:* Kurzes Kompendium der Technik des 435-MHz-Bandes
3. Teil: Sender
DL-QTC 3 (1956) S. 111 f.
- Mihaly, D.:* Das elektrische Fernsehen und das Telehor, S. 113
Berlin (1923) Zitat nach *Hoppe*, 1995
- Münster, Fritz:* A Guiding System Using Television
In: *Benecke, Th. Und Quick, A.W.:*
History of Guided Missiles Development, S. 135-161
Wissenschaftliche Gesellschaft für Luftfahrt e.V.,
Verlag Appelhaus & Co., Braunschweig (1957)
- Mulert, Th. und
Urtel, R.:* Strahlableitung und Hochspannungserzeugung des
Einheits-Fernsehempfängers E 1
TFT Telegraphen- und Fernsprech-Technik, 28, 7 (1939) S. 257-264
Hrsg.: Vereinigung der höheren Reichs-Post- und Telegraphenbeamten,
unter Mitwirkung des Reichspostministeriums
- Müller, Ferdinand:* Leitfaden der Fernlenkung
Eine systematische Zusammenstellung der Verfahren und Anlagen
der Fernlenkung (Lehrbücherei der Funkortung, Band II)
Deutsche RADAR-Verlagsgesellschaft Garmisch-Partenkirchen (1955)
- Nentwig, K., Geffken, H.
und Richter, H.:* Die Glimmröhre in der Technik
Deutsch-Literarisches Institut J. Schneider, Berlin (1944)
- Nowarra, Heinz J.:* Die deutsche Luftrüstung 1933 – 1945,
Band 2: Flugzeugtypen Erla – Heinkel
Bernard & Graefe Verlag, Koblenz (1993)
- Ordway, F.I. und
Wakeford, R.C.:* International Missile and Spacecraft Guide
McGraw-Hill (1990)
- Parsch, Andreas:* Directory of U.S. Military Rockets and Missiles,
Appendix 1: Early Missiles and Drones, GB-Series
GB-1 through GB-15; GT-1 (via Internet)
- Rint, Curt:* Handbuch für Hochfrequenz- und Elektro-Techniker, II. Band
Verlag für Radio-Foto-Kinotechnik, Berlin (1953)
- Rothe, H. und
Kleen, W.:* Grundlagen und Kennlinien der Elektronenröhren, 3. Auflage
Akademische Verlagsgesellschaft Geest & Portig, Leipzig (1953)
- Rudert, Frithjof* 50 Jahre „Fernseh“, 1929-1979
Bosch Technische Berichte 6, 5/6 (1979)
- Schechter, Maurice:* Military Television Equipment Built by RCA (1942-1945)
„How RCA's WW II Military Television Development Shaped Modern
Warfare“ (2007) (via Internet)
- Schubert, Georg O.:* Fernsehzielverfahren für Gleitbomben
In: Schriften der Deutschen Akademie der Luftfahrtforschung
Vorträge gehalten auf der Arbeitstagung am 5.11.1942
Geheime Kommandosache gKdos. Schr 1054/42, Berlin (1942)

Literatur und Quellen

- Schunack, Johannes:* Die Fernseh-Aufnahmegeräte der EIAR in Rom
In: Hausmitteilungen aus Forschung und Betrieb der Fernseh AG Berlin
1, 3 (1939)
- v. Sengbusch, C. H.:* Staßfurter Imperial, eine Chronik in Wort und Bild
Schriftenreihe zur Funkgeschichte, Band 2
Hrsg.: Gesellschaft der „Freunde der Geschichte des Funkwesens (GFGF)
Verlag Dr. Rüdiger Walz (1990)
- Staiger:* Das Zielen mit Flugbomben nach dem Fernsehverfahren
im Modellversuch
DFS-Forschungsbericht Nr. 1897 (1943)
Archiv Deutsches Museum, München
Zitat nach *Hoppe*, 1995
- Stüwe, Botho:* Peenemünde West: Die Erprobungsstelle der Luftwaffe für geheime
Fernlenk Waffen und deren Entwicklungsgeschichte
Bechtermünz Verlag (1998)
- Trenkle, Fritz:* [1] Die deutsche Luftfahrt
Bordfunkgeräte – Vom Funkensender zum Bordradar
Bernard & Graefe Verlag (1986)
- Trenkle, Fritz:* [2] Die deutschen Funklenkverfahren bis 1945
AEG-Telefunken (Hrsg.), Heidelberg (1982)
- Weiß, J. Georg:* Zur Entwicklung des Einheits-Fernsehempfängers
TFT Telegraphen- und Fernsprech-Technik 28, 7 (1939) S. 246-249
Hrsg.: Vereinigung der höheren Reichs-Post- und Telegraphenbeamten
unter Mitwirkung des Reichspostministeriums
- Wiechmann, Günter
und Botho Stüwe* Flugkörper der Deutschen Luftwaffe und der USA
mit Fernsteuerung im II. Weltkrieg
Militärhistorische Untersuchungen, Hrsg. Von Merith Niehuss
Peter Lang Internationaler Verlag der Wissenschaften (2011)
- Wolf, William:* German Guided Missiles
Henschel Hs 293 and Ruhrstahl SD 1400X „Fritz X“
Military Monograph 53,
Merriam Press, Bennington, Vermont (2006)
- Versuchsstelle der
Luftwaffe
Peenemünde-West* Entwicklung und Erprobung von Fernsehgeräten für
ferngesteuerte Körper
Archiv Deutsches Museum, München
Zitat nach *Hoppe*, 1995
- D. (Luft) T.
g. Kdos. 2177 A-3
Teil 12 C* Geheime Kommandosache
He 177 A-3 Flugzeug-Handbuch Teil 12 C,
Sonderwaffenanlage mit Fu G 203 d
(Stand August 1943, Ausgabe Januar 1944)

Film - Auskopplungen

- Real Military Flix* AZON – Top Secret Smart Bomb
- Real Military Flix* RAZON – Developed under the Direction of Division 5
National Defence Research Committee (NDRC)