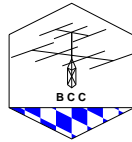


Die Zweidraht-Beverage-Antenne - Aufbau und Betriebserfahrungen -



Peter Pfann, DL2NBU

10.-11. März 2001

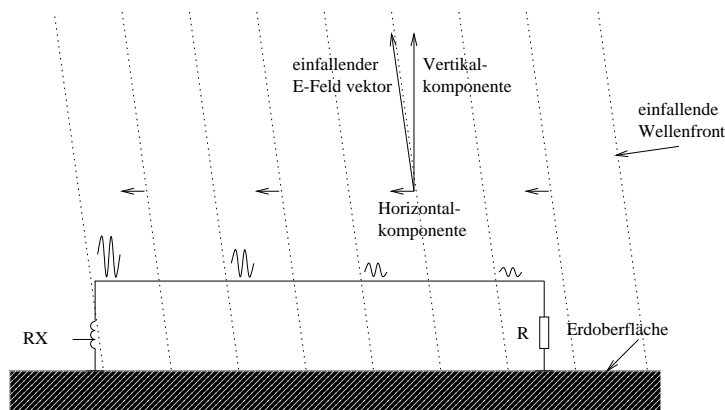
Vortrag zur 4. Kurzwellen-Fachtagung des DARC Distrikt Oberbayern

1 Einleitung

Während ich das Gefühl hatte, dass die Antennen unserer Conteststation auf den oberen Kurzwellenbändern sehr gut funktionierten, so hatte ich Zweifel, was die Antennen für die unteren Frequenzen betraf. Das galt besonders für die Empfangsseite. Um die Empfangssituation zu verbessern, wurde eine Beverage-Antenne aufgebaut, jedoch waren die Signale so leise, dass sie oft nicht zu gebrauchen war, ganz im Gegensatz zu den Erfahrungen bei DLØCS. Außerdem waren aufgrund der örtlichen Gegebenheiten nur einige Empfangsrichtungen durch Beverage-Antennen abgedeckt. Es folgte eine ausführliche Literaturrecherche und Suche im Internet. Anhand dieses Materials wurde dann die Beverage-Antenne optimiert. Dieser Vortrag faßt das gefundene Material zusammen und zeigt dessen Anwendung in der Praxis.

2 Funktionsweise der Beverage-Antenne

Die Beverage-Antenne ist eine Wanderwellenantenne. Das Wirkungsprinzip ist in folgendem Bild dargestellt[5].

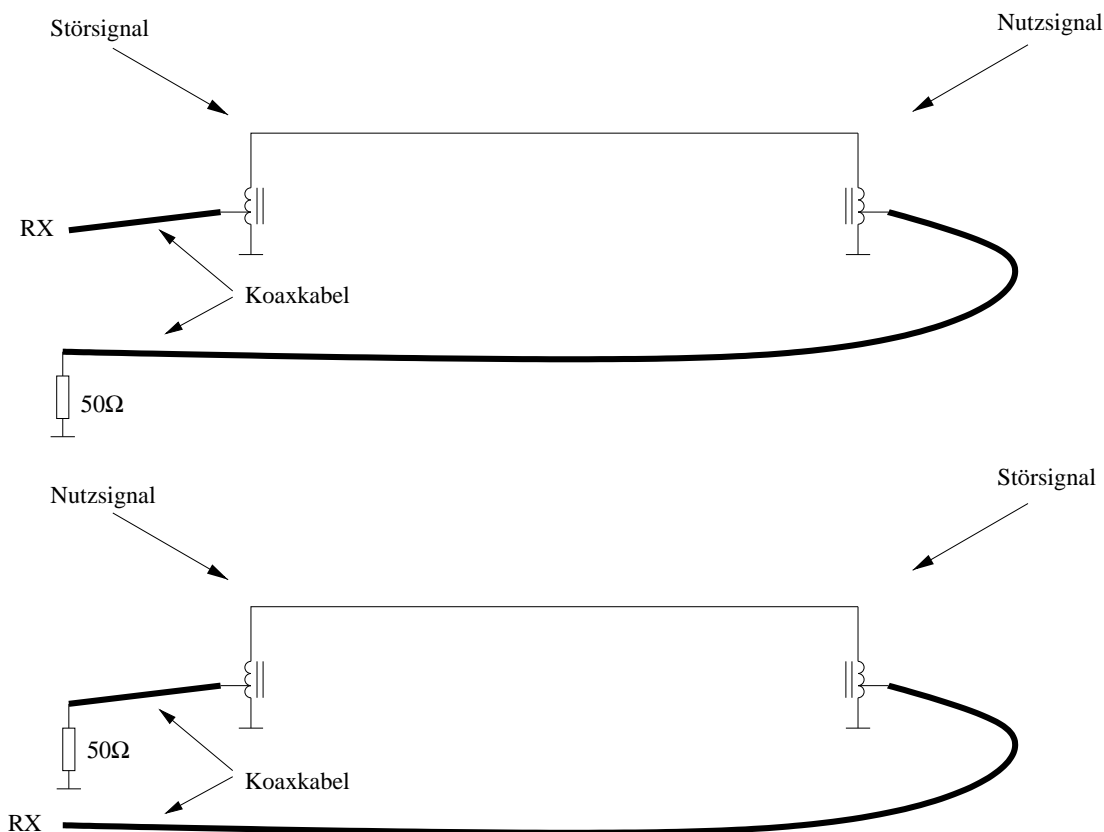


Die von rechts einfallende Wellenfront wandert in Richtung des Drahtes. Der Winkel des E-Feld-Vektors in Bodennähe ergibt sich aus dem Einfallswinkel der Welle und der Erdbodenleitfähigkeit. Die Horizontalkomponente des E-Feldes verschiebt die Elektronen im Draht. Auf ihrem Ausbreitungsweg verschiebt die Welle weitere Elektronen in Draht. In Ausbreitungsrichtung der Welle addieren sich diese Ladungen phasenrichtig auf. So liegt nun am Anschluß RX die maximale Signalspannung an, während sie am Abschlusswiderstand deutlich kleiner ist. Signale, die aus der Gegenrichtung einfallen, addieren sich von links nach rechts auf und erreichen ihr Maximum am rechten Drahtende. Damit sie dort nicht reflektiert werden und so doch zum RX-Anschluß gelangen, muß das Antennenende mit einem Widerstand, der gleich dem Antennenwellenwiderstand ist, abgeschlossen werden.

Bei einem verlustfreien Untergrund würden die elektrischen Feldlinien senkrecht zum Antennendraht stehen, es wäre keine Horizontalkomponente des elektrischen Feldes vorhanden, und es würde damit auch keine Spannung in den Antennendraht erzeugt! Das heißt, Beverages (im Gegensatz zu fast allen anderen Antennen) funktionieren am besten über schlechtem Boden.

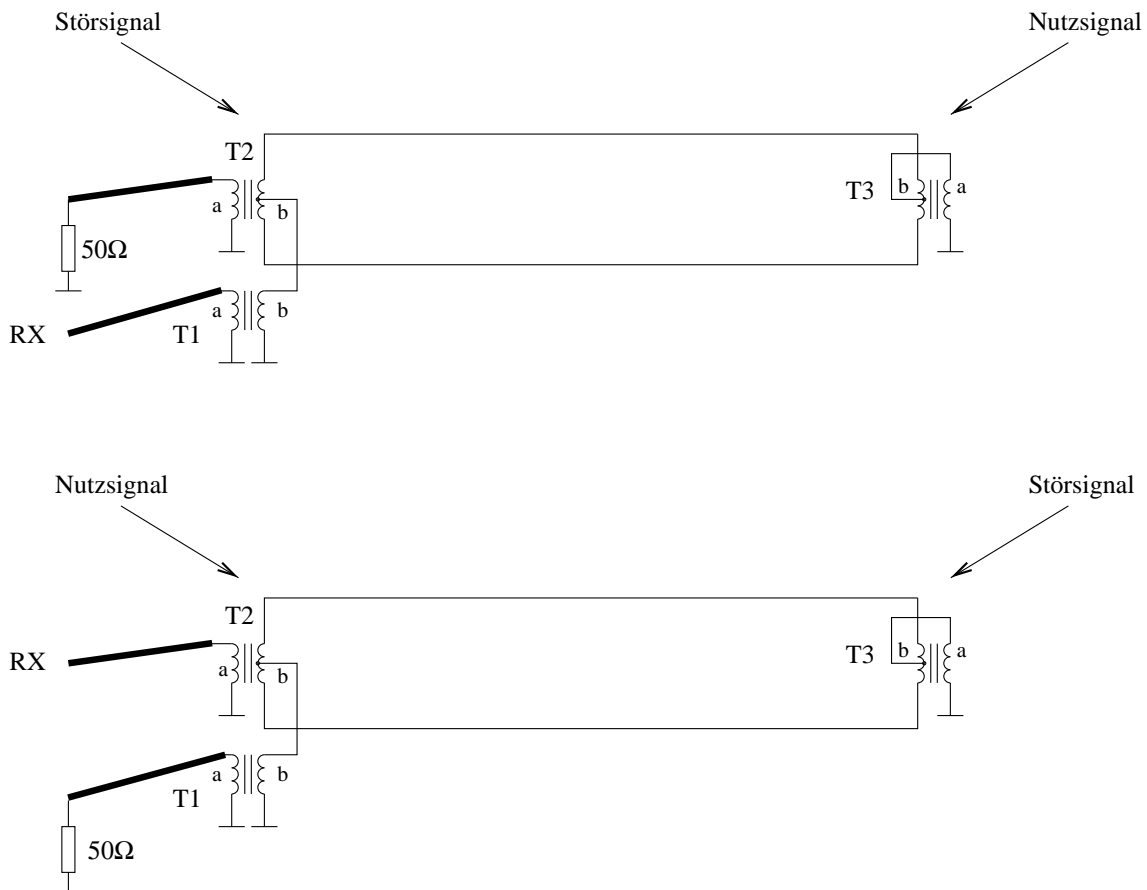
3 Von der Eindraht-Beverage zur Zweidraht-Beverage

Aus dem vorherigen Abschnitt geht hervor, dass die Beverage-Antenne eine Richtantenne ist. Wie läßt sie sich für eine zweite Richtung benutzen? Man vertauscht einfach den Anschlusspunkt für Koaxkabel und Abschlusswiderstand! Das Koaxkabel hat aber einen Wellenwiderstand von $50\ \Omega$, der passende Abschlusswiderstand ist aber hochohmiger. Dieses Problem läßt sich lösen, indem man auch am anderen Antennenende einen Übertrager einsetzt, der vom Wellenwiderstand der Beverage-Antenne auf den Wellenwiderstand des Koaxkabels transformiert. Als Abschlusswiderstand wird ein $50\ \Omega$ -Widerstand eingesetzt. An beide Übertrager wird ein Koaxkabel angeschlossen. Die Antennenrichtung hängt nun davon ab, an welches Koaxkabel man den Empfänger bzw. den Abschlusswiderstand anschließt.



Die Umschaltung kann über ein Relais vorgenommen werden, oder, wenn beide Koaxkabel ins Shack gezogen werden, im Shack mit einem Schalter erfolgen.

So praktisch die oben angesprochene Lösung ist, sie hat jedoch einen großen Nachteil: Man braucht zusätzlich ein Koaxkabel, dessen Länge mindestens gleich der Antennenlänge ist. Da Beverage-Antennen im Normalfall sehr lang sind, bedeutet das einige hundert Meter zusätzliches Koaxkabel. Abgesehen vom Preis ist die Kabeldämpfung vor allem auf 40m nicht mehr zu vernachlässigen. Eine Zweidrahtleitung wäre bei diesen Leitungslängen eine sehr gute Lösung. Optimal wäre es, wenn man den bereits vorhandenen Antennendraht dazu verwenden könnte und nur einen weiteren Draht benötigte. Wie in [1] und [6] gezeigt wird, läßt sich dies mit folgender Beschaltung der Beverage-Antenne verwirklichen:



Im ersten Fall addiert sich durch Einwirkung der Wellenfront des Nutzsignals eine Spannung am linken Antennenende auf. Da die Einwirkung auf beide Drähte gleich ist, sind auch beide Spannungen gleich. Damit ist die Differenzspannung zwischen den beiden Anschlüssen der Wicklung b von T2 Null (nur *Gleichtaktaussteuerung*), und es wird keine Spannung in Wicklung a induziert. Stattdessen kann diese Spannung an der Mittelanzapfung der Wicklung b von T2 abgegriffen werden. Da dieser Punkt impedanzmäßig dem Wellenwiderstand der Antenne entspricht, muß die Spannung noch über T1 auf 50Ω transformiert werden. Signale aus der Gegenrichtung addieren sich in Richtung T3 zu identischen Spannungen auf beiden Antennendrähten auf. Damit ergibt sich wieder keine Spannung über der Wicklung b von T3. Die *Gleichtaktspannung* wird an der Mittelanzapfung abgegriffen und über Wicklung a von T3 wieder auf die beiden Beverage-Drähte als *Gegentaktsignal* eingespeist (beide Drähte werden jetzt als Zweidrahtleitung betrieben). Dieses Gegentaktsignal wird an T2 von Wicklung b nach a übertragen, wo es im 50Ω -Widerstand in Wärme umgesetzt wird.

Im unteren Fall entstehen durch das Nutzsignal Spannungen am rechten Antennenende. Diese Spannungen sind aufgrund der identischen Einwirkung auch wieder gleich groß. Damit ist die Differenzspannung Null,

und es wird keine Spannung in Wicklung b von T3 induziert. Stattdessen kann die Signalspannung an der Mittelanzapfung der Wicklung b von T3 abgegriffen werden, wo sie über Wicklung a wieder auf Wicklung b als *Gegentaktsignal* übertragen wird. Dieses *Gegentaktsignal* wird über beide Antennendrähte (die in diesem Falle wieder als Zweidrahtleitung wirken) wieder zu T2 übertragen. Da es sich um ein reines *Gegentaktsignal* handelt, wird es vollständig über Wicklung a ausgekoppelt, die Spannung an der Mittelanzapfung von Wicklung b (und damit auch an T1) ist Null. Signale aus der Gegenrichtung addieren sich in Richtung T2 zu identischen Signalspannungen in beiden Beverage-drähten auf. An Wicklung b von T2 liegt wieder ein *Gleichtaktsignal* an, das wieder über die Mittelanzapfung ausgekoppelt wird. Dort wird das Signal über T1 auf den 50 Ω - Widerstand transformiert, wo es wieder verheizt wird.

Der Wellenwiderstand der Zweidraht-Beverage-Antenne errechnet sich aus folgender Formel [4]:

$$Z_{Bew} = 69 \Omega \cdot \log_{10} \left[\frac{4h}{d} \sqrt{1 + \left(\frac{2h}{S} \right)^2} \right]$$

Der Wellenwiderstand der Zweidrahtleitung ergibt sich wie folgt:

$$Z_{TL} = 276 \Omega \cdot \log_{10} \left(\frac{2S}{d} \right)$$

mit

h Höhe der Drähte über Grund (zwischen Drahtachse und Grund)

S Abstand der beiden Drähte (Drahtachse zu Drahtachse)

d Durchmesser der Drähte ($d \ll S, d \ll h$)

Alle Abmessungen müssen in gleichen Einheiten in die Formeln eingesetzt werden. In den Formeln für Z_{Bew} in [6] und [7] steht unter der Wurzel fälschlicherweise der Ausdruck $\frac{(2h)^2}{S}$.

Durch Erdbodeneinflüsse oder Isolierung des Drahtes können die tatsächlichen Wellenwiderstände von den errechneten Werten abweichen. Diese Abweichungen sind jedoch klein und haben keine merkbare Auswirkung auf die Funktion der Antenne.

4 Aufbau

4.1 Antenne

Beim Aufbau der Beverage-Antenne gibt es einige Freiheitsgrade:

Länge: Die Länge der Antenne sollte mindestens 1 λ betragen (zur Not $\frac{\lambda}{2}$), als optimale Längen hinsichtlich Vor-Rück-Verhältnis (V/R) sind nach [6]:

160m	80m	40m
82 - 92 m (0,5 λ)	43 - 47 m (0,5 λ)	45 - 48 m (1,0 λ)
165 - 178 m (1,0 λ)	85 - 92 m (1,0 λ)	67 - 72 m (1,5 λ)
250 - 270 m (1,5 λ)	126 - 136 m (1,5 λ)	87 - 92 m (2,0 λ)
332 - 352 m (2,0 λ)	169 - 179 m (2,0 λ)	135 - 140 m (3,0 λ)
410 - 430 m (2,5 λ)	212 - 222 m (2,5 λ)	172 - 180 m (4,0 λ)
	258 - 268 m (3,0 λ)	

Mit steigender Antennenlänge nimmt der Antennengewinn zu und der Öffnungswinkel ab. Ab einer bestimmten Länge jedoch nimmt der Antennengewinn der Beverage-Antenne wieder ab. Die Länge mit dem höchsten Antennengewinn hängt vom Verkürzungsfaktor der Beverage-Antenne ab, und kann wie folgt berechnet werden:

$$L/\lambda = \frac{1}{4 \cdot \left(\frac{1}{V} - 1\right)}$$

mit

L/λ auf λ normierte Länge, bei der der maximale Gewinn erzielt wird,
 V Verkürzungsfaktor der Beverage-Antenne.

Der Verkürzungsfaktor hängt hauptsächlich von der Aufbauhöhe und der Betriebsfrequenz ab. Er liegt im allgemeinen zwischen 0,8 und 0,9. Bei Aufbauhöhen kleiner 1,50 m kann er bis auf 0,75 abfallen. So ergibt sich z. B. für $V=0,9$ eine Länge von $2,25\lambda$.

Höhe über Grund: Die Höhe einer Beverage-Antenne wählt man im Normalfall zwischen 0,5m und 3m. Je niedriger die Antenne über Grund aufgebaut wird, desto besser werden steilstrahlende Signale unterdrückt, jedoch sind die Signale leiser als bei höher aufgebauten Antennen. In der Praxis hat sich eine Aufbauhöhe von etwa 2m als sehr gut erwiesen.

Drahtabstand: Den Abstand zwischen den beiden Beverage-Drähten kann man von einigen cm bis ca. 50-60 cm frei wählen. Wenn er zu klein ist, dann kann es schwierig sein, den Wellenwiderstand der Zweidrahtleitung über die Antennenlänge konstant zu halten, da dann Abstandstoleranzen größeren Einfluss darauf haben. Bei großem Drahtabstand wird die Zweidrahtleitung sehr hochohmig und die Herstellung der Übertrager wird schwieriger.

Drahtdurchmesser: Den Drahtdurchmesser kann man im Prinzip beliebig wählen. Um einen großen Durchhang der Drähte zu vermeiden, sollten sie unter Zug montiert werden. Deshalb ist aus mechanischen Gründen dickerer Draht (ca. $1,5 \text{ mm}^2$ - $2,5 \text{ mm}^2$) empfehlenswert.

Erdung: Die Beverage-Antenne braucht an beiden Enden einen Erdanschluss. Hierzu reicht im Normalfall ein Kreuzerder (Länge 1m) aus. Bei sehr schlechter Erdbodenleitfähigkeit kann man noch zusätzlich Radials auslegen. Diese sollten dann vom Erdungspunkt parallel unter dem Antennendraht verlaufen. Die Länge sollte keinesfalls über 10m liegen, sonst besteht die Gefahr, dass die Radials als Antenne wirken und Signale aus unerwünschten Richtungen einfangen. Zwei bis drei Radials reichen aus.

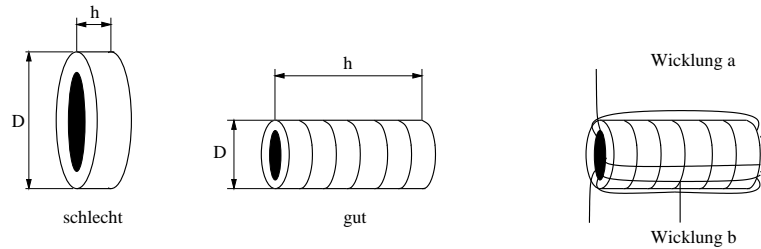
4.2 Übertrager

Wie in Abschnitt 3 bereits erklärt, werden für den Betrieb der Zweidraht-Beverage drei Übertrager benötigt.

- T1 transformiert vom Koaxkabel-Wellenwiderstand auf den Beverage-Wellenwiderstand
- T2: transformiert vom Koaxkabel-Wellenwiderstand auf den Wellenwiderstand der Zweidrahtleitung
- T3: transformiert vom Beverage-Wellenwiderstand auf den Wellenwiderstand der Zweidrahtleitung

Da auf beiden Antennendrähten sowohl das Signal aus der gewünschten Empfangsrichtung sowie Signale aus der (unerwünschten) Gegenrichtung vorhanden sind, und sich diese Signale nur dadurch unterscheiden, dass es sich in dem einen Fall um ein Gleichtaktsignal, im anderen Fall um ein Gegentaktsignal handelt, ist

die Gleichtaktunterdrückung der Übertrager sehr wichtig. Um keine zusätzlichen Reflektionen zu erhalten, sollte außerdem die Impedanztransformation einigermaßen genau auf den Wellenwiderstand des Koaxkabels erfolgen. Als Kernmaterial eignen sich am besten Ferrite mit einer Permeabilität μ_i von ca. 2000 bis 5000 (Epcos: Material N27, N30; Amidon/Fair-Rite: Material 73, 77). Als Kernform bietet sich der Ringkern, die Ferritperle oder der Doppellochkern wegen der günstigen Führung des Magnetfeldes an. Wichtig: Der Ringkern sollte ein möglichst großes $\frac{h}{D}$ -Verhältnis haben. Das minimiert die Streuinduktivität und erhöht die nutzbare Bandbreite des Übertragers.



Die Windungsverhältnisse der Übertrager werden wie folgt berechnet:

T1:

$$\frac{n_b}{n_a} = \sqrt{\frac{Z_{Bev}}{Z_{Koaax}}}$$

n_a : Windungszahl der Wicklung a,

n_b : Windungszahl der Wicklung b,

T2:

$$\frac{n_b}{n_a} = \sqrt{\frac{Z_{TL}}{Z_{Koaax}}}$$

Z_{Bev} : Wellenwiderstand der Beverage-Antenne,

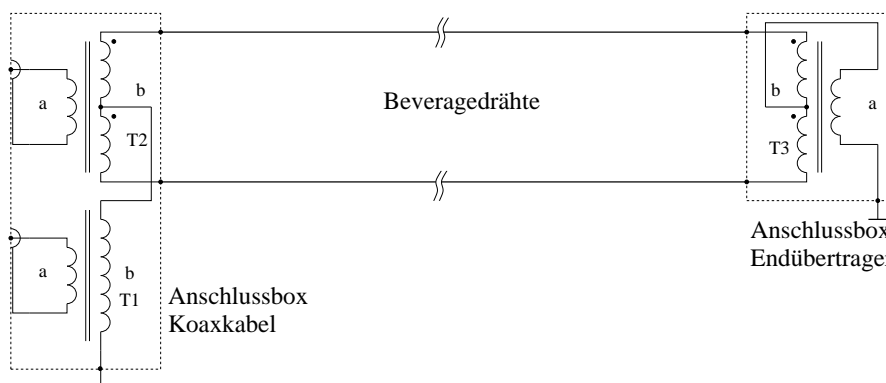
Z_{TL} : Wellenwiderstand der Zweidrahtleitung,

T3:

$$\frac{n_b}{n_a} = \sqrt{\frac{Z_{TL}}{Z_{Bev}}}$$

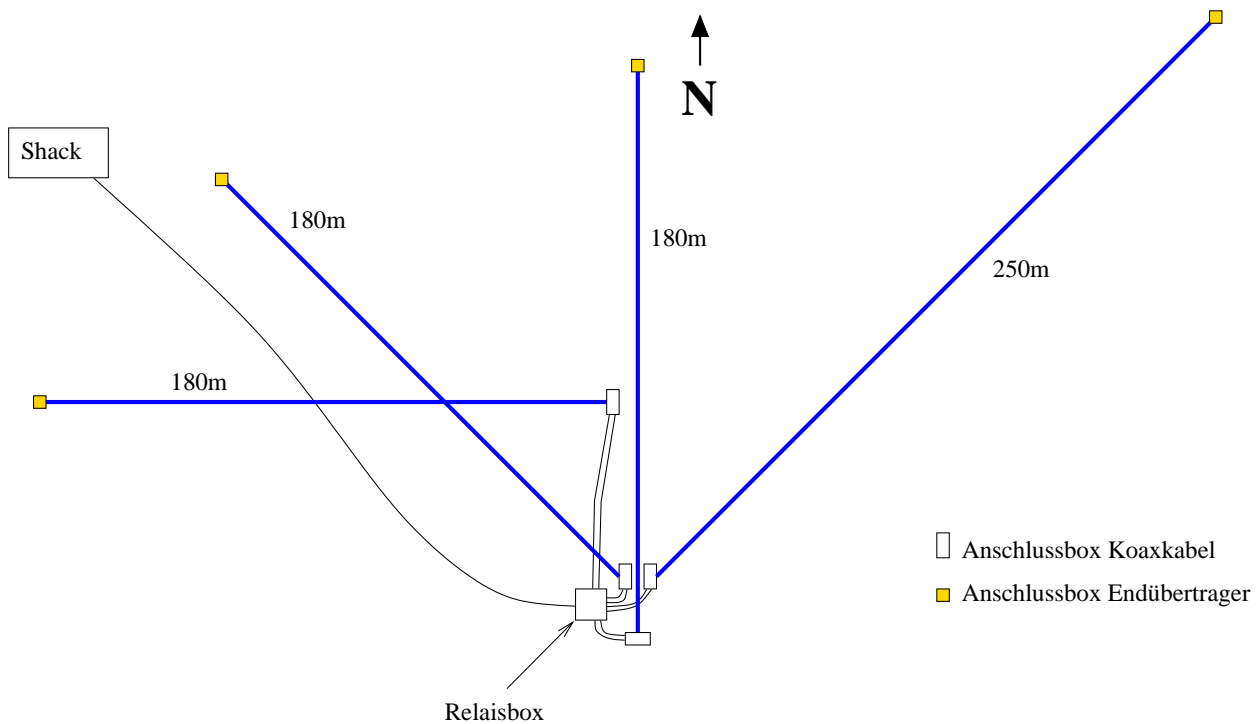
Z_{Koaax} : Wellenwiderstand des Koaxkabels.

Um eine gute Gleichtaktunterdrückung bei T2 und T3 zu erhalten, sollte bei diesen Übertragern jeweils die Wicklung b bifilar gewickelt werden. Aufgrund der bifilaren Wicklung sollte die Gesamtwindungsanzahl gerade sein. Für eine gute Übertragerwirkung sollte für die Induktivitäten der Teilwicklungen $\omega L \geq 5 \cdot Z$ gelten. Die Berechnung der Induktivität geschieht am einfachsten mit dem A_L -Wert nach Herstellerangaben. Werden x gleiche Kerne übereinandergelegt, so ist der resultierende A_L -Wert x-mal größer als der für einen einzelnen Kern. Für die gängigen Kerne findet man die A_L -Werte z.B. in [6] oder [8]. Bei Verwendung von zwei gestockten Ferritperlen FB73-6301 reichen für die 50 Ω -Seite zwei Windungen völlig aus, bei Verwendung von drei Ferritperlen läßt sich die Durchgangsdämpfung des Übertragers noch um einige zehntel dB verbessern. Folgende Skizze zeigt die Verschaltung der Übertrager untereinander und mit der Antenne:



4.3 Praxisbeispiel

Für das Contest-QTH sollte ein Beverage-System aufgebaut werden, mit dem man alle Richtungen abdecken kann. Hauptbetriebsbänder für die Beverage sind dort 160 m und 80 m. 40 m-Betrieb sollte möglich sein. Aufgrund der dort vorherrschenden Platzverhältnisse wurde folgender Aufbau gewählt:



Als Längen wurden 180 m und 250 m (wegen optimalem V/R-Verhältnis) gewählt. Richtung Nordost war mehr Platz vorhanden, deshalb ist diese Beverage länger. Die Kreuzung von Beverages ist zulässig, der Kreuzungswinkel sollte jedoch größer gleich 45 Grad sein und der Abstand zwischen beiden Antennen mindestens 30 cm betragen. Als Höhe der Stützpfeile wurde 2 m gewählt. Aufgrund des Drahtdurchgangs ergibt sich eine mittlere Aufbauhöhe von ca. 1,80 m. Der verfügbare Draht hatte einen Querschnitt von $2,5 \text{ mm}^2$ (Durchmesser 1,8 mm). Der Drahtabstand wurde auf 6 cm festgelegt. Damit ist: $h = 1800 \text{ mm}$, $S = 60 \text{ mm}$ und $d = 1,8 \text{ mm}$. Daraus ergibt sich:

$$Z_{Bev} = 69 \Omega \cdot \log_{10} \left[\frac{4 \cdot 1800}{1,8} \cdot \sqrt{1 + \left(\frac{2 \cdot 1800}{60} \right)^2} \right] \approx 371 \Omega \text{ und}$$

$$Z_{TL} = 276 \Omega \cdot \log_{10} \left(\frac{2 \cdot 60}{1,8} \right) \approx 503 \Omega$$

Mit diesen Werten können die Übertrager dimensioniert werden.

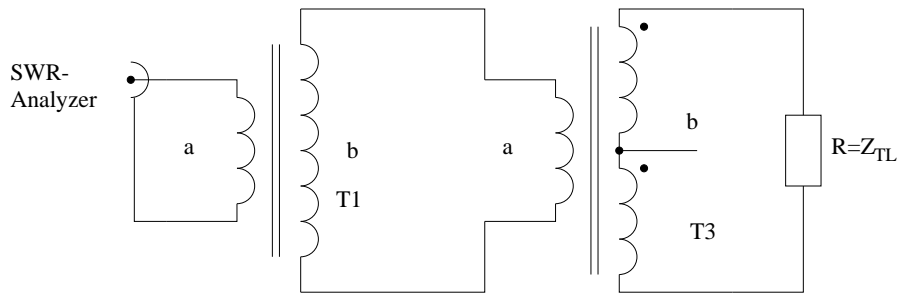
Für T1 ergibt sich ein Windungsverhältnis von: $\frac{n_b}{n_a} = \sqrt{\frac{371 \Omega}{50 \Omega}} \approx 2,72$. Mit $n_b = 11$ Windungen und $n_a = 4$ Windungen ergibt sich ein Windungsverhältnis von 2,75. Mit diesem Windungsverhältnis werden die 371Ω auf $371 \Omega \cdot \left(\frac{n_a}{n_b} \right)^2 = 49 \Omega$ (SWR=1,02) heruntertransformiert.

Für T2 ergibt sich: $\frac{n_b}{n_a} = \sqrt{\frac{503 \Omega}{50 \Omega}} \approx 3,17$. Mit $n_b = 6$ Windungen und $n_a = 2$ Windungen ergibt sich ein Windungsverhältnis von 3, d.h. die 503Ω der Zweidrahtleitung werden auf 56Ω (SWR=1,12) heruntertransformiert. Die 6 Windungen der Wicklung b werden als bifilare Wicklung mit je 3 Windungen realisiert.

Für T3 ergibt sich: $\frac{n_b}{n_a} = \sqrt{\frac{503 \Omega}{371 \Omega}} \approx 1,16$. Mit $n_b = 8$ Windungen und $n_a = 7$ Windungen ergibt sich ein Windungsverhältnis von 1,14, d.h. die 503Ω der Zweidrahtleitung werden auf 386Ω (SWR=1,04) heruntertransformiert. Als Kerne für alle Übertrager wurden jeweils drei gestockte Ferritperlen FB73-6301 eingesetzt.

Bei diesem Beispiel sind alle transformierten Werte sehr nahe am jeweiligen Zielwert. In der Praxis reicht es aber aus, wenn die transformierten Werte auf 20-30% an den Zielwert herankommen. Wie oben erwähnt, wird der Wellenwiderstand der Antenne und der Zweidrahtleitung aufgrund äußerer Einflüsse doch etwas anders sein als der theoretisch berechnete Wert.

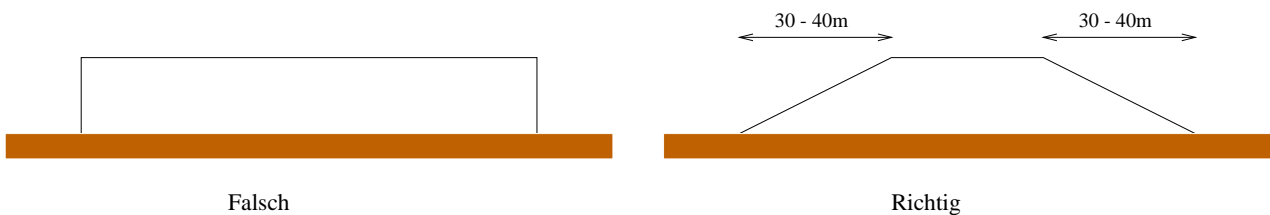
Es ist empfehlenswert, die Übertrager vor dem Einsatz zu testen. Das geht am einfachsten mit einem SWR-Analyzer. Bei T1 und T2 schließt man die Wicklung b mit einem Widerstand, der den Wert von Z_{Bev} bzw. Z_{TL} hat, ab, und Wicklung a an den SWR-Analyzer an. Das SWR sollte breitbandig zwischen 1,5 und 7 MHz unter 1,5 liegen. Um T3 zu testen, schaltet man einen *getesteten* Übertrager T1 vor.



Wer keinen SWR-Analyzer besitzt, kann die Übertrager auch mit einem Sendesignal kleiner Leistung (<5 W) testen. Es ist darauf zu achten, dass die Widerstände diese Leistung vertragen.

4.4 Praxistips

Beim Aufbau einer Zweidraht-Beverage-Antenne sollte man darauf achten, dass die Drähte möglichst geradlinig und in gleichem Abstand zum Boden verlaufen. Wichtig ist auch, dass die Drähte an beiden Beverage-Enden über eine Länge von ca. 30-40 m von der Aufbauhöhe zum Boden hin verlaufen. Damit können beide Anschlussboxen am Boden montiert werden, und es sind keine vertikalen Verbindungsdrähte notwendig. Diese vertikalen Verbindungsdrähte wirken nämlich sonst als "Mini"-Vertikals und verhindern ein gutes V/R-Verhältnis der Antenne.



Bei einer Pfostenhöhe von 2 m kann man die Stützpfähle nicht einfach mit dem Hammer in den Boden schlagen. Wer sich das Arbeiten mit einer Stehleiter ersparen will, der kann auch die Löcher für die Stützpfähle mit einem kleinen Erdbohrer bohren. Der Abstand der Stützpfähle sollte so gewählt werden, dass der Drahtdurchhang nicht zu groß wird. 20 m bis 30 m dürfte in den meisten Fällen genügen. Als Material für die Pfosten bietet sich Holz an, Es können auch metallische Stützen verwendet werden, dann müssen aber beide Drähte isoliert montiert werden. Hier eignen sich z.B. Weidezaunisolatoren sehr gut.

Um keinen zu großen Durchhang zu bekommen, müssen beide Drähte gespannt werden. Die Anschlusspunkte an der Einspeisung und des Endübertragers müssen auf jeden Fall zugentlastet sein. Die Zugentlastung läßt sich am einfachsten realisieren, indem man das Drahtende über einen Isolator zum Erdungspunkt hin abspannt.

5 Betriebserfahrungen und Ausblick

Das Beverage-System ist jetzt seit gut einem Jahr in Betrieb. Ursprünglich waren Anfang und Ende der Beverage nicht zum Boden hin abgeschrägt, und der Abstand der beiden Drähte zueinander war größer. Diese beiden Korrekturen wurden im Laufe des letzten Jahres durchgeführt, und damit konnte das V/R-Rückverhältnis von anfangs 10 dB auf etwa 20 dB verbessert werden. Das "Hörproblem" ist nun gelöst, dafür existiert nun ein "Sendeproblem": Man hört mit der Beverage viel mehr Stationen, als man erreichen kann. Jetzt muß die Sendeantenne wieder verbessert werden, hi.

Trotzdem: Was kann man an so einer Antenne noch verbessern? Bisher läßt sich die Antenne zwar auf 160 m-40 m einsetzen, jedoch jeweils nur auf einem Band gleichzeitig. Ziel ist es, die Steuerung soweit zu verfeinern, dass 40 m, 80 m und 160 m simultan die Beverage nutzen können, und zwar so, dass *jedes* Band *jede* Antennenrichtung unabhängig von den anderen Bändern auswählen kann. Dabei kann auf eine bereits vorhandene Schaltlogik [9] zurückgegriffen werden. Zusätzlich notwendig ist noch ein frequenzselektiver Abschlusswiderstand, der auf der Nutzfrequenz der Antenne die entsprechende Impedanz bietet, und auf den anderen Bändern hochohmig ist.

Aufgrund der zeitlichen Beschränkung ist es mir leider nicht möglich, auf sämtliche Details einzugehen, die es zum Thema Beverage-Antennen gibt. Wer tiefer in dieses Thema einsteigen will, dem empfehle ich die unten angegebenen Literaturstellen und Internetadressen. Die Azimuth- und Elevationsdiagramme der hier vorgestellten Beverage-Antenne wurden mit EZNEC simuliert. Wer selbst nachsimulieren will, findet die Dateien unter [12]

Zum Schluss möchte ich mich noch für die Unterstützung beim Aufbau der Antenne und Vorbereiten des Vortrags bedanken bei: Ingo, DJ5CL, Volker, DJ8QP, Hans, DK3YD, Jörg, DL4RDJ und Ben, DL6RAI.

Literatur

- [1] Tom Rauch, W8JI, "A practical Reversible Beverage", Communications Quarterly Spring 1997, S. 102-108.
- [2] Barry Boothe, W9UCW, "Weak-Signal Reception on 160 - Some Antenna Notes", QST June 1977, S. 35-39.
- [3] H.H. Beverage, ex-W2BML & Doug DeMaw, W1FB, "The Classic Beverage Antenna, Revisited", QST January 1982, S. 11-17.
- [4] ITT, "Reference Data for Radio Engineers", Sixth Edition, 1982, Howard Sams & Co. inc, S. 24-22
- [5] A.G. Lyner, "THE BEVERAGE ANTENNA: A PRACTICAL WAY OF ASSESSING THE RADIATION PATTERN USING OFF-AIR SIGNALS", 1991, BBC research department.
- [6] John Devoldere, ON4UN, Low- Band DXing, 1999, ARRL, Kapitel "Receive Antennas"
- [7] The ARRL Antenna Book, 16. Aufl., 1991, S.13-13ff.
- [8] Das BCC-Handbuch für den Contester, 2000, Bavarian Contest Club, Kapitel "Komponenten"
- [9] Bernhard Büttner, DL6RAI, "The BCC Beverage Box", CQ Contest October 1997, S. 17-21.
- [10] http://www.contesting.com/_topband
- [11] <http://www.geocities.com/CapeCanaveral/1138/beverage.html>
- [12] <http://www.bavarian-contest-club.de/projects/beverage>