

Optimierung einer Antennenanlage für Kurzwellen

**Mitteilungen aus dem Institut
für Umwelttechnik
Nonnweiler-Saar
Dr. Schau
DL3LH**

Vorwort

Die Kurzwellen haben ihre Faszination nicht verloren, trotz Internet und Handy. Man braucht allerdings eine sichtbare Antenne und ein spezielles, heute käuflich zu erwerbendes Equipment.

Mein erster Kontakt mit den Kurzwellen hat damals noch Gänsehaut und Hochachtung verursacht. Heute ist dieser Hochachtung und der Gänsehaut eine gewisse Gelassenheit gewichen. Geblieben ist die Begeisterung für diese „Kurzwellen“ und die damit verbundene Faszination.

Schon damals haben wir uns Gedanken darüber gemacht wie eine optimale Antennenanlage für den Sendebetrieb ausgelegt werden sollte. Einfach einen Dipol mit Koaxkabel speisen oder einen Langdraht über einen Fuchskreis betreiben - was ist besser? Wobei sich „besser“ darauf bezieht, dass möglichst viel Leistung die Antenne erreicht. Jedenfalls haben wir erkannt, dass das Zusammenspiel aller Komponenten der Antennenanlage von Wichtigkeit ist.

Welche Verluste hat meine Antennenanlage und vor allem bei Mehrbandbetrieb? Diese Frage kann man nur beantworten wenn man die Antennenanlage berechnet. Aus dem Handbook /1/ und dem Beitrag /5/ wird ersichtlich, dass bei Mehrbandbetrieb nur eine verlustarme Zweidrahtleitung in Frage kommt, von uns Amateuren als „Hühnerleiter“ bezeichnet. Zur Auswahl stehen Wellenwiderstände von 450 oder 600 Ω und die verlustarme Zweidrahtleitung mit dem Wellenwiderstand $Z = 175,6 \Omega / \sqrt{\epsilon_r}$, was ist besser?

Da heutige Amateursender fast ausschließlich unsymmetrisch gegen Masse betrieben werden ist in der Antennenanlage ein Übergang von Unsymmetrisch zu Symmetrisch - ein HF-Transformator erforderlich. Nur welche Induktivitäten muss ich nehmen und welches Übersetzungsverhältnis ist günstig, damit die Verluste in der Antennenanlage möglichst gering bleiben? Die nächste Frage: Welche Anpassschaltung soll ich verwenden? Ein Pi-Filter, ein T-Koppler, ein Z- oder S-Match, einen Resonanzkoppler oder eine einfache LC-Anordnung und kann ich den nahezu verlustlosen CC-Koppler einsetzen?

Grundsätzliche Überlegungen sind der Abhandlung /5/ zu entnehmen. Die wichtigsten sollen hier nur kurz wiederholt werden.

1. Eine Antenne muss nicht in Resonanz betrieben werden. Vorteilhaft ist ein Dipol mit 2 x 27 m Länge der im 80 m Band oberhalb der Resonanz liegt, auch für den Mehrbandbetrieb.

2. Als Speiseleitung ist eine verlustarme Zweidrahtleitung zu verwenden. Zwar hat eine Hühnerleiter mit dem Wellenwiderstand $Z = 175,6 \Omega / \sqrt{\epsilon_r}$ die geringsten Verluste, doch ist die Spannungsfestigkeit nicht ausreichend. Daher kommen nur die geläufigen

Paralleldrahtleitungen mit 450 oder 600 Ω Wellenwiderstand in Frage. Als Länge der Zuleitung ist eine Länge von $l = \frac{1}{4} \lambda$ zu meiden, denn bei dieser Länge ($\lambda/4$ -Transformation) werden niederohmige Impedanzen der Antenne in hochohmige transformiert. Die dann notwendige Transformation von hochohmig auf die Systemimpedanz $R_s = 50 \Omega$ bedingt große Verluste.

3. Als Anpassschaltung kommt eigentlich nur eine einfache LC-Schaltung in Frage. Bei Mehrband-Betrieb ist die Möglichkeit vorzusehen, die Kapazität wahlweise vor oder hinter die Induktivität zu schalten um damit den gesamt möglichen Impedanzbereich anzupassen. Die Reihenfolge Serien-Induktivität, Parallel-Kondensator ist ein Tiefpass und transformiert im reellen zu höheren, die andere Kombination zu niederen Impedanzwerten. Pi- und T-Filter haben beide den Nachteil der Vieldeutigkeit in der Abstimmung, mit der Folge evtl. hoher Verluste. Besonders das T-Netzwerk ist gefährlich, denn bei falscher Einstellung kann die gesamte HF-Leistung im Koppler verbraten werden, wenn zufällig auf die Verlustwiderstände abgestimmt wird. Bei Pi- und T gibt es unendlich viele richtige Einstellungen, die am Eingang des Kopplers zu $S = 1$ führen.

Resonanzkoppler verursachen hohe Verluste, weil die Ströme in den Resonanzkreisen um den Faktor Q mal größer sind und ohne veränderliche Kopplung unbrauchbar sind. Der nahezu verlustarme CC-Koppler kann nur dann eingesetzt werden, wenn der Realteil der Impedanz kleiner ist als die Systemimpedanz und der Imaginärteil induktiv.

4. Eine immer wieder strittige Frage bezieht sich auf den HF-Transformator, Balun genannt. Günstig ist ein Luftübertrager mit bifilarer Wicklung. In /5/ ist nachgewiesen, dass der Balun am Eingang der Hühnerleiter angeordnet werden muss, will man größere Verluste in der Antennenanlage vermeiden. Das hat weiterhin den Vorteil, dass das Anpassnetzwerk Bauteilesparend unsymmetrisch gegen Masse aufgebaut werden kann. Wegen der möglichen Impedanzen kommt nur ein 1:1 Balun in Frage, wie auch die nachfolgenden Tabellen zeigen. Bei der Optimierung eines Balun auf geringste Verluste gibt es immer einen optimalen Wert für die Induktivität als Funktion der sekundären Impedanzen, der Güte der Spulen und des Koppelgrades k. Dabei bestimmt die primäre Induktivität außerdem die untere Grenzfrequenz. Wir berechnen unter oben genannten Überlegungen eine optimierte Antennenanlage mit einem Dipol 2 x 27 m in 10 m Höhe.

Antennenimpedanz Dipol 2 x 27, h = 10 m mit Verlusten über realer Erde.

Frequenz MHz	Impedanz Ω	Antennen Gewinn dB
3,65	109 + j 808	8,37
7,15	120 - j 679	8,51
14,15	205 + j 226	7,11
21,2	1447 + j 1222	6,75
29,5	185 - j 513	8,37

5. Antennenanlage mit einer 450 Ω HL

5.1. Hühnerleiter 450 Ω , l = 20 m

Frequenz MHz	Impedanz Ω	Dämpfung dB
3,65	25,5 - j 146	0,166
7,15	63 - j 493	0,282
14,15	286 + j 329	0,100
21,2	1024 - j 1144	0,248
29,5	73 + j 32	0,307

5.2. Balun 1:1 mit $L_{opt} = 5 \mu\text{H}$ an 450 Ω

Frequenz MHz	Impedanz Ω	Dämpfung dB
3,65	178 + j 313	0,43
7,15	42 + j 375	0,79
14,15	81 + j 256	0,64
21,2	311 + j 803	0,25
29,5	90 + j 175	1,98

5.3 LC-Netzwerk $Q_L = 50$, $Q_c = 500$

Frequenz MHz	Dämpfung 450 Ω dB
3,65	0,21
7,15	0,85
14,15	0,42
21,2	0,67
29,5	0,28

5.4 Gesamtdämpfung 450 Ω Anlage

Frequenz MHz	Dämpfung 450 Ω Anlage, gesamt dB
3,65	0,796
7,15	1,922
14,15	1,16
21,2	1,17
29,5	2,57

6. Antennenanlage mit einer 600 Ω HL

6.1 Hühnerleiter 600 Ω , l = 20 m

Frequenz MHz	Impedanz Ω	Dämpfung dB
3,65	53 - j 358	0,073
7,15	98 - j 539	0,145
14,15	242 + j 331	0,083
21,2	2504 - j 209	0,125
29,5	111 + j 81	0,206

6.2 Balun 1:1, $L_{opt} = 10 \mu\text{H}$ an 600 Ω

Frequenz MHz	Impedanz Ω	Dämpfung dB
3,65	133 + j 517	0,51
7,15	906 + j 1226	0,42
14,15	129 + j 364	0,95
21,2	522 + j 1112	0,27
29,5	151 + j 359	2,47

6.3 LC-Netzwerk $Q_L = 50$, $Q_c = 500$

Frequenz MHz	Dämpfung 600 Ω dB
3,65	0,29
7,15	0,57
14,15	0,21
21,2	0,55
29,5	0,22

6.4 Gesamtdämpfung der 600 Ω Anlage

Frequenz MHz	Dämpfung 600 Ω Anlage, gesamt dB
3,65	0,873
7,15	1,135
14,15	1,234
21,2	0,945
29,5	2,896

Vergleich der Gesamtverluste beider Anlagen

Frequenz MHz	450-Ω Anlage dB	600-Ω Anlage dB
3,65	0,796	0,873
7,15	1,922	1,135
14,15	1,16	1,234
21,2	1,17	0,945
29,5	2,57	2,896

Wir fassen zusammen:

Entgegen gegenteiliger Meinung kann eine Antenne mit 2 x 27 m für Mehrbandbetrieb eingesetzt werden, allerdings sind die Verluste im 10 m Band zu hoch. Was kaum zum Tragen kommt, denn die meist genutzte Antenne im Bereich 28 – 29,7 MHz ist der Beam.

Die Zweidrahtleitung mit einem Wellenwiderstand $Z = (600 - j X) \Omega$ hat einen geringen Vorteil bzgl. der Verluste gegenüber der 450 Ω Leitung, ist aber notwendig bei Endstufen größerer Leistung wegen der größeren Spannungsfestigkeit, die mit $1/S$ abnimmt (S = Stehwellenverhältnis) und bei etwa 12000 V liegt.

Wird eine 450 Ω Antennenanlage betrieben ist die optimale Induktivität des 1:1 Balun $L = 5 \mu\text{H}$.

Bei einer Anlage mit einer 600 Ohm Hühnerleiter ist die optimale, primäre Induktivität des Balun $L = 10 \mu\text{H}$. Der Balun wird direkt am Eingang der Zweidrahtleitung eingesetzt. Das direkt am Senderausgang angeordnete LC- Anpassnetzwerk transformiert auf die Systemimpedanz, meist 50 Ω , ist eindeutig in der Abstimmung und kann unsymmetrisch gegen Masse aufgebaut werden.

Ein CC-Koppler kann in diesem Fall nicht verwendet werden, wie die berechneten Impedanzen der Tabellen 5.3 und 6.2 zeigen.

DL3LH, Walter
wa-schau@t-online.de
dl3lh@gmx.de

Literatur:

- /1/ The ARRL Antenna Book
- /2/ Kurze Antennen, Gerd Janzen, Frankh'sche Verlagshandlung, Stuttgart
- /3/ Passive Netzwerke zur Anpassung in hochfrequenten Schaltungen, W. Schau, DL3LH
- /4/ Pi-Filter mit Verlusten Dr. Schau, DL3LH,
- /5/ Die Antenne macht die Musik, Dr. Schau,
- /6/ Die T-Anpassung, W. Schau, DL3LH
- /7/ Antennenmesstechnik I - IV, W. Schau,
- /8/ Endkapazitäten für verkürzte Dipole, DK5XX
- /9/ Langdrahtantennen für den KW-Bereich, W. Schau, DL3LH

<https://lc-koppler.jimdo.com/dl3lh-s-download-sammlung/>

This document was created with Win2PDF available at <http://www.win2pdf.com>.
The unregistered version of Win2PDF is for evaluation or non-commercial use only.
This page will not be added after purchasing Win2PDF.