

KRIEG IM AETHER

Vorlesungen an der Eidgenössischen Technischen Hochschule in Zürich
im Wintersemester 1982/1983

Leitung:

Bundesamt für Übermittlungstruppen

Divisionär J. Biedermann, Waffenchef der Übermittlungstruppen

Kurzwellenverbindungen im Satellitenzeitalter

Referent: M. Gempeler, El Ing HTL und R.E. Thomann

5-1

KURZWELLENVERBINDUNGEN IM SATELLITENZEITALTER

Doppelvortrag von

M. Gempeler, El. Ing. HTL

R. E. Thomann

INHALTSVERZEICHNIS

1. Grundlagen der Wellenausbreitung
 - 1.1. Einführung
 - 1.2. Wellenausbreitung im Plasma
 - 1.3. Ausbreitung der Kurzwellen
2. Antennen
 - 2.1. Wellenablösung und Wellenfeld
 - 2.2. Kenngrößen der Antenne
 - 2.3. Antennen für die KW-Uebertragung
3. Die Kurzwelldienste bei der Radio-Schweiz AG
 - 3.1. Rückblick
 - 3.2. Heutige Kurzwelldienste und Uebertragungsarten
 - 3.3. Fehlerkorrektursysteme
 - 3.4. Betriebsmittel
4. Zukunft der Kurzwelldienste

Adressen der Autoren:

Martin Gempeler, El. Ing. HTL
Radio-Schweiz AG
3000 Bern 14

Robert E. Thomann
Radio-Schweiz AG
3000 Bern 14

"Krieg im Aether", Folge XXII

5-2

1. GRUNDLAGEN DER WELLENAUSBREITUNG

1.1. EINFUEHRUNG

Der Vollständigkeit halber seien in den nachfolgenden Kapiteln vorerst einige Grundlagen der KW-Uebertragung rekapituliert.

Normalerweise ist der Abstand zwischen Sender und Empfänger sehr gross im Vergleich zur Wellenlänge des elektromagnetischen Feldes. Deshalb gehen wir nicht auf die komplizierten Wellenerscheinungen im Nahfeld der Antennen ein und beschränken uns auf die Betrachtung der Verhältnisse in der Ferne. Die Ausbreitung geschieht entweder als Bodenwelle parallel zur Erdoberfläche oder als Raumwelle in den freien Raum.

Die Erdatmosphäre ist eine Gashölle um die Erde, die bis etwa 3'000 km Höhe reicht. Der für die Wellenausbreitung wichtige Teil der Atmosphäre reicht bis etwa 500 km Höhe. Die Unterteilung ist in Figur 1 dargestellt.

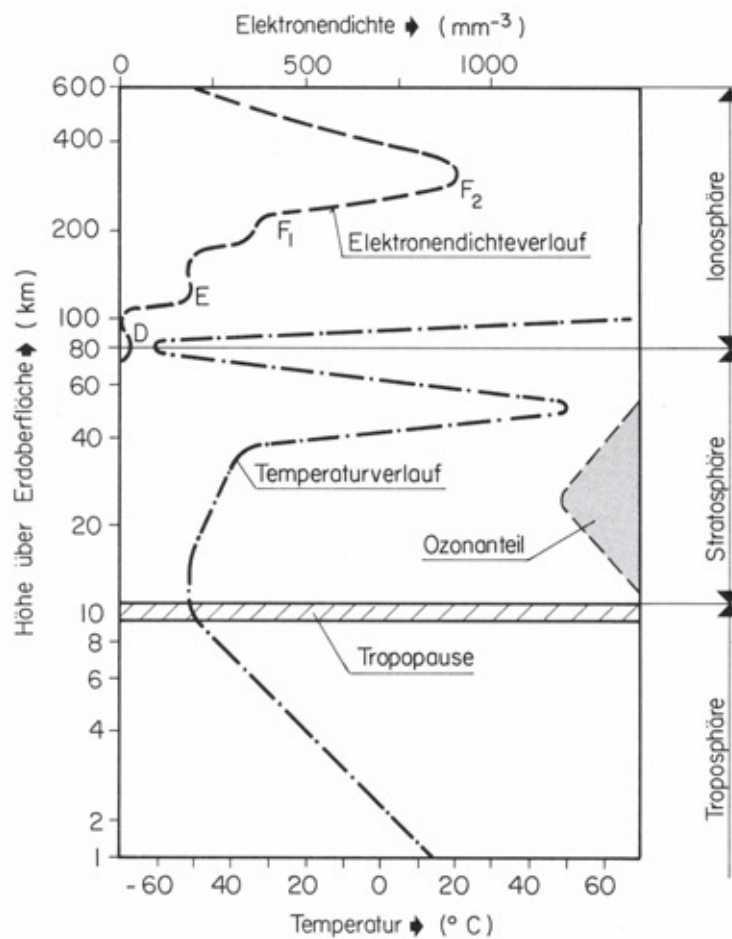


Fig. 1 Schichten der Erdatmosphäre

Troposphäre: Sie befindet sich zwischen der Erdoberfläche und einer Höhe von ca. 11 km. Die Temperatur nimmt darin linear mit der Höhe ab bis auf ca. -50° C.

Stratosphäre: Die sich zwischen einer Höhe von 11 km bis 80 km erstreckende Stratosphäre weist im unteren Teil eine Temperatur von ca. -40° bis -50° C auf und enthält hier den für die Absorption der schädlichen UV-Strahlen verantwortlichen Ozongürtel. Im oberen Teil der Stratosphäre nimmt die Temperatur zu, bis sie etwa bei 50 km Höhe ein Maximum erreicht.

5-3

Ionosphäre: Oberhalb der Höhe von ca. 50 km nimmt die Temperatur stark ab und weist bei ca. 80 km Höhe ein Minimum auf. Hier beginnt die Ionosphäre, die bis 500 km reicht. Der Name Ionosphäre deutet an, dass durch energiereiche Sonneneinstrahlung (UV- und Gammastrahlung) ein grosser Teil der Luftmoleküle ionisiert wird (negative freie Elektronen und positive Atomreste, Ionen).

Im obersten Teil von Figur 1 ist der Verlauf der Elektronendichte in der Ionosphäre eingezeichnet. Die Schichtung der Elektronendichte wird mit den Buchstaben D, E, F₁ und F₂ bezeichnet. Die F₂-Schicht in etwa 300 km Höhe weist die höchste Elektronendichte auf.

Da die Intensität der Sonneneinstrahlung für die Ionisation der Ionosphäre verantwortlich ist, schwankt die Elektronendichte je nach Tages- und Jahreszeit und der Aktivität der Sonnenflecken.

1.2. WELLENAUSBREITUNG IM PLASMA

Ein vollständig ionisiertes Gas, das gleichviele positive und negative Ladungsträger enthält, nennt man Plasma. Wegen der geringen Luftdichte und der Ionisation der Luftmoleküle in der Ionosphäre kann man die ionisierten Schichten gut mit einem Plasma vergleichen.

Trifft nun eine elektromagnetische Welle mit Lichtgeschwindigkeit c auf ein Plasma auf, so läuft sie mit der Gruppengeschwindigkeit v_g weiter:

$$v_g = c \cdot \sqrt{1 - \left(\frac{\omega_c}{\omega}\right)^2}$$

ω_c heisst die kritische Frequenz oder Plasmafrequenz und berechnet sich wie folgt:

$$\omega_c = \sqrt{\frac{nq^2}{m\epsilon_0}}$$

- n = Elektronenkonzentration im Plasma [m⁻³]
- q = Elementarladung des Elektrons = 1,602 · 10⁻¹⁹ [As]
- m = Ruhemasse des Elektrons = 9,1083 · 10⁻³¹ [kg]
- ε₀ = elektrische Feldkonstante = 8,8542 · 10⁻¹² [$\frac{As}{Vm}$]

Weil q, m und ε₀ Konstanten sind, hängt die kritische Frequenz nur von der Elektronenkonzentration ab. Die kritische Frequenz f_c bzw. ω_c beeinflusst das Ausbreitungsverhalten der elektromagnetischen Wellen wesentlich. Für die Elektronenkonzentration der F₂-Schicht betragen die kritischen Frequenzen f_c zwischen 0,5 MHz und 15 MHz.

Aus der Formel für die Gruppengeschwindigkeit v_g im Plasma kann man ablesen, dass für ω >> ω_c die Gruppengeschwindigkeit etwa gleich der Lichtgeschwindigkeit ist. Mit abnehmender Betriebsfrequenz ω wird jedoch v_g stets kleiner und im Grenzfall ω = ω_c ergibt sich schliesslich v_g = 0. Die elektromagnetischen Wellen breiten sich im Plasma also nur aus, wenn die Betriebsfrequenz grösser ist als die kritische Frequenz ω_c. Wenn die beiden Frequenzen gleich gross sind, so hört der Energietransport vollständig auf, d.h. die ionisierte Schicht reflektiert alle ankommenden Wellen.

Der Wellenwiderstand des Plasmas berechnet sich wie folgt:

$$Z_p = \frac{Z_0}{\sqrt{1 - \left(\frac{\omega_c}{\omega}\right)^2}}$$

Z₀ = Wellenwiderstand des freien Raumes = 376,6[Ω]

Für ω > ω_c ist die komplexe Grösse Z_p reell, und sie strebt gegen Z₀ falls ω >> ω_c. Eine einfallende Welle läuft in diesem Fall ungehindert durch das Plasma. Wenn aber die Betriebsfrequenz etwa gleich gross ist wie die Plasmafrequenz, dann geht Z_p gegen Unendlich. Dies bedeutet, dass das Plasma die einfallende Welle vollständig reflektiert. Für ω < ω_c wird der Wellenwiderstand des Plasmas rein imaginär und eine Wellenausbreitung wird unmöglich.

5-4

1.3. AUSBREITUNG DER KURZWELLEN

Als Kurzwellen bezeichnet man Wellen im Bereich von 3 30 MHz. Dies entspricht Wellenlängen von 10010 m.

Wir betrachten die Ausbreitung der elektromagnetischen Wellen an einer einseitig geerdeten Antenne (kurze Stabantenne oder Marconiantenne). Wird die Leitfähigkeit der Erdoberfläche als unendlich gut angenommen, breiten sich die Bodenwellen gleichmässig als Halbkugeln aus (Figur 2 Kurve 1).

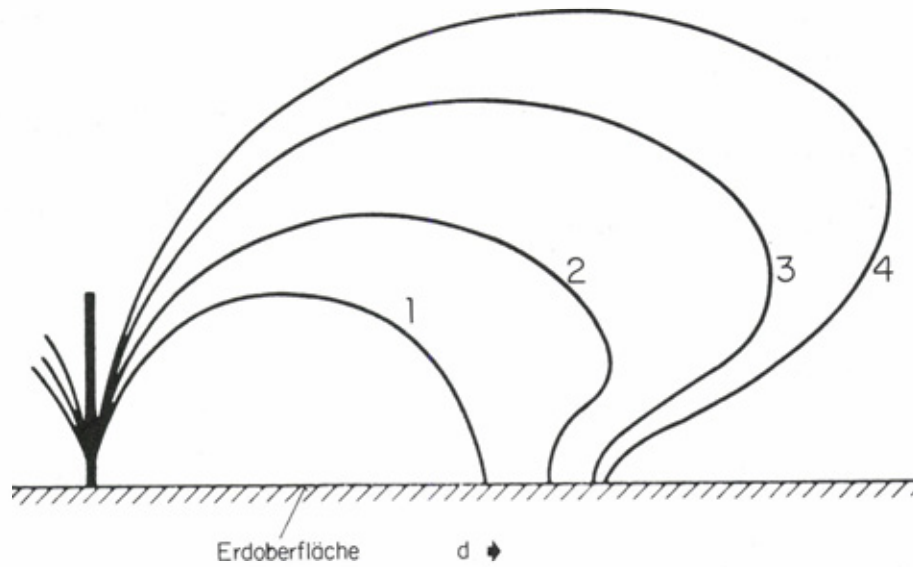


Fig. 2 Einschnürung und Bedämpfung einer Bodenwelle

Da die Leitfähigkeit aber nicht unendlich gut ist, entzieht der Boden dem Strahlungsfeld Energie. Dadurch entsteht die in Figur 2 gezeigte Einschnürung. Am Boden werden die Kurzwellen (=Bodenwellen) so stark gedämpft, dass sie kaum oder nur auf kurze Distanzen verwertbar sind. Bedeutung haben nur die Kurzwellen im Raum (=Raumwellen).

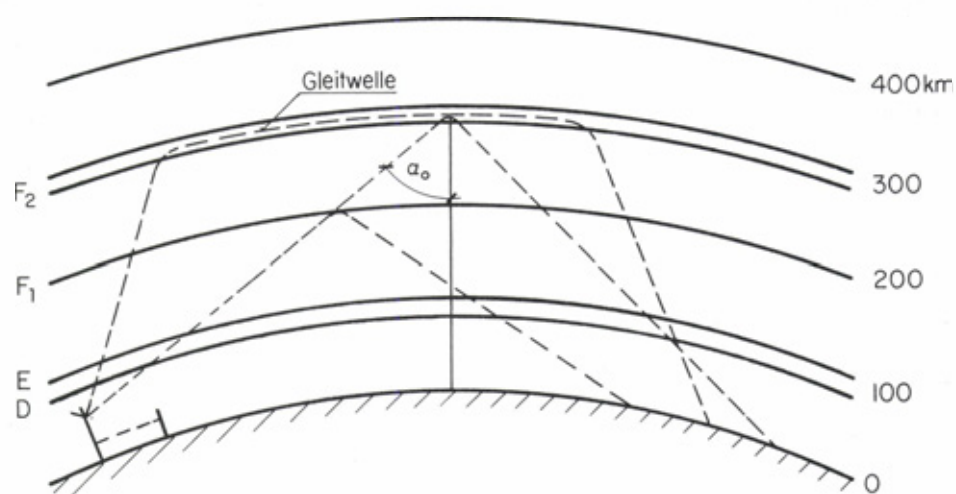


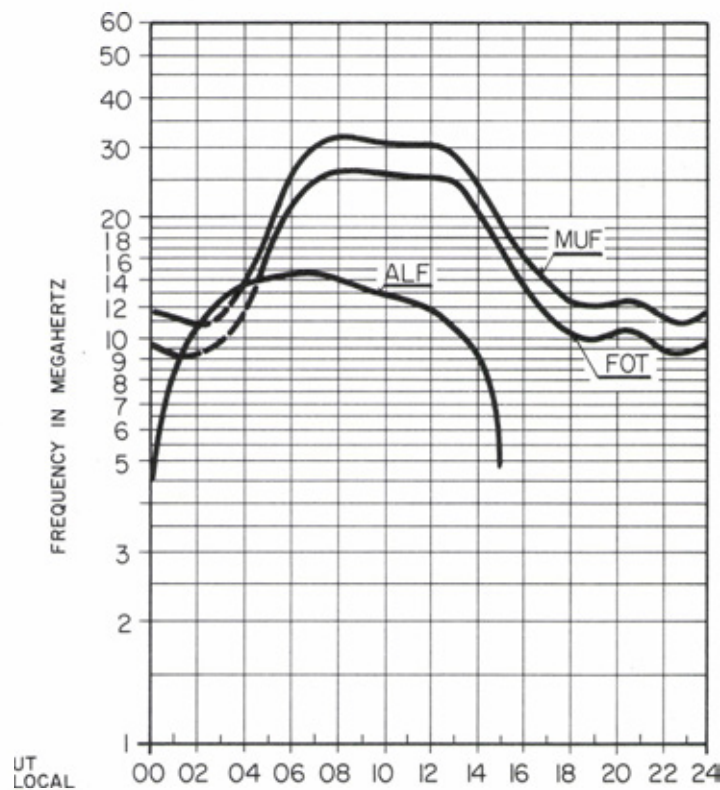
Fig. 3 Ausbreitung von Kurzwellen

5-5

Normalerweise werden Kurzwellen nicht senkrecht nach oben, sondern unter einem mehr oder weniger flachen Winkel zur Erdoberfläche abgestrahlt. Dadurch treffen die elektromagnetischen Wellen schräg auf die reflektierenden Schichten der Ionosphäre auf, und höhere Frequenzen als die kritische Frequenz werden reflektiert. Wenn der Winkel zwischen der Senkrechten und der Einfallrichtung α_0 ist, so ergibt sich als Grenzfrequenz die MUF (Maximal Usable Frequency):

$$MUF = \frac{f_c}{\cos \alpha_0}$$

Für Kurzwellenverbindungen zwischen zwei bekannten Orten können Frequenzprognosen berechnet werden, weil dafür der Winkel α_0 bestimmt werden kann. Die Ionisation der Ionosphäre ist abhängig von der Tageszeit, der Sonnenfleckenaktivität und weiteren Faktoren. Sie kann mit recht guten Resultaten vorausgesagt werden. Figur 4 zeigt eine MUF-Kurve, wie sie den Betreibern von Kurzwellenverbindungen zur Verfügung steht.



PREDICTED VALUES OF MUF + FOT + ALF
ROUTE BANGKOK TO GENEVA (9160 km) MONTH OCTOBER 1982

Fig. 4 KW-Frequenzprognose

Tagsüber werden genügend schräg einfallende Raumwellen an der F₁-Schicht reflektiert. Während der Nacht verschwindet diese Schicht, so dass Reflexionen und Brechungen an der F₂-Schicht auftreten. Durch die Ausbildung von Gleitwellen (Schlauchübertragung) oder durch Mehrfachreflexionen sind Verbindungen rund um die Erde möglich.

5-6

2. ANTENNEN

2.1. WELLENABLOESUNG UND WELLENFELD

Wie bereits erwähnt, kann sich ein elektromagnetisches Feld von einem Leiter ablösen und als Welle in den freien Raum treten. Die Strom- und Spannungsverteilung an einem Dipol der Länge $\lambda/2$ oder an einer einseitig geerdeten Antenne ist in Figur 5 dargestellt.

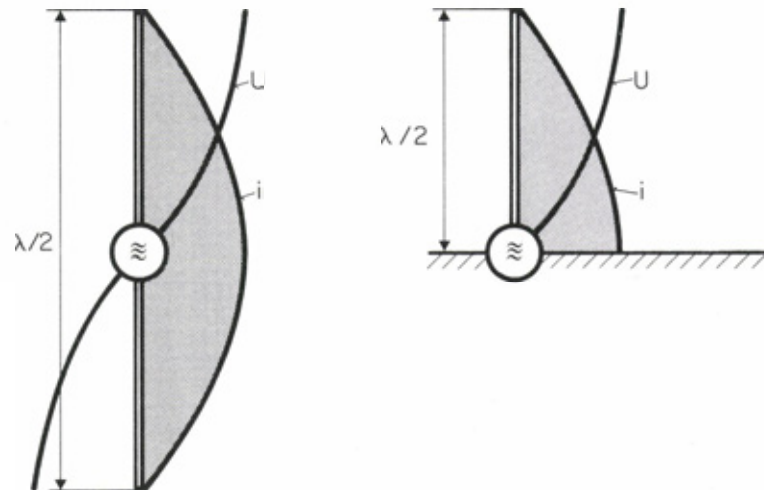


Fig. 5 Strom- und Spannungsverteilung auf Dipol- und einseitig geerdeter Antenne

Das Strommaximum befindet sich in der Nähe des "Speisepunktes". Dies bedeutet, dass die Bereiche um den Speisepunkt mehr zur Energieabstrahlung beitragen als die Enden der Antenne. Mit Hilfe der sog. Endkapazitäten kann man eine gleichmässige Stromverteilung erzwingen, und es entstehen L-, T- oder Schirmantennen. Die Wellenablösung an einer Dipolantenne ergibt ein linear polarisiertes Wellenfeld. Es breitet sich in allen Richtungen senkrecht zur Dipolachse aus, wenn der Dipol frei im Raum steht.

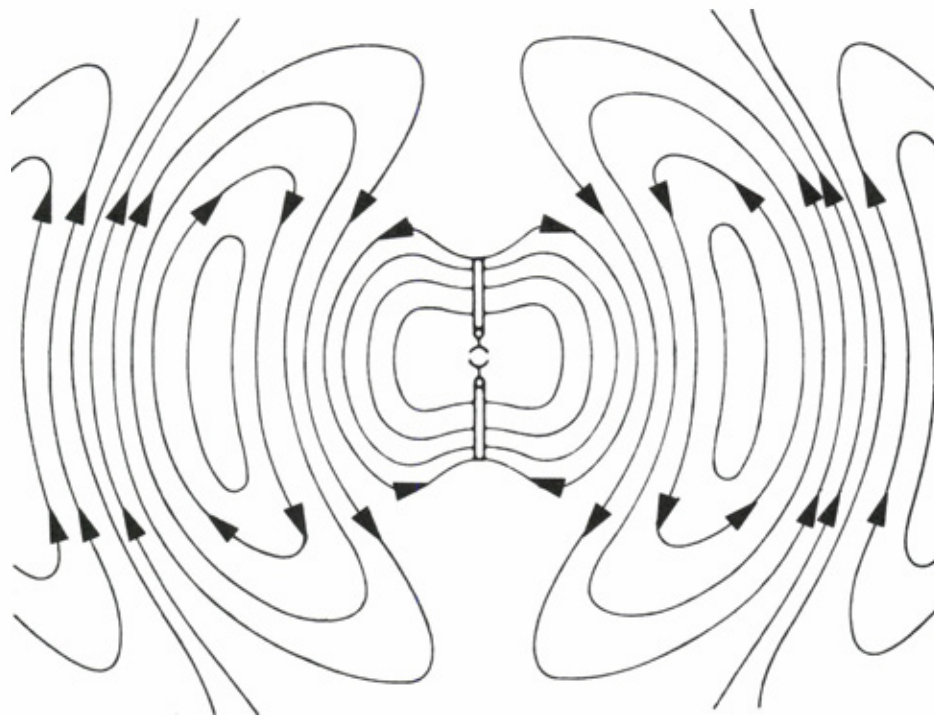
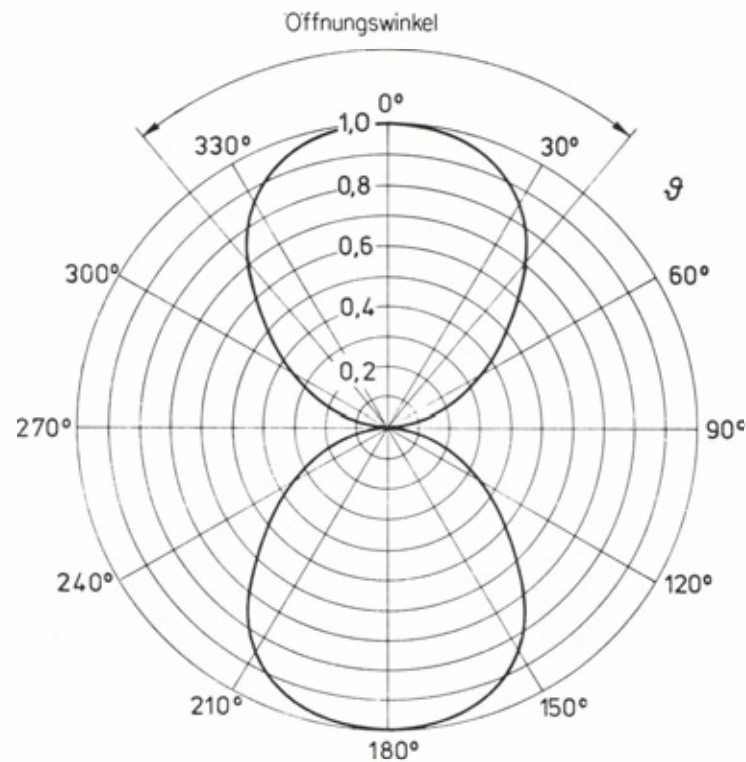


Fig. 6 Wellenablösung an einer Dipolantenne

5-7

2.2. KENNGROESSEN DER ANTENNE

Normalerweise wird die Abstrahlcharakteristik einer Antenne in einem zweidimensionalen Diagramm dargestellt. Figur 7 zeigt ein solches Richtdiagramm für einen $\lambda/2$ -Dipol. Dieses Diagramm ergibt sich für einen horizontal polarisierten Dipol, d.h. für einen Dipol, der parallel zur Erdoberfläche liegt. Die Abstrahlcharakteristik in der Hauptrichtung nennt man Hauptkeule.

Fig. 7 Richtdiagramm eines $\lambda/2$ -Dipols

Eine wichtige Kenngrösse für Antennen ist der Öffnungswinkel. Dieser lässt sich ermitteln, indem im Richtdiagramm zu beiden Seiten der Hauptkeule jene Punkte markiert werden, an denen die abgestrahlte Leistung auf die Hälfte abgesunken ist ($-3\text{dB} = 0,5 P$). Da das Diagramm die elektrische Feldstärke anzeigt, entspricht dieser Leistungsabfall dem Wert von 0,71.

Ein Mass für die Richtfähigkeit einer Antenne ist der Antennengewinn. Die Antenne wird dabei mit einem Kugelstrahler oder einem Normaldipol verglichen.

$$g = \frac{P}{P_0} \qquad G = 10 \cdot \log \frac{P}{P_0}$$

g = Antennengewinn

G = Antennengewinn in dB

P = Leistung der Antenne in Richtung der Achse der Hauptkeule [W]

P_0 = Leistung der Bezugsantenne [W]

5-8

Je nach vorgesehenem Einsatz verwendet man für sehr schmale Frequenzbereiche sog. Kanalantennen, für grosse Frequenzbereiche sog. Breitbandantennen. Die schmalbandigen Antennen können aufgrund ihrer geometrischen und elektrischen Eigenschaften optimal an die gewünschte Frequenz angepasst werden. Breitbandantennen dagegen können immer nur eine Kompromisslösung darstellen.

Im allgemeinen können dieselben Antennenbauformen sowohl für den Sende- wie für den Empfangsbetrieb eingesetzt werden.

2.3. ANTENNEN FUER DIE KW-UEBERTRAGUNGRundstrahlantenne

Die Rundstrahlantenne (z.B. Reusenantenne in Figur 8) wird im Verkehr mit Gegenstationen eingesetzt, die in unbekannter Richtung liegen, z.B. im mobilen Funkdienst.

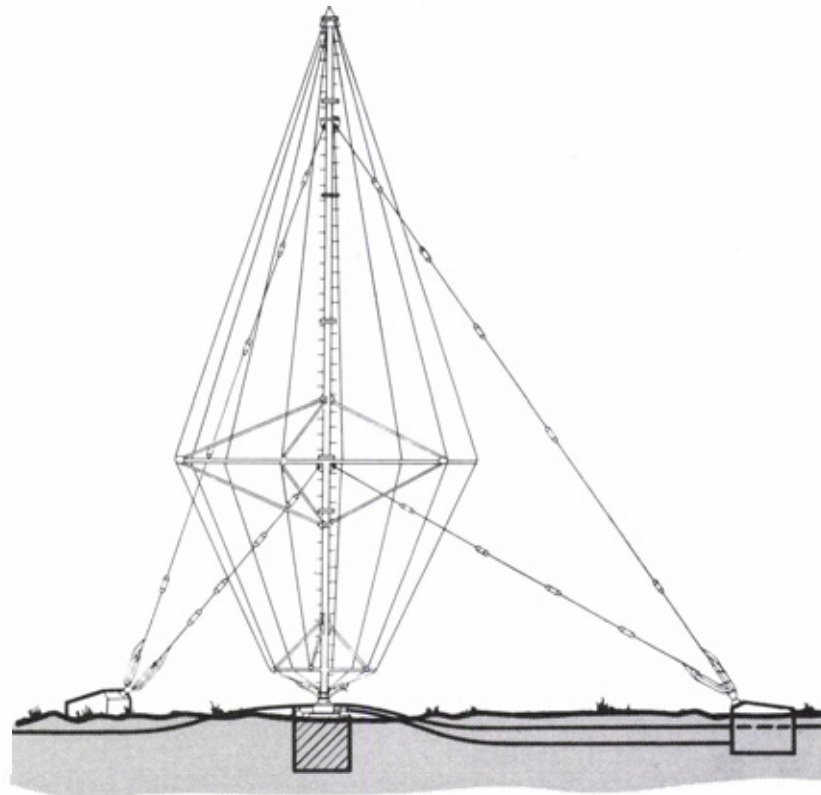


Fig. 8 Reusenantenne

Langdrahtantenne

Ein mehrere Wellenlängen langer Draht bildet, zusammen mit der Erdoberfläche, eine Doppelleitung. Da diese Leitung an einem Ende gespeist wird und am andern Ende offen ist, ergeben sich stehende Wellen.

Eine spezielle Ausführung der Langdrahtantenne ist die Rhombusantenne (Figur 9). Mit ihr erreicht man eine äusserst gute Bündelung der Hauptkeule und günstige Elevationswinkel gegen die Ionosphäre. Die Rhombusantenne ist die wichtigste gerichtete Antenne für Punkt-Punkt KW-Verbindungen.

5-9

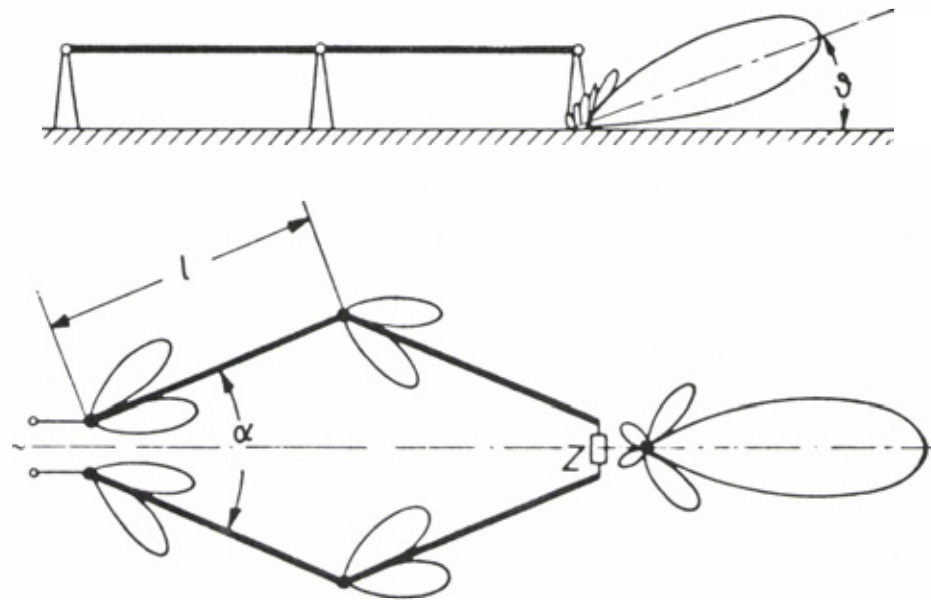


Fig. 9 Rhombusantenne

Logarithmisch-periodische Antenne

Die logarithmisch-periodische Antenne ist eine Breitbandantenne. Ihr Antennengewinn liegt nur bei etwa 8 dB gegenüber einem Halbwellendipol. Dafür weist sie eine Rückwärtsdämpfung von 25 ... 35 dB auf. Sie besteht aus einem System gespeister Dipole (Figur 10) und ist eine weitere wichtige Antenne für die mobilen Funkdienste.

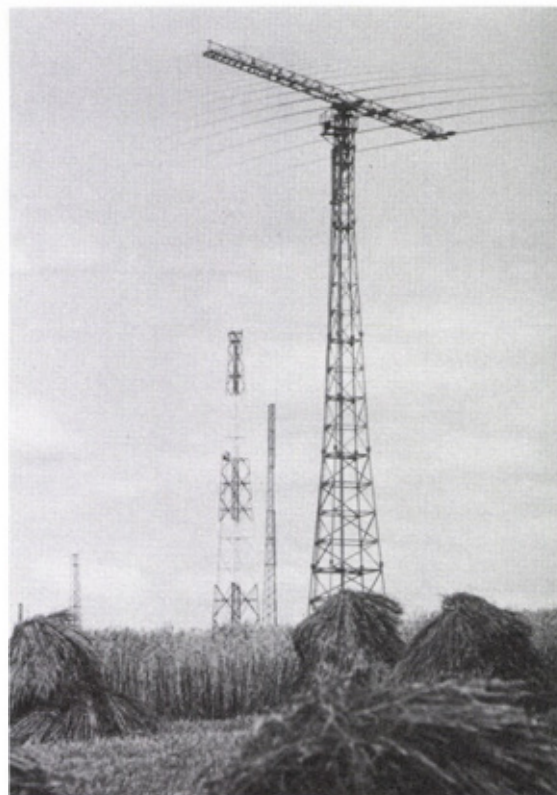


Fig. 10 Logarithmisch-periodische Antenne

5-10

3. DIE KURZWELLENDIENSTE BEI DER RADIO-SCHWEIZ AG3.1. RUECKBLICK

Zu Beginn des 2. Weltkrieges war die Schweiz versorgungs- und nachrichtentechnisch völlig von den Achsenmächten abhängig. Um die Zufuhr von lebenswichtigen Gütern zu sichern, wurde eine eigene Handelsflotte aufgestellt, die über die Freihäfen Lissabon und Genua einen Zugang zur Schweiz erhielt. Dies bedingte ebenfalls die Errichtung einer Nachrichtenverbindung zu diesen Einheiten auf See. Diese Aufgabe wurde schon damals der RSAG zugewiesen.

Aber auch von der übrigen Welt wären wir nachrichtentechnisch abgeschnitten gewesen, hätte nicht der Bundesrat der PTT den Auftrag erteilt, eigene Kurzwellenverbindungen herzustellen.

Während die RSAG ihre bereits vorhandenen telegrafischen Dienste erweiterte, übernahm die PTT den radiotelefonischen Dienst, vorerst mit alten AM-Sendern, dann nach und nach mit neuen Einseitenband-Sendern in Schwarzenburg.

Nach dem Kriege war die Schweiz ein wahres Nachrichtenparadies. Für die amerikanischen Soldaten, die GI's, die die Schweiz in einem wahren Massentourismus eroberten, bedeutete dies die einzige Möglichkeit, mit ihren Angehörigen zuhause zu telefonieren oder zu telegrafieren.

Die nun rasch einsetzende Erweiterung der Kurzwellenanlagen und die Aufnahme von neuen, weltweiten Verbindungen erreichte Ende der 60er Jahre einen absoluten Höhepunkt. Die Modernisierung der Anlagen erlaubte eine wesentlich bessere Ausnutzung der Verbindungskapazitäten, beispielsweise mittels Erweiterung durch Mehrkanal-ARQ-Telegrafiekanaäle oder in der Telefonie durch Aufschaltung von bis zu 4 Sprachkanälen pro Sender. Die spätere Einführung der Lincompektechnik führte abermals zu einer Verbesserung der Uebermittlungsqualität.

Ab 1970 mehrten sich die TAT (Trans-Atlantic-Telecom)-Unterseekabel. Geostationäre Nachrichtensatelliten übernahmen mehr und mehr die sog. Punkt-Punkt Verbindungen. Radioverbindungen mit unsern Gegenstationen wurden langsam aber sicher eingestellt. Die Unkenrufe mehrten sich, die besagten: "Die Kurzwellenverbindungen sind zum Tode verurteilt, spätestens Ende der 80er Jahre ist auf dem Kurzwellenband höchstens noch Rauschen zu hören...". Wie sieht die Lage heute aus?

Wohl entschloss sich die PTT, bis zum Frühjahr 1980 alle ihre noch verbliebenen Kurzwellenverbindungen im Rahmen der sog. Entflechtung der Arbeitsteilung zwischen PTT und RSAG der Letzteren zu übertragen. Es handelte sich dabei einerseits um eine einzige RT-Verbindung mit Montevideo, die inzwischen auch eingestellt worden ist, und andererseits um den sich expandierenden Flugfunk, genannt "Berna-Radio" (nicht zu verwechseln mit dem Flugsicherungsfunk auf UKW).

Die Tendenz war unverkennbar: Verlagerte sich der Punkt-Punkt-Verkehr auf Kabel- und Satellitenverbindungen, so stieg die Nachfrage nach Kurzwellenverbindungen in den mobilen Diensten. Die durch die Industrie angebotene neue Gerätegeneration der Synthesizer mit der dekadischen Frequenzaufbereitung in Einseitenbandtechnik eröffnete Perspektiven, die vom Markt sofort erkannt und genutzt wurden. In der Flugzeugindustrie wurden leistungsfähige Transceiver angeboten und eingebaut. Yachten und Hochseeschiffe modernisierten ihre Anlagen und verfügen heute über Radiotelefonie und selbstkorrigierende Telexanlagen. Nachrichtenagenturen, Katastrophenhilfscorps und der diplomatische Dienst haben die neuen Möglichkeiten ebenfalls erkannt und sind gegenwärtig daran, ihre veralteten KW-Anlagen zu erneuern oder zumindest zu modifizieren.

Um der Nachfrage im mobilen Radiodienst zu genügen, musste die RSAG ihre Anlagen beibehalten und modernisieren. Im PTT-Mandat zur Uebernahme sämtlicher HF-Dienste durch die RSAG waren auch die Auflagen zur nachrichtentechnischen Vorsorge für den Kriegsfall enthalten. Ein entsprechendes Konzept wurde von der RSAG ausgearbeitet und der zuständigen bundesrätlichen Kommission zur Genehmigung unterbreitet.

5-11

3.2. HEUTIGE KURZWELLENDIENSTE UND UEBERTRAGUNGSARTEN

3.2.1. MORSE-TELEGRAFIE

Bei der Morse-Telegrafie wird die hochfrequente Trägerwelle im Morsecode getastet. Die RSAG setzt die Morse-Telegrafie im Seefunkdienst ein. 1981 wurden pro Tag 216 Verbindungen hergestellt. Mit routiniertem Personal betrieben, stellt die Morse-Telegrafie noch heute die einfachste und zuverlässigste Uebertragungsart dar. Andererseits ist sie langsam und sehr personalintensiv. Auch wir rechnen auf Ende der 80er Jahre mit einem Rückgang bei dieser Dienstleistung, aber nicht mit ihrer völligen Einstellung. So werden wir 1983 mit einer modernen Telegrafieranlage für den Seefunkdienst versuchen, bei gleicher Qualität den Personalaufwand zu reduzieren.

3.2.2. RADIO-TELEFONIE

Modulationstechnik

Im See- sowie im Flugfunkdienst wird nur noch die moderne Art der Amplitudenmodulation, nämlich die Einseitenbandtechnik (ESB) mit völlig unterdrücktem Träger eingesetzt. Vergleichen wir die ESB mit der Doppelseitenbandtechnik (DSB), der konventionellen Art der Amplitudenmodulation, stellen wir Unterschiede fest (Figur 11).

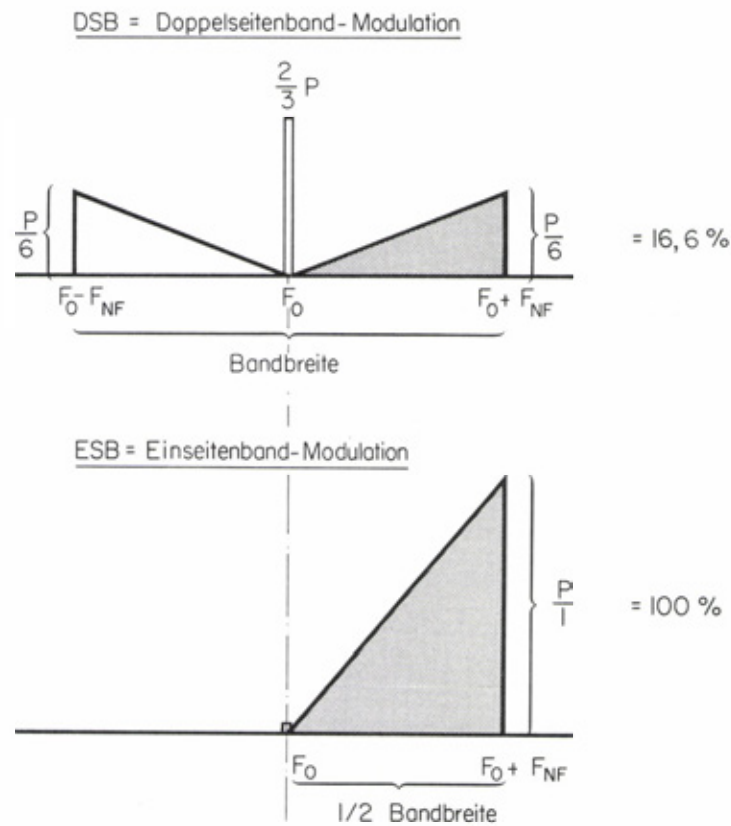


Fig. 11 Amplitudenmodulation: Vergleich DSB/ESB

Bei der DSB investieren wir 2/3 der ausgestrahlten HF-Energie in die Trägerfrequenz. Das letzte Drittel muss für die Modulation der beiden Seitenbänder aufgewendet werden. Wir wissen, dass zur Demodulation im Empfänger die Information eines einzigen Seitenbandes (also nur 1/6 der gesamten HF-Leistung) genügt. Das entspricht einem effektiven Wirkungsgrad von nur 16 %.

Legen wir hingegen die gesamte HF-Leistung in den eigentlichen Informationsträger, eben diesem einzigen Seitenband, und verzichten wir auf den an und für sich entbehrlichen Träger, dann entspricht dies einem 6fachen Leistungsgewinn (ca. 7 dB).

Der Vorteil der Einseitenbandtechnik liegt aber nicht nur in der wesentlich besseren Leistungsbilanz. ESB beansprucht nur die Hälfte der für DSB benötigten Bandbreite. Damit gewinnen wir durch das bessere Signal/Rauschverhältnis weitere 3 dB. In der ESB wird zudem die Anfälligkeit bei selektivem Fading wesentlich reduziert. Diesen beachtlichen Gewinn der Radio-Telephonie durch ESB-Technik können wir nochmals optimieren durch den Einsatz von Lincompeanlagen.

5-12

Lincompex (linear compression and expansion)

Der Lincompex-Sender hebt die natürliche Dynamik der Sprache auf, komprimiert sie auf ein bestimmtes Niveau und schickt das Produkt auf den Kurzwellenweg.

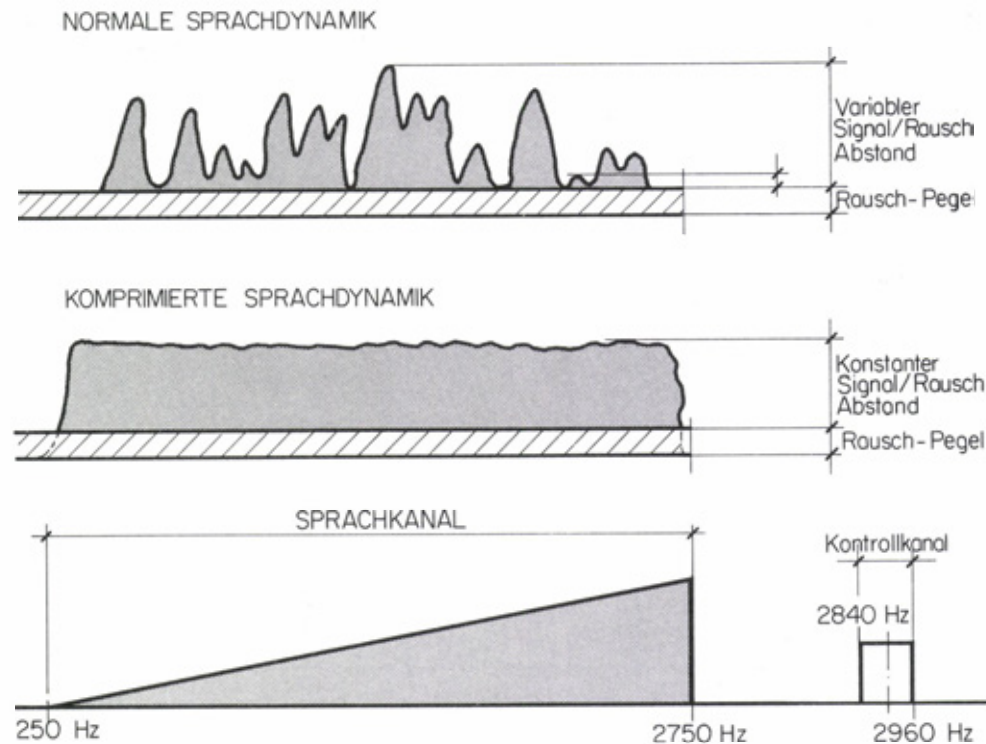


Fig. 12 Lincompex (linear compression and expansion)

Die Kompression hat den Vorteil, dass sämtliche Sprachanteile, sämtliche Silben und Zischlaute denselben Pegelunterschied gegenüber dem Grundrauschen aufweisen. Auf der Empfangsseite wird die natürliche Sprachdynamik durch Expansion wieder zurückgewonnen. Hierzu dient die Dynamikinformation, die mit der Sprache zusammen übertragen wird. Während das Sprachspektrum von 250 bis 2750 Hz reicht, wird die Sprachdynamik frequenzmoduliert über den Kontrollkanal im Bereich von 2840 bis 2960 Hz übertragen. Scharfe Bandpassfilter sorgen dafür, dass Sprachkanal und Kontrollkanal sich nicht beeinflussen. Mit diesem 120 Hz-Hub vermögen wir 60 dB Dynamik zu verarbeiten.

Lange Zeit lag das Problem des Lincompexsystems darin, diese Dynamikinformation zeitlich mit den Sprachsilben in Einklang zu bringen. Dies wurde schliesslich dadurch erreicht, dass die Sprache gegenüber der Dynamikinformation um 20 msec verzögert wurde. Damit wurden die Einschwingungsphase und die Reaktionszeit des Expansionsverstärkers berücksichtigt. Lincompex verlängert in der Regel die brauchbaren Verkehrszeiten in der Telefonie um ca. 30-35%. In den Sprechpausen regelt der Expansionsverstärker auf Null, so dass absolut nichts zu hören ist, was dem Benutzer das Gefühl gibt, auf einer Kabelleitung zu sprechen.

Ein Problem allerdings, das heute mit der Lincompex-Radiotelefonie auftaucht, ist die Mitverwendung von Sprachverschlüsselung auf digitaler Basis. Erste Versuche mit einer Schweizerfirma scheiterten an den Gruppenlaufzeitverzerrungen über die relativ steilen Filterflanken im Lincompexgerät. Man darf aber damit rechnen, dass dieses Problem gelöst werden kann.

5-13

3.2.3. FERNSCHREIBEN

Die früheren Singleprinters mit einfacher Frequenzumtastung für Mark und Space werden heute in kommerziellen Diensten kaum mehr verwendet, da die Fehlerrate bei der drahtlosen Uebermittlung TOR (Telegraphy Over Radio) zu hoch liegt.

Die RSAG verwendet nur noch selbstkorrigierende Uebermittlungssysteme, sog. ARQ-Systeme (Automatic Request). Es sind dies die 4 Kanal-Hasler-TOR-ARQ-Geräte oder die Simplex-TOR-ARQ-Anlagen (SITOR).

3.2.4. WEITERVERMITTLUNG

Telegramme und Telefonanrufe enden natürlich nicht beim Operateur, sondern müssen von diesem an ihren Bestimmungsort weitergeleitet werden. Dies geschieht durch die Vermittlung ins öffentliche Telefon- und Telexnetz der PTT.



Fig. 13 Bernradio

Telegramme werden per Fernschreiber der Automatischen Telegrammzentrale der PTT (ATECO) übergeben. Telexverbindungen werden direkt via Telexzentrale hergestellt. Radiotelefonverbindungen werden per Tontastwahl direkt in die 4-dräftige MFC (Multifrequenzton-Zentrale) der PTT-Verwaltung eingetastet, was einen rascheren Verbindungsaufbau zur fernen Telefonzentrale ermöglicht. So erfolgt ein ca. 14-stelliger Nummernaufbau mit den USA in ca. 2 Sekunden.

Im Flugfunkdienst sind die diversen Telefonnummern der Fluggesellschaften in einem Datencomputer gespeichert und werden per Kurzwahl abgerufen. So wird der Zeitaufwand für den Operateur möglichst gering gehalten.

Im Seefunkdienst ist der Verbindungsaufbau meistens einseitig, vom Schiff zur Landseite hin, während beim Flugfunkdienst beide Seiten des Verbindungsaufbaus benützt werden. Ein selektiver Ruf ermöglicht es, die Flugzeuge kurzfristig zu erreichen. Beim Flugfunk haben wir ausser der Vermittlung von Telefongesprächen auch noch das sog. Message-Handling. Bei diesem übergeben die Piloten dem Operateur eine Nachricht. Dieser leitet sie entweder auf dem Telexnetz oder über die SITA (Société Internationale de Télécom. Aérienne) weiter.

5-14

3.3. FEHLERKORREKTURSYSTEME

3.3.1. REDUNDANZ

Beim Fernschreibcode, der aus fünf Zeichenelementen oder Bits besteht, führt jede Verstümmelung eines Bits zwangsläufig zu einer Fehlinterpretation beim Empfänger. Fügt man aber ein oder mehrere Bits in der Weise hinzu, dass Uebertragungsfehler festgestellt werden können, weist der so entstandene Uebertragungscode Redundanz auf. Das meist verwendete Redundanzbit ist das vertikale Paritätsbit. Mit Hilfe dieses Paritätsbits wird in jedem codierten Zeichen die Zahl aller Einsbit (1) gerade (oder ungerade) gehalten.

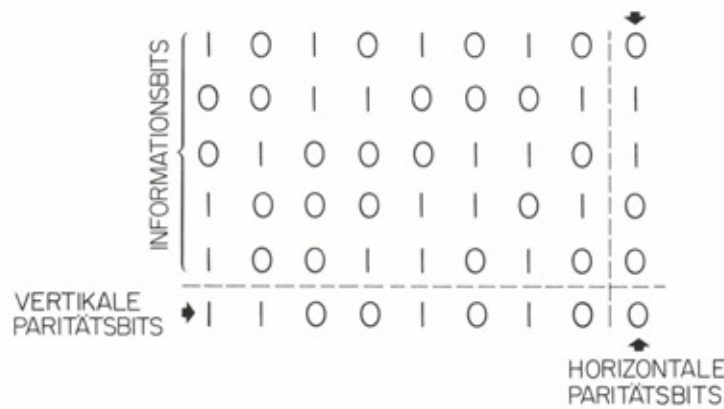


Fig. 14 Informations- und Paritätsbits

Dadurch kann in einem Zeichen eine Bit-Fälschung festgestellt werden. Welches Bit allerdings verfälscht wurde, kann der Empfänger nur bestimmen, falls der Sender horizontale und vertikale Paritätsbits zugefügt hat.

3.3.2. KORREKTURVERFAHREN

ARQ (Automatic Request)

Falls der Empfänger einen Uebertragungsfehler festgestellt hat, verlangt er bei der Sendestation solange die Wiederholung der letzten Zeichen, bis sie als richtig befunden werden.

FEC (Forward Error Correcting)

Hier versieht der Sender die zu übertragende Information mit so viel Redundanz, dass der Empfänger auch nach fehlerhafter Uebertragung einzelner Bits die originale Bitfolge rekonstruieren kann.

3.3.3. EINKANAL-TOR (SITOR)

Das im Seefunk eingesetzte Einkanal-TOR entspricht den Empfehlungen des CCIR. Es arbeitet mit nur einer Gegenstation nach dem ARQ-Verfahren. Sollen mehrere Stationen gleichzeitig erreicht werden, muss nach dem FEC-Verfahren gearbeitet werden.

5-15

Das 5-Bit Fernschreibzeichen wird in ein 7-Bit-Zeichen umgewandelt. Dabei hat jedes der 7-Bit-Zeichen das gleiche Verhältnis von 1 und 0 Bits (3:4). Ist das Verhältnis durch die Uebertragung gestört, wird das Zeichen als fehlerhaft erkannt.

| | | International code no. 2 | 7-unit code | emitted signal |
|------------------------------------|-------------------|--------------------------|--------------------------------------|----------------|
| 1 | A - | ZZAAA | ZZZAAZ | BBBYYYB |
| 2 | B ? | ZAAZZ | AZAAZZZ | YBYBBBB |
| 3 | C : | AZZZA | ZAZZZAA | BYBBBY |
| 4 | D WRU | ZAAZA | ZZAAZAZ | BBYYBYB |
| 5 | E 3 | ZAAAA | AZZAZAZ | YBBYBYB |
| 6 | F | ZAZZA | ZZAZZAA | BBYBBYY |
| 7 | G | AZAZZ | ZAZAZZA | BYBYBBY |
| 8 | H | AAZAZ | ZAAZAZZ | BYYBYBB |
| 9 | I 8 | AZZAA | ZAZZAAZ | BYBBYYB |
| 10 | J BELL | ZZAZA | ZZZAZAA | BBBYBYY |
| 11 | K (| ZZZZA | AZZZZAA | YBBBBYY |
| 12 | L) | AZAAZ | ZAZAAZZ | BYBYYBB |
| 13 | M . | AAZZZ | ZAAZZZA | BYYBBBY |
| 14 | N . | AAZZA | ZAAZZAZ | BYBBYYB |
| 15 | O 9 | AAAZZ | ZAAAZZZ | BYYYBBB |
| 16 | P 0 | AZZAZ | ZAZZAZA | BYBBYBY |
| 17 | Q 1 | ZZZAZ | AZZZAZA | YBBBYBY |
| 18 | R 4 | AZAZA | ZAZAZAZ | BYBYBYB |
| 19 | S | ZAZAA | ZZAZAAZ | BBBYYYB |
| 20 | T 5 | AAAAZ | AAZAZZZ | YYBYBBB |
| 21 | U 7 | ZZZAA | AZZZAAZ | YBBBYYB |
| 22 | V = | AZZZZ | AAZZZZA | YBBBBBY |
| 23 | W 2 | ZZAAZ | ZZZAAZA | BBYYBY |
| 24 | X / | ZAZZZ | AZAZZZA | YBYBBBY |
| 25 | Y 6 | ZAZAZ | ZZAZAZA | BBYBYBY |
| 26 | Z - | ZAAAZ | ZZAAAZZ | BBYYYBB |
| 27 | Carriage return | AAAAZ | AAAZZZZ | YYYBBBB |
| 28 | Line feed | AZAAA | AAZZAZZ | YYBBYBB |
| 29 | Letters | ZZZZZ | AZAZZAZ | YBYBBYB |
| 30 | Figures | ZZAZZ | AZZAZZA | YBBYBBY |
| 31 | Space | AAZAA | AAZZAZZ | YYBBBYB |
| 32 | Unperforated tape | AAAAA | AZAZAZZ | YBYBYBB |
| SERVICE INFORMATION SIGNALS | | | | |
| Mode A (ARQ) | | emitted signal | Mode B (FEC) | |
| Control signal 1 | | BYBYYBB | Phasing signal 1 Phasing signal 2 | |
| Control signal 2 | | YBYBYBB | | |
| Control signal 3 | | BYYBBYB | | |
| Idle time β | | BBYYBBY | | |
| Idle time α | | BBBBYYY | | |
| Signal repetition | | YBBYYBB | | |

Fig. 15 Tabelle für die Codekonversion (gültig für ARQ und FEC)

5-16

Die Bestätigung jedes einzelnen Zeichens würde zu viel Zeit brauchen. Deshalb werden je drei Zeichen in eine Gruppe zusammengefasst. Der Empfänger bestätigt den korrekten Empfang der Gruppe oder verlangt Wiederholung der Sendung. Zur Quittierung der Zeichengruppen werden die Steuerzeichen CS1 und CS2 benützt. Die empfangende Station bestätigt den Empfang korrekter Information durch abwechselnde Rückmeldung mit CS1 und CS2. Enthält eine Zeichengruppe einen Fehler, wird das zuletzt gesendete Steuerzeichen wiederholt, bis die Zeichengruppe fehlerfrei empfangen werden konnte.

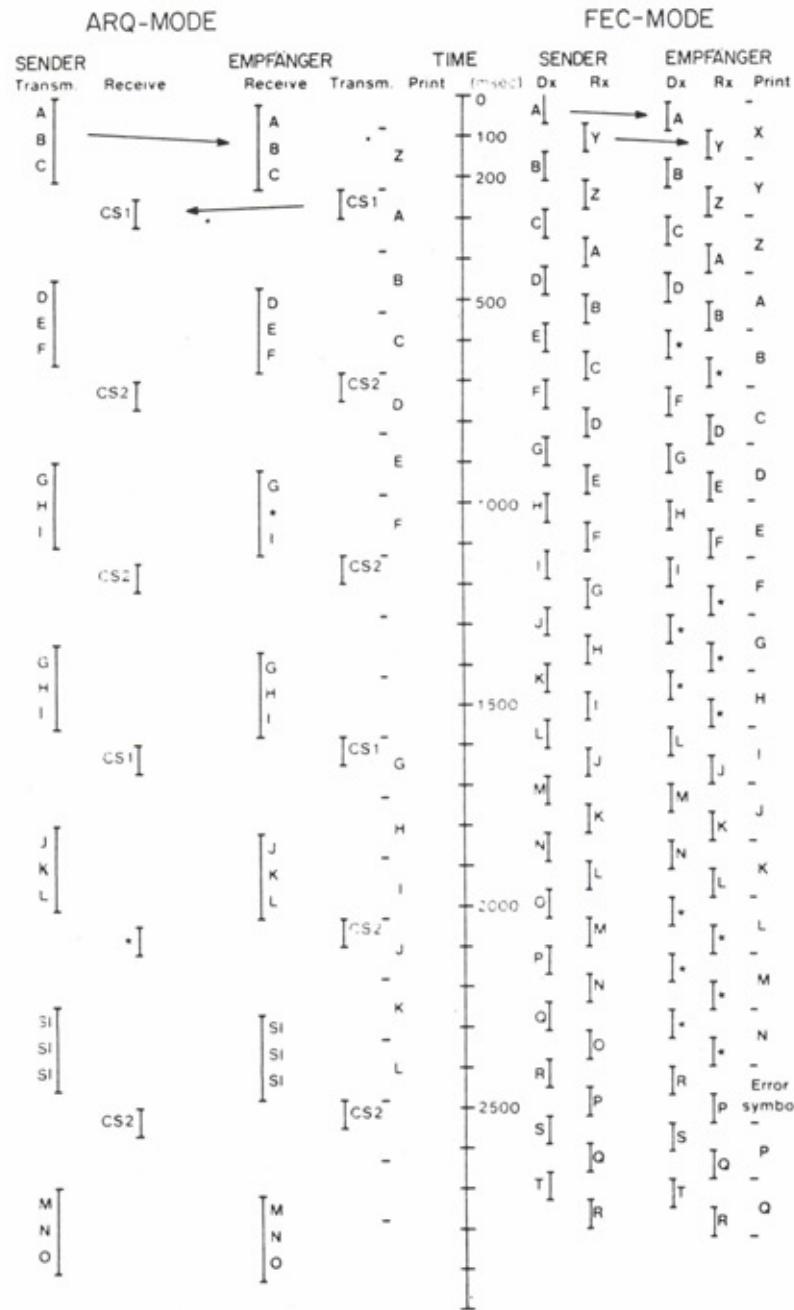


Fig. 16 Signalablauf-Diagramm (ARQ, FEC)

5-17

Ist ein Steuerzeichen (CS1 oder CS2) beim Informationssender fehlerbehaftet angekommen, so wird an Stelle der Nutzinformation ein Repetitionszeichen gesendet, und zwar so lange, bis das Steuerzeichen richtig empfangen worden ist. Um die Verbindungsrichtung umdrehen zu können, wird am Ende eines Übertragungsblocks die Zeichenkombination "+?" gesendet.

Im sog. Rundspruchbetrieb (Broadcast Mode) wird das auf 7 Bit umcodierte Zeichen, zeitlich verzögert, ein zweites Mal übertragen. Sind die Zeichen beide Male schlecht angekommen, wird ein Fehlerzeichen auf das Empfängerblatt geschrieben.

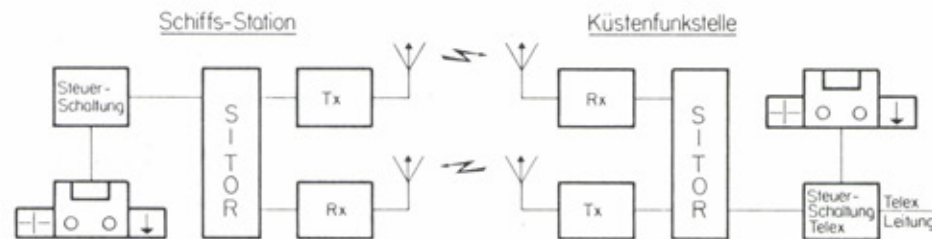


Fig. 17 Blockschema einer Verbindung im ARQ-Mode

Obschon für die Datenübertragung nur ein Simplexkanal zur Verfügung steht, muss der Übertragungsweg eine Duplexverbindung sein. Die Duplexverbindung wird durch frequenzmässiges Versetzen der HF-Träger für die beiden Richtungen ermöglicht. Die digitalen Daten werden mittels Frequenzumtastung (Betriebsart F1B gemäss CCIR) des HF-Trägers übermittelt. Der Frequenzhub beträgt dabei ± 85 Hz. Eine oft angewendete Form zur Erzeugung dieser Sendearart besteht im Modulieren des oberen Seitenbandes mit einem um den Hub von ± 85 Hz umgetasteten Niederfrequenzsignal (z.B. $1'500 \pm 85$ Hz oder $1'700 \pm 85$ Hz) und dem Unterdrücken des unteren Seitenbandes und des Trägers. Beim Oszillator des Trägers muss dann allerdings die Verschiebung durch das NF-Signal berücksichtigt werden.

Die Übertragung auf dem KW-Kanal ist synchron. Die rufende Station ist die "Master"-Station und die Gegenstation die "Slave"-Station.

Die von einer Telexmaschine herkommenden Fernschreiberdaten werden in einen Speicher eingelesen. Dies ist nötig, weil die durch den Übertragungskanal fliessende Datenmenge pro Zeiteinheit von der Übertragungsqualität abhängig ist, also von der Anzahl Rückfragen die zwischen Informationssender und -empfänger getätigt werden müssen, und nicht gleich gross sein muss wie die Datenmenge am Fernschreibereingang. Anschliessend gelangen die Daten in den Codewandler und darauf in den Sendespeicher, in dem die letzten drei Zeichen gespeichert werden. Von hier aus gelangen die Daten zum Modulator und dann zum Senderausgang.

Die Empfangsdaten werden im Demodulator in digitale Signale gewandelt und anschliessend in einer Testschaltung auf das richtige Verhältnis zwischen 1- und 0-Bits überprüft. Parallel dazu werden die ankommenden Digitalsignale in den Fernschreibercode zurückgewandelt und in einen Empfangsspeicher gebracht. Wenn die drei Zeichen einer Gruppe als fehlerfrei erkannt worden sind, werden sie aus dem Speicher an den Fernschreiberausgang weitergegeben. Bei fehlerhaften Empfangssignalen erzeugt die Steuerschaltung Wiederholungszeichen.

Moderne ARQ-Geräte sind prozessorgesteuert und bieten dadurch wesentlich komfortablere Erweiterungs- und Bedienungsmöglichkeiten als dies noch vor wenigen Jahren der Fall war.

Fehlerwahrscheinlichkeitsmessungen, wie sie bei Datenübertragungen über Leitungen üblich sind, sind bei uns keine vorgenommen worden. Die Bitfehlerwahrscheinlichkeit ist aber sehr niedrig. Es kommt allerdings vor, dass Verbindungen über KW die Übertragung von Daten nicht zulassen, z.B. wenn sich das TOR-Gerät dauernd in Repetitionszyklen befindet.

Das Übertragungsverfahren mit dem Einkanal-TOR zeichnet sich aus durch seine hervorragende Zuverlässigkeit und durch das äusserst schmale Frequenzband, das zur Übertragung benötigt wird.

5-18

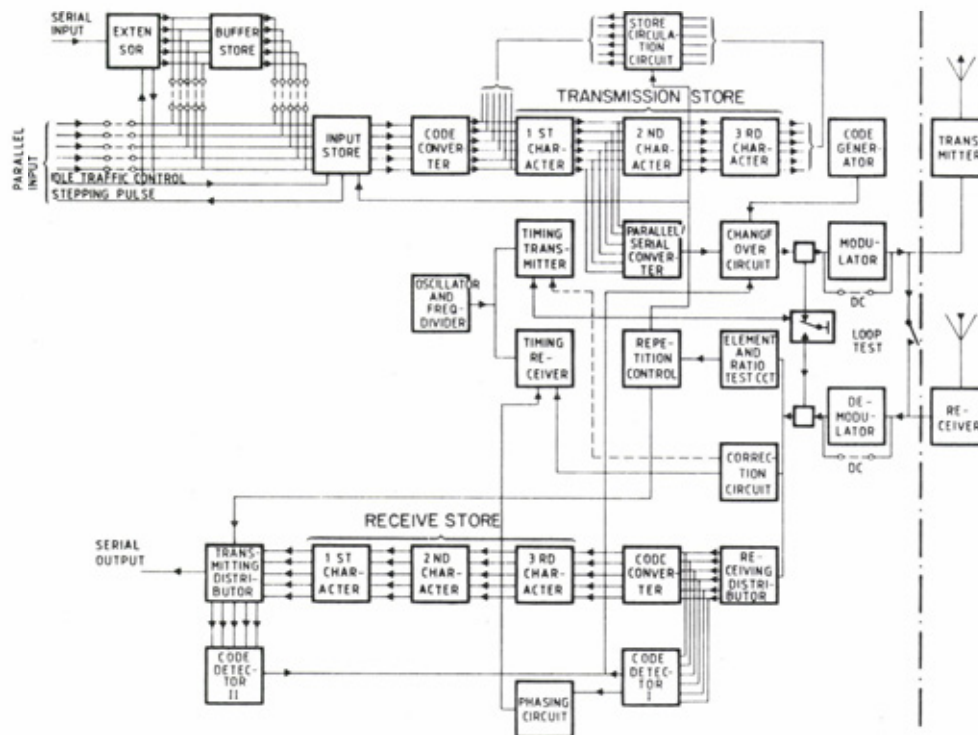


Fig. 18 Blockscheema Einkanal-TOR (SITOR)

3.4. BETRIEBSMITTEL

Der Kurzwellendienst ist personalintensiv. Die Verbesserung des Kosten-/Nutzenverhältnisses bedingt Rationalisierung. Ein erster Schritt dazu war die Fernbedienung und der Uebergang zu leistungsfähigen und wartungsfreundlichen Anlagen.

3.4.1. FLUGFUNK

Es stehen drei Arbeitsplätze zur Verfügung. Der Operateur kann zwei Verbindungen gleichzeitig herstellen. Die beiden Sender kann er entweder vorabgestimmt (durch Wahl des Kanals) oder durch Eintasten einer beliebigen Frequenz bedienen. Die Senderichtung bestimmt er durch Wahl des Azimuts. Die Frequenzwechsel dauern in der Regel 3-5 Sekunden.

Auf der Empfangsseite stehen dem Operateur 8 Fixfrequenzempfänger zur Verfügung, deren HF-Verstärkung er fernbedient regeln kann. Diese quarzgesteuerten Fixfrequenzempfänger empfangen die Signale über resonante Vertikalantennen, sog. $\lambda/4$ -Groundplanes, um ein möglichst optimales Signal/Rauschverhältnis zu erzielen. Genügen diese Signale nicht, kann der Operateur einen manuell fernbedienbaren Arbeitsempfänger und einen Park von Richtantennen einsetzen. Mit dieser Anlage können selbst sehr schwache Signale noch sicher empfangen werden. Die Empfänger stehen ausserhalb von Bern bei der Empfangsstation Riedern. Die 4 fernsteuerbaren Arbeitsempfänger und die 16 verschiedenen Richtantennen sind mit einer Geschwindigkeit von 2'400 Bit pro Sekunde bedienbar.

Die Sender in der Station Prangins bei Nyon und die beiden mitbenützten Sender der PTT in Schwarzenburg sind moderne 10 KW SSB-Anlagen. Sie arbeiten über logarithmisch-periodische Antennen zwischen 6 MHz und 30 MHz. Für Frequenzen unterhalb 6 MHz stehen Rundstrahl- und/oder Rhombusantennen zur Verfügung. Die Umschaltung erfolgt automatisch.

5-19

3.4.2. SEEFUNK

An den Telegrafie-Arbeitsplätzen werden die 5 Seefunkbänder nach Anrufen abgehört. Abzusendende Telegramme werden den Schiffen mittels halbautomatischer Morsetaste (Elbug) übermittelt. Ankommende Telegramme werden mit der Schreibmaschine aufgenommen und dann via ATECO weitergeleitet. Hier stehen den Operateuren 8 verschiedene Richtantennen und ein Rundstrahler zur Verfügung.

An den Telefonie-Arbeitsplätzen vermitteln die Operateure radiotelefonische Anrufe. Ihnen stehen fernbedienbare Empfänger und 16 verschiedene Richtantennen zur Verfügung. Die Vermittlung ins öffentliche Telefonnetz erfolgt 4-drähtig, durch Tontasterwahl direkt in die MFC-Zentrale der PTT.

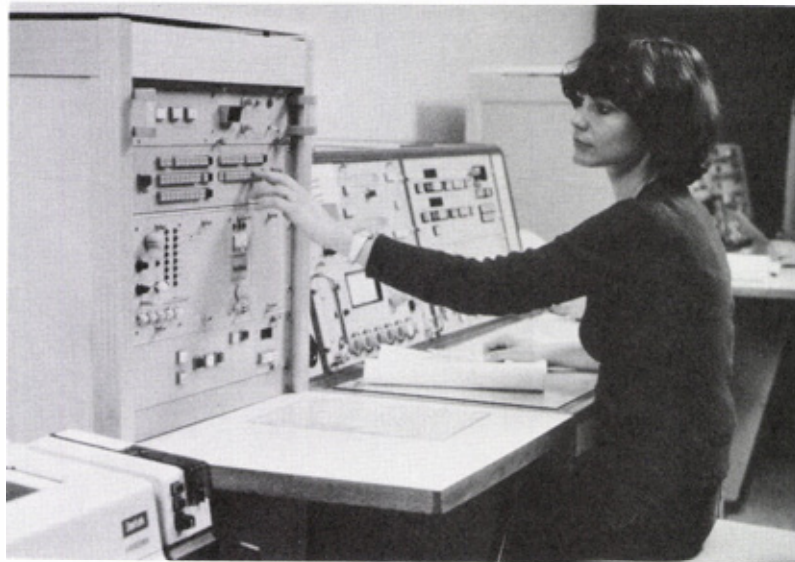


Fig. 19 Telex-Vermittlungsplatz

Die Telex-Arbeitsplätze ermöglichen den halbautomatischen Telexverkehr zwischen Schiff und Land. Nachdem das Schiff den Kontakt mit dem Operateur hergestellt hat, leitet dieser den Ruf ins öffentliche Telexnetz weiter. In einem späteren Ausbau soll die Vermittlung automatisiert werden. Dies setzt die automatische Taxerfassung und -abrechnung voraus. Auch hier stehen den Operateuren fernbedienbare Sender und Empfänger samt den dazugehörigen Antennen und den vorprogrammierten Frequenzen für Sender und Empfänger zur Verfügung.

3.4.3. PERSONALAUFWAND

1981 wurden im Seefunk 78'353 Verbindungen in Telegrafie, 29'906 Verbindungen in halbautomatischem ARQ-Telexverkehr und 59'390 Verbindungen in Radiotelefonie hergestellt. Hierzu waren pro Tag 130 Arbeitsstunden erforderlich. In Spitzenzeiten mussten bis zu 12 Operateure gleichzeitig eingesetzt werden.

Im Flugfunk "Berna-Radio" wurden 1981 38'825 Verbindungen als Telefongespräche (sog. Phonepatches) weitergeleitet, während 9'330 sog. Messages via Telex oder SITA vermittelt wurden. Hier waren pro Tag 45 Arbeitsstunden notwendig, und es mussten bis zu 3 Operateure gleichzeitig eingesetzt werden.

In diesen Zahlen ist der Personalaufwand für unsere Sende- und Empfangsstationen noch nicht berücksichtigt. Dort haben Ingenieure noch zusätzliche Aufgaben zu erfüllen, so z.B. den Betrieb und die Wartung von 4 Sendern, die von der UNO benützt werden. Hinzu kommt der Empfang von Nachrichten der diversen Meteosatelliten in unserer Station Colovrex.

4. ZUKUNFT DER KURZWELLENDIENSTE

Um es gleich vorwegzunehmen: Kurzwellenverbindungen sind trotz ihrer bekannten Nachteile auch im heutigen Satelliten-Zeitalter nicht wegzudenken. Die amerikanischen Armeeeinheiten der Navy, des Heeres und der Luftwaffe haben neben ihren Satellitensystemen ein leistungsfähiges und äusserst modernes Kurzwellensystem aufgebaut. Andere Armeen tun dasselbe. Nachrichtensatelliten sind im Kriegsfall zu exponiert und zu störanfällig, um sich ohne jegliche Ausweichmöglichkeiten auf sie zu verlassen.

5-20

Im mobilen Dienst wird es auch in Zukunft Anwender geben, die aus Kostengründen auf Satellitenverbindungen verzichten müssen. Wir hören auch von Schiffsreedereien, dass ihnen die heute gebotene Dienstleistung vollauf genüge. Es ist bekannt, dass der Bundesrat, angesichts des negativen Entscheides schweizerischer Reeder zur Umrüstung ihrer Schiffe auf Satellitenfunk, auf eine finanzielle Beteiligung der Schweiz am INMARSAT-Projekt (Intern. Maritime Satellite) verzichtet hat. Weltweit zählt man heute 60'000 Schiffe mit KW-Funkanlage. Demgegenüber sind nur rund 500 Schiffe mit Satellitenstationen ausgerüstet.

Die technologische Entwicklung wird auch für die KW-Dienste nicht stehenbleiben. Wir haben in diesem Frühjahr mit einer schweizerischen Firma Versuche zur Uebertragung digitalisierter Sprache über Kurzwellen mittels Spezialmodems und Codiergerät durchgeführt. Diese Versuche stiessen zwar an gewisse physikalische Grenzen, eröffneten aber gleichzeitig Ideen für neue Lösungen. Das Problem liegt in der Mehrfachausbreitung durch die Ionosphäre. Wenn es gelingen würde, diese Mehrfachsignale mittels eines schnellen Rechners durch entsprechende Verzögerungsschlaufen sozusagen "in Deckung zu bringen", wäre der Weg offen zu relativ sicheren Uebertragungswegen. Damit könnten selbst Datenübertragungen mit grösseren Geschwindigkeiten über Kurzwellen vorgenommen werden.

Damit erübrigen sich alle weiteren Spekulationen, ob Ende der 80er Jahre auf den Kurzwellenbändern "nur noch Rauschen" zu hören sein wird. Die Antwort ist ganz klar: die Kurzwellen werden auch in Zukunft als Uebertragungsmedien eingesetzt werden, bei älteren Uebertragungsarten, wie der Telegrafie, vielleicht reduziert, in neueren Technologien aber mit erhöhter Effizienz.