

als 200 W darstellbar waren, wurde eine Umstellung auf den Bereich 30–33,3 MHz¹ beschlossen, so daß zum vorhandenen Bordgerät nur ein Zusatz benötigt wurde. Im Jahre 1941 entstand so das *UKW-Richtstrahl-Drehfunkfeuer FuS An 724/725 »Bernhard«*² (Telefunken/Lohmann). Seine Richtantenne drehte sich zweimal pro Minute um 360°. Dabei wurde die jeweilige Strahlrichtung der Antenne (»Skala«) in Schritten von 1° (Später 0,5°) mit Hellschriftmodulation übertragen. Da die Empfangsdauer an Bord des Flugzeuges bei Durchgang des Strahlungsdiagrammes des Bodensenders (2 x pro Minute) nur je 3...5 Sekunden betrug, sollte der Hellschreiber an Bord nur während dieser Zeit in Gang gesetzt bzw. danach wieder gestoppt werden. Zur Kennzeichnung der genauen Richtung (»Zeiger«) mußte auch die exakte Mitte des Strahlungsdiagrammes bezeichnet werden. Zu beiden Zwecken diente ein weiteres abgestrahltes Diagramm (Doppelkeule mit sehr scharfem Minimum) dessen Feldstärke ebenfalls vom Hellschreiber aufgezeichnet wurde und dessen Minimum die exakte Gradzahl angab. Die Frequenz dieser Abstrahlung lag so dicht bei der mit Hellschrift modulierten, daß sie beide mit einer Einstellung des Bordempfängers gleichzeitig empfangen werden konnten. Die erste Sendeanlage war im September 1941 in Trebbin erprobungsbereit. Im Mai 1944 waren im Westen folgende Stationen fertig bzw. im Aufbau: Bergen-Belveder (Holland), St. Vaast–La Penelle (b. Cherbourg), Sizun–St. Michel (b. Brest), Arcachon (b. Bordeaux), Pouzages (b. Nantes), Farières (b. Chartres) und Malemont (b. Reims). Mit 5 Boden- und 17 Bordanlagen wurde ein Truppenversuch durchgeführt. Im Januar 1945 waren 3 Bodenanlagen (Thisted/Dänemark, Bretstedt/Husum und Trebbin) im Einsatz, 4 weitere befanden sich im Aufbau (Kassel, München, Pilsen und Wien), die Anlage Breslau war im Abbau vor den vorrückenden Russen [87, 101, 239].

Das Bordgerät = *Funkfeuer-Empfangszusatzgerät FuG 120 »Bernhardine«* (Siemens) wurde ab 1943 in

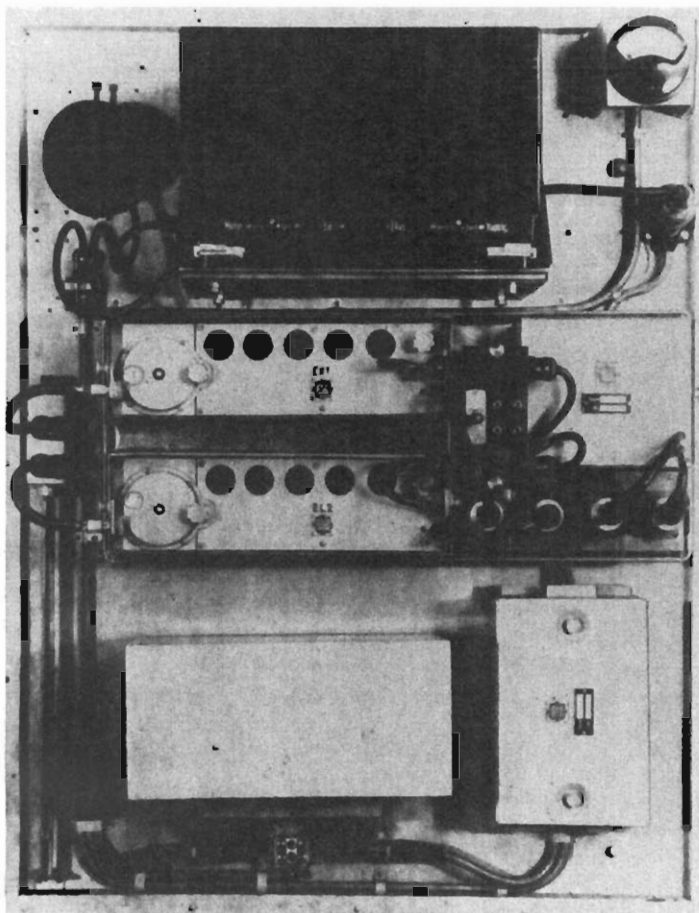
Serie gefertigt. Es war als Zusatz zum Funklandegerät FuBl 2 geschaltet, d. h. der Landefunkfeuer-Empfänger EBl 3 wurde während des Streckenfluges zum Empfang der Drehfunkfeuer »Bernhard« verwendet. Die Ausgangsspannung wurde zu einem Schreibverstärker geleitet, an den ein Hellschreiber angeschlossen war.

Letzterer wurde bei der späteren Ausführung *FuG 120a* durch einen wesentlich kleineren Peilschreiber mit Papierstreifen ersetzt. Eine neuere Ausführung des Peilschreibers mit kreisrunder Folie und automatischer Lösung (beim *FuG 120b*) erwies sich als nicht betriebssicher, so daß diese Anlagen auf *FuG 120a* rückgerüstet wurden. Der Papierstreifen wurde jeweils nur während des Durchganges der Richtstrahlung durch einen Motor bewegt, wobei über der geschriebenen Gradeinteilung mit Kennung auch die Feldstärke der Doppelkeule aufgezeichnet wurde. Es wurden bei 500 m Flughöhe Reichweiten von 400 km bei einer Navigationsgenauigkeit von $\pm 0,5^\circ$ erzielt. Bei entsprechender Einrichtung der Bodenstelle war es auch möglich, für Führungszwecke zum Flugzeug kurze Buchstaben- oder Zeichengruppen in Hellschrift zu übertragen, d. h. das *FuG 120* wurde auch für Kommando-Übertragung verwendet (s. a. die Kapitel »Kommando-Übertragungsgeräte« und »Funkführungsverfahren«). Etwa 2500 Bordgerätesätze zum Einbau in Ju 88, Do 335 und andere Flugzeugtypen waren bis Kriegsende geliefert, eine vielfach höhere Anzahl in Fertigung [94]. In Entwicklung befand sich bei Kriegsende eine vereinfachte Ausführung *FuG 120k*, welche durch Fortfall der Siebglieder wesentlich kleiner war und vor allem in einsitzigen Flugzeugen verwendet werden sollte. Durch Ineinanderschreiben von »Zeiger« und »Skala« wurde die Genauigkeit auf etwa $\pm 4^\circ$ reduziert, was aber als tragbar erachtet wurde [101].

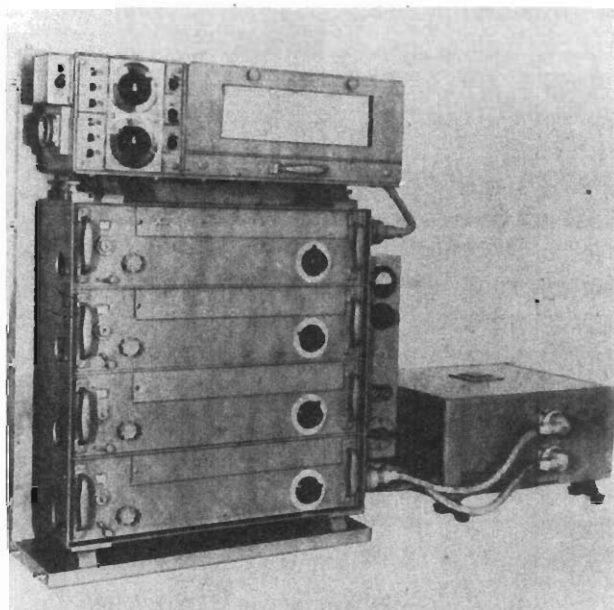
Aus einer weiter unten besprochenen Hyperbelnavigationsanlage »DVL-Erika« entstand in den Jahren 1941–43 das *UKW-Fächer-Phasendrehfunkfeuer »Erika«* (Fa. Lorenz/Dr. Goldmann, v. Ottenthal). Bei einer seiner letzten Ausführungsformen bestand das Hauptsystem aus 2 Antennen mit einem Abstand von 3 Wellenlängen, wobei die eine Antenne mit einer Frequenz f_1 , die zweite mit einer Frequenz $f_1 + 40 \text{ Hz}$

¹ D. h. den Bereich des »Knickebein« und dessen Störsender!

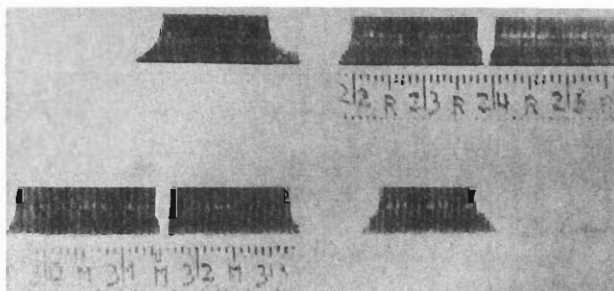
² FuS An 724 mit 500 W, FuS An 725 mit 5 kW Sendeleistung.



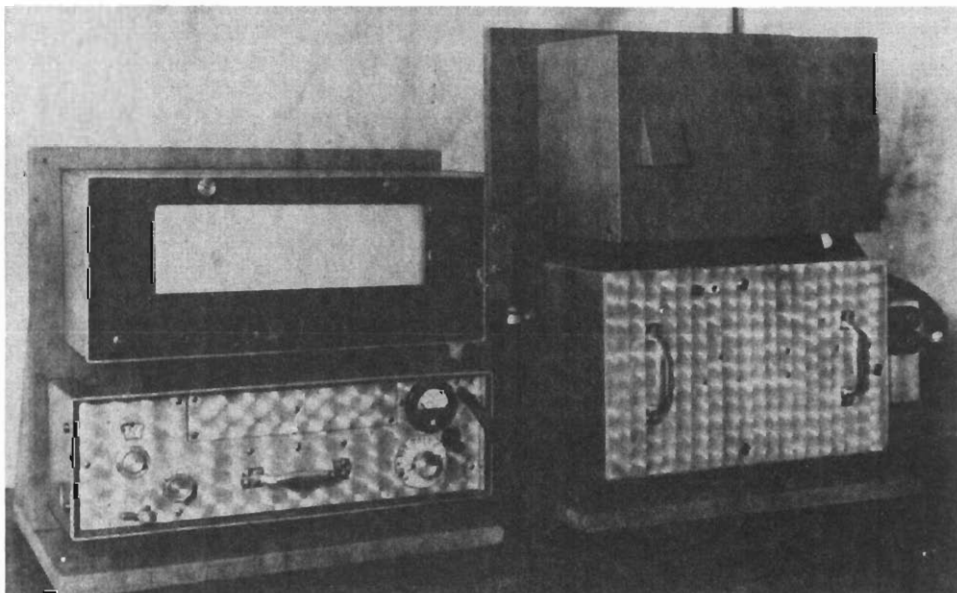
Oben links: Erste flugfähige Drehfunkfeuer-Empfangsanlage »Bernhardine 1m« mit Wachs-schreiber (Telefunken 1936/37).



Oben rechts: Doppelempfangsanlage »Bernhardine 1m« mit 4 Empfängern für gleichzeitige Registrierung von 2 Boden-anlagen (darunter: Registrierung - Schrieb).



Vollautomatische Empfangsanlage »Bernhardine 1m« mit 1 Empfänger und Hellschreiber.



erregt wurde. Das aus den Interferenzhyperbeln gebildete Feld rotierte nun, ähnlich wie bei den »Sonne«-Anlagen, symmetrisch zur Antennenbasis von der Antenne mit der höheren Frequenz zur Antenne mit der niedrigeren Frequenz; d. h. in $\frac{1}{40}$ Sekunde drehte sich das Feld um den zwischen 2 Hyperbeln liegenden Winkel weiter, der zugehörige Bordempfänger empfing also pro Sekunde 40 Maxima und Minima und lieferte an seinem Ausgang die Meßfrequenz = 40 Hz. Zur Erzeugung einer richtungsunabhängigen Bezugsfrequenz an Bord hätte man einen Sender auf einer anderen Frequenz in Rundstrahlung einen Modulationston von ebenfalls 40 Hz abstrahlen lassen können, der dann mit einem 2. Empfänger aufgenommen worden wäre. Um jedoch eine Grobortung und eine Feinortung gleichzeitig durchführen zu können, verwendet man zur Erzeugung der Bezugsfrequenzen ebenfalls rotierende Hyperbelfelder.

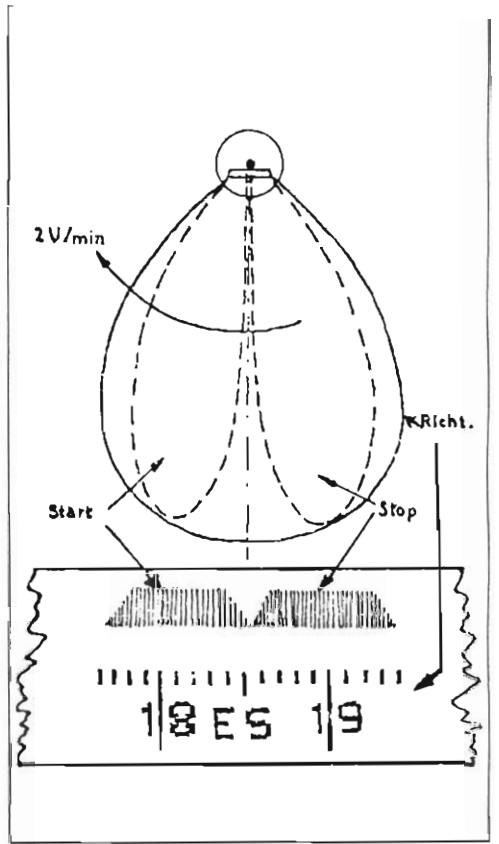
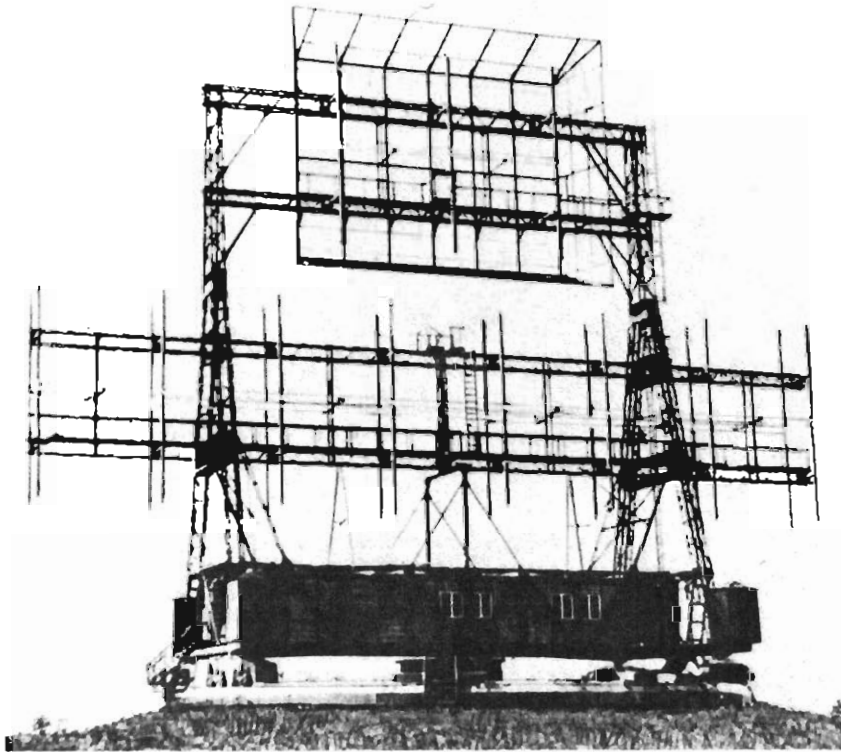
Das Bezugssystem für die Grobortung lieferte ein durch 2 Antennen mit 2 Wellenlängen Abstand und den Sendefrequenzen f_2 und $f_2 + 40$ Hz erzeugtes Feld. Es rotierte mit der gleichen Geschwindigkeit und im gleichen Drehsinn wie das Feld des obenerwähnten Hauptsystems, war jedoch aus weniger Hyperbeln gebildet. Die Wirkung war die gleiche, wie beim Vergleich eines Systems mit einem Antennenabstand gleich einer Wellenlänge ($3 - 2 = 1$) mit einer festen Bezugsfrequenz, d. h. die Meßgenauigkeit betrug im günstigsten Winkel zur Anlage ca. $\frac{1}{6}^\circ$. Für die Feinortung diente das von 2 Antennen mit 27 Wellenlängen Abstand aus den Frequenzen f_3 und $f_3 - 40$ Hz erzeugte und entgegengesetzt rotierende Feld. Das in diesem Fall resultierende Feld entsprach einer Anlage mit 30 Wellenlängen ($3 + 27$) Antennenabstand mit einer Meßgenauigkeit von etwa $\frac{1}{180}^\circ$! Neben Versuchssendern in Dabendorf und Neustrelitz wurden 4 Bodenstellen (»Erika 1« = Boulogne, »Erika 2« = Cherbourg, für Erprobung auch »Erika 3« = Irschenberg bei München und »Erika 4« = Flachbogen bei Wien) errichtet. Die ab Mai 1943 beginnenden Erprobungen litten unter einer Pechsträhne (dauernde Ausfälle der französischen Bodensender und/oder des Stromversorgungsnetzes, das einzige jeweils zur Verfügung stehende Erprobungsflugzeug fiel 3x

feindlichen Bomben bzw. 1 x Jägern zum Opfer, so daß brauchbare Ergebnisse erst im August 1944 zur Verfügung standen, als für Bomber kein Interesse mehr bestand. Die Geräte kamen daher nicht mehr zum Einsatz [82/103/104].

Die Bordanlage = *Funkfeuer-Empfangsgerät FuG 121 »Erika«* (Frequenzbereich 30–33,3 MHz) hatte 2 Empfänger EBI 3 zum Empfang der Frequenzpaare f_1 und $f_1 + 40$ Hz bzw. f_2 und $f_2 + 40$ Hz bei der Grobortung. Die Ausgangsspannungen (jeweils 40 Hz) beider Empfänger dienten zum Antrieb einer Phasenuhr mit Zifferblatt, welches eine Teilung in 0–100 Skalenteile aufwies. Der Zeiger wurde durch 2 Synchronmotoren über ein Differential angetrieben. Für eine gleichzeitig (statt abwechselnd) erfolgende Feinmessung oder für den Empfang eines anderen »Erika«-Systems zur direkten Ermittlung des Standortes (aus dem Kreuzungspunkt von 2 Standlinien verschiedener Systeme) wäre die gleiche Anlage nochmals benötigt worden. Der Gesamtaufwand an Bord mit 2 oder gar 4 Empfängern war also sehr groß, dafür ergaben sich an der Grenze der Reichweite (280 bis 350 km bei 4000 m Flughöhe) mit dem Feinmeßsystem Genauigkeiten von $\pm 0,01$ Winkelgraden¹ entsprechend Ablagen von ± 100 m. Das Gerät sollte nur in Sonderflugzeugen für den Blindbombenwurf auf Einzelziele in England eingesetzt werden. Während der langen (und oftmals unterbrochenen) Erprobung (s. oben) war auch von der Fa. Zeiß ein automatischer Rechner entwickelt worden, der für den Bombenwurf den Vorhaltewinkel in Skalenteilen der »Erika«-Uhr anzeigte [82/103/104].

Im Jahre 1943 befand sich auch ein *Ukw-Fächer-Phasendrehfunkfeuer »Mond«* (Fa. Lorenz/Dr. Goldmann, v. Ottenthal) in Entwicklung, das analog den »Sonne«-Anlagen auf UKW (38–42 MHz) mit ca. 15 kW Leistung arbeiten sollte. Es waren 3 Strahler auf einer Basis von 3,9 Wellenlängen vorgesehen, so

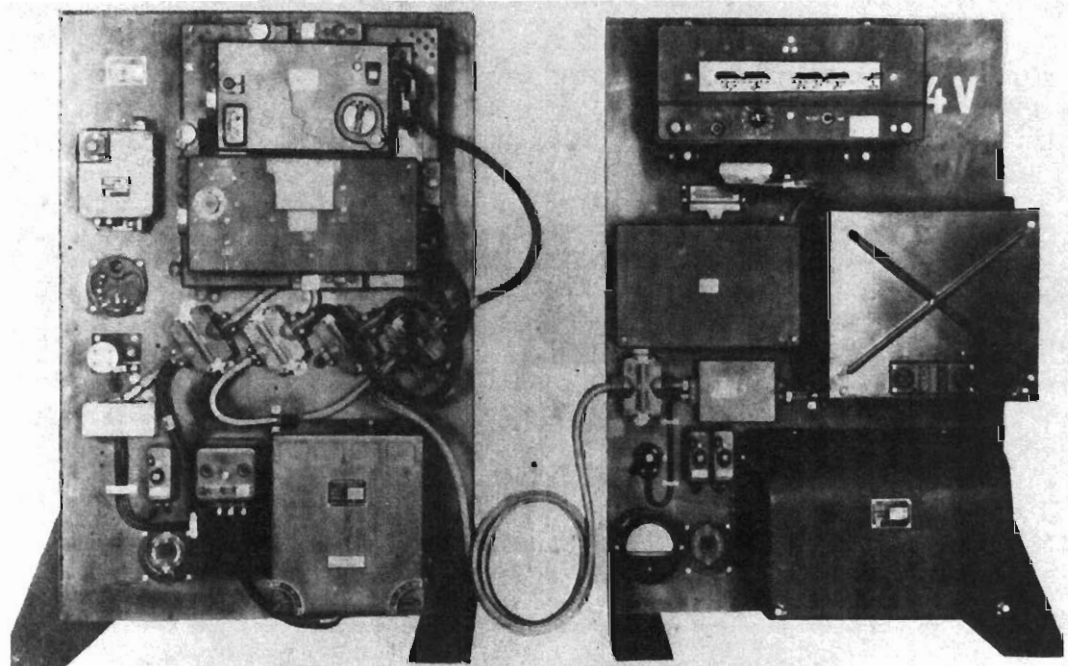
¹ Anmerkung zu den Anlagen »Elektra«, »Sonne«, »Erika« und »Mond«: Die bei diesen Anlagen angegebenen Genauigkeiten beziehen sich nur auf einen Standort etwa senkrecht zur Antennenbasis ($\alpha \approx 90^\circ$ bzw. 180°). Für andere Standorte ist der angegebene Genauigkeitswert jeweils mit $\cos \alpha$ zu multiplizieren. Bereiche in der Verlängerung der Antennenbasis waren also nicht brauchbar für eine Ortung!



Oben links: UKW-Drehfunkfeuer FuSAn 724/725 »Bernhard« (500 W/5 KW, 30,0–33,3 MHz).

Oben rechts: Richtkeulen der UKW-Drehfunkfeuer »Bernhard« (darunter Schreibstreifen des Bordgerätes »Bernhardline«).

Funklandegerät FuBl 2 (links 30,0–33,3 MHz) mit Drehfunkfeuerzusatz FuG 120 »Bernhardline« (rechts), oben der Hellschreiber HS 120.



daß sich die Anzeigen alle 30° (bei »Sonne« alle 20°) wiederholt hätten. Die wichtigsten Bauteile (Goniometer etc.) waren gebaut und geprüft, der Bau der Anlage wurde jedoch dann zugunsten anderer Anlagen (s.w. unten) zurückgestellt [82].

Bordseitig sollte als *Funkfeuer-Empfangsgerät* das UKW-Sprechgerät *FuG 16ZY* bzw. dessen Nachfolger verwendet werden, wobei als Reichweite ca. 500 km mit Genauigkeiten von $\pm 0,2^\circ$ (entsprechend Ab-lagen ± 450 m) erwartet wurden. Erprobungen fanden keine mehr statt [82].

Ebenfalls im Jahre 1943 begann die Fa. Lorenz (H. Eggers) mit der Untersuchung eines *UKW-Phasendrehfunkfeuers* »Erich«, das auf einem bereits 1940 erteilten Patent beruhte. Als Frequenzbereich wurde wieder derjenige des UKW-Landefunkfeuers gewählt (30–33,3 MHz). Die Antenne bestand aus 4 in $\frac{1}{8}$ Wellenlänge Abstand um den Mittelstrahler gruppierten Dipolen, welche von einem 500 W-AFF-Sender über ein rotierendes Goniometer (mit Motorantrieb) gespeist wurden. Es wurde so ein schnell umlaufendes (50 U/Sek.) kardioidenförmiges Diagramm erzeugt, das im Empfänger 50 Mal pro Sekunde eine Feldstärkenänderung (Maximum und Minimum) entstehen ließ, die sich praktisch wie eine Amplitudenmodulation auswirkte. D.h. am Empfängerausgang stand eine Meßfrequenz von 50 Hz zur Verfügung, deren Phasenlage von der jeweiligen Stellung des Empfängers zum Senderstandort abhängig war. Um eine Messung der elektrischen Phase durchführen zu können, wurde der die Mittelantenne speisende 10 W-Sender mit einer Bezugsfrequenz von 50 Hz frequenzmoduliert. Die im Empfänger entstehende Zwischenfrequenz enthielt also die richtungsabhängige Meßfrequenz als Amplitudenmodulation (AM) und die richtungsunabhängige Bezugsfrequenz als Frequenzmodulation (FM), die in parallel geschalteten AM- bzw. FM-Demodulatoren gewonnen und nach Verstärkung einer Phasenuhr (ähnlich derjenigen bei »Erika«) zugeleitet wurden. Die nutzbare Reichweite eines derartigen Systems war z. T. begrenzt durch das Strahlungsminimum des Richtdiagramms, da am Empfänger eine bestimmte Mindestfeldstärke zur Gewinnung der Betriebsspannungen der Phasenuhr benötigt wurde. Es wurden daher

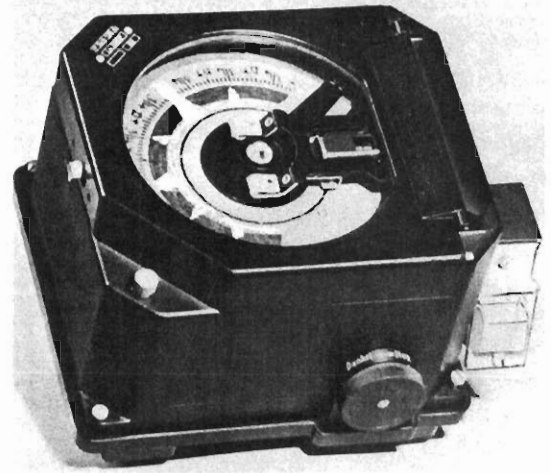
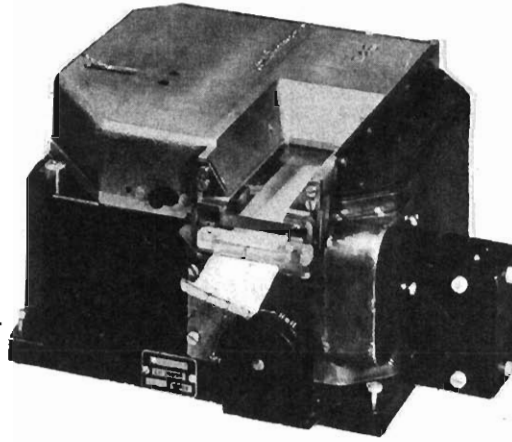
weitere Varianten des Systems in Betracht gezogen, die z. T. dem gleichzeitig und unabhängig davon in den USA in Entwicklung befindlichen VOR- (Visual Omni Range-)Funkfeuer ähnelten [82/96].

Das zugehörige *UKW-Funkfeuer-Empfangsgerät* »Erich-Bord« = »NF-Phasemesser« sollte wieder den Empfänger EBI 3 G (30–33,3MHz) verwenden und ein Zusatzgerät mit einer Phasenuhr (der Fa. Kimmel). Letztere war ähnlich derjenigen des FuG 121 aufgebaut, jedoch mit einer 360°-Skala versehen. Da das Verfahren (infolge der Verwendung eines Richtdiagramms mit nur einem Minimum) keine bessere Genauigkeit als $\pm 1^\circ$ erwarten ließ, wurde es 1944 zugunsten der nachfolgend besprochenen Anlage eingestellt [82/96].

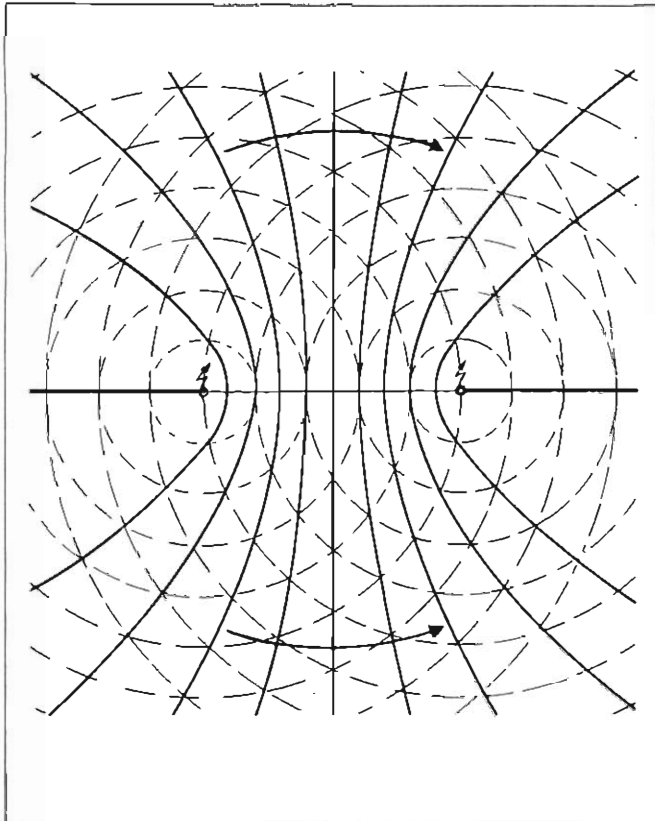
Das in den Jahren 1943/44 bei der Fa. Lorenz (Dr. Kramar) in Entwicklung befindliche *UKW-Richtstrahl-Drehfunkfeuer* *FuS An 726* »Hermes«¹ (Frequenzbereich 31,7–33,1 MHz, Leistung 120 W) arbeitete als sog. »Sprechdrehbake«. Mit Hilfe einer endlosen Tonfilmschleife wurde in Rundstrahlung eine Ansage der jeweiligen Gradzahl von 10° zu 10° durchgegeben, welche für den Bereich von 0 bis 360° jeweils 60 Sekunden benötigte. Genau synchron damit rotierte eine mit einem Störton modulierte geschärfte Kardioiden, so daß die Durchsage nur jeweils beim Durchlauf des Minimums des Störtones verständlich war. Ein z. B. in 220° zum Sender befindliches Flugzeug hörte nur alle 60 Sekunden die Ansage »Zwo-Zwo« ohne Störton, die Ansagen »Zwo-Eins« bzw. »Zwo-Drei« waren teilweise vom Ton verdeckt, die übrigen Gradzahlen waren nicht verständlich. Die Genauigkeit eines derartigen Verfahrens war nicht sehr hoch, d.h. sie betrug etwa ± 3 –5°. Diese Funkfeuer sollten den Jägerpiloten durch Einhaltung der gleichen Peilangabe einen Zielflug zum Flugplatz ermöglichen. Die Reichweite betrug bei etwa 5 km Flughöhe 200 bis 250 km. Die Sendeantenne der auch oft mit »Hermine« bezeichneten Bodenanlage bestand aus einem Mittelstrahler, um den in $\frac{1}{8}$ Wellenlänge Abstand 4 Dipole mit Drehfeldspeisung angebracht waren. Diese Anordnung wurde mit Hilfe eines Motors (zusammen mit der Tonfilmschlei-

¹ Teilweise auch als »Hermine« bezeichnet.

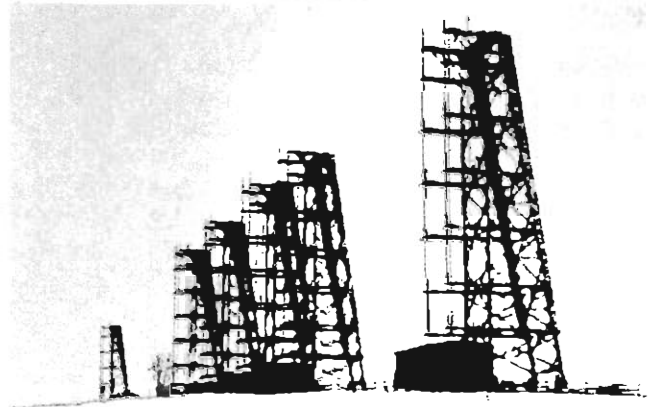
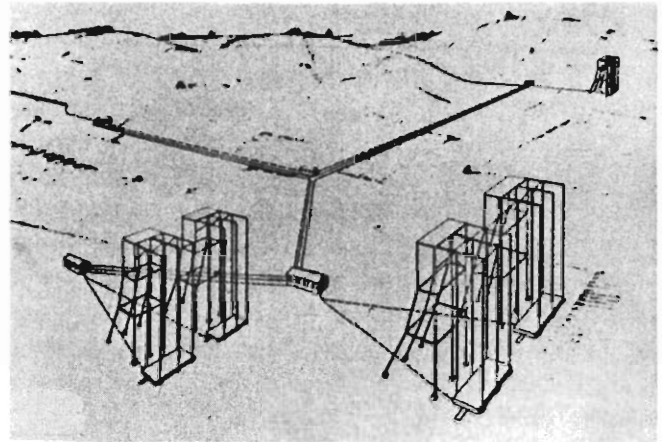
Links: Peilschreiber PSch 120 des FuG 120 a. Rechts der Peilschreiber PSch 120 A des FuG 120 b, der jedoch bald wieder durch den PSch 120 ersetzt wurde.



Entstehung von Interferenzhyperbeln bei größerem Abstand (im Beispiel $d = 5$ Wellenlängen) der Sendeantennen. Gezeichnet sind nur die Linien gleichphasigen Eintreffens der Wellen. Die entstehenden Hyperbelflächen können durch geeignete Speisung der Antennen in Rotation versetzt werden.



Zwei Bauformen des Hyperbelfächer-Drehfunkfeuers »Erika« mit 3 Antennensystemen für Grob- und Feinortung, (4 Anlagen errichtet).



fe) langsam gedreht (1 U/Minute) [82]. Im Januar 1945 waren 5 Bodenanlagen im Einsatz, an Ostern 1945 sollen es 13 oder 14 gewesen sein, welche über das ganze Reichsgebiet verteilt waren. Die Stationskennung erfolgte (unter Abschaltung des Störtones?) anstelle der »Null-Null«-Durchsage durch Abstrahlung eines Ortsnamens, z. B. »Berolina« für Berlin [101].

Das zugehörige *Funkfeuer-Empfangsgerät FuG 125 »Hermine«* (Lorenz) hatte einen Frequenzbereich 30,0–33,3 MHz (ausgenutzt wurden davon 31,7–33,1 MHz = Kanal 18–32). Es bestand aus einem Empfänger EBI 3 F mit Fernbediengerät, einem Verstärker ZV 3 (ersatzweise V 3 oder V 3A), einem Lautstärke-regler LR 3 und einem Anzeigezusatz ZuG 125. Als Antenne wurde die Empfangsantenne des UKW-Sprechgerätes FuG 16ZY mitbenutzt. Die Reichweite betrug bis zu 200 km, die Genauigkeit lag bei $\pm 5^\circ$ bis $\pm 3^\circ$. Die Geräte wurden – im Gegensatz zu den Bodenstellen – erst bei Kriegsende verfügbar und daher nur bei einigen mit Me 109, FW 190 bzw. Ta 152 und Me 262 ausgerüsteten Schlechtwettergruppen noch eingeführt, desgl. u.a. auch bei 15 ME 262 des K.G. 51 [101]. Sie gestatteten sowohl den Empfang der Drehfunkfeuer »Hermes«, als auch den Anflug auf dem Leitstrahl der Landefunkfeuer nach Gehör und Instrumentenanzeige¹ (alternativ zum UKW-Zielflug mit FuG 16ZY). Für mehrsitzige Flugzeuge (z. B. Nachtjäger Me 262 und Do 335) war eine Version *FuG 125C* mit Verstärker EiV 125 (mit EiV² für die Besatzung) vorgesehen, wobei eine Kombination mit FuG 120A und dem Aufschaltgerät AWG des FuG 130 möglich war. Auch das für die He 162 bestimmte UKW-Bordsprechgerät FuG 24Z sollte zum Empfang der »Hermes«-Drehfunkfeuer und zum Anflug von Landefunkfeuern (nur nach Gehör) verwendet werden.

2.5 HYPERBEL-NAVIGATIONSANLAGEN

Zwischen 2 mit der gleichen Frequenz (gleich- oder gegenphasig) erregten Antennen bilden sich hyperbelförmige Interferenzlinien (Empfangsmaxima und -Minima) aus, wenn der Strahlerabstand größer als ein Vielfaches der halben Wellenlänge ist. Von einer gewissen Entfernung von der Antennenbasis an können die Hyperbellinien als strahlenförmig von der Basis ausgehende Geraden betrachtet werden. Eigenartigerweise schlug die erste deutsche Arbeit auf dem Gebiet der Hyperbelnavigation, ein im Jahre 1930 veröffentlichtes Patent von Dr. Harms, nicht die Verwendung solcher reeller Hyperbellinien vor. Gemäß der Patentschrift sollten 2 Sender mit ihren Antennen in einem gewissen Abstand aufgestellt werden, von denen der eine auf einer bestimmten Frequenz, der andere auf genau der doppelten Frequenz kontinuierlich strahlen sollte. Die Bordanlage sollte daher 2 Empfänger enthalten, wobei im ersten die empfangene Frequenz zu verdoppeln war. Demgemäß hätte an den Ausgängen der HF-Teile je eine HF-Spannung zur Verfügung gestanden, deren Frequenz gleich, deren gegenseitige Phasenlage jedoch von der Stellung der Empfangsanlage zur Senderbasis abhängig war. D.h. die virtuellen Hyperbellinien konnten sich erst in der Empfangsanlage bilden und über Phasendrehglieder die polarisierten Elektromagnete eines Zählwerkes (mit Vorwärts-) Rückwärts-Zählung) betätigen [105].

Erst im Jahre 1934 wurde in Zusammenarbeit zwischen der Fa. Lorenz und der DVL praktische Versuche für ein Dauerstrich-Hyperbelnavigations-Verfahren durchgeführt, wobei das *UKW-Fächerfunkfeuer »DVL-Erika«* entstand. Zwei in einem Abstand von 13 km aufgestellte vertikale Antennen strahlten die gleiche Frequenz (ca. 43 MHz/ λ ca. 7 m) mit genau gleicher HF-Phase ab. Dadurch bildeten sich entsprechend dem Antennenabstand nun 1850 Interferenz-Maxima (und ebensoviele Minima) in Form stehender Hyperbellinien, welche auf der Verbindungslinie der Antennen also nur 7 m Abstand (Maximum zu Maximum) aufwiesen. Der Winkel zwischen 2 Asymptoten betrug dort etwa $0,1^\circ$. Bedingt durch Ungleichmäßigkeiten der Ausbreitung ver-

¹ Bei Kriegsende gab es auch Einflugzeichensender, die auf den Frequenzbereich 38–42 MHz umgerüstet waren.

² EiV = Eigenverständigung = Bord-Telefon.