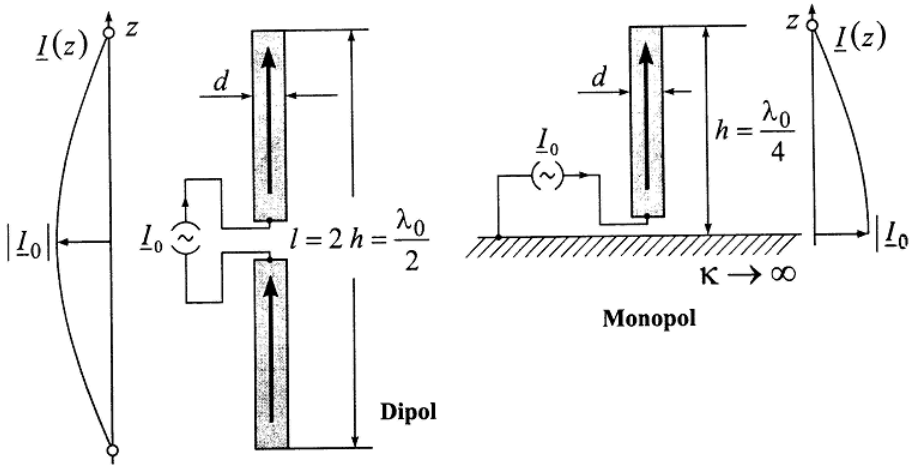
Zur Theorie des Dipol-GP-Rechners

Die sogenannte **Linearantenne** ist eine der gebräuchlichsten Strahlerformen, sie besteht in ihrer einfachsten Form aus einem gestreckten zylindrischen Leiter, der in der Regel in der Mitte (Dipol) oder am Fußpunkt gegen Erde (Monopol bzw. Groundplane) erregt wird.
Beide Antennenformen haben im oberen Halbraum das gleiche Strahlungsdiagramm, da die Erdoberfläche in einer Symmetrieebene des elektrischen Feldes liegt.
Bei gleichem Quellenstrom I_o gibt der Monopol nur die halbe Strahlungsleistung des Dipols ab, Real- bzw. Blindanteil seiner Eingangsimpedanz sind ebenfalls genau halb so groß.



Die Theorie von Strahlungsfeldern und Antennen ist mathematisch hochkomplex, dabei wird meist von der Stromverteilung auf der Antennenoberfläche ausgegangen, die mit dem Strahlungsfeld eindeutig verknüpft ist (das Mantra "Strom strahlt" dürfte jedem OM bekannt sein).
In der Regel müssen diese Oberflächenströme mit numerischen Verfahren aufwändig ermittelt werden.

Ist der Strom an allen Stellen nach Betrag und Phase bekannt, so lässt sich daraus die Feldstärke aus der Superposition (Überlagerung) der einzelnen Stromelemente ermitteln, wobei Phasen- und Entfernungsdifferenzen zwischen den jeweiligen Quell- und Zielpunkten zu berücksichtigen sind.
In der Praxis genügen aber oft auch einfache Näherungen, aus denen man in einem zweiten Schritt die Strahlungsfelder durch Integration über die strahlenden Flächen erhalten kann.
Für die Berechnung der Eingangsimpedanz, insbesondere von deren Blindanteil, der die Energiespeicherung im Nahfeld beschreibt, ist jedoch eine genauere Kenntnis der Stromverteilung auf der Antenne erforderlich.

Wie arbeitet der "Dipol-GP-Rechner"?

Das Programm habe ich mit Visual C# entwickelt, diese Software ist ungeheuer leistungsfähig, komfortabel zu bedienen und relativ leicht zu erlernen /3/.

Zunächst berechne ich damit die von einer dünnen Linearantenne abgestrahlte Wirkleistung, die proportional dem sog. Strahlungswiderstand Rs ist.

Knackpunkt ist dann die Lösung der Integralform des komplexen Strahlungswiderstands **Zs**, das führt auf höhere mathematische Funktionen wie Integralsinus und -kosinus, die wiederum nur numerisch zu ermitteln sind.

Die Eingangsimpedanz **Ze** (der komplexe Eingangswiderstand) lässt sich hingegen leicht aus der Strahlungsimpedanz **Zs** berechnen.

Zs und **Ze** sind für die Stromresonanzen l=(2n-1) λ/2 identisch (Strombauch im Speisepunkt).
Ein schlanker Halbwellendipol hat demnach eine Eingangsimpedanz

Ze = **Zs** = (73,1+j42,5)Ohm.

Ze weist für Dipollängen l = λ*n Polstellen auf, ein Ganzwellendipol muss deshalb mit einer Spannungs- und nicht mit einer Stromquelle gespeist werden.

Für diese Spannungsresonanzen gibt es einen Stromknoten im Speisepunkt, damit wird der Eingangswiderstand scheinbar unendlich groß.
Diese Singularitäten haben ihre Ursache im mathematischen Modell der dünnen Linearantenne, bei dem die symmetrische Stromverteilung durch eine stehende Sinuswelle angenähert wird, sie verschwinden bei technisch realen Dipolen mit endlicher Dicke und unter Berücksichtigung der Strahlungsdämpfung.

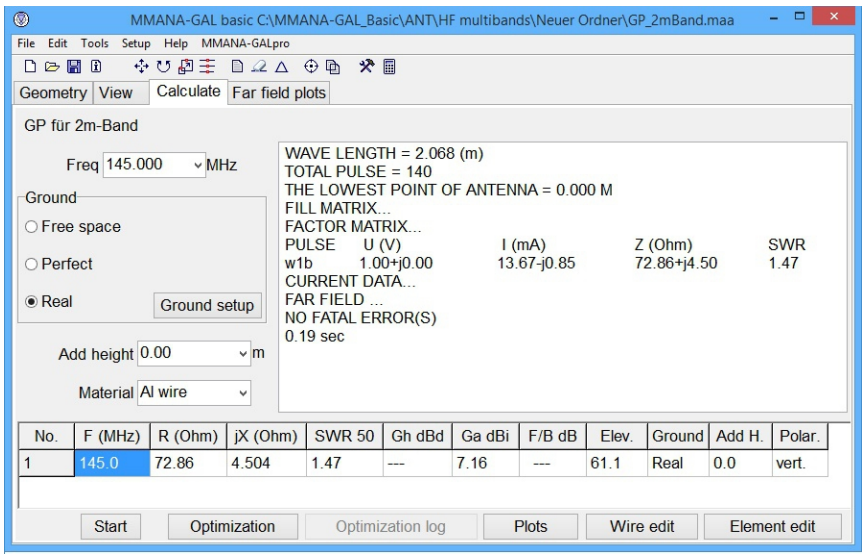
Die Abweichungen des mathematischen Modells zur Praxis kommen im Bereich der Polstellen immer deutlicher zum Ausdruck, wie sich zum Beispiel durch Messungen oder Vergleich mit einem Antennensimulationsprogramm feststellen lässt.
Damit wird man für Eingangsimpedanzen höchstens Werte um ca. 10kOhm erreichen, während das mathematische Modell astronomisch hohe Zahlen ausspuckt.

Mathematisch interessierte OMs können die von mir verwendeten Formeln zum Beispiel dem Klassiker von Klaus Kark /1/ (Kapitel 10, Lineare Antennen) entnehmen.
Wichtige Anregungen sind u.a. auch im bekannten Buch von OM Gerd Janzen, DF6SJ, zu finden, obwohl dort nur "kurze" Antennen, also unterhalb der Abmessungen eines Halbwellendipols, thematisiert werden.

Ein Wort zu EZNEC & Co

Komplexere Antennengebilde lassen sich nur mit Computerunterstützung sinnvoll analysieren, wobei die Antenne in einzelne Drahtstückchen "zerlegt" wird, deren Fern- und Nahfeldkomponente unter Berücksichtigung von Umweltfaktoren einzeln ermittelt und abschließend wieder "zusammen-gesetzt" werden.
Die für Amateurfunker wichtigsten Programme sind 4nec2, EZNEC und MMANA-GAL.
Ich bevorzuge das letztere, da es sich strikt an der vertrauten Windows-Oberfläche orientiert, aber ansonsten auf dem gleichen Lösungsalgorithmus (nec Kernel) wie seine Geschwister basiert.
Der Rechenkern wurde vor vielen Jahren von den Mitarbeitern des *Lawrence Livermoore Laboratorium*s in der damals aktuellen Sprache *Fortran* programmiert, diese anspruchsvolle numerische Berechnung der Antenneneigenschaften auf Basis komplexer Differenzialgleichungs-systeme war und ist die eigentliche herausragende Leistung!

Die Entwickler von EZNEC, MMANA etc. hatten sich hingegen "nur" mit der Programmierung einer leicht bedienbaren Benutzerschnittstelle auseinanderzusetzen, wobei die Eingabe der Antennengeometrie in Form einer strikt formatierten Tabelle erfolgt.
Nach erfolgter Berechnung im Kernel werden dessen Ergebnisdaten z.B. in Strahlungsdiagrammen und Impedanztabellen umgesetzt.
Dass die Ergebnisse der Antennentheorie (siehe Beispiel 2) unter den gegebenen vereinfachenden Voraussetzungen gar nicht so sehr von denen der "großen" Programme abweichen, zeigt eine Berechnung der Eingangsimpedanz der 3,6m hohen GP für das 2m-Band mit MMANA:



Literatur

/1/ Kark, K.: Antennen und Strahlungsfelder.
Friedr. Vieweg & Sohn Verlag, Wiesbaden 2004

/2/ Janzen, G., DF6SJ: Kurze Antennen. 1.Aufl.
Franckh'sche Verlagshandlung W.Keller & Co., Stuttgart 1986

/3/ Doberenz,W., Gewinnus,Th. : Visual C# 2015, Grundlagen, Profiwissenund Rezepte.
Carl Hanser Verlag, München 2015