INFORMATIONSTECHNIK UND ARMEE

Vorlesungen an der Eidgenössischen Technischen Hochschule in Zürich
im Wintersemester 1995/1996
Leitung:
Untergruppe Führungsunterstützung - Generalstab
Divisionär E. Ebert, Unterstabschef Führungsunterstützung

Moderne Technik macht die Kurzwelle wieder attraktiv

Referent: W. Schellenberg

Diese Vorlesung wurde durch die Stiftung HAMFU digitalisiert und als
PDF Dokument für www.hamfu.ch aufbereitet.

Moderne Technik macht die Kurzwelle wieder attraktiv

Walter Schellenberg

Inhalt

Zusammenfassung
Einleitung
1. Teil: Uebersicht über die heutige Technologie im Kurzwellenfunk
1. Anforderungen an den modernen Kurzwellenfunk
2. Standardisierung
3. Frequenz-Hüpfen
4. Digitale Sprachübertragung
5. Electronic Mail
6. Was bringt die Zukunft ?
2. Teil: Anwendungen
7. Erneuerung des Botschaftsfunks
8. Taktischer HF Funk
Referenzen

Adresse des Autors:

Ascom Systec AG
8634 Hombrechtikon

Informationstechnik und Armee
35. Folge 1995/96

6.96 30 U34429/2

Zusammenfassung

Seit einiger Zeit erlebt der Kurzwellenfunk eine gewisse Renaissance. Gründe dafür sind einerseits die wiederentdeckte Unabhängigkeit von Satelliten und Relaisstationen, andererseits neue Technologien bis hin zur Einbindung in Computer-Netzwerke. Der erste Teil behandelt diese Technologien: Kanalanalyse, automatischer Verbindungsaufbau, schnelle Datenübertragung, digitale Sprachübermittlung, Frequenzhüpfen, Electronic Mail. Die vereinfachte Bedienung und die weitgehende Automatisierung des Betriebs machen den Funker überflüssig und reduzieren die Planung auf ein Minimum. Neue internationale Standards regeln die Kompatibilität zwischen verschiedenen Produkten und tragen damit zur weiteren Verbreitung bei. Im zweiten Teil werden aktuelle Anwendungen beschrieben. Im Rahmen der geplanten Erneuerung des Botschaftsfunks werden die Möglichkeiten der Einbindung in Computer-Netzwerke und der Electronic Mail dargestellt. Anhand des Projektes Taktischer HF-Funk wird auf die spezielle Problematik mobiler Verbindungen über kurze und mittlere Distanzen eingegangen.

Einleitung

Es ist ziemlich genau 100 Jahre her, seit Marconi die Entwicklung der drahtlosen Kommunikation einleitete [1]:

- im Sommer 1894 las er eine Abhandlung von Hertz über dessen Laborversuche mit den sogenannten Hertz'schen Wellen, worauf er in Italien eigene Versuche durchführte
- Am 2. Juni 1896 reichte er in England das weltweit erste Patent betreffend ein "Telegraphiesystem ohne Drähte mittels elektromagnetischer Wellen" ein, das ihm am 2. Juli 1897 erteilt wurde
- Im gleichen Monat gründete er die "Wireless Telegraph and Signal Company", die heutige GEC Marconi
- Am 9. Dezember 1901 gelang ihm die erste Transatlantik-Uebertragung. Es dauerte aber noch bis im Oktober 1907 bis ein regulärer, kommerzieller Telegraphiedienst zwischen Irland und Neufundland eingerichtet wurde.

Damals wusste man noch fast nichts über die Ausbreitung elektromagnetischer Wellen und kannte kaum die Prinzipien der Resonanz und der Impedanzanpassung. Die damaligen Funken-Sender waren elektromechanische Ungetüme, die noch ohne Verstärkerröhren auskommen mussten. Und heute, nicht einmal 90 Jahre später, greifen wir ganz selbstverständlich zum Taschentelefon und sprechen nur Sekunden später mit einem Geschäftspartner in Australien. Was dazwischen liegt, ist die Erforschung und das Verständnis der physikalischen Grundlagen der drahtlosen Kommunikation und natürlich die stürmische Entwicklung der Elektronik.

Bis in die 60-er Jahre hinein spielten die Kurzwellen für Weitverkehrsverbindungen eine wichtige Rolle, da sie die einzige Konkurrenz zu Drahtverbindungen waren. Mit dem Aufkommen der Satelliten sank ihr Stern dann rasch, da die Satelliten zuverlässige, von physikalischen Einflüssen weitgehend unabhängige Verbindungen anbieten. Dazu kommt, dass die Satelliten grössere Bandbreiten zur Verfügung stellen können, was vor allem die schnelle Datenübertragung von Computer zu Computer möglich machte. Damit ist der rasche, weltweite Datenaustausch Realität geworden, der ja aus unserer heutigen Kommunikationsumgebung nicht mehr wegzudenken ist.

Ist der Kurzwellenfunk also tot? Die Antwort ist ja und nein: Der *traditionelle* Kurzwellenfunk, bei dem ein Funker an einer Kiste mit vielen Knöpfen sitzt und mit seinem persönlichen Geschick versucht eine Verbindung herzustellen, ist sicher tot. Für militärische und zivile Anwendungen, bei denen die Unabhängigkeit von Satelliten oder anderen öffentlichen oder privaten Telekommunikationsnetzen im Vordergrund steht, oder als Backup zu einer anderen Verbindung, hat ein *moderner* Kurzwellenfunk aber durchaus seinen Platz.

1. Teil: Uebersicht über die heutige Technologie im Kurzwellenfunk

1. Anforderungen an den modernen Kurzwellenfunk

Der *traditionelle* Kurzwellenfunk hat den Ruf kompliziert, langsam und unzuverlässig zu sein. Um diese Aura zu überwinden, muss der *moderne* Kurzwellenfunk in die heutige Kommunikationsumgebung voll eingebunden werden können. Er wird damit reines Mittel zum (Kommunikations-)Zweck, d.h. der Benutzer soll möglichst nichts davon merken. Daraus ergeben sich folgende grundlegende Anforderungen:

- Ersatz des Funkers durch automatisierte Abläufe
- heute übliche Bürokommunikation muss möglich sein,
  d.h. Fax-Uebermittlung
  File Transfer von PC zu PC
  E-Mail.

Wenn wir auch militärische Anwendungen einschliessen, kommen noch verschiedene taktische Anforderungen dazu:

- mobiler Betrieb in Fahrzeugen
- sichere Ueberbrückung kurzer, mittlerer und grosser Distanzen
- COMSEC, d.h. Schutz des Inhaltes der Verbindung gegen Abhören
- TRANSEC, d.h. Schutz der Verbindung gegen fremde elektronische Einflüsse
- Bildübertragung (vor allem für die Aufklärung).

Aus diesen funktionalen und taktischen Anforderungen leiten sich natürlich eine ganze Reihe technischer Forderungen ab, zum Beispiel:

- automatischer Verbindungsaufbau
- automatischer Ausweichkanal
- automatisches Frequenzmanagement
- schnelle Datenübertragung
- transparente Datenübertragung
- fehlerfreie Datenübertragung
- automatische Meldungsvermittlung durch Adressierung
- automatische Relaisstation für sehr grosse Distanzen

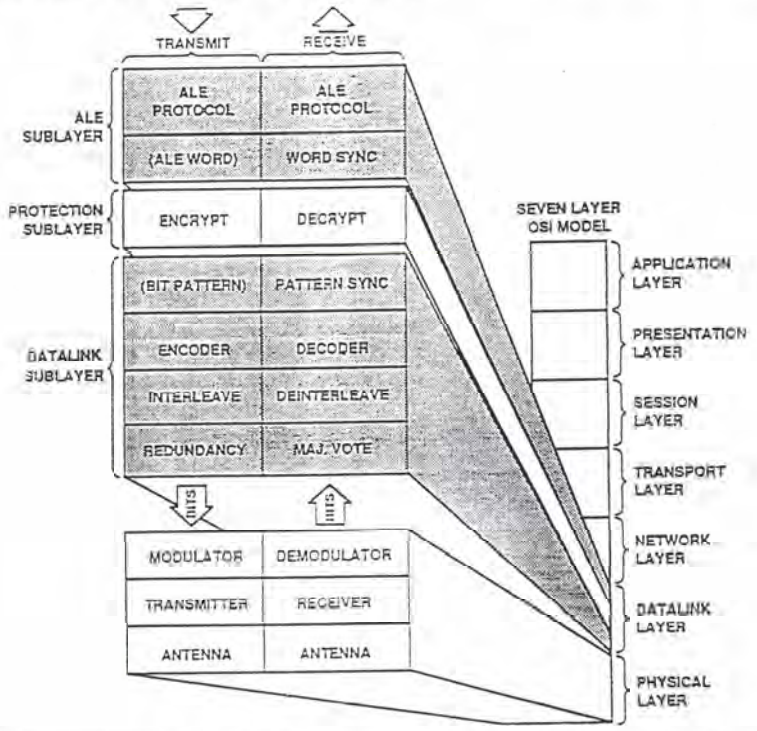
usw.

Einerseits geht es dabei um den Ersatz des Know How des Funkers durch automatisierte Abläufe, andererseits aber auch um den wirksamen Schutz gegen die oft sehr unangenehmen Eigenschaften des Kurzwellenkanals. Vor allem die Mehrwegausbreitung und die verschiedenartigen Störungen machen es häufig schwierig, den Kurzwellenkanal zu beherrschen. Die dazu notwendigen theoretischen Grundlagen für Codierung, Modulation und Demodulation sind zwar seit vielen Jahren bekannt, sie konnten aber erst mit dem Aufkommen sehr leistungsfähiger Signalprozessoren in den letzten Jahren praktisch umgesetzt werden. Fast alle grösseren im Kurzwellenfunk tätigen Firmen haben auf diesem Gebiet seit den achtziger Jahren mit erheblichem Aufwand geforscht. Dabei lag der Schwerpunkt auf Lösungen für den automatischen Verbindungsaufbau und die schnelle Datenübertragung. Dass dabei zunächst verschiedene firmenspezifische Lösungsansätze verfolgt wurden, ist klar [2, 3, 4, 5, 6, 7]. Auf diesen Gebieten zeichnet sich jedoch heute eine Standardisierung ab.

2. Standardisierung

Wenn wir den Kurzwellenfunk in die heute gängige Welt der Datenübertragung einbinden wollen, so landen wir fast unweigerlich beim 7-Schichtenmodell von OSI.

Figur 1 stellt eine Möglichkeit dar, verschiedene Elemente einer Funkverbindung zu definieren und sie den ersten zwei Schichten des OSI-Modells zuzuordnen. Die unterste Schicht befasst sich mit den Funkgeräten und den Modems. Die nächsthöhere kann dreigeteilt werden: zunächst muss die Verbindung hergestellt werden (ALE Sublayer), anschliessend werden die Daten chiffriert (Protection Sublayer) und dann mit einem Data Link Protokoll übertragen. Die amerikanische Firma MITRE Corporation ist seit mehr als 10 Jahren auf diesem Gebiet tätig [8]. Ihre Arbeiten bilden heute die Grundlage für die in den USA unter Mitwirkung der Industrie entstandenen, bzw noch entstehenden Standards des modernen Kurzwellenfunks. Sämtliche Beschaffungen des US Department of Defense und des US Department of Commerce müssen sich heute nach diesem Regelwerk ausrichten. Daraus wurden auch bereits Standards für Beschaffungen der NATO abgeleitet.

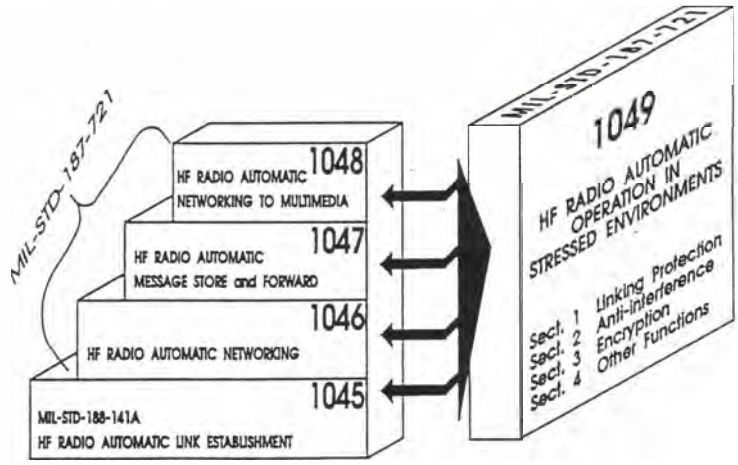


Figur 1: Zuordnung von Funktionen einer Funkverbindung zum OSI-Modell

Schon verabschiedet oder in fortgeschrittenem Planungsstadium (mit Präfix p = proposed) sind folgende Standards, die sich mit den beiden untersten Schichten befassen:

MIL-STD-188-110A	Interoperability and performance standards for data modems [9] (technisch identisch mit pFED-STD-1052) (vergleichbarer, aber nicht ganz identischer Nato-Standards: STANAG 4285) - Modulation und Codierung für serielle Modems bis 2400 bps - Modulation und Codierung für Parallelton-Modems bis 2400 bps
MIL-STD-188-141A	Interoperability and performance standards for medium and high frequency radio equipment [10] (technisch identisch mit FED-STD-1045) - Grundanforderungen an die Funkstation - Protokoll für den automatischen Verbindungsaufbau ALE und Kanalanalyse LQA (ALE = Automatic Link Establishment, LQA = Link Quality Analysis) - Adressierung
pFED-STD-1052	Appendix B: Data link protocol [11] - Protokoll für die Datenübertragung

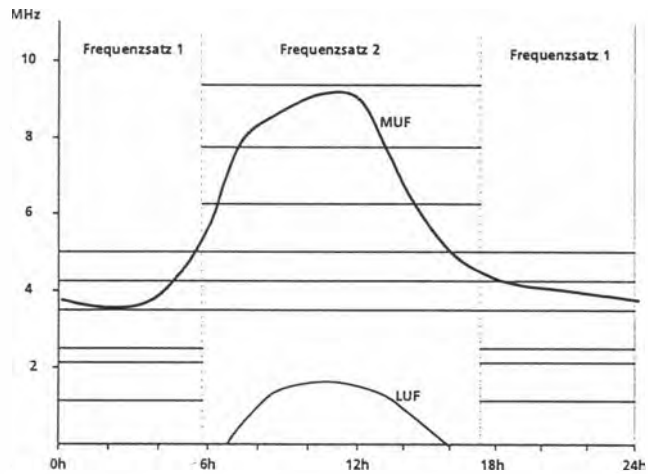
Weitere Standards sind in Arbeit, die sich mit den höheren Schichten des OSI-Modells befassen, siehe *Figur 2*. Im Folgenden werden die Standards für den automatischen Verbindungsaufbau, für die schnellen Datenmodems und das Protokoll zur Datenübertragung kurz erläutert.



Figur 2: Weitere, z.T. erst geplante Standards, betreffend die höheren Schichten des OSI-Models

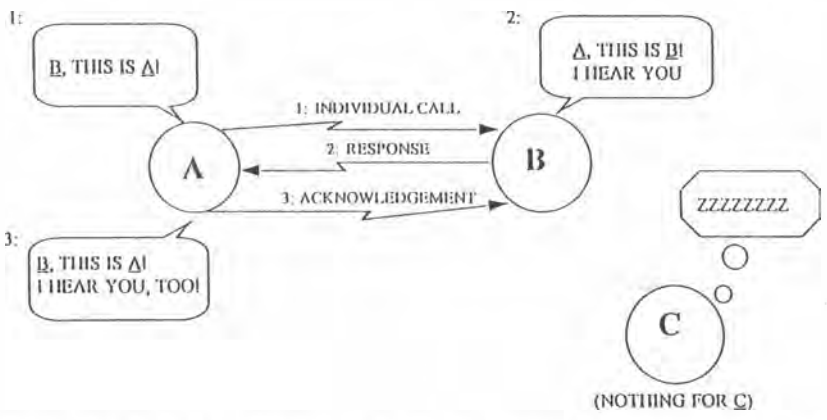
2.1. Automatischer Verbindungsaufbau und automatische Kanalanalyse

Der MIL-STD-188-141 regelt die Abläufe für den automatischen Verbindungsaufbau ALE (Automatic Link Establishment) innerhalb eines Netzes. Grundsätzlich wird davon ausgegangen, dass für eine Verbindung nicht nur eine einzige Frequenz zur Verfügung steht, sondern deren mehrere, die etwa den Bereich zwischen der LUF (Lowest Usable Frequency) und der MUF (Maximum Usable Frequency) für die betreffende Verbindung abdecken sollten. Um dieses Frequenzband zu bestimmen, genügt ein einfaches Prognoseprogramm, wie sie heute für wenig Geld erhältlich sind [12, 13]. Ideal wäre ein Frequenzbündel für den Tag und eines für die Nacht, siehe *Figur 3*. Beide sollten zudem jeweils an das Winterhalbjahr bzw. an das Sommerhalbjahr angepasst werden.



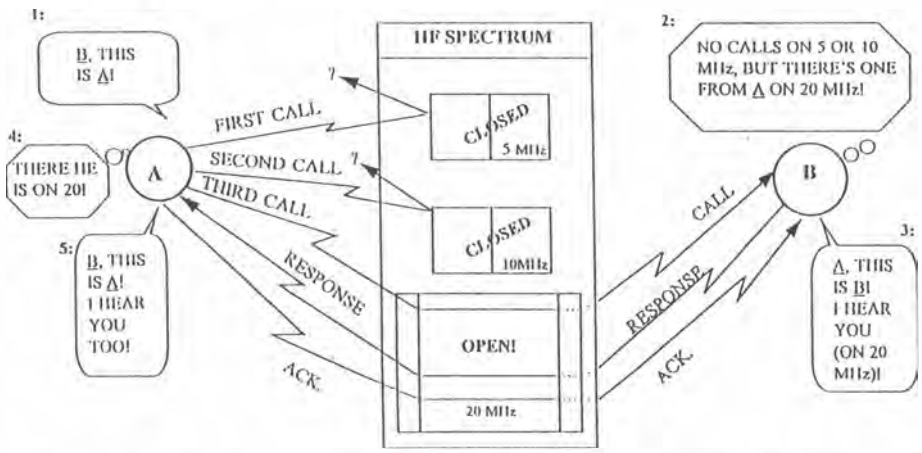
Figur 3: Tages- und Nacht-Frequenzsatz

Im Ruhezustand des Netzes suchen alle Stationen die Frequenzen des Bündels zyklisch nach einem Ruf ab. Wenn nun eine Verbindung aufgebaut werden soll, wäre es wünschenswert, auf einer Frequenz zu beginnen, die eine möglichst hohe Verbindungswahrscheinlichkeit hat. Dazu steht das Verfahren der Analyse der Verbindungsqualität LQA zur Verfügung (Link Quality Analysis). Die LQA kann aktiv oder passiv durchgeführt werden. Bei der aktiven LQA tauschen alle Stationen auf allen Frequenzen gegenseitig ein Messtelegramm aus und speichern das Ergebnis (LQA Score) in einer Tabelle ab. Damit wissen die Stationen gegenseitig, wie gut sie bei den anderen Stationen empfangen werden. Bei grösseren Netzen kann das natürlich einige Zeit in Anspruch nehmen. Deshalb besteht auch die Möglichkeit der passiven LQA, bei der die Netzleitstation auf jeder Frequenz ein Messtelegramm aussendet und die Aussenstationen passiv den LQA Wert ermitteln und abspeichern. Ob eine aktive oder eine passive LQA gemacht werden soll und in welchen Zeitabständen, ist im ALE-Protokoll programmierbar. Eine dritte Art der LQA besteht darin, dass bei jeder Aktivität im Netz diejenigen Stationen, die eine Meldung austauschen, die gegenseitige Verbindungsqualität aktiv messen und alle anderen ihre LQA Tabelle nur passiv aufdatieren.



Figur 4a: Individueller Aufruf der Station B durch die Station A (Erfolg auf der ersten Frequenz)

Wenn nun die Station A in *Figur 4a* mit B in Verbindung treten will, wählt sie diejenige Frequenz in ihrer LQA Tabelle aus, die den höchsten LQA Wert enthält und sendet darauf einen Ruf mit der Adresse von B aus. Wenn B die Station A hört, gibt sie eine Quittung zurück, worauf A an B eine Empfangsbestätigung sendet. Gibt B keine Antwort, weil zum Beispiel die Frequenz lokal gestört ist *(siehe Figur 4b)*, so wiederholt A den Ruf auf derjenigen Frequenz mit dem nächsttieferen LQA Wert.

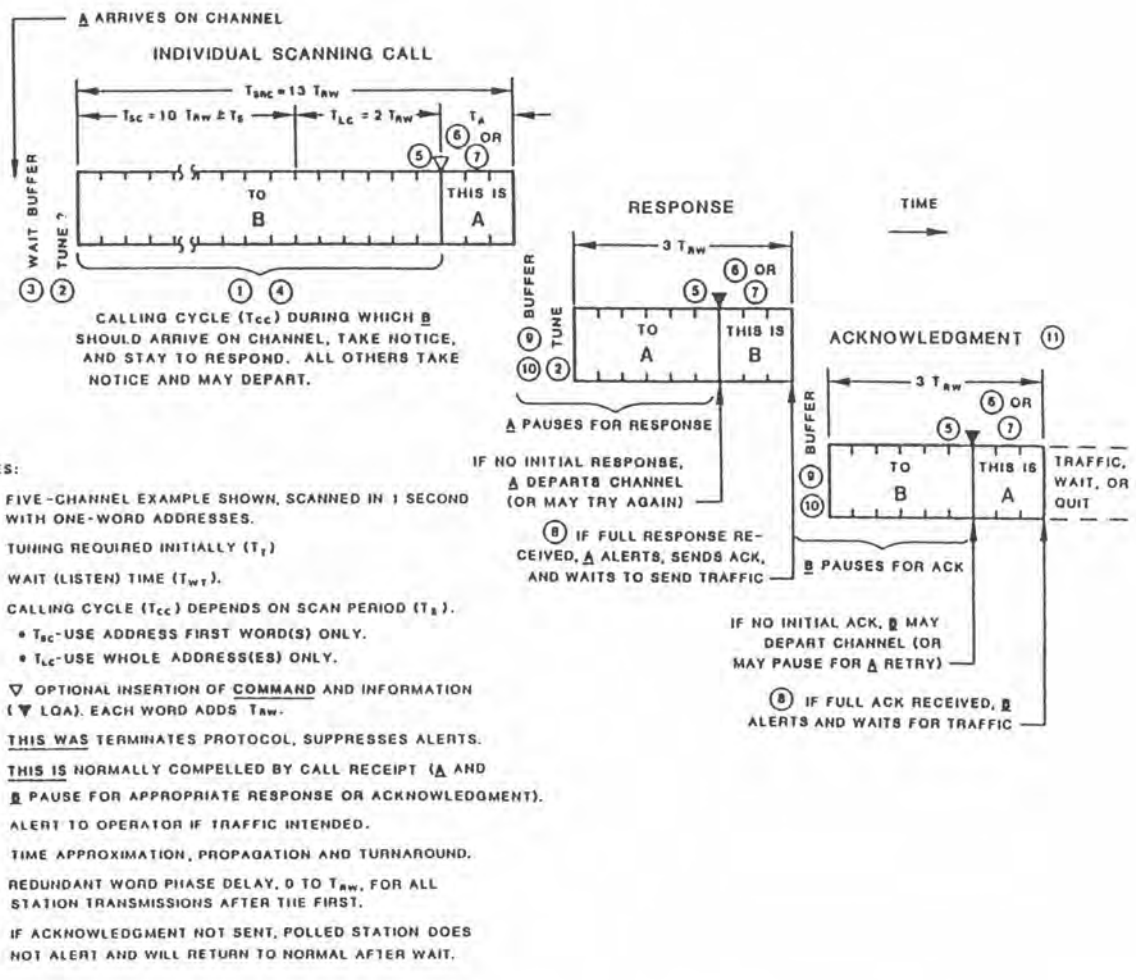


Figur 4b: Individueller Aufruf der Station B durch die Station A (Erfolg erst auf der dritten Frequenz)

Hat dies auch beim dritten Mal keinen Erfolg, so werden alle Frequenzen des Bündels durchprobiert, beginnend mit der höchsten. Kommt keine Verbindung zustande, so wird dies an der Station A angezeigt. Nach demselben Grundschema werden auch der Gruppenruf und der Ruf an alle abgewickelt. Dieses grundsätzliche Verhalten kennen wir eigentlich schon lange vom Telefon her, wo ja auch auf Grund einer Adresse (Rufnummer) ohne unser Zutun automatisch eine Verbindung aufgebaut wird.

Die Rufprozedur ist in *Figur 5* etwas detaillierter dargestellt [10]. Die codierte Adresse "To B" wird in Dreier-Blöcken ausgesendet, und zwar solange, dass die gerufene Station, die ja die Kanäle im Frequenzbündel zyklisch absucht, mindestens einmal Gelegenheit hatte, den Ruf zu empfangen. Anschliessend kommen nochmals zwei gleiche Dreier-Blöcke und dann einer mit der Adresse des Senders. Die Rufzeit für den gezeigten Fall mit 5 Kanälen im Bündel beträgt $\{(2 \cdot 5) + 3\} \cdot 392ms = 5.1s$. Dazu kommen für die Antwort und die Bestätigung nochmals je $3 \cdot 392ms = 1.2s$. Falls die Verbindung auf dem ersten Kanal zustande kommt, beträgt die dafür benötigte Zeit also etwa 7.5 Sekunden. Zu diesen Zeiten kommen noch die jeweiligen Sende-Empfangs-Umschaltzeiten sowie eventuelle Abstimmzeiten dazu.

Die Adressen werden mit einem (24,12,8) Golay Code gesichert. Verwendet wird eine 8-stufige FSK Modulation mit einer Symbollänge von 8ms.



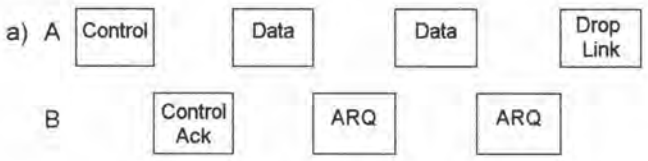
Figur 5: Rufprozess für eine Zweier-Verbindung

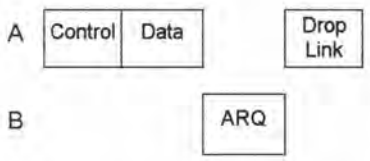
An den mit Δund ▼ markierten Stellen können zusätzlich Steuerbefehle, LQA Messtelegramme oder kurze Meldungen eingefügt werden. Falls eine Kanalanalyse gemacht wird, werden die LQA Scores an den mit ▼ gekennzeichneten Stellen retour gemeldet. Ist eine Funkstation nur für Sprechfunk ausgerüstet und hat deshalb keinen PC für die Datenübertragung zur Verfügung, können bis zu 10 kurze Meldungen (je 87 Zeichen) über die Tastatur des Funkgerätes einprogrammiert und bei Bedarf abgerufen werden. Sie werden dann automatisch an der mit Δ gekennzeichneten Stelle eingefügt und mit dem ALE übermittelt. Beim Empfänger wird die Meldung direkt auf dem Display des Empfängers angezeigt. Dieser Modus wird Automatic Message Display (AMD) genannt und ist in Fällen von momentan unbedienten Stationen oder schlechten Uebertragungsverhältnissen sehr praktisch.

Das ALE Protokoll sorgt also dafür, dass eine Verbindung zustande kommt, sofern dies bei den gerade herrschenden Ausbreitungsbedingungen und den momentanen Kanalbelegungen überhaupt möglich ist. Vom Benutzer werden diesbezüglich jedoch keinerlei Kenntnisse verlangt. Damit ist ein wesentlicher Schritt in Richtung der automatisierten Meldungsübermittlung getan.

2.2. Data Link Protokoll

Sobald die Verbindung mit dem ALE Protokoll aufgebaut ist, kann mit dem Uebermitteln der Meldung begonnen werden. Damit die Daten richtig an ihrem Bestimmungsort ankommen, ist ein Datenübertragungsprotokoll notwendig. Im pFED-STD-1052 stehen dazu grundsätzlich entweder ein ARQ- oder ein Rundspruch-Protokoll zur Verfügung. Das ARQ-Protokoll stellt sicher, dass die Daten am Bestimmungsort fehlerfrei ankommen, verlangt aber, dass die empfangende Station ARQ-Quittungen aussendet *(siehe Figur 6a, [14])*.

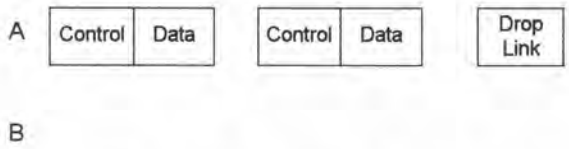




Figur 6a: Uebertragung einer Meldung von A nach B mit dem ARQ-Protokoll

Figur 6b: Uebertragung einer kurzen Meldung von A nach B mit dem ARQ-Protokoll

Falls dies nicht erwünscht ist, oder wenn Daten gleichzeitig an eine ganze Gruppe übermittelt werden sollen, kann das Rundspruch-Protokoll verwendet werden *(siehe Figur 6c)*. Dabei ist zwar die im Modem eingebaute Fehlerkorrektur voll wirksam, da jedoch keine Rückfragen möglich sind, besteht keine Garantie, dass die Daten fehlerfrei ankommen. Ein derartiges Data Link Protokoll benötigt naturgemäss einigen Overhead, der bei kurzen Meldungen den mittleren Durchsatz an Nutzdaten empfindlich reduzieren kann. Für kurze Meldungen, z.B. eine A4-Seite, ist deshalb im ARQ-Betrieb ein abgekürztes Verfahren vorgesehen, bei dem die gesamte Meldung unmittelbar an den Control Frame angehängt wird *(siehe Figur 6b)*.



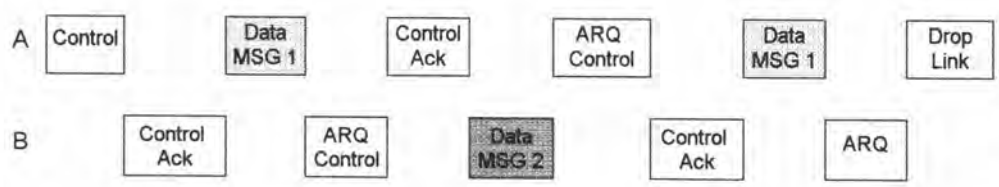
Figur 6c: Uebertragung einer Meldung mit dem Rundspruch-Protokoll

Im Control Frame sind eine ganze Reihe von Parametern untergebracht, welche den Datenfluss regeln. Sie lassen sich unterteilen in solche für das Link Management, das Message Management und den Daten Transfer. Die nachfolgende Liste ist nur ein Auszug davon:

Adresse des Absenders	max 18 Zeichen
Adresse des Adressaten	max 18 Zeichen
Meldungspriorität	max 255
Meldungslänge	max ca 16 Mbits
Anzahl Frames	max 255
Anzahl Bytes pro Frame	56 - 1023
Next Location	Position des nächsten übertragenen Daten-Bytes innerhalb der ganzen Meldung
Bit Map	Gibt an, welche der vorangehenden maximal 255 Daten Frames nicht fehlerfrei angekommen sind und deshalb wiederholt werden müssen
Data Rate	Steuert die Datenrate des Modems zwischen 4800 und 75 bps
Interleaver Length	Gibt an, ob der Interleaver auf KURZ oder LANG steht

Die Auswahl zeigt, dass das Data Link Protokoll nach pFED-STD-1052 eine grosse Zahl von Steuermöglichkeiten eröffnet, welche die Optimierung des Datenflusses auf die zu übermittelnden Meldungen und die momentanen Funkbedingungen erlaubt. Für jedes neue Projekt sollten deshalb zunächst die Verkehrsbedürfnisse sowie weitere spezifische Anforderungen ermittelt und analysiert werden. Anschliessend können die Parameter anhand eines Simulationsprogrammes optimiert werden. Im praktischen Betrieb ist dann im allgemeinen nur noch eine Feinabstimmung notwendig.

Als Beispiel für die vielfältigen Steuermöglichkeiten möge der Ablauf in *Figur 6d* dienen. Währenddem die Station A die Meldung 1 zu B übermittelt, erhält B den Auftrag, die Meldung 2 mit höherer Priorität an A zu übermitteln. B teilt dies mit einem Control Frame an A mit, worauf A die Uebermittlung der Meldung 1 stoppt. Nachdem die Meldung mit höherer Priorität fertig übertragen ist, nimmt A die Uebermittlung der Meldung 1 an dem Ort wieder auf, wo sie abgebrochen wurde, da ja jeder Control Frame den Parameter "Next Location" enthält, welcher angibt, wohin in der ganzen Meldung die nachfolgenden Daten gehören.



Figur 6d: Umkehren der Uebertragungsrichtung wegen einer Meldung höherer Priorität

Derselbe Parameter erweist sich auch dann als sehr nützlich, wenn die Uebermittlung einer Meldung auf dem gewählten Kanal abbricht, z.B wegen sich verändernder Propagation. Die Verbindung wird auf einem anderen Kanal wieder aufgebaut und die Uebertragung an der unterbrochenen Stelle fortgesetzt. Der bereits übertragene Teil ist also nicht verloren.

2.3. Modems

Auf der untersten Schicht des OSI-Modells befinden sich die Modems und die Funkstation. Die wichtigste Anforderung an die Funkstation ist die, dass sie über einen Rechner steuerbar sein muss. Als Betriebsart ist aber einzig SSB-Sprechfunk gefordert. Bei den Antennen werden wenn möglich Breitband-Antennen eingesetzt, um die Abstimmzeiten zu eliminieren. Die Protokolle lassen jedoch auch Möglichkeiten offen, Abstimmzeiten von Antennen und Sendern einzubinden.

Die Anforderungen an die Modems sind demgegenüber sehr hoch, da ja die Datenrate möglichst hoch sein soll. Standard ist heute 2400 bps netto, d.h. verfügbar an der externen Schnittstelle des Modems. Um dies zu erreichen, waren intensive Forschungs- und Entwicklungsarbeiten über mehr als 10 Jahre notwendig. Dabei zeichneten sich zwei Lösungsansätze ab: die Parallelton-Modems und die seriellen Einton-Modems.Beide sind im MIL-STD-188-110A genormt. *Tabelle 1* zeigt eine Gegenüberstellung der wichtigsten Parameter.

	Parallelton-Modem	**Einton-Modem**
Modulation	39 Töne, DQPSK	1800 Hz Ton, 8-stufige PSK
Symbolrate	44.44 Baud	2400 Baud
Symboldauer	22.5 ms	0.416 ms
Brutto-Bitrate (im Kanal)	3466 bps	7200 bps
Netto-Bitrate	2400 / 1200 / 600 / 300 / 150 / 75 bps	2400 / 1200 / 600 / 300 / 150 / 75 bps
Codierung (2400 bps)	Reed-Solomon (14,10)	Faltungscode, Constraint-Länge 7, Rate 1/2
bei tieferen Bitraten	RS-Code (7,3), Inband-Frequenzdiversity	Rate 1/2 bis 1/16
Interleaving	8 bzw 4 Stufen, 0... 9.6 s	1.2 / 9.6 s

Tabelle 1: Modem-Parameter nach MIL-STD-188-110A

Parallelton-Modem

Das Parallelton-Modem verwendet 39 Töne mit einer differentiellen QPSK-Modulation. Die Symboldauer ist 22.5ms, sodass sich eine Bitrate auf dem Funkkanal von brutto 3466 bps ergibt. Bei netto 2400 bps stehen also 1066 bps für die Fehlerkorrektur zur Verfügung, wofür ein Reed-Solomon Code eingesetzt wird. Bei schlechteren Kanalbedingungen wird einerseits die Codierung geändert, andererseits wird ein Inband Frequenz-Diversity eingeführt, indem die gleichen Bits parallel auf verschiedenen Tönen übertragen werden. Die Netto-Datenrate wird dadurch jeweils um einen Faktor 2 reduziert, bei einer minimalen Rate von 75 bps. Zusätzlich kann noch das Interleaving angepasst werden. Stark vereinfacht kann man sagen, dass das Parallelton-Modem versucht, mit einer möglichst langen Symboldauer die Einflüsse des Uebertragungskanals auszumitteln.

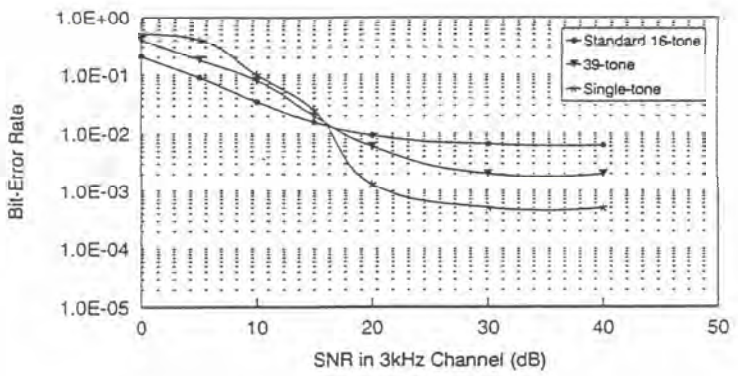
Serielles Einton-Modem

Das serielle Einton-Modem setzt einen 1800Hz Ton ein, moduliert mit einer 8-stufigen PSK, was eine Brutto-Bitrate auf dem Kanal von 7200 bps ergibt. Die Symboldauer ist mit etwa 0.4ms sehr kurz. Zur Fehlerkorrektur wird ein Faltungscode eingesetzt. Das serielle Modem ist also mit einem stärkeren Fehlerkorrektur-Code ausgerüstet als das parallele Modem. Bei schlechten Kanalbedingungen wird zudem die Code-Rate angepasst, so dass sich die Netto-Datenrate jeweils um einen Faktor 2 reduziert, bis zu einer minimalen Rate von 75 bps. Zudem kann das Interleaving auf kurz (1.2s) oder auf lang (9.6s) gesetzt werden.

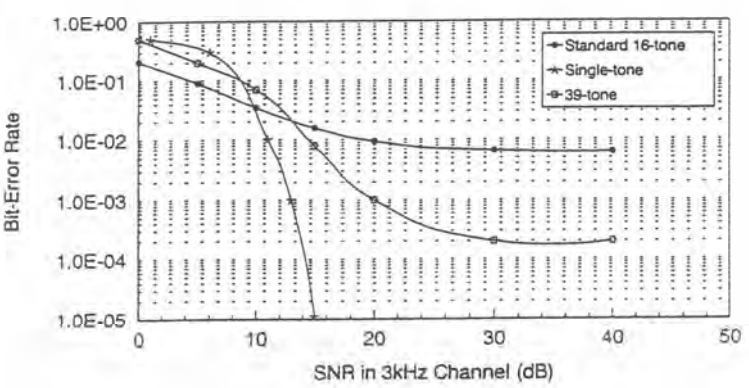
Die Symboldauer ist kürzer als die zu erwartende Verzögerungszeit durch Mehrweg-Ausbreitung, was natürlich starke Intersymbol-Interferenzen zur Folge hat. Das serielle Modem muss also versuchen, sich den rasch ändernden Eigenschaften des Uebertragungskanales anzupassen. Dazu wird ein adaptiver Kanal-Equalizer eingesetzt. Damit sich dieser periodisch an die neuen Kanaleigenschaften adaptieren kann, werden im zu übertragenden Datenstrom in kurzen Abständen bekannte Referenzdaten eingeschleust. Dank dem Equalizer ist es sogar möglich, aus dem Mehrwegempfang Nutzen zu ziehen, indem er sich auf das am besten ankommende Signal einstellt. Es ist klar, dass der Equalizer das Herzstück der seriellen Modems ist. Die dazu notwendigen, theoretischen Grundlagen sind zwar schon seit einiger Zeit verfügbar, es war aber erst möglich, eine derart komplexe Maschine sinnvoll in die Praxis umzusetzen, als in den letzten Jahren sehr leistungsfähige digitale Signalprozessoren erhältlich wurden.

Welches ist das bessere Modem?

Zu dieser häufig diskutierten Frage gibt es eine neuere Untersuchung der australischen Defence Science and Technology Organisation [15]. Die nachfolgenden Figuren sind daraus entnommen. Als Vergleich ist darin auch ein älteres 16-Ton Parallel-Modem enthalten. Die *Figuren 7 und 8* auf einem CCIR Poor Kanal zeigen den grossen Einfluss des Interleaving. Für die Uebertragung von Daten, die nicht so zeitkritisch ist wie die Uebermittlung von Sprache, lässt sich damit vor allem mit dem seriellen Modem eine wesentliche Verbesserung der Bitfehler-Rate erzielen.



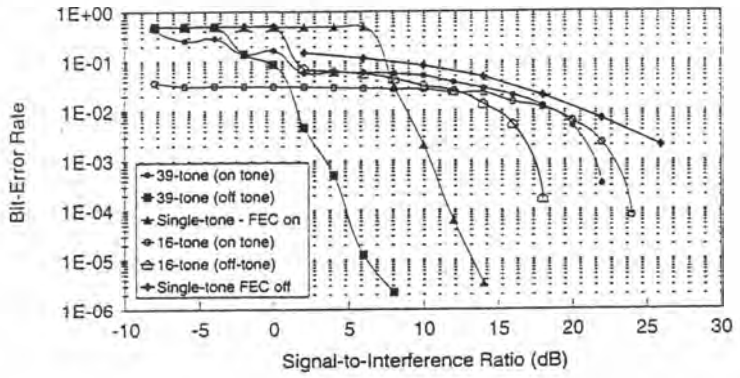
Figur 7: 2400 bps Modems in einem CCIR Poor Kanal ohne Interleaving



Figur 8: 2400 bps Modems in einem CCIP Poor Kanal mit Interleaving

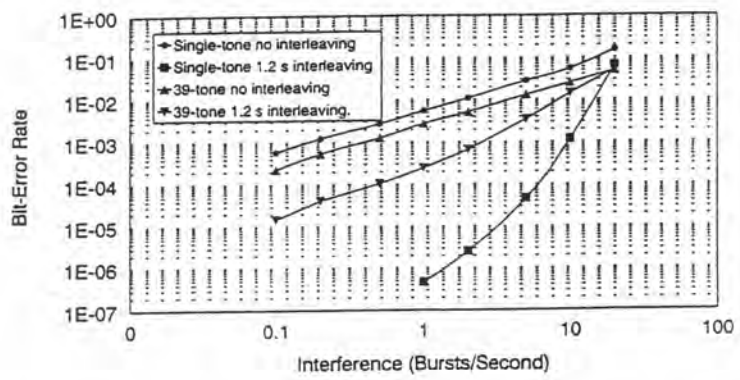
Figur 9 zeigt den Einfluss von Störungen durch unmodulierte Träger. Es ist nicht erstaunlich, dass beim Parallelton-Modem erhebliche Unterschiede auftreten, je nachdem ob das Störsignal direkt auf einem der 39 Töne liegt oder dazwischen. Beim seriellen Modem spielt dies keine Rolle, da die Nutzenergie breit über das Band verteilt ist. Der Equalizer versagte aber bei +7dB Störabstand. Dieser Effekt ist den Herstellern von seriellen Modems bekannt. Neuere Geräte haben deshalb automatische Filter eingebaut, die bis zu 4 Störsignale ausblenden können. Leider enthält die erwähnte Untersuchung keine Messresultate darüber, nur einen positiven Kommentar.

Figur 9: 2400 bps Modems bei Störung durch einen unmodulierten Träger



Figur 10 zeigt die Verhältnisse bei Impulsstörungen. Das serielle Modem ist ohne Interleaving etwas weniger anfällig. Bereits das kurze Interleaving bringt beim seriellen Modem eine eklatante Verbesserung.

Figur 10: 2400 bps Modems bei Impulsstörungen



Ergänzend hat die australische Organisation auch Felderprobungen durchgeführt. Im Mittel schlug sich das serielle Modem dabei besser, interessanterweise war aber in 12% der Fälle das parallele Modem im Vorteil. Zusammenfassend darf gesagt werden, dass bei Sprache das parallele Modem manchmal etwas besser zu sein scheint, dass aber bei Daten das serielle Modem deutlich obenaus schwingt. Auf diesem Sektor wird zur Zeit intensiv gearbeitet, sodass in naher Zukunft mit weiteren, erheblichen Verbesserungen zu rechnen ist.

3. Frequenz-Hüpfen

Die seriellen Modems sind auch mit Frequenzhüpfern einsetzbar. Die Parameter sind aber zur Zeit noch nicht bereinigt und werden erst in einer der nächsten Revisionen des MIL-STD-188-110 definitiv festgelegt.

4. Digitale Sprachübertragung

Beim heutigen Stand der Sprachcodierung ist es naheliegend, zusammen mit einem 2400 bps Modem digitale Sprachübertragung zu realisieren. Damit ist es möglich, auf Kurzwellen eine sichere Chiffrierung der Sprache zu erzielen. Ein weiterer Vorteil der digitalen Sprache ist, dass die Hintergrundgeräusche des HF-Kanals wegfallen, d.h. das Signal / Geräusch-Verhältnis ist für eine Kurzwellen-Verbindung überraschend gut. Demgegenüber nachteilig ist die etwas reduzierte Sprechererkennung und die geringere Reichweite im Vergleich mit herkömmlicher, analoger Uebertragung. Bei schlechten Kanalbedingungen kann sich auch der Vocoder bemerkbar machen, indem er, wegen den grösseren Bitfehlerraten des Modems, unpassend Laute einstreut, die die Sprache bis zum unverständlichen "Chinesisch" entstellen können.

Auf dem Markt sind bereits verschiedene Produkte erhältlich, deren Einsatzbereich vor allem im Taktischen HF-Funk zu suchen ist. (An dieser Stelle wurde im Vortrag ein Tonband mit digitaler Sprache bei verschiedenen Kanalbedingungen vorgeführt).

5. Electronic Mail

Die zwei untersten Schichten des OSI-Modells stellen mit den schnellen Modems, dem Daten Link Protokoll und dem automatischen Verbindungsaufbau automatisierte, transparente Kurzwellen-Verbindungen zur Verfügung. Der nächste, logische Schritt ist der Anschluss an die höheren Schichten des OSI-Modells, d.h. das Einbinden derartiger, moderner Kurzwellen-Verbindungen in die Welt der draht- oder glasfasergebundenen Datenübertragung. Es existieren bereits Systeme, in denen Electronic Mail mit dem SMTP Protokoll implementiert ist, und in absehbarer Zeit werden auch X.400 Applikationen auf dem Markt erhältlich sein. Damit wird es möglich, weltumspannende Datennetze zu realisieren, bei denen einzelne oder auch alle Teilnehmer entweder nur über Kurzwellenfunk angeschlossen sind, oder als Back up zu Draht- oder Satellitenverbindungen auf moderne, automatisierte Kurzwellen-Verbindungen ausweichen können.

Damit solche Systeme möglichst reibungslos funktionieren, ist ein Netzwerk-Management notwendig. Dafür gibt es keine Standard-Lösungen, sondern jedes Netz muss individuell analysiert und seinen Bedürfnissen entsprechend geplant werden. Für die Realisierung hingegen ist es empfehlenswert, auf Standard-Software zurückzugreifen und das Netzwerk-Management möglichst weitgehend damit zu implementieren.

6. Was bringt die Zukunft ?

Fast-ALE und Fast-LQA

Das heute im MIL-STD-188-141 festgelegte ALE- und LQA-Verfahren benötigt relativ viel Zeit für die Kanalanalyse und für den Verbindungsaufbau. Verschiedene Firmen arbeiten heute bereits an einer Weiterentwicklung des ALE mit dem Ziel, die Abläufe um einen Faktor 5 bis 10 zu beschleunigen [16].

Höhere Datenrate der Modems

Der Druck des heutigen Kommunikationsumfeldes zu immer höheren Datenraten macht sich auch bei den Modems bemerkbar. Es laufen verschiedene Weiterentwicklungen zur Erhöhung der Datenrate [15].

Optimiertes Data Link Protokoll

Das Protokoll im pFED-STD-1052 kann noch optimiert werden:

a) Erhöhung des mittleren Datendurchsatzes

Auch bei sehr guten Kanalbedingungen beginnt die Uebertragung zunächst mit einer tiefen Bitrate. Diese wird zwar dann bei jedem Datenblock erhöht, aber bei kurzen Meldungen wird die volle, bei den vorherrschenden Kanalbedingungen mögliche Bitrate nicht erreicht, so dass der mittlere Datendurchsatz viel zu gering ausfällt.

b) Dynamischer Frequenzwechsel

Solange das Protokoll bei einer laufenden Verbindung feststellt, dass ein Fortschritt in der Datenübertragung erzielt wird, bricht es die Verbindung nicht ab, auch wenn der Fortschritt nur noch minimal ist. Mit dem Fast-LQA könnte eine bessere Frequenz ermittelt werden und anschliessend die Datenübertragung dort mit höherem Fortschritt weitergeführt werden.

Link Protection

Der gegenwärtige MIL-STD-188-141A weist noch keinen eigentlichen Schutz des ALE gegen gewollte äussere Einflüsse auf. Als Gegenmassnahme kann man die Verbindungen im Duplex betreiben und bei jedem Wechsel vom Tages- auf den Nachtfrequenzsatz einen automatischen Wechsel des Adresscodes durchführen. Damit wird es schwierig und zeitaufwendig, mit dem recht komplexen ALE-Protokoll Unfug zu treiben. Wenn dies jemand aber wirklich beabsichtigt, stehen ihm heutzutage keine unüberwindlichen, d.h. kryptografischen Barrieren entgegen. Es ist klar, dass das Bedürfnis zum Schutz des ALE besteht. Zur Zeit wird deshalb parallel an zwei Standards gearbeitet, dem pFED-STD-1049 und dem MIL-STD-187-721C. Welcher Ansatz sich durchsetzen wird, ist aber erst in etwa zwei Jahren absehbar.

Verbesserte digitale Sprachübertragung

Vor allem für militärische Anwendungen ist chiffrierte Sprache interessant. Voraussetzung dazu ist die Möglichkeit, Sprache digitalisiert über Kurzwellen zu übertragen. Die heute dafür zur Verfügung stehenden Verfahren sind sicher noch verbesserungsfähig. An den Algorithmen für die digitale Sprachcodierung wird ständig gearbeitet. Zudem werden mit der Erhöhung der Datenrate der Modems mehr Bits für eine wirksamere Fehlerkorrektur zur Verfügung stehen. Es ist deshalb zu erwarten, dass die Qualität der digitalen Sprache in naher Zukunft noch wesentliche Fortschritte machen wird.

2. Teil: Anwendungen

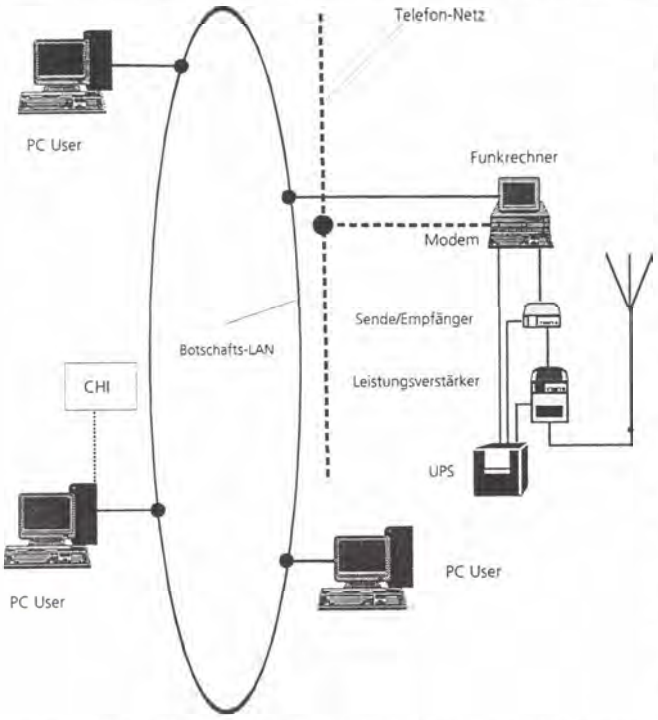
7. Erneuerung des Botschaftsfunks

Zweck

Das Botschaftsfunknetz der Schweiz stellt die dauernde Verbindung zwischen der obersten Exekutivbehörde und deren Vertretungen im Ausland sicher. Diese Verbindungen sollen unabhängig sein von öffentlichen oder privaten ausländischen Fernmeldenetzen, damit sie auch in Krisenzeiten ungehindert zur Verfügung stehen. Es ist geplant, das Botschaftsfunk-System in den nächsten Jahren den gestiegenen Anforderungen der Benützer anzupassen. Es soll die Möglichkeit geschaffen werden, Daten direkt von PC zu PC zu übertragen. Zudem muss die Uebertragungskapazität wesentlich gesteigert werden. Das Netz muss aber auch weitgehend automatisiert werden, da aus Kostengründen den Botschaften fast kein ausgebildetes Funkerpersonal mehr zur Verfügung steht.

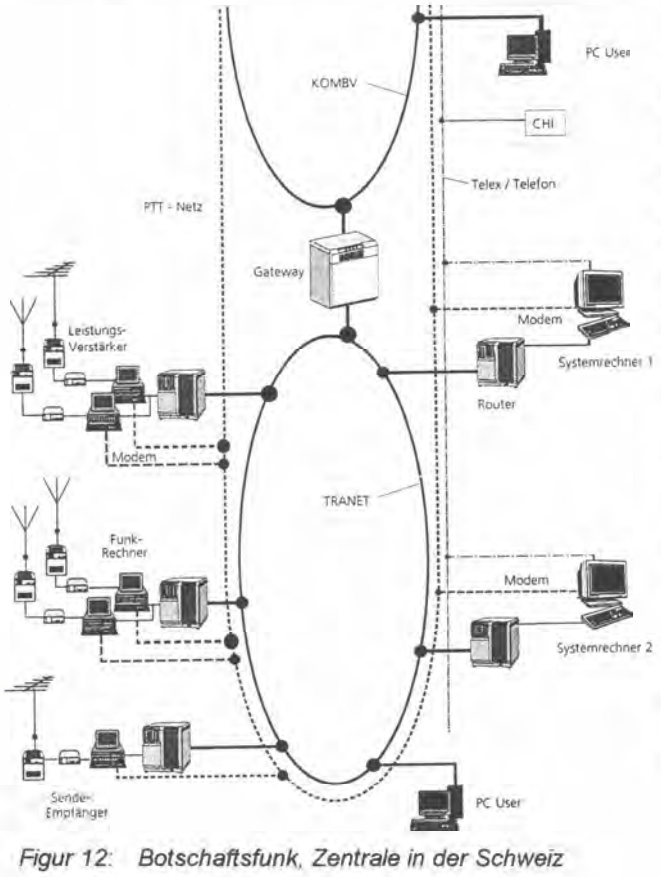
Netzstruktur und Ausrüstung der Aussenstationen

Das Netz ist grundsätzlich sternförmig aufgebaut, mit der Zentrale in der Schweiz. *Figur 11* zeigt die geplante Ausrüstung auf einer Botschaft. Das Funksystem besteht aus Antenne, Funkgerät und Funkrechner. Wo dies notwendig ist, z.B weil das örtliche Elektrizitätsnetz unstabil ist, kann eine unterbruchsfreie Stromversorgung vorgesehen werden. Die Funkanlage ist über ihren Funkrechner an das LAN der Botschaft angeschlossen, so dass für alle PC-Benützer am LAN grundsätzlich die Möglichkeit offen steht, Meldungen per Funk abzusetzen und zu empfangen. Verschiedene Benutzer sind zudem mit einem Chiffriergerät ausgerüstet (CHI). Der Funkrechner ist über ein Modem auch an das öffentliche Telefonnetz angeschlossen. Ueber diese Verbindung kann z.B in einem Störfall von der Zentrale in der Schweiz aus eine Ferndiagnose durchgeführt werden, um das Problem einzugrenzen und wenn möglich durch gezielte Anweisungen an das Personal der Botschaft zu beheben, ohne dass ein Spezialist hingeschickt werden muss.



Figur 11: Botschaftsfunk, Ausrüstung einer Aussenstation

Die Zentrale in der Schweiz sieht natürlich etwas komplizierter aus, *siehe Figur 12.* Sie besteht aus mehreren Funkstationen an verschiedenen Standorten, die untereinander über das TRANET vernetzt sind. Pro Standort sind meist zwei Funkstationen vorhanden, wobei einige mit leistungsstarken Sendern ausgerüstet sind. Für die Systemüberwachung und die Steuerung werden zwei Systemrechner eingesetzt, welche vom Systemmanager betreut werden. Dieser kann sich über den Monitor jederzeit ein Bild über den aktuellen Zustand seines Netzes und die momentane Uebermittlungslast verschaffen. Bei besonderen Vorkommnissen kann er eingreifen, z.B um Störfälle zu beheben oder momentane Engpässe zu überbrücken.



Figur 12: Botschaftsfunk, Zentrale in der Schweiz

Meldungsübermittlung

Das System ermöglicht Electronic Mail direkt von PC zu PC, ohne dass der Absender oder der Adressat merken, dass die Uebermittlung über Kurzwellen läuft. Verfolgen wir auf *Figur 12 und 11* den Weg einer Meldung, die ein am KOMBV angeschlossener Absender in der Schweiz einem bestimmten Adressaten auf einer Botschaft zukommen lassen will: Der Absender erstellt wie gewohnt auf seinem PC die Meldung und adressiert sie mit der E-Mail Adresse des Empfängers. Die Meldung wird vom KOMBV übernommen und gelangt zum Gateway des TRANET. Falls der Absender die Berechtigung für den Zugriff zum TRANET hat, übergibt der Gateway die Meldung an das TRANET. Dort kommt sie zunächst zum Systemrechner, der für Meldungen des Botschaftsfunkes als Post-Office definiert ist. Anhand der Adresse erkennt der Systemrechner, wohin die Meldung muss. Aufgrund verschiedener weiterer Kriterien, welche durch das Netzwerk-Management bestimmt sind, leitet er sie über das TRANET und einen Router an eine Funkstation weiter, die für diese Uebermittlung geeignet und zur Zeit frei ist. Der Funkrechner der betreffenden Station übernimmt die Meldung und wickelt selbständig den Funkverkehr mit der Botschaft ab, in der der Adressat sitzt. Dazu gehört die Wahl einer geeigneten Frequenz und der passenden Antenne. Falls es sich dabei um eine Richtantenne handelt, muss sie vom Funkrechner natürlich auch in die richtige Richtung gedreht werden. Sobald die Meldung übermittelt ist, signalisiert der Funkrechner dies dem Systemrechner, der seinerseits dem Absender die erfolgreiche Uebermittlung meldet. Wenn die Meldung auf der Botschaft des Adressaten angekommen ist, wird sie vom dortigen Funkrechner auf das LAN der Botschaft gegeben und kann dann vom Adressaten an seinem PC wie eine ganz normale E-Mail abgerufen, gelesen und beantwortet werden.

Store and Forward Relais

Sollte es der Funkstation in der Schweiz trotz verschiedenen Versuchen nicht gelingen, die Meldung wie oben geschildert abzusetzen, gibt sie der betreffende Funkrechner an den Systemrechner zurück. Der System-Manager muss dann entscheiden, was zu tun ist. Er hätte z.B die technische Möglichkeit, eine alternative Route zu wählen, indem er eine andere Aussenstation als Relaisstation einsetzt und so die Meldung an ihr Ziel gelangen lässt. Zu diesem Zweck würde er die Meldung neu mit der Adresse der Relaisstation "verpacken" und sie wieder einer Inlandstation zur automatischen Uebermittlung übergeben. Wenn die Meldung auf der als Relais designierten Aussenstation eingetroffen ist, packt sie der dortige Funkrechner aus und erkennt, dass sie nicht an einen lokalen Adressaten gerichtet ist, sondern weitergeleitet werden muss. Er speichert die Meldung deshalb zunächst ab (store) und übermittelt sie anschliessend automatisch an den endgültigen Bestimmungsort (forward).

Für ein derartiges Store and Forward Relais wäre also nur eine einzige Station notwendig. Dies bedeutet, dass jede beliebige Station im Netz als Relais eingesetzt werden könnte, sofern sie mit der geschilderten Store and Forward Funktion ausgerüstet ist. Mit andern Worten, die Bindung an fixe Relais-Standorte entfällt mit diesem Konzept. Damit eröffnen sich vielfältige Möglichkeiten, bei schwierigen Funkbedingungen, oder wenn die normale Route infolge einer Störung im Netz nicht zur Verfügung steht, über eine alternative Route eine Meldung doch noch durchzubringen. Das Netzwerk-Management wird allerdings entsprechend anspruchsvoller. Dafür gewinnt man wesentlich an Flexibilität. Ein weiterer Vorteil ist, dass bei einem Store and Forward Relais nie zwei Funkstationen gleichzeitig in Betrieb sind. Man vermeidet somit die bekannten EMV-Probleme der traditionellen Relaisstationen.

8. Taktischer HF Funk

8.1. Anforderungen

Wie schon eingangs erwähnt, stellt der mobile, militärische Einsatz von Kurzwellenverbindungen folgende Anforderungen:

- sichere Ueberbrückung kurzer und mittlerer Distanzen
- Betrieb in Fahrzeugen (fahrend und stehend)
- COMSEC, d.h. Schutz des Inhaltes der Verbindung gegen Abhören
- TRANSEC, d.h. Schutz der Verbindung gegen fremde elektronische Einflüsse
- Uebermittlung von Sprache und Daten
- Bildübertragung.

Zur Uebermittlung von Sprache und Daten kommt hier neu die Bildübertragung dazu, die vor allem für die Aufklärung von Interesse ist. Das Hauptproblem bei der Bildübertragung ist die grosse Menge der in einem Bild enthaltenen Informationen. Die Datenmenge muss stark komprimiert werden, damit die Uebermittlung über Kurzwellen möglich ist. Es gibt jedoch bereits kommerzielle Produkte, die dies bei vernünftigen Uebermittlungszeiten schaffen. Im Rahmen dieser Abhandlung wird jedoch darauf nicht eingegangen.

Der Aspekt TRANSEC (Frequenzhüpfen, Link Protection) wurde bereits im Kapitel 6 behandelt. Die COMSEC ist sichergestellt, da dank den schnellen Modems nicht nur Daten, sondern auch Sprache chiffriert übermittelt werden kann.

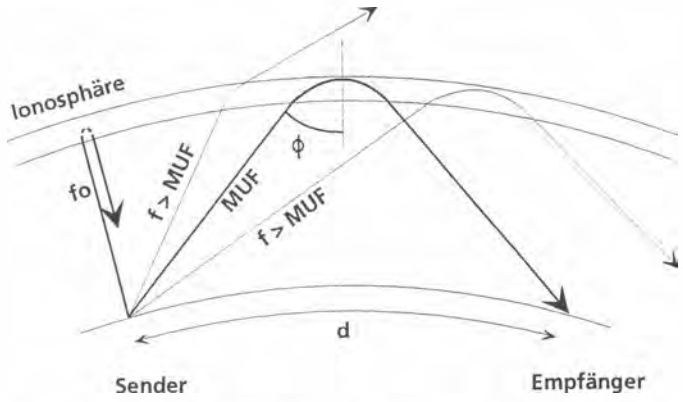
Der Betrieb aus stehenden oder fahrenden Fahrzeugen wirft verschiedene Probleme praktischer Natur auf. Die Platzfrage ist heutzutage dank der Miniaturisierung moderner Geräte gelöst. Einzig die Unterbringung des Antennenabstimmgerätes in Kampffahrzeugen ist problematisch. Weitere praktische Probleme sind die Speisung leistungsfähiger Sender aus dem Bordnetz, die Zusammenarbeit mit den ebenfalls vorhandenen taktischen VHF-Geräten und die Integration in die Bordverständigungsanlage. Mannigfaltige Probleme sind auch zu erwarten wegen der elektromagnetischen Beeinflussung der Funkgeräte untereinander sowie zwischen den Funkgeräten und der im Fahrzeug eingebauten Waffenelektronik. Auf diese Probleme kann hier jedoch nicht eingegangen werden.

8.2. Sichere Uebermittlung über kurze bis mittlere Distanzen

Die sichere Uebermittlung über wenige km bis zu Distanzen von etwa 200 km ist ein Thema, das im Taktischen HF Funk im Vordergrund steht. Einerseits hat dies mit der richtigen Frequenzwahl zu tun, andererseits aber auch mit dem verwendeten Antennentyp. Beides wird in der Folge kurz beleuchtet.

Frequenzwahl

Im Zusammenhang mit der sicheren Uebermittlung über kurze und mittlere Distanzen taucht häufig der Begriff der Toten Zone auf. Dieser Ausdruck stiftet immer wieder Verwirrung, weil er suggeriert, dass bei gewissen Entfernungen zwischen Sender und Empfänger keine Verbindung möglich sei. Dies ist eindeutig falsch.



Figur 13: Ausbreitung der Raumwellen (schematisch), MUF für die Distanz d

Wenn die richtige Frequenz gewählt wird, kann auch auf kurze Distanz eine sichere Verbindung erstellt werden. *Figur 13* zeigt schematisch die Verhältnisse der Raumwellenausbreitung. Die höchste Frequenz f_{max}, welche noch zur Erde zurückgeworfen wird, ist angenähert bestimmt durch

$$f_{max} = f_o / \cos \phi ,$$

wobei f_o die sogenannte kritische Frequenz ist, gegeben durch die örtliche Ionendichte [17]. Die Frequenz f_{max} ist besser bekannt als MUF (Maximum Usable Frequency) für die Distanz d.

Aus der Formel ist ersichtlich:

- je grösser der Einfallswinkel ϕ ist, d.h. je grösser die Distanz zwischen Sender und Empfänger ist, desto höher ist die noch reflektierte Frequenz f, d.h. die MUF für die betreffende Distanz
- auch senkrecht auf die Ionosphäre auftreffende Wellen (Einfallswinkel von 0°) werden noch reflektiert, sofern ihre Frequenz nicht höher als f_o ist. Somit ist f_o die MUF für die Distanz d = 0.

Mit anderen Worten, wenn die Frequenz tief genug gewählt wird, existiert keine Tote Zone. Von der Frequenzwahl her gesehen, steht also einer sicheren Uebermittlung über kurze bis mittlere Distanzen nichts entgegen.

Der Vollständigkeit halber muss allerdings erwähnt werden, dass bei hoher Sonnenaktivität die LUF über die MUF ansteigen kann. In solchen Fällen spielt es aber keine Rolle, ob die Verbindung von Bern nach Thun oder von Genf nach Romanshorn geht, da dann innerhalb der gesamten Schweiz keine Raumwellenverbindungen möglich sind.

Antennenwahl

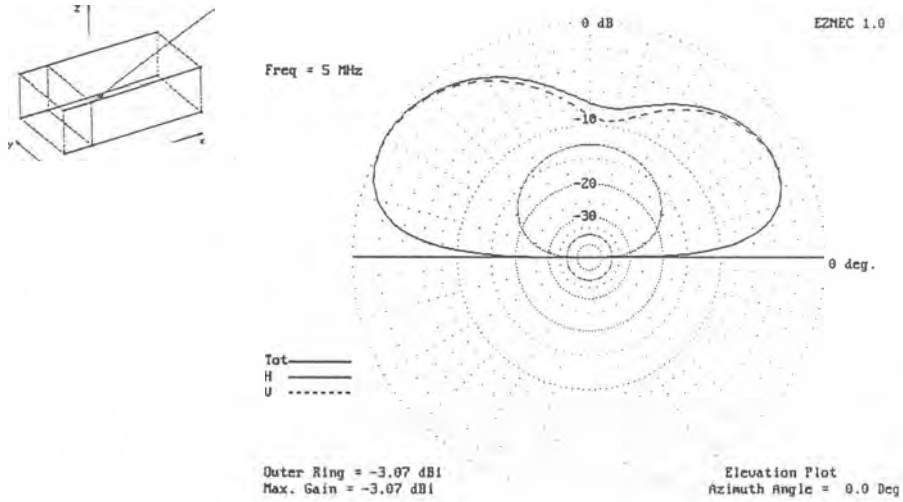
Unter der Annahme, dass die zu überbrückende Distanz 100 km ist und sich die reflektierende Schicht der Ionosphäre in etwa 300 km Höhe befindet, beträgt der Einfallswinkel ϕ ca 10°, d.h. die Antenne sollte die Sendeleistung möglichst zwischen 80 und 90°, also sehr steil, abstrahlen. Vereinfachend gesagt, sind dafür solche Antennen geeignet, die möglichst horizontal verlaufende Drähte haben. Ein Dipol wäre ideal. Dass dies bei den Fahrzeugen des Taktischen HF Funks nicht möglich ist, ist klar.

Wie sehen denn die Verhältnisse bei einer Rutenantenne aus? Mit Hilfe eines Simulationsprogramms [18, 19, 20] wurde ein Schützenpanzer als einfache, rechteckige Kiste modelliert und mit einer asymmetrisch angebrachten, 5 m langen Rutenantenne ausgerüstet, welche so abgespannt wurde, dass ihre Spitze 4 m über Grund liegt.

Figur 14 zeigt die Konfiguration und das resultierende Antennendiagramm in der x,z-Ebene bei 5 MHz. Der Winkel, in dem diese Antenne die Sendeleistung am besten abstrahlt, liegt bei etwa 30° Elevation.

Stünde der Sender in Bern, wäre also der Empfang in der Region Budapest am besten. Für Zürich wäre der Antennengewinn um 10 dB schlechter (80° Elevation). Wenn beim Empfänger in Zürich die gleiche Antenne eingesetzt wird, kommt natürlich nochmals derselbe Verlust dazu, d.h. ein Sender in Budapest hätte ebenfalls einen Antennengewinn von gegen 10 db gegenüber dem Sender in Bern. Das Resultat ist ein schlechtes Signal/Störverhältnis in Zürich.

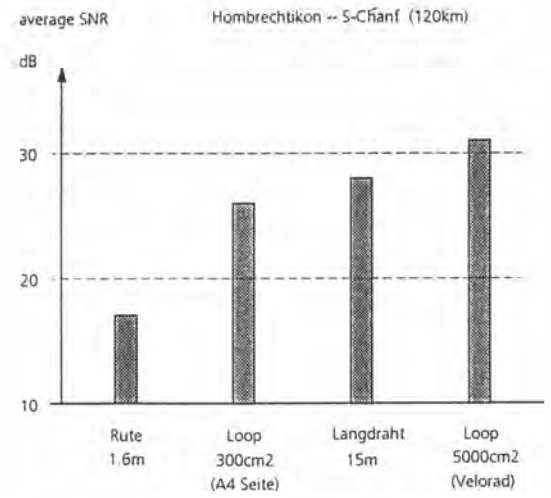
Bei tieferen Frequenzen wird die Einsattelung der Abstrahlung nach oben noch tiefer, bei höheren Frequenzen ist sie etwas weniger ausgeprägt. Eine Rutenantenne, auch wenn sie abgespannt ist, ist offensichtlich von den Eigenschaften eines Dipols weit entfernt. Sie ist deshalb sicher keine optimale Lösung für die sichere Uebermittlung über kurze bis mittlere Distanzen.



Figur 14: Strahlungsdiagramm einer 5m langen, geneigten Rutenantenne auf einem M-113

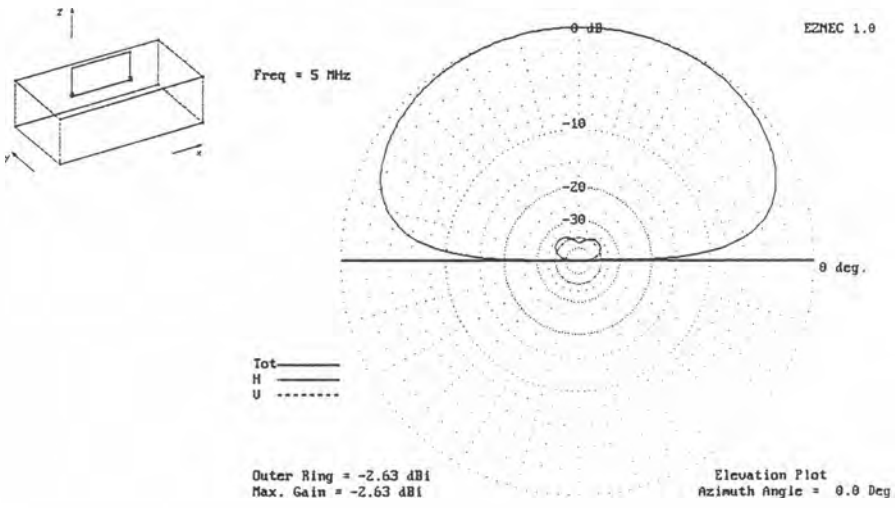
Wegen den Abmessungen kommt ein Dipol für ein Fahrzeug natürlich nicht in Frage. Loop-Antennen jedoch haben ein ähnliches Strahlungsdiagramm und müssten deshalb einer Rutenantenne deutlich überlegen sein. Um diese theoretischen Ueberlegungen in der Praxis zu überprüfen, wurden für ein anderes Projekt, bei dem es um einen tragbaren Kurzwellen-Empfänger geht, Feldversuche durchgeführt. Der Sender stand in Hombrechtikon, der Empfänger mit den zu untersuchenden Antennen im Engadin. *Figur 15* zeigt das gemessene Signal/Geräusch-Verhältnis für die verschiedenen Antennen. Es fällt auf, dass schon eine kleine Loop-Antenne mit den Abmessungen einer A4-Seite wesentlich bessere Resultate ergibt als die Rutenantenne, was die Theorie ja auch voraussagte. Die zweite, viel grössere Loop-Antenne gibt nochmals einen deutlichen Gewinn und übertrifft sogar die Langdraht-Antenne.

1 - 20



Figur 15: Signal/Geräusch-Verhältnis, gemessen an verschiedenen Antennen (3kHz Bandbreite)

Nun lag es nahe, den Schützenpanzer mit einer aufgesetzten Loop-Antenne zu simulieren. *Figur 16* zeigt das Resultat für eine Loop-Antenne mit 1 Meter Höhe und 2 Metern Länge. Der Unterschied zur Rutenantenne ist augenfällig und bedarf keiner weiteren Erläuterung. Sowohl in der Praxis als auch bei der Simulation fiel übrigens auf, dass die Loop-Antenne weniger empfindlich ist als die Rutenantenne auf Einflüsse der Umgebung und insbesondere des Fahrzeugs. Eine Loop-Antenne wäre also aus Sicht der Technik eine sehr gute Antenne für den Taktischen HF-Funk. Was die Taktiker dazu meinen, muss hier offen bleiben.



Figur 16: Strahlungsdiagramm einer 1 x 2m Loop-Antenne auf einem M-113

Referenzen:

[1] Riley, J. P. — The man who started ripples in the ether, Electronics World + Wireless World, Sept 1994

[2] Pennington, J. — Techniques for medium-speed data transmission over HF channels, IEE Proceedings, Vol. 136, Pt.1, No. 1, Feb 1989

[3] Lindner, J. — An automated adaptive HF data communication system and its performance on real radio channels, Proceedings of the Nordic Shortwave Conference 1989

[4] Baker, M. McPhee, G. Vogel, B. — Real time HF channel evaluation and 8-ary FSK signaling for adaptive communications, IEE Proceedings of the 4th International Conference on HF Radio Systems & Techniques, 1988, IEE Publication No. 284

[5] Sjoebergh, B. — ARTRAC, an automatic adaptive HF radio system in field tests, IEE Proceedings of the 4th International Conference on HF Radio Systems & Techniques, 1988, IEE Publication No. 284

[6] Schmidt, D. P. Willits, G. M. — Hughes HF adaptive radio, MILCOM 1985, IEEE CH85CH2202-0/85/000-0140

[7] Perl, J. M. — A real time HF adaptive communications system, Signal, August 1987

[8] Harrison, G. L. — HF radio automatic link establishment systems, MILCOM 1987, IEEE CH2493-5/87/0000-0043

[9] MIL-STD-188-110A — Interoperability and performance standards for data modems, 30.9.1991, Standardization Document Order Desk, 700 Robbins Ave, Building 4, Section D, Philadelphia PA 19111, U.S.A.

[10] MIL-STD-188-141A — Interoperability and performance standards for medium and high frequency radio equipment, 15.9.1988, Standardization Document Order Desk, 700 Robbins Ave, Building 4, Section D, Philadelphia PA 19111, U.S.A.

[11] pFED-STD-1052 — Draft: Telecommunications, HF radio modems, Sept 1994, General Services Administration Supply Distribution Facility Franconia, Building A, Loisdale Road, Franconia, VA 22105, U.S.A.

[12] PropMan — Rockwell HF propagation resource manager, V3.1, P. Langenegger, Auf der Buechlen, CH-8627 Grüningen, ca US$ 50

[13] Miniprop Plus — W6EL Software, 11'058 Queensland Street, Los Angeles, CA 90034-3029, U.S.A., ca US$ 60

[14] Furman, N — Error free data delivery with HF systems utilizing the proposed U.S. Federal Standard 1052 data link protocol, Proceedings of the Nordic Shortwave Conference 1995

[15] Cook, S. C. — Advances in high-speed HF radio modem design, Proceedings of the Nordic Shortwave Conference 1995

[16] Beamish, W. L. — Third generation HF link establishment and data transmission systems, Proceedings of the Nordic Shortwave Conference 1992

[17] Rothammel, K. — Antennenbuch, Franckh-Kosmos Verlag

[18] EZNEC — Roy Lewallen, PO Box 6658, Beaverton, OR 97007, U.S.A., ca US$ 89, kurze Beschreibung in [20]

[19] Antenna Optimizer — AO 6.5, NEC/Wires 2.0, TA 1.0 (Terrain Analyzer), Brian Beezley, 3532 Linda Vista, San Marcos, CA 92069, U.S.A, ca US$ 120 für alle 3 Programme zusammen, kurze Beschreibung in [20]

[20] Straw, D. — QST compares antenna modeling software, QST Amateur Radio, Oct 1995