

Nahfeldberechnungsprogramm fs3d

Von Heiner Bischof, DK9BW

Zum Programm gehören:

- die MS-DOS Programme fs3d-v1m.exe und kelem-vk.exe
- die gleichen Programme für Windows kompiliert (fs3d-v1w.exe und fs3d-klm-win.exe) und
- diese Datei mit den Abschnitten

1. Allgemeine Informationen (readme)	Seite 1
2. Benutzungsanleitung für alle Programme	Seite 2
3. Beschreibung von G5RV Antennen mit FS3D	Seite 6
4. Benutzungsanleitung der Sonderversion für Kelemen-Antennen	Seite 8
5. Anleitung zur Behandlung von Richtantennen	Seite 9
6. Benutzung unter der MS-DOS-Emulation DOSBox®	Seite 11

1. Allgemeine Informationen (Readme)

Die Benutzbarkeit des Programms für Nahfeldberechnungen *) ist mit der RegTP **) in Mainz Referat 314 abgesprochen. Bei der Abgabe der Selbsterklärung ***) bei einer Außenstelle sollte sich darauf bezogen werden. Der Programmname ist dabei anzugeben.

Die RegTP **) prüft gemäß ihrer Aussage die Plausibilität der eingereichten Feldstärkewerte anhand der aus dem Lageplan ersichtlichen örtlichen Gegebenheiten nach eigenen Methoden und nicht das Verfahren zur Findung dieser Werte. Ein Anspruch auf Anerkennung der eingereichten berechneten Werte - gleich mit welchem Programm ermittelt - besteht somit nicht.

Das Programm ist in umfangreichen Vergleichsmessungen an verschiedenen Antennenformen getestet worden. Dabei lagen die Abweichungen im Bereich der Toleranz üblicher (auch kommerzieller) Messeinrichtungen. Dennoch kann eine Gewähr für die berechneten Werte vom Autor nicht übernommen werden. Der jeweilige Funkamateurliebt für seine Selbsterklärung ***) verantwortlich!

Das Programm wurde erstmalig in der CQ DL 5/2000 Seite 336 veröffentlicht und der theoretische Hintergrund in der CQ DL 11/2002 S.800 näher erläutert, sowie ein Praxisbericht im FUNKAMATEUR 52 (2003) H. 3, S. 20-21 veröffentlicht.

In dieser Programmbeschreibung wird nur noch auf die Personenschutzgrenzwerte abgestellt, da die besondere Berücksichtigung der Belange von aktiven Körperhilfen, die von 1997 bis 2013 mit unterschiedlichen Grenzwerten gültig war, seit dem 21.8.2013 entfallen ist.

*) Das Programm kann selbstverständlich auch für Berechnungen im Fernfeld benutzt werden.

**) Die Reg-TP heißt seit 2006 BNetzA

***) Die „Selbsterklärung“ heißt jetzt „Anzeige nach §9 BEMFV“

Erste Ausgaben: Mai 2000 bis Nov. 2002. - - - Zusammenfassung aller Einzeldokumente und Überarbeitung für DOSBox und Windows: Januar 2014

2. Benutzungsanleitung zum Programm FS3D zur Berechnung von Feldstärken um lange Drahtantennen

Das Programm berechnet die elektrische und magnetische Feldstärke um lange Drahtantennen auch im Nahfeldbereich. Die Aufhängung kann dabei beliebig kompliziert sein (verwinkelt, unterschiedliche Höhen der Aufhängepunkte etc.). Es ist verwendbar für folgende Antennenformen:

- einfache Drähte mit beliebigem Speisepunkt (Dipole, Zepp, Windom, etc.)
- W3-2000 (W3DZZ) mit folgenden Maßgaben: 80m: $\lambda/2$; 40m: $\lambda/2$; 20m: $3 \cdot \lambda/2$; 15m: $5 \cdot \lambda/2$; 10m: $7 \cdot \lambda/2$
- G5RV-Antennen unter Berücksichtigung der Modellierungshinweise im Abschnitt 3.
- Kelemen-Antennen unter Berücksichtigung, dass diese in Folge der Sperrkreise jeweils $\lambda/2$ -Strahler für die Bänder sind. **Für die Frequenzen, für die diese Antennen durch die dann induktiv als Verlängerung wirkenden Sperrkreise geometrisch zu kurz sind, bedarf es zur Berechnung der Sonderform des Programms: kelem-vk.exe oder fs3d-klm-win.exe. Siehe hierzu die Hinweise im Abschnitt 4.**
- Mehrelement-Antennen bei geeigneter Modellierung (siehe Kapitel 5.)
- Vertikal-Strahler (**aber keine Groundplane!**) und mit den hier aufgeführten Antennen vergleichbare Bauformen. **Wesentlich ist dabei die korrekte Bestimmung der tatsächlichen elektrischen Länge der Antenne. Sie muss etwa ein ganzzahliges Vielfaches von $\lambda/2$ sein und der Antennenstrom muss an den Enden der Antenne Null sein.**

Wichtig:

- Das Programm macht aus Effektivwert der Leistung Effektivwert der Feldstärke bzw. aus Spitzenwert der Leistung auch Spitzenwert der Feldstärke, was bei den Grenzwerten zu berücksichtigen ist.
- Zu **Feldstärken in Gebäuden** (Wohnungen): Wegen der Gebäudedämpfung liefert das Programm hier erheblich zu große Feldstärkewerte.
- Bei Vergleichsmessungen hat sich gezeigt, dass das Programm bei Abständen zum Draht von weniger als 4m zu kleine Feldstärken berechnet. Es sollte daher **nur für Abstände $\geq 4\text{m}$** verwendet werden. Unterdrückt wird die Ausgabe der Feldstärkewerte aber erst bei **Abständen $\leq 2\text{m}$** , es wird dann statt des errechneten Feldstärkewertes ein „x“ (bzw. beim Schreiben in eine Datei „xxx“) ausgegeben.

Absolute Grenzwerte: Antennengesamtlänge: 800m. Frequenzbereich: von 171 kHz (wegen halber Wellenlänge bei Antennenlänge von 800m) bis 146 MHz (wegen der Berechnungsauflösung).

Die vom Programm benötigten Daten gibt man über zwei Masken ein. Maske 1 ist zur Eingabe der Antennenkoordinaten bestimmt und Maske 2 für die Eingabe der Berechnungsparameter.

2.1 Die Aufhängepunkte (Eckpunkte) der Antenne (Maske 1)

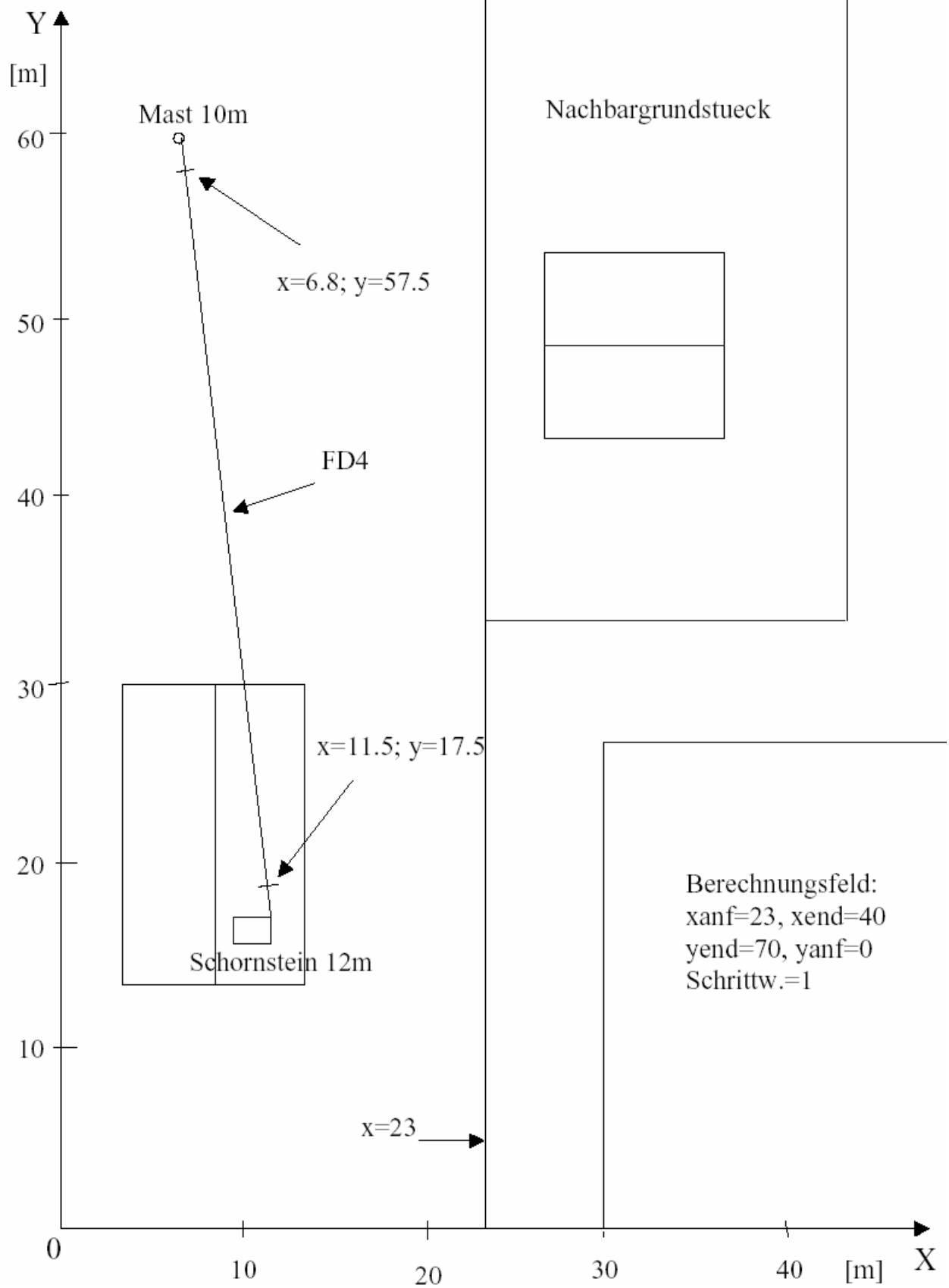
Jeder Aufhängepunkt wird mit den Koordinaten x, y und Höhe (z) eingegeben. Es müssen mindestens 2, maximal können 10 Eckpunkte angegeben werden. Bei Verwendung von Nachkommastellen ist der Punkt als Dezimaltrennzeichen zu verwenden!

Zweckmäßiger Weise zeichnet man zunächst die örtlichen Gegebenheiten in ein x/y-Koordinaten

	x	y	z
1	11.5	17.5	12
2	6.8	57.5	10
3			
4			
5			
6			
7			
8			
9			
10			

Gesamtlänge: 40m
Zur Korrektur Tab / Backtab
OK
Eingabeende: Taste ESC

Beispiel



system ein. Dabei sollten der Einfachheit halber alle Punkte von Bedeutung (die Antenne und die kritischen zu berechnenden Bereiche) im positiven Bereich von x und y liegen, es geht aber auch mit negativen Werten. Die Zeichnung sollte maßstäblich sein, damit man die benötigten Werte daraus ermitteln kann und der Maßstab sollte nicht zu groß gewählt werden (1:200 ist ein guter Wert).

2.2 Die Berechnungsparameter (Maske 2)

Hier ist einzugeben:

- die Frequenz in MHz
- die Speiseleistung in Watt (vgl. hierzu Abschnitt 2.4)
- die Koordinaten des Berechnungsfeldes mit den Eckpunkten xanf, xend, yend, yanf.
Achtung: „end“ muss immer größer oder gleich „anf“ sein!
- die Schrittweite in Metern.
- die Berechnungshöhe in Metern
- der Berechnungsmodus
- der Ausgabemodus
- ob die Ausgabe auch in eine Datei erfolgen soll
- ggf. Dateiname für die Ausgabe

Die Frequenzeingabe wird überwacht. Es werden nur die Werte akzeptiert, die brauchbare Ergebnisse liefern können (höchste Frequenz 146 MHz, niedrigste Frequenz so, dass noch etwa eine halbe Wellenlänge auf den Draht passt).

```

Frequenz[MHz]: 3.75
Leistung[W]: 750.0
Koordinaten des Berechnungsfeldes:
Xanf: 23.0 Xende: 40.0
Yende: 70.0
Yanf: 0.0 Schrittweite: 1.0
Berechnungshöhe: 2.0
Berechnungsmodus
  radiale E-Feldst.(R)
  tangentielle E-Feldst.(T)
  gesamte E-Feldst.(E)
  magnetische Feldst.(M)
  E-Feldst. aus der magnet.(Z): E
Ausgabemodus
  Einzelwertausgabe(E)
  nur Maximalwert(M): M
Daten auch in Datei schreiben(j/n): N

Zur Korrektur Tab / Backtab
OK
Eingabeende: Taste ESC

Berechnet sind 100 %, verbleibende Zeit: 0 s
Maximalwert bei x: 23.00 ; y: 25.00 : 8.66
weitere Berechnung (j/n)?
  
```

Die Leistung kann nur positiv sein. Von negativen Werten wird das Vorzeichen ignoriert.

Zu den Koordinaten des Berechnungsfeldes siehe Beispielskizze. Sie werden so angeordnet eingegeben, wie das Koordinatensystem: kleiner Wert von X links, großer rechts; kleiner Wert von Y unten, großer oben! Sinnvollerweise sollten hier nur volle Meter angegeben werden, es sind aber auch Nachkommastellen möglich. Bei der Beschriftung der X- und Y-Achsen der Ausgabe werden aber nur ganze Zahlen (gerundet) verwendet. Sind die Daten nicht plausibel (xanf größer xend oder yanf größer yend) führt das zur Fehlermeldung und Korrekturmöglichkeit. Die Schrittweite kann nur positiv sein. Von negativen Werten wird das Vorzeichen ignoriert.

Es sind mehrere Berechnungsmodi möglich, von denen für den Normalfall nur die elektrische gesamte Feldstärke und die magnetische Feldstärke von Interesse sind. Die anderen Möglichkeiten seien für Experten, die damit etwas anzufangen wissen.

Beim Ausgabemodus kann zwischen Einzelwertausgabe und nur Maximalwertausgabe gewählt werden. Im Normalfall wird man die Einzelwertausgabe benutzen. Die Maximalwertausgabe kann interessant sein, wenn in einem zweiten Durchlauf mit kleinerer Schrittweite nur noch dieser von Interesse ist. Erfolgt nur Maximalwertausgabe, wird der aktuelle Bearbeitungsstand der Berechnungen in % und die noch benötigte Zeit angezeigt.

Wird bei der Dateiausgabe ja gewählt, erscheint nach dem nächsten Tab das Eingabefeld für den Dateinamen.

Die meisten dieser Parameter haben Voreinstellungen, diese können überschrieben werden.

Die Weiterschaltung von einem Eingabefeld zum nächsten erfolgt mit der Tabulator-Taste, zurück geht es mit Shift+Tabulator (BackTab).

Beendet wird die Eingabe in einem beliebigen Eingabefeld mit der Taste ESC.

In der Eingabemaske für die Antenneneckpunkte wird dann die errechnete Länge der Antenne zur Kontrolle ausgegeben. Ist sie nicht richtig, kann mit Tab oder BackTab wieder in die Eingabefelder zurückgesprungen werden und eine Korrektur erfolgen.

Steht der Cursor auf der Position OK, kann mit der Eingabetaste (Return) die Gültigkeit der Werte bestätigt werden und das Programm geht im Falle der Maske 1 zur Maske 2 oder bei Maske 2 zur Berechnung und Ausgabe.

Am Ende der Ausgabe wird der Maximalwert der Berechnungen mit seinen Koordinaten x/y ausgegeben.

Anschließend fragt das Programm, ob eine weitere Berechnung gewünscht ist. Es geht dann bei Beantwortung mit j für ja wieder in die Maske 2 und es können Berechnungsparameter geändert werden. Eine Änderung der Antennenkoordinaten ist in einem weiteren Durchlauf nicht möglich. Wenn das gewünscht ist, muss das Programm beendet und neu gestartet werden.

2.3. Zum Beispiel (vgl. oben stehende Zeichnung)

Die einzugebenden Koordinaten für die Antenne und das Berechnungsfeld gehen aus der Zeichnung und den Screenshots hervor. Bei der Frequenz = 3,75 MHz und 750W an der Antenne kommt man auf eine Feldstärke von 8,66 V/m bei x=23 und y=25, unterschreitet also den Grenzwert von 27,5 V/m mit großer Sicherheit.

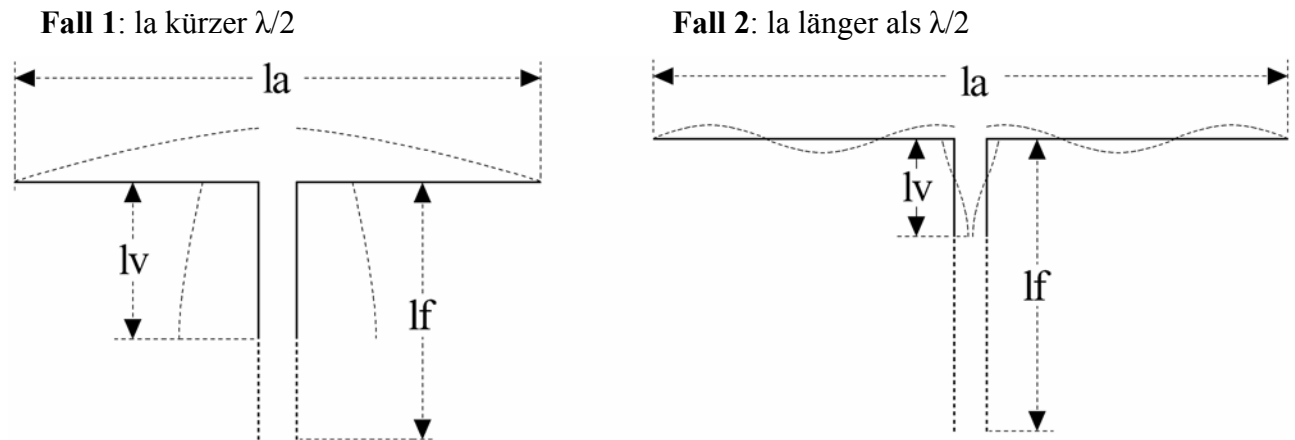
2.4. Zur Bestimmung der Leistung in Maske 2.

Die der Antenne zugeführte Leistung wird üblicherweise als Effektivwert angegeben. Die berechneten Feldstärkewerte sind dann auch Effektivwerte. Da die Grenzwerttabellen normalerweise auch Effektivwerte enthalten, ist ein direkter Vergleich möglich. Allerdings muss die Leistung dazu den Betriebsbedingungen angepasst werden.

Zunächst wird die vom Sender gelieferte Leistung um die Kabelverluste reduziert. Eine weitere Reduktion kann zulässig sein, wenn keine Sendart mit Dauerträger (wie bei FM oder RTTY) sondern beispielsweise nur CW und/oder SSB verwendet wird. Dann ist die Leistung zusätzlich mit dem für diese Betriebsarten gültigen Reduktionsfaktor von $F_{\text{modPers}} = 0,5$ zu multiplizieren. Dieser Faktor ist allerdings derzeit bei CW und SSB offiziell noch nicht wieder gültig, da die zur internationalen Abstimmung vorgelegte Änderung der EN 50413 vom Mai 2013 noch nicht verabschiedet ist (Stand Dezember 2013).

Und falls die Sendezeit in einem beliebigen 6-Minuten-Abschnitt immer unter diesem Limit bleibt (z. B. maximal 4 Minuten) kann ein weiterer Reduktionsfaktor von (im Beispiel $F = 4/6 = 0,67$) angesetzt werden. Nur bei dieser Vorgehensweise sind die ermittelten Feldstärken unmittelbar mit den gültigen Personenschutz-Grenzwerten vergleichbar.

3. Vorgehensweise zur Berechnung der Feldstärken mit dem Programm fs3d bei verkürzten Antennen entsprechend G5RV mit Mittelspeisung und Feederleitungstransformation



l_a : Antennenlänge

l_f : Feederleitungslänge

l_v : Länge der elektrischen Verlängerung von l_a

Fall 1: $l_v = \lambda/4 - l_a/2$

Fall 2: s. unten

Wesentlich zur richtigen Berechnung ist die korrekte Nachbildung der Stromverhältnisse auf dem strahlenden Antennendraht.

Für das Programm fs3d bedeutet das, dass man zur Berechnung der hier behandelten Antennen

- die fehlende Länge durch die nicht strahlende **Feederleitung nachbilden** und
- die **Speiseleistung** der Antenne derart **anpassen** muss, dass der sich in der Feederleitung aufhebende Anteil zusätzlich zugeführt wird.

Zu a.) Feederleitung nachbilden

Fall 1: $l_v = \lambda/4 - l_a/2$ ausrechnen.

Fall 2: Die Gesamtlänge $l_a/2 + l_v$ muss ein ungrad- und ganzzahliges Vielfaches von $\lambda/4$ (also 1, 3, 5, 7 $\cdot \lambda/4$) sein. l_v ist dann diese Gesamtlänge - $l_a/2$. Ungradzahlig muss das Vielfache sein, damit sich am unteren Ende von l_v ein Strombauch befindet. Bei einem Spannungsbauch wären die Ströme in der Feederleitung nicht entgegengesetzt gleich und die resultierenden Felder würden sich nicht aufheben.

Nun die Koordinaten der Antenne bestimmen:

- xyz von einem Antennenende als ersten Koordinatenpunkt festlegen
- xyz vom Speisepunkt festlegen
- xyz des unteren Endes von l_v festlegen. Dabei ist es gleichgültig, ob man die Länge l_v in x, y oder z-Richtung ansetzt (sie strahlt ja nicht weil sich die Ströme in den beiden Hälften der Leitung aufheben und für die Abstrahlung der Antenne ist es ja auch egal, in welcher Richtung die Leitung vom Speisepunkt wegführt). **Es ist auch egal, ob die tatsächliche Leitung l_f länger oder kürzer als l_v ist**, es geht hier nur um die korrekte Nachbildung des Stromes auf der Antenne l_a .
- die weiteren Koordinatenpunkte sind dann wieder der Speisepunkt und das andere Ende der Antenne.

Es macht dabei nichts, dass der Abstand der Drähte der Feederleitung den Wert 0 hat. Im Programm gibt es keinen Kurzschluss und je dichter die Drähte, umso besser heben sich die Felder auf.

Zu b.) Speiseleistung anpassen

Die einzugebende Speiseleistung für die Berechnung ergibt sich aus der tatsächlich an der Antenne ankommenden Leistung multipliziert mit dem Korrekturfaktor F_p :

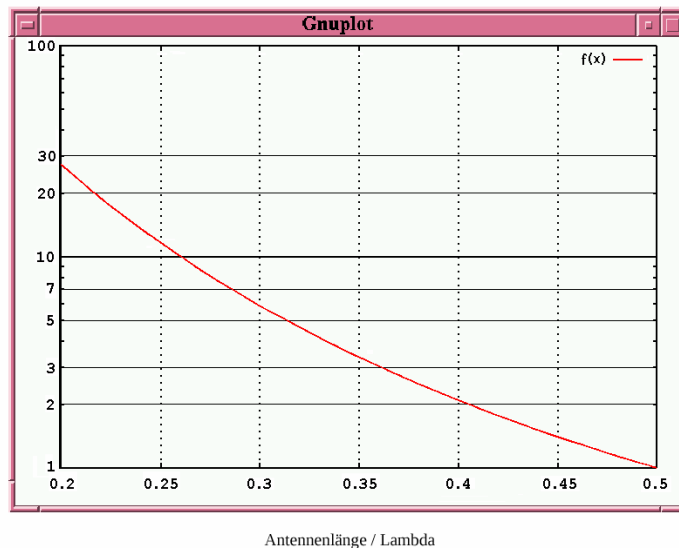
$$F_p = \frac{1}{\left(1 - \cos \frac{45^\circ \cdot la}{\frac{la}{2} + lv}\right)^2}$$

Für den **Fall 1** ist $la/2 + lv = \lambda/4$.
Somit vereinfacht sich die Gleichung auf:

$$F_p = \frac{1}{\left(1 - \cos \frac{180^\circ la}{\lambda}\right)^2}$$

Die Grafik zeigt den Verlauf von F_p als Funktion von la/λ für den **Fall 1** (untere Formel).

G5RV-Antennen
Faktor für die Leistung bei Berechnung mit dem Programm FS3D



Man beachte, dass die einzutragende Leistung bei kurzen Antennen schnell sehr groß wird (z.B. ergibt sich für $la = 20\text{m}$ auf 160m der Wert $F_p = 173$. Und das sind bei 75W : fast 13000W). Es ist dabei aber zu bedenken, dass die Leistung nur mit der Wurzel in die Feldstärke eingeht und ja hier viel weniger Antennendraht strahlt, als bei einem $\lambda/2$ -Dipol.

Beispiel für Fall 1: G5RV 28m lang für 80m ($la < \lambda/2$):

$$lv = 80/4 - 28/2 = 20 - 14 = 6$$

erster Antennenendpunkt: 10 10 10

Speisepunkt: 10 24 10

unterer Punkt von lv : 10 24 4 (man könnte auch nach oben $z=16$ nehmen)

zurück zum Speisepunkt: 10 24 10

zweiter Antennenendpunkt: 10 38 10

Für F_p ergibt sich mit $la = 28$ und $\lambda = 80$ über $la/\lambda = 0,35$ ein Wert von $F_p = 3,354$

für $\lambda = 80\text{m}$ ist die resonante Frequenz 3,75 MHz (dann wird das Berechnungsergebnis schön symmetrisch und die Felder der Feederleitung heben sich exakt auf)

Beispiel für Fall 2: Dieselbe Antenne wie Fall 1 für 17m (Wellenlänge in Bandmitte 16,85m)
Es ist $la/2 = 14\text{m}$. Um lv zu bestimmen, muss jetzt im Bereich

$$la/2 + lv = n \cdot \lambda/4 \text{ mit } n = 1, 3, 5, 7, \dots$$

die kleinste Länge gesucht werden, die $la/2$ überschreitet. Es ist:

$$1 \cdot \lambda/4 = 4,125\text{m} \quad (< 14\text{m})$$

$$3 \cdot \lambda/4 = 12,375\text{m} \quad (< 14\text{m})$$

$$5 \cdot \lambda/4 = 20,625\text{m} \quad \rightarrow > 14\text{m}$$

Damit ist $la/2 + lv = 20,625\text{m}$ und folglich

$$lv = 20,625 - 14 = 6,625 \quad (\text{das Programm rundet das auf } 7 \text{ auf})$$

erster Antennenendpunkt:	10 10 10	
Speisepunkt:	10 24 10	
unterer Punkt von lv:	10 24 3	(es geht auch 10 24 17)
zurück zum Speisepunkt:	10 24 10	
zweiter Antennenendpunkt:	10 38 10	

Für Fp ergibt sich mit $l_a/2 + l_v = 21$ und $l_a = 14 \rightarrow \cos 60^\circ = 0,5; \rightarrow F_p = 4$

Die resonante Frequenz wäre hier 17,86 MHz (wegen der Symmetrie s.o.)

Je nach Lage des Leitungsstückes l_v kann dieses zu dicht an den Berechnungsbereich kommen, sodass als Werte „x“ (bzw. „xxx“ in der Ausgabedatei) angezeigt werden (vgl. den Hinweis zum Mindestabstand von 4m im Abschnitt 2 auf Seite 2 dieser Anleitung). Wenn diese Werte gebraucht werden, ist eine andere Lage für l_v zu wählen. Im Beispiel für Fall 2 kommt das bei einer Berechnungshöhe von 2m vor.

Die Antenne muss natürlich nicht wie in den Beispielen der Einfachheit halber angenommen gerade gestreckt und waagerecht sein. Wie generell bei fs3d kann sie auch mehrfach geknickt sein. Der Speisepunkt muss nur in der Mitte sein. Darauf sollte bei der Wahl der Eckpunkte geachtet werden, denn das Programm rundet jede gerade Strecke zwischen 2 Eckpunkten auf ganze Meter auf oder ab. Ggf. die beiden Strahlerhälften vorher vom Programm einzeln auf die Länge berechnen lassen und nötigenfalls die Punkte etwas verschieben bis es passt.

Weicht die Länge der Antenne nur bis max. +/- 10% von einem (hier beliebigen) Vielfachen von $\lambda/2$ ab, kann ganz normal ohne eine Verlängerung durch l_v mit dem Programm gerechnet werden.

4. Version von fs3d-v1m für den Verlängerungsbereich von Kelemen-Antennen

Programmname: kelem-vk.exe für MS-DOS bzw. fs3d-klm-win.exe für Windows.

Änderungen gegenüber der Hauptversion fs3d-v1m:

- Die Stromverteilung wird sinusförmig über die tatsächliche Drahtlänge errechnet.
- In der Maske 2 ist die Abprüfung auf den zulässigen Frequenzbereich angepasst, damit kürzere Antennenlängen als $\lambda/2$ akzeptiert werden. Die Länge darf aber $\lambda/4$ nicht unterschreiten.
- Kontrollabfrage zur Wellen- und Drahtlänge.

Das Programm wurde lautechnisch für alle Ausführungen der Kelemen-Antennen getestet. Vergleichsmessungen liegen zur Zeit nur von der 5-Band-Antenne für 80/40/20/15/10m vor.

Anleitungsergänzung

- Das Programm hat den Namen kelem-vk.exe bzw. fs3d-klm-win.exe
- Es ist im Wesentlichen so zu handhaben, wie die Hauptversion fs3d-v1m.
- Nach den Eingabemasken erfolgt eine Ausgabe zur Kontrolle der den folgenden Berechnungen zugrunde liegenden Wellenlänge und der tatsächlichen Antennenlänge. Diese Frage ist mit j zu quittieren, bzw. mit n wenn noch etwas geändert werden muss. Danach muss das Programm aber neu gestartet werden.
- Falls die Mindestlänge von $\lambda/4$ unterschritten ist, bricht das Programm mit dem Hinweis, dass es für diese Verhältnisse nicht geeignet ist, ab.

5. Feldstärkeberechnung mit dem Programm fs3d-v1m bei mehrelementigen Richtantennen im Nahfeld

Richtantennen werden im allgemeinen erst oberhalb 20m eingesetzt. Dort endet das reaktive Nahfeld aber schon bei 3,4m, so dass man in den meisten Fällen wohl mit einer Berechnung nach der Fernfeldformel bzw. mit den gröberen Abschätzungen anderer Hilfsmittel zurecht kommen wird. Wo das nicht der Fall ist, kann die hier beschriebene Methode mit FS3D eingesetzt werden.

Es wird prinzipiell so vorgegangen, wie bei Richtantennen im Fernfeld, nur dass die Feldstärken anschließend nicht mit der Fernfeldformel, sondern mit dem Programm fs3d-v1m berechnet werden.

- Gewinn für die Antenne in Hauptstrahlrichtung aus Herstellerunterlagen oder der Liste von DM2BLE (www.swschwedt.de/kunden/dm2ble/) ermitteln. Wenn der Gewinn über isotrop angegeben ist (dBi), in Gewinn über Dipol (dBd) umrechnen (2,14 dB abziehen).
- Aus den örtlichen Gegebenheiten den Winkel der Verbindungslinie von der Vorderkante der Antenne zum Ende des kontrollierbaren Bereichs gegenüber der Horizontalen berechnen oder aus einer maßstäblichen Zeichnung mit dem Winkelmesser ausmessen.
- Mit diesem Winkel den Winkeldämpfungswert aus den Unterlagen des Herstellers oder der Liste von DM2BLE ermitteln und ggf. interpolieren.
- Die Dämpfung zwischen Senderausgang und Antenne (Kabel, SWR-Meter, Tuner, ggf. zusätzliche Steckverbindungen, Balun, etc.) ermitteln.
- Vom Gewinn in Hauptstrahlrichtung die Winkeldämpfung und die übrige Dämpfung abziehen (das Ergebnis kann durchaus negativ werden).
- Mit diesem (ggf. negativen) resultierenden Gewinn und der Ausgangsleistung des Senders die Strahlungsleistung eines äquivalenten Dipols errechnen. Die Vorgehensweise ist im Abschnitt 2.4 und im nachfolgenden Beispiel genau beschrieben.
- Mit dieser angepassten Leistung und einem gedachten Lambda/2-Dipol am vorderen Ende der Antenne für die betreffende Frequenz und die geometrischen Verhältnisse mit dem Programm fs3d-v1m die Feldstärken ermitteln (elektrische und magnetische!).
- Überschreitet eine der Feldstärken die zulässigen Grenzwerte, ist die Leistung des Senders entsprechend zu reduzieren, bis man unterhalb der Grenzwerte liegt.

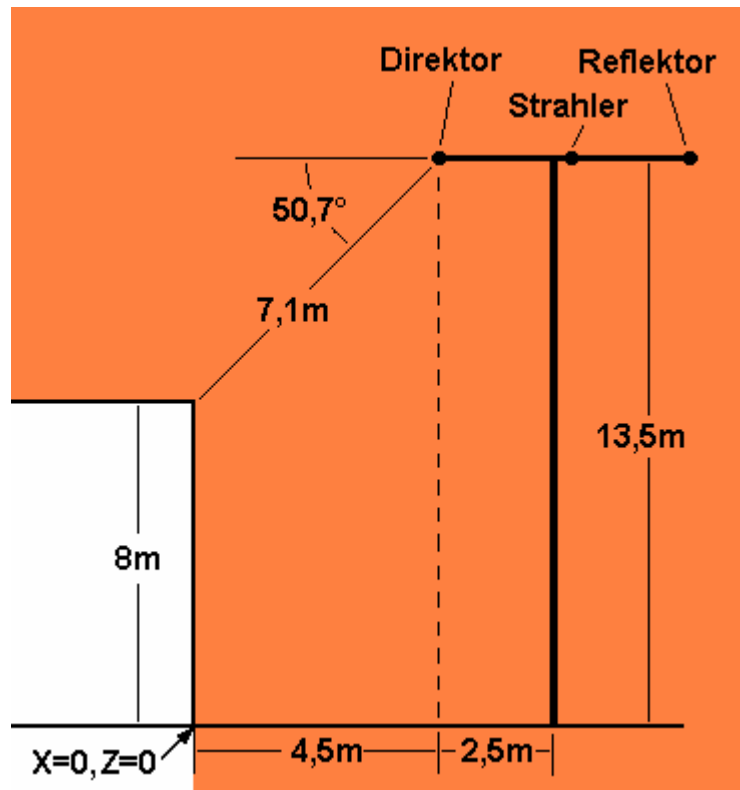
Formelsammlung:

$W = \arctan \frac{h}{a}$	W = Winkel zwischen der Horizontalen in Antennenhöhe und der nächstliegenden Grenze zum nicht kontrollierbaren Bereich. h = Höhe der Antenne abzüglich Berechnungshöhe (im Freien 2m. Bei angrenzenden Gebäuden ggf. höher. Hier: 8m) a = horizontaler Abstand der Antennenvorderkante zum Beginn des nicht kontrollierbaren Bereichs
$\text{dBd} = \text{dBi} - 2,14$	Umrechnung von Gewinn über isotropem Strahler (dBi) in Gewinn über Dipol (dBd)
$P(\ddot{a}q) = P(tx) \cdot 10^{G/10}$	Berücksichtigung des Gesamtgewinns bei der Leistungsberechnung nach Abschnitt 2.4

Beispiel:

Fritzel Beam FB33 für 10, 15, 20m;
Höhe 13,5m; Abstand Mast →
Grundstücksgrenze: 7m; Ausladung
der Antenne (Mast → Vorderkante):
2,5m; Senderausgangsleistung: 750W;
Berechnungshöhe für angrenzendes
Gebäude: 8m; Berechnung bei
14,35 MHz; Dämpfung zwischen TX
und Antenne: 2,24 dB für 20m.

Die Berechnung mit der
Fernfeldformel ergibt einen
Sicherheitsabstand in Antennenhöhe
von 9,9m und bei Berücksichtigung
der Vertikaldämpfung für 50,7 Grad
(vgl. Zeichnung) von 7,27m. Der
diagonale Abstand zum nicht
kontrollierbaren Bereich beträgt aber
nur 7,1m.



Berechnung von Vertikalwinkel und effektiv wirksamer Leistung:

Vertikalwinkel $W = \arctan(h/a) = \arctan((13,5-8)/(7-2,5)) = 50,7 \text{ Grad}$

Antennengewinn nach Tabelle von DM2BLE: 7,41 dBi → dBd = 7,41 - 2,14 = 5,27 dBd

Winkeldämpfung bei 50 Grad: 2,58 dB, bei 60 Grad: 3,83 dB → bei 50,7 Grad 2,67 dB

Gesamtgewinn = 5,27 dBd - 2,24 dB - 2,67 dB = 0,36 dBd

$$P(\ddot{a}q) = 750 \cdot 10^{0,36/10} = 815W$$

Daten für fs3d-v1m:

Antenneneckpunkte: x1: 4.5 y1: 0 höhe1: 13,5

x2: 4.5 y2: 10 höhe2: 13,5

Leistung: 815W; Frequenz: 14.35 MHz

Berechnungsfeld: xanf: 0 xend: 0 yend: 10 yanf: 0

Berechnungshöhe: 8 Berechnungsabstand: 1

Ergebnis:

$E_{\max} = 23,07 \text{ V/m}$ $H_{\max} = 76,0 \text{ mA/m}$ beide bei X=0, Y=5

Die elektrische Feldstärke unterschreitet den Grenzwert von 27,5 V/m. Bei der magnetischen Feldstärke liegt aber – genau wie bei der Betrachtung mit der Fernfeldformel – eine leichte Überschreitung der zulässigen Grenze vor.

Beide Berechnungen führen also hier zu sehr ähnlichen Ergebnissen, was aber nicht immer so sein muss.

Für 15 m und 10 m kann dann entsprechend gearbeitet werden.

6. Information zur virtuellen Laufzeitumgebung DOSBox

Von DH2MIC

Da manche Windows-Betriebssysteme keine DOS-Programme mehr verarbeiten können, muss vor dem Start von FS3D-V1M.EXE oder KELEM-VK.EXE die virtuelle Laufzeitumgebung "DOSBox" installiert und gestartet werden. Getestet habe ich mit Version 0.74 unter verschiedenen Windows-Versionen. Die DOSBox wurde entwickelt, um alte Spiele aus der MS-DOS-Zeit laufen lassen zu können. Sie ist aber auch für FS3D bestens geeignet.

Kurzanleitung für FS3D unter DOSBox-0.74

Man lädt sich die aktuelle Version von DOSBox bei <http://www.dosbox.com> herunter und installiert sie auf dem eigenen PC. Da FS3D nur rudimentäre MS-DOS-Features verwendet, übernimmt man dabei die Defaulteinstellungen. Ein Start-Icon auf dem Desktop ist zu empfehlen.

Nach dem Start der DOSBox erscheint zunächst ein DOS-Textfenster mit der Eingabeaufforderung

Z:>

Jetzt "mounted" man ein einziges Verzeichnis der eigenen Festplatte (das in dem sich die Programme von FS3D befinden) und gibt ihm einen virtuellen Laufwerksbuchstaben. Nur Files aus diesem Verzeichnis und ggf. seiner Unterverzeichnisse können gelesen werden. Auch die Ergebnisfiles liegen später dort und können nach Beendigung der DOSBox (aber auch schon vorher!) normal unter Windows durch andere Programme gelesen, bearbeitet, ausgewertet, ausgedruckt oder sonst weiter verarbeitet werden. Nach dem Wechsel auf das neue „Laufwerk“ kann man die Programme starten.

Beispiel:

Alle Files aus dem Archiv FS3D.zip seien in ein Verzeichnis C:\Afu\BNetzA\FS3D\ entpackt worden. Dann lautet der Mount-Befehl und die Antwort (in den beiden Zeilen darunter):

```
Z:>mount C C:\Afu\BNetzA\FS3D\  
Drive C is mounted as local directory C:\Afu\BNetzA\FS3D\  
Z:>
```

Mit den nächsten beiden Befehlen wechselt man in das neue "Verzeichnis" C: und ruft anschließend dessen Inhalt auf:

```
Z:>C:  
C:>dir
```

Die beiden ausführbaren DOS-Programme FS3D-V1M.EXE und KELEM-VK.EXE sollten in der Liste der angezeigten Files auftauchen. Sie können nun aufgerufen werden, indem man am Prompt **C:>** den Namen des Programms eintippt und die Return-Taste drückt.

Um die berechneten Werte später auswerten zu können, muss man bei der Frage

"Daten auch in Datei schreiben(j/n): "

ein j eintippen und dann die Tabulatortaste drücken, damit man zur Eingabe eines Filenamens aufgefordert wird. Der Filename darf nur aus maximal 8 Zeichen und dem Zusatz .TXT bestehen, also z. B. FD4-80m.txt

Nach Beendigung des Simulationsprogramms muss man noch die DOSBox beenden. Dazu gibt man am Prompt C:> den Befehl EXIT gefolgt von der Return Taste ein. Oder man schließt das Fenster wie andere Windows-Programme auch.