

PP

Propagation Prediction

Version 1.5

Bernhard Büttner, DL6RAI

26. März 2004

Inhaltsverzeichnis

1	Einführung	2
2	Dateien auf der Diskette	2
3	Start des Programms	3
4	Ausgabe	6
5	Grafische Darstellung der Ausgabewerte	7
6	Drucken	9
7	PP.CFG	9
8	LOCATION.DAT	12
9	Die Zukunft	13
A	MINIFTZ4	14
A.1	Einleitung	14
A.2	Genauigkeit von MINIMUF	15
A.3	Notwendigkeit einer genaueren MUF-Berechnung	16
A.4	Genauigkeit von FTZMUF2	17
A.5	Eingabe-Parameter	17
A.6	Ausgabe-Parameter	17
A.7	Feldstärkevorhersage mit MINIFTZ3	18
A.8	Bestimmung der „basic MUF“ und des Elevationswinkels	18
A.9	Obere Frequenzgrenze f_M	19
A.10	Untere Frequenzgrenze f_L	21
A.11	Veränderlichkeit der Feldstärke mit der Frequenz	22
A.12	Benötigte Eingaben MINIFTZ3	24
A.13	Vom Programm berechnete Angaben	25

A.14 Genauigkeit der Methode 25

B Weiterführende Literatur **33**

1 Einführung

PP ist ein Programm zur Vorhersage der Kurzwellenausbreitungsbedingungen von 2 MHz bis etwa 50 MHz. Es basiert auf dem vom FTZ Darmstadt im Jahre 1987 entwickelten Programm MINIFTZ4. MINIFTZ4 erstellt anhand von Tabellenwerten, die dem CCIR-Atlas der ionosphärischen Charakteristiken entnommen wurden, eine Feldstärkeprognose für eine gegebene Funkstrecke, abhängig vom Standort der beiden Funkstellen, der Tages- und Jahreszeit, Sonnenfleckenzahl, Sendeleistung und Gewinn und vertikaler Abstrahlwinkel der Sendeantenne.

Das BASIC-Programm MINIFTZ4 wurde von Helmut Klein, OE1TKW, in PASCAL übersetzt und von mir mit einer graphischen Ausgabe sowie einigen zusätzlichen Vereinfachungen versehen. Um Verwechslungen zu vermeiden, wurde das neue Programm PP getauft.

PP läuft auf IBM-kompatiblen PCs mit mindestens 350 kB Speicher sowie einer CGA-, EGA- oder VGA-Grafik-Karte. Der jeweilige Grafikkadaper wird automatisch erkannt. Die Grafikroutinen sind unabhängig von der jeweils eingesetzten Hardware.

Ein Farbmonitor ist vorteilhaft, da Feldstärkewerte für mehrere Frequenzen gleichzeitig ausgegeben werden. Steht nur ein Monochrom-Bildschirm zur Verfügung, können die Kurven durch verschiedene Symbole voneinander unterschieden werden. Eine Maus kann benutzt werden, ist aber nicht unbedingt notwendig. Ein vorhandener mathematischer Coprozessor (80x87) wird von der Software automatisch erkannt und benutzt.

2 Dateien auf der Diskette

Die Software besteht aus mehreren Files. Diese sind in Form eines sog. „self-extracting archive“ also eines selbst-entpackenden Archivs auf der Diskette zu einer Datei zusammengefaßt. Die Batch-Datei `install` dient zum Installieren der Software auf Ihrer Festplatte.

Es müssen zwei Parameter angegeben werden.

```
install [Laufwerk] [Sprache]
```

Wobei [Laufwerk] ein gültiges DOS-Laufwerk und [Sprache] einer der folgenden Abkürzungen entsprechen muß:

I = Italienisch D = Deutsch OK = Tschechisch
F = Französisch E = Englisch 9A = Kroatisch

Beispiel:

```
C:\>a:  
A:\>install C: D
```

Nun werden alle Dateien nach `C:\PP` installiert (1. Parameter). Die installierte Sprache ist Deutsch (2. Parameter). Die Software kann in jedes beliebige Verzeichnis kopiert werden, aber

es müssen sich alle Dateien in einem gemeinsamen Verzeichnis befinden. Die Originaldiskette verwahrt man am besten an einem sicheren Ort.

Folgende Dateien müssen vorhanden sein, damit PP starten kann:

PP.EXE	Programm
FTZMUF2.DAT	Eingabedaten
PP.CFG	Konfigurationsdatei
MESSAGES.DAT	Systemmeldungen

Folgende Dateien werden außerdem gesucht und bei Erfolg benutzt:

LOCATION.DAT	QTH-Daten
WWV.DAT	PacketCluster-WWV-Meldungen, zur Bestimmung von SF/SSN

Folgende Dateien werden von PP erzeugt:

PP.STA	Statusdatei: Hier werden die letzten Einstellungen gespeichert
PP.OUT	Übliche Ausgabe, wie von MINIFTZ4 her gewohnt
PP.RAW	Berechnete Rohdaten, zur Weiterverarbeitung mit einem Plot-Programm

Weitere Dateien, die sich noch mitgeliefert werden sind

- **MSG.***: In verschiedene Sprachen bersetzte Systemmeldungen. Das Umstellen der Sprache erfolgt durch kopieren der jeweiligen Datei auf **MESSAGES.DAT**:

```
C:\PP>copy msg.i messages.dat
```

Mit diesem Kommando wird Programm auf italienische Sprache umgestellt.

- **LOC.***: Zwei verschiedene Dateien, die geographische Standortdaten enthalten. **LOC.AFU** enthält die Daten nach Amateurfunk-Präfixen geordnet, bei **LOC.ITU** ist als Kürzel der jeweilige ITU-Landeskennzeichen einzugeben. Das Umschalten zwischen diesen beiden Dateien erfolgt auf ähnliche Weise:

```
C:\PP>copy loc.itu location.dat
```

3 Start des Programms

PP wird gestartet durch Eingabe von PP. Das Programm kann sich dabei an einer anderen Stelle im Dateisystem befinden, solange das Verzeichnis durch die Umgebungsvariable `PATH` spezifiziert wurde oder der Pfad beim Aufruf vollständig angegeben wird. Das Verzeichnis, in dem sich `PP.EXE` beim Programmaufruf befindet, wird vom Programm selbst festgestellt und i.w. `PPDIR` genannt.

Das Programm und die Systemmeldungen `MESSAGES.DAT` werden in den Speicher geladen und gestartet. Die Konfigurationsdatei `PP.CFG` und – falls vorhanden – die Statusdatei `PP.STA` werden gelesen. Die Datei `PP.CFG` wird nun nur noch im `PPDIR` gesucht (nderung gegebber Version 1.4!). Wird `PP.CFG` nicht gefunden, so benutzt PP Standardwerte. Wird in der Kommandozeile der Name einer Konfigurationsdatei angegeben so diese gelesen und nicht `PP.CFG`. So kann man beispielsweise zwei unterschiedliche `CFG`-Dateien für die Low- und High-Bands benutzen.

Je nach Konfiguration werden nun interaktiv Eingaben erwartet. Abgefragt werden grundsätzlich:

1. Datum (Tag, Monat, Jahr)
 2. Sonnenfleckenrelativzahl oder Solarer Flux
 3. Sende- und Empfangsstandort
 4. Sendeleistung
 5. Sendeantennengewinn
 6. Wahrscheinlichkeit, mit der die Prognose zutrifft
 7. Ausbreitungsweg (Long Path/Short Path)
 8. Minimaler vertikaler Abstrahlwinkel der Sendeantenne
 9. Frequenzen
- (1) Wird in der Konfigurationsdatei `PP.CFG` `AD=YES` (Auto-Date) gesetzt, wird das Datum nicht abgefragt, sondern automatisch durch die Systemzeit bestimmt.
- (2) Wird der `CONFIG`-Schalter `SF` auf `YES` gesetzt, so wird nicht die Sonnenfleckenrelativzahl sondern der Solare Flux (Sonnenrauschen auf 2300 MHz) abgefragt und erst intern in die Sonnenfleckenrelativzahl umgerechnet. Der amerikanische Zeitzeichensender `WWV` sendet alle 18 Minuten nach der vollen Stunde Informationen zur Sonnenaktivität aus, u.a. den in Boulder/Colorado gemessenen „Solar Flux“. Diese Daten sind auch aus einem `PacketCluster`-Knoten abrufbar.
- Wird die Frage nach der Sonnenfleckenzahl bzw. Flux mit einem Fragezeichen beantwortet, und ist entweder im `PPDIR` eine Datei `WWV.DAT` vorhanden oder in `PP.CFG` durch

den Konfigurationsbefehl `WN` eine andere Datei benannt worden, die `WWV`-Daten von `PacketCluster` enthält, so öffnet sich ein Auswahlfenster, und man kann die entsprechenden Daten auswählen.

Der Konfigurationsbefehl `AW` (Auto-`WWV`) ermöglicht darüber hinaus, die aktuelle Sonnenfleckenzahl durch die Suche in der Datei automatisch zu bestimmen. Es wird dann jeweils die jüngste Meldung ausgesucht und zur Berechnung herangezogen.

`WWV.DAT` kann man durch gelegentliches Mitprotokollieren der Ausgabe des `PacketCluster`-Kommandos `SH/WWV` selbst auf dem neuesten Stand halten.

(3) Die Auswahl der beiden `QTH`s kann auf zwei Arten geschehen:

1. Man gibt einen Präfix ein. Wird dieser Präfix in der Datei `LOCATION.DAT` gefunden, so werden die Daten für geographische Breite und Länge übernommen, sowie die volle Landesbezeichnung, ggf. mit Städtenamen eingesetzt.

Wird ein Präfix eingegeben, der nicht in der Datei `LOCATION.DAT` gefunden wird, so fragt das Programm Länge, Breite und Zeitzone ab.

2. Gibt man anstatt eines Landeskenners ein Fragezeichen ein (?), so erscheint auf der rechten Bildschirmhälfte ein Auswahlfenster, in dem mit den Tasten `Cursor-Up/Dn`, `Page-Up/Dn` geblättert werden kann. Durch Drücken eines Buchstabens gelangt man an den Anfang der Teilliste. Z.B. bewirkt die Eingabe von „L“, daß zu den L-Präfixen (`LA`, `LX`, `LY`, `LZ` etc.) geblättert wird. Die Auswahl des entsprechenden Präfixes geschieht durch Drücken der Taste `Return`.

(4) Die Sendeleistung ist in `kW` anzugeben. Maximale Leistung 2 Megawatt. Wird in der Konfigurationsdatei `PP.CFG` der Parameter `XP` angegeben, so wird die Sendeleistung nicht abgefragt.

(5) Der Sendeantennengewinn ist in `dBi` (also „`dB` über Isotropstrahler“) anzugeben. Grenzwerte sind `-60 dBi` und `+30 dBi`. Wird in der Konfigurationsdatei `PP.CFG` der Parameter `XG` angegeben, so wird der Antennengewinn nicht abgefragt.

(6) Es gibt die Wahl zwischen den drei Werten 10%, 50% und 90%.

- 10% bedeutet, daß die berechneten Feldstärken nur an 3 Tagen im Monat (10%) erreicht werden. Es handelt sich also um sehr optimistische Werte.
- 90% bedeutet, daß die Prognose an 27 Tagen im Monat eingehalten oder überschritten wird. Dies sind sehr pessimistische Werte.
- Bei 50% werden die Feldstärken an 15 Tagen im Monat überschritten, an 15 Tagen nicht erreicht.

Wird in der Konfigurationsdatei `PP.CFG` der Parameter `XC` angegeben, so wird die Vorhersagewahrscheinlichkeit nicht abgefragt.

(7) Diese Angabe wird immer abgefragt. Wird „L“ oder „l“ eingegeben, so wird die Ausbreitungsprognose für den langen Weg berechnet, in allen anderen Fällen für den kurzen Weg.

- (8) Hier ist der minimal mögliche vertikale Abstrahlwinkel einzugeben, mit dem das Programm rechnen soll. Dieser liegt bei Kurzwelle je nach relativer Antennenhöhe zwischen 3° und 25°. Grenzwerte sind 0° und 90°. Wird in der Konfigurationsdatei `PP.CFG` `XA` angegeben, so wird der vertikale Abstrahlwinkel nicht abgefragt.
- (9) Maximal können 11 verschiedene Frequenzen eingegeben werden. Jede Eingabe wird durch `Return` abgeschlossen. Die Frequenzeingabe wird durch nochmaliges Drücken von `Return` beendet (Leerzeile). Durch den Konfigurationsbefehl `XF` kann eine Liste von zumeist interessierenden Frequenzbändern vorgegeben werden, es erfolgt dann keine interaktive Abfrage mehr.

Alle veränderlichen Einstellungen werden in einer Statusdatei (`PP.STA`) gespeichert und können bei erneutem Programmlauf durch einfaches Drücken der Taste `Return` übernommen werden. Es bleiben immer die zuletzt eingegebenen Daten gespeichert. Die Status-Datei wird nur im PP-Verzeichnis (`PPDIR`) gesucht und auch dort wieder geschrieben. Ist keine Statusdatei vorhanden, so wird eine neue angelegt.

4 Ausgabe

Die Ausgabe in der von MINIFTZ4 her gewohnten Tabellenform erfolgt in die Datei `PP.OUT`. Sie hat zwei Seiten und kann ggf. ausgedruckt werden.

Die erste Seite enthält die Feldstärkeprognose, wobei neben den für die gewünschten Frequenzen vorhergesagten Feldstärken auch noch die Maximum Usable Frequency (MUF), die optimale Betriebsfrequenz (FOT) und die Feldstärke auf der FOT angegeben wird.

Die zweite Seite zeigt die Ausbreitungsmoden an, die bei der Berechnung der Feldstärke zugrundegelegt wurden. Hierbei bedeutet beispielsweise die Angabe `2F19` daß das Ziel mit zwei Sprüngen über die F-Schicht mit einem Elevationswinkel von 19° erreicht wird. `4E10` bedeutet analog: Vier Sprünge über die E-Schicht unter 10°. Links in der Tabelle ist wieder die MUF, die FOT sowie der auf der FOT stattfindende Ausbreitungsmodus angegeben.

Eine weitere Ausgabedatei ist `PP.RAW`. Hier werden nur „rohe“ Zahlenwerte ausgegeben und zwar zeilenweise die Werte für Tageszeit (0-23 UTC), Frequenz (MHz), berechnete Feldstärke ($\text{dB} \frac{\mu\text{V}}{\text{m}}$) und Antennenspannung (dBm).

MINIFTZ berechnet die Feldstärke in dB über $1 \frac{\mu\text{V}}{\text{m}}$. Eine gegebene Feldstärke erzeugt bei verschiedenen Frequenzen unterschiedliche Antennenspannungen, ist also frequenzabhängig. Die graphische Darstellung kann zwischen Feldstärke und Antennenspannung umgeschaltet werden. Dabei wird ein Antennengewinn der Empfangsantenne entsprechend der Angabe des Konfigurationskommandos `RX` zugrundegelegt.

Die Antennenspannung U_{Ant} in dBm errechnet sich aus der Feldstärke E , der Wellenlänge λ und dem Gewinn der Empfangsantenne G_{RX} zu:

$$U_{\text{Ant}} = 0.132 E \lambda \sqrt{G_{\text{RX}}}$$

Dieser Zusammenhang ergibt sich aus der Leistungsdichte S

$$S = EH = \frac{E^2}{Z_0} \quad \text{mit} \quad Z_0 = 377\Omega$$

und der Antennenwirkfläche A der Empfangsantenne

$$A = 1.64 \frac{\lambda^2}{4\pi} G_{\text{RX}}$$

wobei der Formfaktor 1.64 mit dem Gewinn des Halbwellendipols über Isotropstrahler (2.15 dB) korrespondiert.

Es ergibt sich die Leerlaufleistung N

$$N = SA$$

und bei Leistungsanpassung die Antennenspannung U_{Ant} an 50Ω . Rechnet man in dBm um, so erhält man

$$U_{\text{Ant}}/\text{dBm} = 45 - 20 \log f/\text{Hz} + E/\text{dB} \frac{\mu\text{V}}{\text{m}}$$

Dieser Zusammenhang ist in der folgenden Tabelle für die einzelnen Amateurfunkbänder dargestellt.

S-Meter-Wert	1	3	5	7	9
dBm	-121.0	-109.0	-97.0	-85.0	-73.0
3.5 MHz	-35.1	-23.1	-11.1	+0.9	+12.9
7 MHz	-29.1	-17.1	-5.1	+6.9	+18.9
14 MHz	-23.1	-11.1	+0.9	+12.9	+24.9
21 MHz	-20.6	-8.6	+4.4	+16.4	+28.4
28 MHz	-17.1	-5.1	+6.9	+18.9	+30.9

Feldstärkewerte in $\text{dB} \frac{\mu\text{V}}{\text{m}}$ für eine Empfangsantenne mit $0 \text{ dB}_D = 2.15 \text{ dBi}$ Gewinn.

Eine S-Meter-Anzeige von S9 auf 7 MHz entspricht einer Feldstärke von $+18.9 \text{ dB} \frac{\mu\text{V}}{\text{m}}$. Bei einer Empfangsantenne von 0 dBi (Isotropstrahler) muß man bei den angegebenen Feldstärkewerten 2.15 dB dazuzaddieren. Auf den niederen Bändern (40-160 m) spielt übrigens neben der Feldstärke das Rauschen die entscheidende Rolle.

5 Grafische Darstellung der Ausgabewerte

Die berechneten Werte werden am Bildschirm in Form einer Grafik dargestellt. Die Titelzeile enthält alle wichtigen Angaben für die momentan dargestellte Vorhersage:

- Namen der beiden Standorte (A und B)
- Beamrichtungen von A nach B und von B nach A
- Entfernung in Kilometern
- Monat und Jahr
- Sonnenfleckenzahl
- Wahrscheinlichkeit für das Eintreffen der Prognose
- Strahlungsleistung in dBm

Den Hauptteil des Bildschirms füllen die Kurven der berechneten Feldstärke, Antennenspannung oder MUF/LOF/FOT¹ aus. Zwischen diesen einzelnen Darstellungen kann mit der Maus auf dem Menfeld in der rechten unteren Ecke oder über die Tastatur umgeschaltet werden.

Die berechneten Werte werden auf einem Farbmonitor in verschiedenen Farben dargestellt. Die Farben für die einzelnen Frequenzen sowie für die gesamte Darstellung können in `PP.CFG` eingestellt werden. Hierzu dienen die Konfigurationskommandos `CS`, `CF`, `CT`, `CC` und `CB`.

Zur besseren Unterscheidbarkeit können die Kurven zusätzlich durch verschiedene Symbole (`x+o` usw.) dargestellt werden. Dadurch kann man die einzelnen Kurven auf einem Monochrom-Bildschirm überhaupt erst unterscheiden. Ob Symbole zur Darstellung verwendet werden, kann man mit dem Schalter `SY` im `CFG`-File angeben. Mit dem Konfigurationskommando `SM` wird dann die Reihenfolge festgelegt, in der diese Symbole benutzt werden.

Um immer die vorhandene Grafikauflösung voll ausnützen zu können, wird die obere Grenze der Feldstärke- bzw. Antennenspannungsanzeige automatisch dem Maximalwert angepaßt. Deshalb bei Vergleichen die angetragenen Zahlenwerte beachten!

Unterhalb der Zeitachse werden übersichtshalber für die beiden ausgewählten Standorte die Tages- und Nachtzeiten angezeigt. Hier kann man leicht erkennen, welchen Einfluß die Sonneneinstrahlung auf die Kurzwellenausbreitung hat.

Die Zeitskala ist mit der Taste `[T]` umschaltbar zwischen UTC, Lokalzeit am Ort A und Lokalzeit am Ort B. Die angezeigte Lokalzeit stimmt nicht immer exakt, da Stundenbruchteile nicht berücksichtigt werden können.

¹MUF = Maximum Usable Frequency
LUF = Lowest Usable Frequency
FOT = Frequency of Optimum Traffic

Mit einer ggf. vorhandenen Maus können die Kurvenwerte „abgefahren“ werden. Die jeweilige Position der Maus wird unten links am Bildschirm angezeigt. Mit dem Konfigurationsbefehl **MS=NO** kann eine vorhandene Maus abgeschaltet werden, es wird dann kein Maus-Cursor angezeigt.

	Funktion	Taste
Tastenbelegung	Feldstärke	F oder E
	Antennenspannung	U oder V
	MUF/LUF/FOT	M
	Parameter ändern	C
	Drucken	P
	Lokalzeit anzeigen	T
	Programmende	X oder Escape
	Untere Displaygrenze verschieben	Up Dn
	Obere Displaygrenze verschieben	PgUp PgDn
	Displaygrenzen Standardeinstellung	Return

6 Drucken

Die berechneten Graphen können auf einen Drucker ausgegeben werden. Herzstück der Druckroutine ist das Programm `PRINTGL.EXE`, welches das erzeugte HPGL-Format in beliebige Druckerformate umwandelt.

PP erzeugt beim Anwählen des Menüpunkts `PRINT` bzw. Drücken der Taste `P` im Grafik-Mode eine HPGL-Plot-Datei mit dem Namen `PP.PLT` im aktuellen Verzeichnis. Diese kann dann entweder sofort ausgegeben werden oder aber nachträglich mit dem Programm `PRINTGL.EXE`, jeweils abhängig vom dem CFG-Parameter `DP`. Im ersten Fall wird `PRINTGL.EXE` von PP aus gerufen, was voraussetzt, daß genügend freier Speicherplatz zur Verfügung steht. Im zweiten Fall hat man die Wahl ob die aktuelle Zeichnung an die bestehende `PP.PLT` angehängt oder überschrieben wird.

Gedruckt wird jeweils im gerade eingestellten Maßstab (obere und untere Grenzen, die sich mit den Cursortasten `PgUp`, `PgDn`, `Up` und `Dn` einstellen lassen.

Wie der Dokumentation von `PRINTGL` zu entnehmen ist, lassen sich mit diesem hervorragenden Programm eine ganze Reihe von verbreiteten Druckertypen ansprechen. Welchen Druckertyp man verwendet, muß man mit dem CFG-Parameter `PT` einstellen (s. `PP.CFG`).

Mit dem Parameter `PD` kann man schließlich festlegen, auf welchen Port die Ausgabe erfolgen soll. Wird `LPT1` oder `LPT2` angegeben, so wird vor dem Druckbeginn überprüft, ob der Drucker tatsächlich bereit ist zu Drucken.

7 PP.CFG

In der Datei `PP.CFG` werden benutzerspezifische Einstellungen und Vorlieben festgelegt. Die Datei `PP.CFG` ist mit einem ganz normalen ASCII-Editor editierbar. Kommentare werden mit einem `'#'` an der ersten Stelle gekennzeichnet. Alle anderen Zeilen müssen ein gültiges Konfigurationskommando enthalten. Zwischen dem CFG-Kommando, dem `'='` und den folgenden Werten darf kein Leerzeichen stehen.

Die Konfigurationsdatei `PP.CFG` wird nur im `PPDIR` gesucht. Wird sie dort nicht gefunden, so werden Standardwerte benutzt.

Es ist möglich, mit mehreren verschiedenen Konfigurationsdateien zu arbeiten. Dazu wird beim Aufruf von PP der Name des Config-Files mit angegeben. Beispielsweise könnte man verschiedene Konfigurationsdateien für Lowband, Highband und 50 MHz anlegen, in denen jeweils die Frequenztafel, sowie Antennengewinn und Sendeleistung unterschiedlich sind. Die auszuwählenden CFG-Dateien müssen sich im `PPDIR` befinden.

Der Aufruf mit einer bestimmten Konfigurationsdatei erfolgt dann auf folgende Weise:

```
C:\PP>pp 50
```

PP wird nun mit der Konfiguration fr 50 MHz (50.CFG) gestartet.

Es folgt eine alphabetische Tabelle aller Konfigurationskommandos und ihre Bedeutung.

AD *Auto_Date* (YES oder NO)

Bestimmt, ob das Datum abgefragt wird oder ob die Systemzeit (d.h. aktuelles Datum) benutzt wird. AD=YES heißt, das Datum wird nicht abgefragt sondern automatisch von der internen Systemuhr bestimmt. Bei AD=NO wird zwar auch das Systemdatum vorgeschlagen, es kann aber geändert werden.

AW *Auto_WWV* (YES oder NO)

Legt fest, ob die Daten für die Sonnenaktivität interaktiv abgefragt werden oder ob diese durch Auswahl des aktuellsten Wertes in einer Datei (s. WN) bestimmt werden.

CB *Color_Buttons* (2 Farbwerte)

Farben für die rechts unten auf dem Grafik-Display erscheinenden Buttons.

CC *Color_Text* (1 Farbwert)

Farbe für das Koordinatensystem.

CF *Color_Frequencies* (11 Farbwerte)

Farben für die verschiedenen Frequenzkurven.

CS *Color_Sunlight_Bar* (2 Farbwerte)

Farben für die graphische Tageslichtanzeige.

CT *Color_Text* (1 Farbwert)

Farbe für die Textausgaben am Grafikbildschirm.

DG *Draw_Grid* (YES oder NO)

Mit diesem Schalter wird festgelegt, ob die Grafik mit einem Gitter hinterlegt wird. Wenn ja, wird für alle 10 dB und jede Stunde eine Linie gezeichnet.

DP *Direct_Printing* (YES oder NO)

Wird hier YES angegeben, so versucht PP das Programm PRINTGL.EXE aufzurufen und die aktuelle Darstellung auf den Drucker auszugeben. Damit dies funktioniert, muß genügend Speicherplatz vorhanden sein, um PRINTGL zu laden und der Drucker sich „on line“ melden. Andernfalls oder wenn DP auf NO steht, werden die HPGL-Kommandos lediglich in die Datei PP.PLT geschrieben.

MS *Mouse_Use* (YES oder NO)

Bestimmt, ob eine vorhandene Maus auch tatsächlich benutzt wird. Wenn eine vorhandene Maus **nicht** benutzt werden soll (z.B. weil man keine Mäuse mag, oder weil sich z.B. bei der Hercules-Grafikkarte die Maus komisch verhält), setzt man MS auf NO. Wenn keine Maus vorhanden ist (bzw. kein Maus-Treiber wie MOUSE.COM oder MOUSE.SYS geladen ist), hat dieser Schalter keinen Einfluß.

MX, MY *Mouse_Sensitivity* (Zahlenwert)

MX und MY kontrollieren die Geschwindigkeit, mit der sich die Maus über den Bildschirm bewegt. Je kleiner diese Werte gewählt werden desto schneller ist die Maus. Wenn MX oder MY auf 0 gesetzt werden, stürzt der Maustreiber ab.

NR *No_Rewrite* (YES oder NO)

Dieser Parameter bestimmt, ob die Datei PP.PLT jedesmal neu angelegt wird oder immer weiter fortgeschrieben wird. Im letzteren Fall wächst PP.PLT immer weiter an, und man erhält eine ganze Reihe von Zeichnungen, die dann nacheinander ausgegeben werden können. NR ist nur wirksam, wenn DP ausgeschaltet ist.

PD *Printing_Destination* (DOS-Device)

Dieser Parameter dient zur Angabe des logischen Gerätes zur Druckausgabe mit PRINTGL. Hier kann LPT1, LPT2, COM1 oder COM2 angegeben werden, je nachdem, auf welchem Port gedruckt wird.

PT *Printer_Type* (Druckertyp)

Hier wird das von PRINTGL zu verwendende Drucker-Format angegeben. Näheres s. PP.CFG bzw. in der Dokumentation zu PRINTGL.

RF *Reference* (YES oder NO)

Mit diesem Schalter wird festgelegt, ob S-Meter-Marken ins Diagramm eingetragen werden. Ausgegeben werden Referenzlinien bei S1, S5 und S9, jedoch nur bei der Anzeige von Empfängereingangsspannung.

RX *RX Gain* (Zahlenwert)

Mit diesem Parameter kann der Gewinn der Empfangsantenne in dBi angegeben werden.

SF *Solar_Flux* (YES oder NO)

Bestimmt, ob bei der interaktiven Abfrage Solarer Flux oder Sonnenfleckenanzahl abgefragt wird. Intern wird mit der Sonnenfleckenrelativzahl gerechnet.

ST *Startup_Display* (U oder E)

Anzeige der Feldstärke oder der Antennenspannung. Die Anzeige kann durch Drücken der Tasten U (bzw. V) oder E (bzw. F) umgeschaltet werden, die Variable legt nur fest, welche Darstellung zuerst gewählt wird.

SM *Symbol_Table* (STRING)

In diesem String werden die verschiedenen verwendeten Symbole für die graphische Darstellung eingegeben. Für die erste Frequenz wird das erste Symbol, für die zweite das nächste Symbol usw. benutzt.

SY *Symbols* (YES oder NO)

Sollen Symbole zur graphischen Darstellung benutzt werden oder nicht.

TC *Time Cursor* (YES oder NO)

Die aktuelle Zeit wird durch einen vertikalen Strich angezeigt, wenn TC auf YES gesetzt wird. Der Cursor erleichtert etwas die Orientierung im Diagramm.

UT *UTC-Offset* (Zahlenwert)

Differenz zwischen der aktuellen Systemzeit und UTC. Dient lediglich zur korrekten Time-Cursor-Anzeige (s. **TC**). Wer östlich von Greenwich wohnt, hat einen negativen Offset: MEZ=-1.

WN *WWV_File_Name* (Dateiname inkl. Pfadangabe)

In der hier angegebenen Datei werden die WWV-Daten zur Bestimmung der Sonnenaktivität gesucht. Wird keine Angabe gemacht, so sucht PP im PPDIR nach der Datei **WWV.DAT**.

XA *Fixed_Angle* (Zahlenwert)

Fest eingestellter vertikaler Abstrahlwinkel. Wird dieser angegeben, so wird danach nicht mehr gefragt.

XC *Fixed_PerCent* (10, 50 oder 90)

Fest eingestellte Vorhersagewahrscheinlichkeit.

XF *Fixed_Frequencies* (maximal 11 Zahlenwerte)

Fest eingestellte Frequenztabelle. Die einzelnen Frequenzen werden durch Leerzeichen voneinander getrennt.

XG *Fixed_Gain* (Zahlenwert)

Fest eingestellter Gewinn der Sendeantenne in dBi.

XP *Fixed_Power* (Zahlenwert)

Fest eingestellte Sendeleistung.

Es gibt 16 verschiedene Farben, die entweder durch Farbnummern oder durch symbolische Namen angegeben werden können.

BLK	BLU	GRN	CYA	RED	MAG	BRN	LGY
0	1	2	3	4	5	6	7
DGY	LBL	LGN	LCY	LRD	LMA	YEL	WHI
8	9	10	11	12	13	14	15

8 LOCATION.DAT

Diese Datei stammt ursprünglich aus dem PacketCluster Software-Paket für DBØBCC. Nicht verwendete Einträge wurden gelöscht. Die Datei enthält geographische Koordinaten für eine Vielzahl von Orten. Wer noch nicht zufrieden ist, kann **LOCATION.DAT** mit einem ASCII-Editor erweitern.

Die Datei hat eine strenge Syntax, die unbedingt eingehalten werden muß. Bevor Änderungen durchgeführt werden, empfiehlt es sich, eine Kopie der Originaldatei zu machen und in einem anderen Verzeichnis oder auf Diskette zu sichern.

Die einzelnen Spalten in der Datei **LOCATION.DAT** haben folgende Bedeutung:

1. Präfix, Suchbegriff
2. Landesbezeichnung, erscheint zusammen mit (1)
3. Breite Grad
4. Breite Minuten
5. N oder S
6. Länge Grad
7. Länge Minuten
8. E oder W
9. Differenz Lokalzeit-UTC in Stunden

Alle Felder müssen durch Leerzeichen voneinander getrennt sein. Die Ländernamen dürfen deshalb **kein Leerzeichen** enthalten. Die Einträge müssen nach Präfix (1. Feld) sortiert sein. Dies ist bei Neueinträgen zu beachten.

9 Die Zukunft

Die Arbeiten an PP sind nun vorerst einmal abgeschlossen. Natürlich bin ich weiterhin für Anregungen und Ideen dankbar. Da es ohnehin unmöglich ist, es zu kontrollieren, bin ich nicht böse, wenn das Programm im Bekannten- und Freundeskreis weitergegeben wird.

Allerdings bitte ich davon abzusehen, den Code ins Packet Radio Netz einzuspielen. Wir leiden alle schon genug unter dem ständigen Binärdatenstrom hunderter, nutzloser Programmen, die die Benutzerzugänge verstopfen und einen vernünftigen PR-Betrieb unmöglich machen.

Alle Einnahmen aus dem Verkauf dieses Programms gehen in die BCC-Kasse und werden so einem guten, amateurfunkspezifischen Zweck zugeführt. Für Rückfragen bin ich über Packet Radio zu erreichen unter DL6RAI @ DBOAAB.#BAY.DEU.EU.

A MINIFTZ4

Im folgenden wird die Berechnung der Feldstärkewerte durch das Programm MINIFTZ4 erläutert. (Originalbeschreibung zu MINIFTZ4 [11])

Die Berechnung von f_{0F_2} , M(3000) und von
Vorhersagen der Raumwellenfeldstärke im Kurzwellenbereich
mit Hilfe eines „Home Computers“

von

Th. Damboldt und P. Süßmann
Forschungsinstitut der DBP beim FTZ
Postfach 5000
D-6100 Darmstadt

Zusammenfassung

Es wird beschrieben, wie die weltweite Verteilung der Grenzfrequenz der Ionosphäre (f_{0F_2}) mit ausreichender Genauigkeit mit Hilfe einer einfachen Rastermethode auf einem „Home Computer“ berechnet werden kann. Mit dem gleichen Computer-Programm ist auch die Bestimmung der Höhe der Ionosphäre (M3000) möglich. Auf diese Angaben greift dann das Programm zur Berechnung der Feldstärke zurück. Dieses gründet sich auf die von Beckmann entwickelten Formeln, die auch in den Vorhersagemethoden für Großrechner verwendet werden. Die Genauigkeit der hier beschriebenen Methode liegt in der gleichen Größenordnung wie die von Großrechnermethoden. Das Computer-Programm kann als BASIC-Listing (IBM-Basic) oder auf Diskette (IBM-Format, 360 kB) gegen Einsendung einer formatierten Leerdiskette von den Verfassern² erhalten werden.

A.1 Einleitung

Der CCIR-Report 340 – der CCIR-Atlas der ionosphärischen Charakteristiken – enthält die Ionosphären-Daten in zwei verschiedenen Formen: als „Koeffizienten“ von Kugelfunktionen zum Erstellen von Tabellen der Ionosphären-Parameter mit Hilfe von Computern und die „Karten“, die aus den Koeffizienten berechnet werden [1].

Es gibt 988 Koeffizienten für f_{0F_2} und 441 für M(3000) F_2 für jeden Monat und für zwei Sonnenepochen. Der Speicher muß also $(988 + 441) \times 12 \times 2$ Koeffizienten aufnehmen können. Bei Berechnungen für eine beliebige geographische Position müssen alle Koeffizienten zur Verfügung stehen. Da die Koeffizienten normalerweise mit 8 Byte pro Koeffizient gespeichert werden, führt das auf einen Speicherbedarf von 274 kBytes.

Als Alternative wurde die Rasterspeicherung von Tabellenwerten für räumliche und zeitliche Interpolation vorgeschlagen. Falls diese Näherung von vergleichbarer Genauigkeit mit den CCIR-

²Gemeint sind die Verfasser von MINIFTZ

Daten sein soll, ist die Speicherung von Werten im Abstand von je 5 Längen- und Breitengraden und von 2 Stunden erforderlich. Der Speicherbedarf ist dann 3.1 MBytes.

Der große Speicherbedarf für die Raster-Methode führte zu dem Vorschlag, ein Verfahren auf der Grundlage numerischer Koeffizienten für die Anwendung auf Mikro-Computern zu entwickeln ([2]).

Ein rechnerisches Ionosphärenmodell wird im Programm MINIMUF benutzt [3, 4], um die MUF (Maximum Usable Frequency) zu berechnen. Dieses Verfahren ist in BASIC für die Anwendung auf Personal- und Home-Computern geschrieben worden; die neueste, uns bekannt gewordene Version von MINIMUF ist in [13] erschienen. MINIMUF ist besonders geeignet für die Anwendung auf kleinen Computern, denn es benötigt nur 3.6 kBytes Speicherplatz.

A.2 Genauigkeit von MINIMUF

Einige Autoren fanden jedoch, daß die Genauigkeit von MINIMUF in Vergleich mit gemessenen MUF-Werten und mit MUF-Vorhersagen von Großrechnern unbefriedigend ist [5]. Danach ergeben sich eine mittlere Abweichung von -2.5 MHz und eine Standardabweichung von 6.3 MHz, wenn man die von MINIMUF vorhergesagten MUF-Werte mit ca. 15.000 Meßwerten von 8 Ionosonden vergleicht. Die Autoren von MINIMUF geben eine Standardabweichung von 3.8 MHz an, wenn die von MINIMUF vorhergesagten Werte mit 785 gemessenen Werten von Ausbreitungswegen verschiedener Länge verglichen werden.

Im Verlauf der vorliegenden Arbeit wurde MINIMUF mit dem CCIR-Atlas [1] verglichen, den die UIT für die Anwendung von Vorhersagen empfiehlt. Er stellt die einzige international anerkannte Grundlage für die Berechnung der Vorhersagen von Kurzwellen-Ausbreitungsbedingungen dar.

Um die Genauigkeit von MINIMUF bei weltweiter Anwendung zu prüfen, wurde ein Vergleich mit den aus dem CCIR-Atlas erhaltenen Werten auf folgende Weise angestellt: Die MUF(3000)-Werte wurden für jeden Schnittpunkt von 0° , $\pm 10^\circ$, $\pm 20^\circ$, $\pm 30^\circ$... Breite (19 Werte) und 0° , 30° , 60° Länge (12 Werte) für die 24 Stunden des Tages, für die 12 Monate des Jahres und für 2 Sonnenfleckenzahlen berechnet. Das ergab insgesamt $19 \times 12 \times 24 \times 12 \times 2 = 131328$ Werte, also ein erheblich umfangreicheres Testmaterial als in [3, 4].

Die mittlere Abweichung

$$\sum \frac{(\text{MINIMUF} - \text{Atlas})}{n}$$

beträgt +1.0 MHz, d.h. MINIMUF schätzt die MUF(3000) um diesen Betrag zu hoch ein. Die Standardabweichung

$$\sqrt{\frac{\sum (\text{MINIMUF} - \text{Atlas})^2 - (\sum (\text{MINIMUF} - \text{Atlas}))^2}{n}}$$

beträgt etwa 4.4 MHz, ein Wert, der nicht weit von 3.8 MHz entfernt liegt, wie ihn die Autoren von MINIMUF fanden. Tabelle I zeigt die Unterschiede zwischen MINIMUF und CCIR-Atlas, in denen sich der Einfluß von Tageszeit, geographischer Länge, Jahreszeit und Sonnenfleckenzahl ausdrückt. Die meisten in [5] berichteten Unzulänglichkeiten werden danach bestätigt, obwohl die Größe des Fehlers kleiner zu sein scheint, wenn MINIMUF mit dem CCIR-Atlas verglichen wird. Besonders zweifelhaft ist, ob irgendeine bedeutsame systematische Änderung mit der geographischen Länge bei der begrenzten Zahl von Beobachtungen in [5] gefunden werden kann. Bild 1 zeigt ein Histogramm der Verteilung der Unterschiede zwischen MUF(3000)-Werten, vorhergesagt durch MINIMUF und CCIR-Atlas. Die große Zahl von Fällen, in denen der Unterschied größer als 10 MHz ist, fällt ins Auge.

Obwohl die Autoren von MINIMUF feststellen, daß ihre Methode im Bereich von 800 bis 8000 km die besten Ergebnisse liefert, wurden die MUF(ZERO) F_2 -Werte für die vorliegende Untersuchung berechnet und mit dem CCIR-Atlas verglichen. Die Ergebnisse sind ähnlich wie in Tabelle I und Bild 1, abgesehen davon, daß sie nur ein Drittel der MUF(3000)-Werte sind. Das ist zu erwarten, wenn ein mittlerer M-Faktor von 3 für M(3000) angenommen wird.

A.3 Notwendigkeit einer genaueren MUF-Berechnung

Die obigen Ergebnisse zeigen, daß die Genauigkeit der bekanntesten MUF-Vorhersage für den Gebrauch auf Mikrocomputern unbefriedigend ist. Daher wurde eine andere Methode entwickelt, die genauer ist und auch auf einem Home-Computer lauffähig ist.

Das Programm FTZMUF2 beruht auf einer Raster-Methode, bei der die Werte zwischen den Rasterpunkten durch lineare Interpolation erhalten werden. Nach vielen Versuchen und Vergleichen mit dem CCIR-Atlas ergab sich eine einfache Tabelle, die die 24 Werte von f_{0F_2} zur Ortszeit bei 0°, 20°, 40° und 60° nördlicher und südlicher geographischer Breite enthielt. Diese Tabelle mit den Werten für die Monate März, Juni, September und Dezember und für 2 Sonnenepochen (Sonnenfleckenzahlen 0 und 100) enthält nur 768 Zahlenwerte. Für die geographischen Breiten +90° und -90° gibt es keine Abhängigkeit der Ionosphäre von der Ortszeit und deshalb enthält die Tabelle nur jeweils 8 Zahlen für Südpol und Nordpol.

Die f_{0F_2} -Werte für die nicht in der Tabelle enthaltenen 8 Monate kann man durch Interpolation bestimmen. Dies führt zu einem unerträglich hohen Fehler, der durch eine weitere Tabelle zur Korrektur der Abweichungen zwischen den Werten für interpolierten Monate und den Werten im CCIR-Atlas beseitigt wurde. Natürlich enthält diese Tabelle keine Korrektur für die Monate, deren Zahlen aus dem CCIR-Atlas entnommen wurden.

Auf ähnliche Weise wurde eine weitere Tabelle mit nur 96 Werten (24 Stunden, 2 geographische Breiten, 2 Sonnenepochen) und eine Korrekturtabelle mit 20 Werten zum Berechnen von M(3000) entwickelt.

Hieraus werden die MUF(4000)-Werte gemäß

$$\text{MUF}(4000) = f_{0F_2} \times \text{M}(3000) \times 1.1$$

berechnet. Um einen bestimmten MUF-Wert für eine gegebene Zeit (UTC), einen Monat, einen Ort und eine Sonnenfleckenzahl zu bestimmen, wird in folgender Weise vorgegangen:

1. Berechnen der Ortszeit
2. Monat austauschen, wenn Ort auf der Südhalbkugel
3. f_{0F_2} für die 2 nächstgelegenen geographischen Breiten und 2 nächstliegenden Monate aufsuchen
4. Interpolieren nach geographischer Breite und Monat (mit Korrektur)
5. Interpolieren nach Sonnenfleckenzahl
6. Berechnen von $M(3000)$ und $M(4000)$
7. Ergebnis ausdrucken

A.4 Genauigkeit von FTZMUF2

Es wurde ein BASIC-Programm geschrieben, um die notwendigen Berechnungen von f_{0F_2} und $M(3000)$ für jeden Punkt der Erde durchzuführen. Das Programm benötigt einschließlich der Tabellen 8.7 kByte Speicherplatz; das ist doppelt soviel wie beim Programm MINIMUF. Zur Berechnung von f_{0F_2} und $M(3000)$ wird aber nur die halbe Rechenzeit benötigt.

Die Genauigkeit wurde auf gleiche Weise getestet wie oben für den MINIMUF-Algorithmus beschrieben. 131.328 Werte für $MUF(3000)$ wurden unter Verwendung des CCIR-Atlas und des Programms FTZMUF2 errechnet. Die mittlere Abweichung beträgt -0.12 MHz und zeigt, daß die Grenzfrequenzen nach der neuen Methode etwas zu niedrig eingeschätzt werden. Der mittlere quadratische Fehler beträgt 2.6 MHz, was eine bemerkenswerte Verbesserung gegenüber MINIMUF ist. Tabelle II enthält die Unterschiede zwischen FTZMUF2 und dem CCIR-Atlas, in Abhängigkeit von Tageszeit, geographischer Breite, Jahreszeit und Sonnenfleckenzahl. Bild 2 zeigt das Histogramm der Verteilung der Differenzen zwischen vorhergesagten $MUF(3000)$ -Werten nach FTZMUF2 und CCIR-Atlas.

Es soll noch erwähnt werden, daß die Methode auch die Berechnung von 10%- und 90%-Werten gestattet, indem eine Vereinfachung der Verteilung nach Report 340 [1] angewendet wird.

A.5 Eingabe-Parameter

Die folgenden Eingaben werden vom Programm FTZMUF2 benötigt:

- Monat
- UTC

- geographische Breite (Nord positiv, Süd negativ)
- geographische Länge (Ost positiv, West negativ)
- Sonnenfleckenanzahl

A.6 Ausgabe-Parameter

Folgende Ausgaben sind vorgesehen

- f_{0F_2} für 10% der Zeit
- f_{0F_2} für 50% der Zeit
- f_{0F_2} für 90% der Zeit
- M(3000)
- M(4000)
- die Gyrofrequenz f_H

A.7 Feldstärkevorhersage mit MINIFTZ3

Die Methode zur Berechnung von Feldstärken umfaßt vier grundsätzliche Schritte:

1. Bestimmung der „basic MUF“ (z.B. mit Hilfe des Programms FTZMUF2)
2. Bestimmung der oberen Frequenzgrenze f_M .
3. Bestimmung der unteren Frequenzgrenze f_L .
4. Abschätzung der Feldstärke-Veränderlichkeit innerhalb dieser Grenzen.

Die Einzelheiten dieser Schritte werden in den folgenden Abschnitten besprochen.

A.8 Bestimmung der „basic MUF“ und des Elevationswinkels

Die „basic MUF“ ist die um die halbe Gyrofrequenz erhöhte Grenzfrequenz, multipliziert mit dem M-Faktor. Der M-Faktor berücksichtigt die Erhöhung der Grenzfrequenz bei schrägem Einfall. Sein Wert wird aus M(4000) (s.u.) unter Berücksichtigung der Geometrie (Erdrückung, Ionosphärenhöhe und Entfernung Sender-Empfänger) errechnet. Um die basic MUF entlang eines Weges der Länge D (auf der Erdoberfläche gemessen) zu bestimmen (also die $F_2(D)$ MUF), wird eine Kontrollpunkt-Methode angewendet. Für Ein-Hop-Wege (über die E-Schicht kürzer

als 2000 km, über die F-Schicht kürzer als 4000 km) ist der Kontrollpunkt der Streckenmittelpunkt. Für Mehr-Hop-Wege ist der Kontrollpunkt der jeweilige Mittelpunkt des ersten und letzten Hops.

Bei langen Verbindungen, besonders bei solchen durch die Aurora-Zone, hat es sich als notwendig herausgestellt, einen dritten Kontrollpunkt am Streckenmittelpunkt in die Rechnung mit einzubeziehen.

Die Hop-Länge wird berechnet, indem die Strecke auf dem Großkreis in Hops maximaler Länge von 2000 km bei Ausbreitung über die E-Schicht und von 4000 km bei Ausbreitung über die F₂-Schicht unterteilt wird. Der Elevationswinkel bei Ausbreitung über die E-Schicht wird für die sich ergebende Hop-Länge und eine Reflexionshöhe von 110 km bestimmt. Für Ausbreitung über die F-Schicht wird die Reflexionshöhe mit Hilfe des Wertes M(3000) bestimmt. Wenn die sich ergebenden Elevationswinkel unter dem gewünschten Minimalwert liegen, wird die Zahl der Hops um 1 erhöht, und die Elevationswinkel werden erneut berechnet, bis der gewünschte Minimalwert überschritten wird.

Die 24 Stundenwerte der basic MUF der F₂-Schicht (F₂(D)MUF) werden in dem Unterprogramm FTZMUF2 bestimmt. Selbstverständlich können sie auch anderen Quellen entnommen werden.

Die Grenzfrequenzen f_E für die E-Schicht werden wie folgt bestimmt [8]:

$$\begin{aligned} f_E &= K_E \cos^n \chi \\ K_E &= 2.25 + 1.5 \cos \phi + (0.01 - 0.07 \cos \phi) R_{12} \\ n &= 0.21 + 0.12 \cos \phi + 0.0002 R_{12} \end{aligned}$$

wobei

$$\begin{aligned} R_{12} &= \text{gleitendes 12-monatiges Mittel der} \\ &\quad \text{Sonnenfleckenanzahl} \\ \chi &= \text{Zenitwinkel der Sonne} \\ \phi &= \text{geographische Breite} \end{aligned}$$

Die basic MUF für die ganze Strecke erhält man, indem man den höheren Wert der E- oder F₂-MUF für den jeweiligen Kontrollpunkt und den kleinsten Wert aller drei Kontrollpunkte auswählt.

A.9 Obere Frequenzgrenze f_M

Die basic MUF ist die höchste Frequenz, die sich in einem bestimmten Ausbreitungsmodus zwischen Sender und Empfänger ausbreiten kann. Jedoch zeigt die Erfahrung, daß Empfang oberhalb der basic MUF möglich ist. Die Empfangsfeldstärke fällt nicht abrupt ab, wenn die Sendefrequenz die basic MUF überschreitet [6]. Die Feldstärke nimmt mit steigender Frequenz allmählich ab; sie kann jedoch durch Erhöhung der Strahlungsleistung vergrößert werden: Die Betriebs-MUF steigt mit der Leistung.

Meistens (d.h. bei ausreichend hoher Leistung) ist die Betriebs-MUF größer als die basic MUF. Dies beruht auf mehreren Mechanismen, die von den Vorhersagemethoden nicht berücksichtigt werden, die auf theoretischen Betrachtungen der wirksamen Ausbreitungsmoden beruhen. Der Effekt nimmt mit der Breite der Hauptkeule von Sende- und Empfangsantenne zu.

Da es gegenwärtig nicht möglich ist, alle Einflüsse quantitativ mit entsprechenden Formeln zu bestimmen, wenden wir einen empirischen Korrekturfaktor K auf jeden der vorgenannten 24 Stundenwerte der basic MUF an, um die „obere Frequenzgrenze“ f_M zu erhalten (die hier ein Sonderfall der „operational MUF“ nach Definition in [7] ist).

$$f_M = K f_g$$

wobei

$$K = \left\{ 1.2 + W \frac{f_g}{f_{g \text{ noon}}} + X \left(\sqrt[3]{\frac{f_g}{f_{g \text{ noon}}}} - 1 \right) + Y \left(\frac{f_{g \text{ min}}}{f_{g \text{ noon}}} \right)^2 \right\} \text{UFCOR}$$

mit

- f_M : obere Frequenzgrenze für eine Leistung von 1 MW ERP und eine Empfangsfeldstärke von $1 \frac{\mu\text{V}}{\text{m}}$
- f_g : Stundenwert der basic MUF
- $f_{g \text{ noon}}$: f_g für örtliche Mittagszeit am betrachteten Kontrollpunkt
- $f_{g \text{ min}}$: kleinster Wert der 24 Stundenwerte der basic MUF

$$\text{UFCOR} : \begin{cases} 2 - \left(\frac{D}{4000}\right)^2 & \text{für } D \leq 4000 \text{ km} \\ 1 & \text{für } D > 4000 \text{ km} \end{cases}$$

D : Abstand Sender–Empfänger in km

W, X, Y : Konstanten

Die Konstanten W , X und Y sind empirisch gewählt; sie hängen von der Funkstrecke ab. In gewissem Umfange berücksichtigen sie die Einflüsse der Aurora-Zone und des erdmagnetischen Äquators auf die Ausbreitung. Tabelle III zeigt die Zahlenwerte der Konstanten für Ost-West- und Nord-Süd-Strecken.

Tabelle III: Empirische Werte W , X , Y

	W	X	Y
Ost-West	0.1	1.2	0.6
Nord-Süd	0.2	0.2	0.4

Werte für Strecken, die nicht genau in Ost-West- oder Nord-Süd-Richtung liegen, erhält man durch lineares Interpolieren der Zahlenwerte in Tabelle III entsprechend dem Azimutwinkel am Streckenmittelpunkt.

Die physikalischen Vorstellungen zu der Formel des Korrekturfaktors K sind folgende: Das dynamische Geschehen in der Ionosphäre drückt sich in täglichen und jahreszeitlichen Änderungen der basic MUF aus. Die ionosphärischen Unregelmäßigkeiten werden umso wirksamer, je höher die F-Schicht steigt und je stärker ihre Grenzfrequenz abnimmt. Folglich erhält man den höchsten Wert für K in Winternächten, wenn die basic MUF ihre niedrigsten Werte hat.

A.10 Untere Frequenzgrenze f_L

Nachdem die obere Grenze des Übertragungs-Frequenzbereichs bestimmt worden ist, wird die ionosphärische Absorption berechnet, die für die Bestimmung der unteren Grenze des Übertragungs-Frequenzbereichs verantwortlich ist. Zum unteren Ende des Kurzwellen-Frequenzbereichs hin spielt die nicht-deviative Absorption der D-Schicht eine entscheidende Rolle. Deshalb wird die untere Frequenzgrenze mit Hilfe der Formel für die nicht-deviative Absorption L berechnet:

$$L = \frac{B_0 \sum_n \sqrt{\cos \chi} (1 + 0.009 R_{12})}{(f + f_H)^2 \cos \phi_D} \quad \text{dB}$$

wobei

$$L : \text{ proportional zu } \frac{1}{\cos \phi_D}, \text{ weil Strahlen}$$

mit geringen Elevationswinkeln länger in der D-Schicht bleiben

- χ : Zenitwinkel der Sonne
 B_0 : Konstante, die die mittlere Zahl der Zusammenstöße, den mittleren Ionisationsgrad und die mittlere Dicke der D-Schicht berücksichtigt
 ϕ_D : Eintrittswinkel in die D-Schicht
 n : Zahl der Durchstoßpunkte durch die D-Schicht
 f_H : Gyrofrequenz

Die untere Frequenzgrenze f_L , die wir als die Frequenz definieren, bei der die Empfangsfeldstärke eines 1-MW-Senders $1 \frac{\mu V}{m}$ beträgt (gleiche Definition wie bei der oberen Frequenzgrenze f_M), wird nun wie folgt berechnet:

$$f_L = 5.3 \sqrt{\frac{\sum^n \sqrt{\cos \chi} (1 + 0.009 R_{12})}{\cos \phi_D \frac{\ln(9.5 \times 10^6)}{D_P}}} - f_H$$

wobei

- D_P : Entfernung Sender-Empfänger über den schrägen Weg (Erde-Ionosphäre-Erde) gemessen

Mit der obigen Formel für f_L wird die untere Frequenzgrenze für die Tagesstunden bestimmt. Es wird angenommen, daß die untere Frequenzgrenze *nachts* nur von der Entfernung zwischen Sender und Empfänger abhängt:

$$f_{L_{\text{nachts}}} = \sqrt{\frac{D}{3000}} \quad \text{MHz}$$

Für eine Entfernung von $D = 3000$ km wird $f_{L_{\text{nachts}}} = 1$ MHz. Weil eine gewisse Verzögerung zwischen dem Zeitpunkt des Sonnenuntergangs und der Abnahme der Ionisation der Schicht gibt, wird für den Übergang der unteren Frequenzgrenze vom Tag zur Nacht angenommen, daß er

- drei Stunden dauert

- beim doppelten Wert von $f_{L_{\text{nachts}}}$ einsetzt und
- einem Exponentialgesetz folgt.

Während dieses 3-Stunden-Zeitraums erhält man f_L wie folgt:

$$f_L = 2f_{L_{\text{nachts}}}e^{-0.23t}$$

Nachdem die obere und untere Grenze des Übertragungs-Frequenzbereichs bestimmt sind, ist der nächste Schritt, die Feldstärke als Funktion der Frequenz zwischen f_M und f_L zu bestimmen.

A.11 Veränderlichkeit der Feldstärke mit der Frequenz

Die von der Deutschen Bundespost über viele Jahre hinweg durchgeführten Feldstärkeregistrierungen zeigen eine systematische Veränderlichkeit der Feldstärke innerhalb des Übertragungs-Frequenzbereichs. Der Feldstärkepegel steigt von der unteren Frequenzgrenze stetig an. Nach einem Maximum fällt der Pegel dann wieder stetig bis zum Erreichen der oberen Frequenzgrenze. Erst auf dem abfallenden Teil der Kurve – jenseits des Maximums – liegt die basic MUF, bis zu der die Kurzwellenausbreitung durch ionosphärische Brechung stattfindet. Oberhalb der basic MUF findet Ausbreitung durch Streuung statt.

Auf der Grundlage dieser Beobachtungen wurde von Beckmann [6] eine empirische Formel entwickelt. Diese Formel basiert auf dem folgenden Ausdruck für den Feldstärkepegel F für nicht-deviative Absorption:

$$F = F_0 \left(1 - \frac{f_L^2}{f^2} \right) \quad \text{dB} \frac{\mu\text{V}}{\text{m}}$$

wobei

$$F_0 = 20 \log \frac{173000 \sqrt{P} [\text{kW}]}{D [\text{km}]} \quad \text{dB} \frac{\mu\text{V}}{\text{m}}$$

mit P als der effektiv abgestrahlten Leistung (ERP) und D als der Entfernung zwischen Sender und Empfänger. Wenn $P = 1 \text{ MW}$, wird

$$F_0 = 139.6 - 20 \log D [\text{km}] \quad \text{dB} \frac{\mu\text{V}}{\text{m}}$$

Da die deviative Absorption mit der Frequenz ansteigt, muß der Ausdruck

$$\frac{f^2}{f_M^2}$$

zu der obengenannten Formel für F hinzugefügt werden. Es muß dann noch der Faktor C berücksichtigt werden, um die Bedingungen zu erfüllen, daß $F = 0$ wird, wenn $f = f_L$ bzw. $f = f_M$:

$$C = \frac{1}{1 + \left(\frac{f}{f_M}\right)^2}$$

Mit den drei zuvor erklärten Ausdrücken erhält man die Beckmann-Formel für die Veränderlichkeit der Feldstärke innerhalb des Übertragungs-Frequenzbereichs:

$$F = F_0 \left\{ 1 - \frac{f_M^2}{f_M^2 + f_L^2} \left(\frac{f_L^2}{f^2} + \frac{f^2}{f_M^2} \right) \right\} \\ -30 + G_{TX} + \text{FOCUS} + 10 \log P \quad \text{dB} \frac{\mu\text{V}}{\text{m}}$$

wobei

$$\begin{aligned} F_0 & : \text{Freiraum-Feldstärkepegel} \\ P & : \text{Sendeleistung in kW} \\ G_{TX} & : \text{Gewinn der Sendeantenne} \\ \text{FOCUS} & : G_{AP} Z_D \quad (\text{Antipoden-Fokus-Gewinn}) \\ Z_D & = \frac{D - 10000}{23500}, \quad Z_{D \max} = 1 \\ G_{AP} & = -20 \log \left(\left| 1 - \frac{n\pi\rho}{D} \right| \right) \quad \text{dB} \frac{\mu\text{V}}{\text{m}} \\ & \quad G_{AP \max} = 30 \\ n & = \frac{D + 10000}{20000} \\ \rho & : \text{Erdradius} \end{aligned}$$

In dieser Formel werden 30 dB vom Freiraumfeldstärkepegel abgezogen, weil man sich in der Praxis auf Strahlungsleistungen von 1kW ERP bezieht und der Feldstärkepegel am Empfänger deshalb 30 dB unter dem Wert liegt, der sich für 1000 kW ergibt.

Für eine genauere Berechnung der Feldstärke muß der Einfluß des Erdmagnetfeldes berücksichtigt werden. In der Praxis hat sich als ausreichend erwiesen, den Wert der Gyrofrequenz (ungefähr 1 MHz) zu den Frequenzen f , f_L und f_M zu addieren.

Es muß betont werden, daß die Beckmann-Formel alle verschiedenen Faktoren, die die Ausbreitung beeinflussen, zusammenfaßt. Unterschiedliche Ausbreitungsmoden, Dämpfung durch Polarisationskopplung, Abdeckung und andere Phänomene werden nicht gesondert behandelt wie bei den analytischen Methoden zur Feldstärke-Berechnung. Diese Phänomene sind teilweise in den charakteristischen Werten des Übertragungs-Frequenzbereichs, nämlich f_L und f_M enthalten. Der empirisch bestimmte Korrekturfaktor K in der Berechnung der MUF faßt alle anderen Einflüsse auf die Feldstärke, die nicht quantitativ bestimmbar sind, zusammen.

Es ist gezeigt worden [10], daß die Betriebs-MUF bei kleinen Entfernungen wesentlich höher als f_M liegen kann, was in der Praxis zu größeren Feldstärken führt als nach der obigen Formel. Dies wird mit einem zusätzlichen Korrekturfaktor berücksichtigt, der die Feldstärken oberhalb der basic MUF und bei kleinen Entfernungen (bis 4000 km) anhebt. Dieser Korrekturfaktor ist abhängig von der Entfernung und dem Verhältnis f zu basic MUF. Er ist Null für Entfernungen von 4000 km und führt so für große Entfernungen auf die Methode wie oben beschrieben.

A.12 Benötigte Eingaben MINIFTZ3

Das Programm benötigt an Eingaben:

- Monat
- Jahr
- Sonnenfleckenzahl
- Name der Sendestation
- geographische Koordinaten der Sendestation
- Name der Empfangsstation
- geographische Koordinaten der Empfangsstation
- Sendeleistung
- Gewinn der Sendeantenne (dBi)
- Prozentsatz der Zeit
- Angabe ob kurzer oder langer Großkreisweg
- Option für Winkel-/Modus-Ausgabe
- kleinster Elevationswinkel
- Frequenzen, für die die Feldstärken berechnet werden sollen

A.13 Vom Programm berechnete Angaben

Das Programm berechnet Stundenwerte der basic MUF, die Feldstärke bei der basic MUF, die FOT (Frequency of Optimum Traffic, hier 90% der basic MUF) und die Feldstärken für bis zu 11 Frequenzen. Nur aus praktischen Gründen wird die Ausgabe von Feldstärken unter $-40 \text{ dB} \frac{\mu\text{V}}{\text{m}}$ unterdrückt (Bild 3).

Das Programm hat die Option, Moden und Elevationswinkel in einer ähnlichen Tabelle wie für die Feldstärken auszugeben. Für jede Frequenz und Stunde wird die Zahl der Hops, die reflektierende Schicht (E oder F) und der Elevationswinkel (in Grad) angegeben. Moden und Elevationswinkel werden nicht ausgegeben, wenn die zugehörige Feldstärke unter $-40 \text{ dB} \frac{\mu\text{V}}{\text{m}}$ liegt (Bild 4), oder die Frequenz oberhalb der 10%-MUF ist.

A.14 Genauigkeit der Methode

Die Genauigkeit der Methode wurde durch Vergleich mit etwa 16000 weltweit gemessenen Monatsmittelwerten der Feldstärke ermittelt. Dabei ergibt sich eine mittlere Abweichung von etwa -0.1 dB und eine Standardabweichung von etwa 12 dB . Damit ist die Genauigkeit dieser Methode in etwa vergleichbar mit der von Großrechnermethoden.

	Anzahl	Mittel	mittl. Diff.	RMS
1 LT	5472	-1.15	2.80	3.584
2	5472	-1.17	2.62	3.261
3	5472	-0.31	2.35	3.032
4	5472	1.28	2.40	2.773
5	5472	1.89	2.77	2.902
6	5472	2.45	3.26	3.175
7	5472	1.96	3.45	3.718
8	5472	1.26	3.43	4.024
9	5472	1.42	3.54	4.149
10	5472	1.97	3.99	4.473
11	5472	2.26	4.41	4.931
12	5472	2.26	4.69	5.329
13	5472	2.12	4.85	5.597
14	5472	1.84	4.82	5.675
15	5472	1.50	4.62	5.564
16	5472	1.30	4.31	5.261
17	5472	1.29	3.99	4.869
18	5472	1.18	3.72	4.577
19	5472	1.18	3.50	4.389
20	5472	1.15	3.27	4.136
21	5472	0.56	3.27	4.197
22	5472	-0.17	3.25	4.174
23	5472	-0.68	3.12	4.052
24	5472	-0.97	2.99	3.875
0 GRAD	6912	2.33	4.47	5.172
10 GRAD	13824	2.63	4.47	5.026
20 GRAD	13824	-1.61	3.81	4.742
30 GRAD	13824	0.94	3.19	3.920
40 GRAD	13824	3.20	3.85	3.722
50 GRAD	13824	0.58	2.89	3.765
60 GRAD	13824	1.24	3.15	4.026
70 GRAD	13824	1.10	3.21	4.081
80 GRAD	13824	0.88	3.31	4.017
90 GRAD	13824	-0.46	3.68	4.271
1 MONAT	10944	0.90	3.05	4.062
2 MONAT	10944	1.16	3.00	3.843
3 MONAT	10944	0.30	3.08	3.935
4 MONAT	10944	0.80	3.69	4.488
5 MONAT	10944	1.68	3.91	4.479
6 MONAT	10944	2.85	4.37	4.683
7 MONAT	10944	3.60	4.65	4.342
8 MONAT	10944	2.54	4.01	4.135
9 MONAT	10944	0.50	3.27	4.104
10 MONAT	10944	-1.25	3.28	4.117

11 MONAT	10944	-1.03	3.30	4.321
12 MONAT	10944	0.15	3.08	4.258
0 SSN	65664	1.00	2.84	3.482
100 SSN	65664	1.02	4.24	5.249
Summe:	131328	1.00	3.53	4.445

Tabelle I: Mittlere Abweichungen der vorhergesagten MUF(3000)-Werte nach MINIMUF und CCIR in Abhängigkeit von Ortszeit, geographischer Breite, Jahreszeit und Sonnenfleckenzahl

	Anzahl	Mittel	mittl. Diff.	RMS
1 LT	5472	-0.12	1.55	2.126
2	5472	-0.13	1.44	1.918
3	5472	-0.12	1.34	1.752
4	5472	-0.15	1.27	1.648
5	5472	-0.12	1.21	1.577
6	5472	-0.14	1.17	1.515
7	5472	-0.16	1.25	1.616
8	5472	-0.15	1.48	2.016
9	5472	-0.08	1.80	2.430
10	5472	-0.02	2.00	2.604
11	5472	0.04	2.02	2.584
12	5472	0.06	2.04	2.603
13	5472	0.01	2.12	2.715
14	5472	-0.08	2.19	2.814
15	5472	-0.17	2.22	2.862
16	5472	-0.28	2.12	2.775
17	5472	-0.23	1.94	2.592
18	5472	-0.20	1.78	2.427
19	5472	-0.08	1.69	2.339
20	5472	-0.03	1.67	2.350
21	5472	0.01	1.74	2.442
22	5472	0.02	1.77	2.493
23	5472	-0.05	1.74	2.448
24	5472	-0.07	1.65	2.309
0 GRAD	6912	-0.41	2.26	2.882
10 GRAD	13824	-0.33	2.52	3.250
20 GRAD	13824	-0.90	2.43	3.062
30 GRAD	13824	0.09	1.90	2.512
40 GRAD	13824	0.10	1.67	2.212
50 GRAD	13824	-0.04	1.43	1.900
60 GRAD	13824	-0.14	1.39	1.868
70 GRAD	13824	0.13	1.25	1.633
80 GRAD	13824	0.35	1.25	1.619
90 GRAD	13824	0.07	1.33	1.633
1 MONAT	10944	-0.29	1.87	2.531
2 MONAT	10944	-0.42	1.88	2.531
3 MONAT	10944	-0.23	1.57	2.129
4 MONAT	10944	0.11	1.70	2.268
5 MONAT	10944	0.13	1.58	2.112
6 MONAT	10944	-0.07	1.32	1.781
7 MONAT	10944	0.30	1.49	1.929
8 MONAT	10944	0.09	1.52	2.020
9 MONAT	10944	-0.06	1.61	2.180
10 MONAT	10944	-0.27	2.04	2.681

11 MONAT	10944	-0.35	2.11	2.828
12 MONAT	10944	-0.06	1.91	2.571
0 SSN	65664	-0.06	1.44	1.971
100 SSN	65664	-0.12	1.97	2.628
Summe:	131328	-0.09	1.70	2.323

Tabelle II: Mittlere Abweichungen der vorhergesagten MUF(3000)-Werte nach FTZMUF2 und CCIR in Abhängigkeit von Ortszeit, geographischer Breite, Jahreszeit und Sonnenfleckenzahl.

Bild 1: Verteilung der Differenzen zwischen nach MINIMUF und nach CCIR vorhergesagten MUF(3000)-Werten.

Bild 2: Verteilung der Differenzen zwischen nach MINIMUM und nach FTZMUF2 vorhergesagten MUF(3000)-Werten (gleicher Maßstab wie Bild 1).

HF-FIELD STRENGTH ESTIMATED BY MINIFTZ4

Circuit : TEHERAN to NORDDEICH	Month : APR 86
Location: 35.5W 51.3E 53.6W 7.1E	SSW : 7
Azimut : 314.6 DEG 102.4 DEG	Power : 10.000 kW
Distance: 3952 km	TX-Gain: 12.0 dB
Min ang.: 3.0 deg.	

FIELD STRENGTH in dB above 1 uV/m for 50% of time

UTC	MUF	dBuV	FOT	3.0	4.0	6.0	8.0	10.0	12.0	15.0	18.0	22.0
1	7.1	27	5.2	32	35	32	22	7	-11	...	...	...
2	6.9	27	5.1	31	35	31	20	5	-14	...	...	...
3	6.7	25	5.0	25	30	28	18	2	-17	...	...	...
4	7.1	17	5.4	-13	6	18	15	4	-11	-40	...	...
5	8.2	13	7.9	...	-16	9	14	9	-1	-22	...	...
6	9.8	14	9.6	...	-31	4	14	14	8	-7	-27	...
7	11.1	15	10.7	...	...	-1	13	16	13	3	-13	...
8	12.0	15	11.4	...	...	-4	12	17	15	7	-6	-30
9	12.6	16	11.8	...	...	-6	11	17	17	9	-3	-25
10	13.0	16	12.1	...	...	-7	11	18	18	11	0	-21
11	13.4	17	12.1	...	...	-6	12	19	19	13	2	-18
12	13.6	17	12.0	...	...	-3	14	20	20	14	3	-17
13	13.6	18	11.5	...	...	1	17	22	21	15	3	-17
14	13.5	19	10.0	...	-29	8	21	24	22	15	3	-18
15	13.1	21	9.7	...	-9	18	26	27	24	15	2	-21
16	12.8	24	9.3	-2	17	31	34	32	26	15	0	-26
17	12.1	25	8.6	16	28	37	36	32	25	12	-6	-34
18	11.2	26	7.7	25	34	39	37	31	23	7	-13	...
19	10.1	27	7.1	31	37	39	35	28	18	-1	-25	...
20	9.2	27	6.6	34	38	38	32	23	11	-12	-39	...
21	8.6	27	6.2	33	38	37	30	19	5	-20	...	...
22	8.0	27	5.8	33	37	35	27	15	0	-28	...	...
23	7.7	27	5.5	32	36	34	25	13	-4	-33	...	...
24	7.4	27	5.3	32	36	33	23	10	-8	-39	...	...

Bild 3: Mit dem Programm MINIFTZ3 berechnete Feldstärken für eine Verbindung Teheran—Norddeich.

MODES AND ELEVATION ANGLES ESTIMATED BY MINIFTZ4

Circuit : TEHRAN to NORDDEICH	Month : APR 86
Location: 35.5W 51.3E 53.6W 7.1E	SSW : 7
Azimuth : 314.6 DEG 102.4 DEG	Power : 10.000 kW
Distance: 3952 km	TX-Gain: 12.0 dB
Min ang.: 3.0 deg.	

MODES AND ELEVATION ANGLES

UTC	MUF	MODE	FOT	3.0	4.0	6.0	8.0	10.0	12.0	15.0	18.0	22.0
1	7.1	2F13	5.2	2F13	2F13	2F13	2F13	2F13	....	....	....	....
2	6.9	2F12	5.1	2F12	2F12	2F12	2F12	....	....	....	....	....
3	6.7	2F12	5.0	2F12	2F12	2F12	2F12	....	....	....	....	....
4	7.1	2F12	5.4	2F12	2F12	2F12	2F12	....	....	....	....	....
5	8.2	2F12	7.9	....	3E06	3E06	2F12	....	....	....	....	....
6	9.8	2F12	9.6	....	3E06	3E06	3E06	2F12	....	....	....	....
7	11.1	2F12	10.7	....	....	3E06	3E06	3E06	2F12	....	....	....
8	12.0	2F12	11.4	....	....	3E06	3E06	3E06	2F12	....	....	....
9	12.6	2F12	11.8	....	....	3E06	3E06	3E06	2F12	....	....	....
10	13.0	2F12	12.1	....	....	3E06	3E06	3E06	3E06	....	....	....
11	13.4	2F12	12.1	....	....	3E06	3E06	3E06	3E06	2F12	....	....
12	13.6	2F12	12.0	....	....	3E06	3E06	3E06	3E06	2F12	....	....
13	13.6	2F12	11.5	....	....	3E06	3E06	3E06	2F12	2F12	....	....
14	13.5	2F11	10.0	....	3E06	3E06	3E06	2F11	2F11	2F11	2F11	....
15	13.1	2F11	9.7	....	3E06	3E06	2F11	2F11	2F11	2F11	2F11	....
16	12.8	2F11	9.3	2F11	2F11	2F11	2F11	2F11	2F11	2F11	2F11	....
17	12.1	2F12	8.6	2F12	2F12	2F12	2F12	2F12	2F12	2F12	2F12	....
18	11.2	2F12	7.7	2F12	2F12	2F12	2F12	2F12	2F12	2F12	2F12	....
19	10.1	2F12	7.1	2F12	2F12	2F12	2F12	2F12	2F12	2F12	....	....
20	9.2	2F12	6.6	2F12	2F12	2F12	2F12	2F12	2F12	....	....	....
21	8.6	2F12	6.2	2F12	2F12	2F12	2F12	2F12	2F12	....	....	....
22	8.0	2F12	5.8	2F12	2F12	2F12	2F12	2F12	....	....	....	....
23	7.7	2F13	5.5	2F13	2F13	2F13	2F13	2F13	....	....	....	....
24	7.4	2F13	5.3	2F13	2F13	2F13	2F13	2F13	....	....	....	....

Bild 4: Ausbreitungsmoden und Elevationswinkel für die Prognose in Bild 3.

B Weiterführende Literatur

Literatur

- [1] **CCIR-Report 340** „CCIR-Atlas of ionospheric Characteristics“, Genf 1967.
- [2] Banks, P. H. T., B. H. Miller, M. I. Dick and P. A. Bradley: **Storage of the CCIR reference maps of ionospheric characteristics for microcomputer evaluation**, CCIR IWP 6/1, Doc 244, 29 July 1983.
- [3] Rose, R. B, J. N. Martin and P. Levine: **MINIMUF-3: A simplified HF MUF Prediction Algorithm**. Naval Ocean Systems Center, San Diego, USA, Technical Report TR 186, 1. Feb. 1978.
- [4] Rose, R. B and J. N. Martin: **MINIMUF-3.5: Improved Version of MINIMUF-3, A simplified HF MUF Prediction Algorithm**. Naval Ocean Systems Center, San Diego, USA, Technical Document TD 201, 26. Okt. 1978.
- [5] Caruana J. and M. W. Fox: **A critical Study of the NOSC F Prediction Algorithm MINIMUF**, Technical Report IPS-TR-85-07, Department of Science, IPS Radio and Space Services Australia, Juni 1985.
- [6] Beckmann, B: **Bemerkungen zur Abhängigkeit der Empfangsfeldstärke von den Grenzen des Übertragungs-Frequenzbereichs** (Remarks of the receiving field strength of the broadcasting wave band), NTZ (1965), Bd. 19, S 643–655.
- [7] CCIR, Rec. 373-5, **Definitions of Maximum Transmission Frequencies**, CCIR, Genf 1982.
- [8] Rawer, K.: **Die Ionosphäre**, P. Noordhoff N. V., Groningen Holland (1953), S. 176.
- [9] Damboldt, Th.: **Erweiterung von Funkprognosen für kurze Entfernungen auf Frequenzen oberhalb der MUF**. Kleinheubacher Berichte 18 (1976), S. 527–532.
- [10] Doc. 6/209, **Additional MUF- and distance-dependent Correction to Lz. CCIR Study Group 6**, 1982–1986.
- [11] Th. Damboldt und P. Süßmann: **Die Berechnung von f_{0F_2} , M(3000) und von Vorhersagen der Raumwellenfeldstärke im Kurzwellenbereich mit Hilfe eines „Home Computers“**, Kleinheubacher Berichte Nr. 30 (1987), S. 189–204.
- [12] **Benutzerhandbuch und Referenz für das Betriebssystem MS-DOS, Version 5.0**, S 611–614. Microsoft Corporation 1991.
- [13] R. B. Rose (K6GKU): **MINIMUF: A simplified MUF-Prediction Program for Microcomputers**, QST December 1982, S. 36–38. ARRL 1982.
- [14] E. L. Devereux (G3CCZ) und D. Wilkinson (G4LEH): **HF predictions on the home computer**, Radio Communications March 1983, S. 246–248.