

Magnetische Antennen

Magnetische Antennen sind fast so alt wie die Funktechnik. Der Einsatzbereich magnetischer Antennen ist außerordentlich vielseitig. Magnetische Antennen sind dafür bekannt, daß sie auch innerhalb eines Hauses, im Keller, ja sogar innerhalb von militärischen Schutzbauwerken aus Stahlbeton ohne nennenswerte Verluste eingesetzt werden können. Im Sendefall werden Ober- und Nebenwellen stark unterdrückt.

Magnetische Antennen sind besonders in den tieferen Frequenzbändern extrem selektiv, wodurch der Minderertrag beim Empfang durch ein sehr hohes S+N/N-Verhältnis weitgehend kompensiert wird. Schließlich kommt es nicht so sehr darauf an, wie stark ein Signal ist, sondern wie verständlich das Signal ist !

Sie sind deshalb auch bei diversen heimlichen und unheimlichen Nachrichtendiensten sehr beliebt.

Der ursprünglich angedachte Zweck war der getarnte militärische Einsatz solcher Antennen für den taktischen Funkverkehr bis 600 km Entfernung. Vor allem aber kommen sie überall dort zum Einsatz, wo die Errichtung größerer Antennen wegen beengter räumlicher Verhältnisse nicht möglich ist oder man als Funkamateure keine Antennengenehmigung erhält.

Die allgemein bekannten Antennen wie Lambda/2-Dipol, Langdrähte, Logarithmisch-Periodische Antennen, Reusen, Rhomben, Inverted-V-Antennen, Groundplanes, Yagis, Quad-Antennen, etc. sind rein elektrische Antennen, die nur auf die elektrischen Feldlinien des elektromagnetischen Feldes ansprechen.

Magnetische Antennen sprechen nur auf die magnetischen Feldlinien des elektromagnetischen Feldes an, weshalb sie magnetische Antennen genannt werden. Sie sind nicht, wie oft angenommen wird, magnetisch. Nur in unmittelbarer Nähe der Antenne ist ein starkes magnetisches Feld vorhanden, und bereits nach Lambda/4 Wellenlänge ist ein starkes elektrisches Feld vorhanden. Die magnetischen Feldlinien treten bei magnetischen Antennen senkrecht durch die Loop-Fläche hindurch. Für maximalen Empfang muß deshalb die Schmalseite der magnetischen Antenne in Richtung des Senders zeigen. Um praktisch gute Ergebnisse zu erzielen, sollte der Rahmenumfang mechanisch etwa Lambda/4 bis Lambda/32 der Betriebswellenlänge betragen. Mittels eines Drehkondensators kann ein Frequenzbereich von bis zu zweieinhalb Oktaven überstrichen werden. Der Wirkungsgrad der Antenne in den unteren Bändern ist dabei jedoch niedriger.

Magnetische Antennen sind die einzigen selektiv abstimmbaren Sendeantennen, die über einen sehr großen Frequenzbereich von mehr als einer Frequenzoktave ein VSWR von **kleiner 1,1 : 1** haben können, falls sie mechanisch und elektrisch sehr sorgfältig gefertigt werden.

Die magnetische Sende-Antenne hat einen sehr kleinen Strahlungswiderstand (0,15 – 2.300 mΩ) und besitzt eine hohe Güte, wodurch sie sehr schmalbandig ist. Im Empfangsfall wirkt sie daher wie ein zusätzlicher Vorkreis, wodurch der Empfänger entlastet wird und Kreuzmodulation stark vermindert wird. Im Sendefall werden Oberwellen aber auch Nebenwellen besser als -35 dB stark unterdrückt.

Folgende Forderungen sind für magnetische Antennen mit hohem Wirkungsgrad und für eine hohe Betriebssicherheit unabdingbar und werden von den „AMA“-Antennen nach *Christan Käferlein, DK5CZ* erfüllt:

Eine magnetische Antenne muß für den Betrieb im Freien wetterfest sein. Die „AMA“-Antennen werden wetterfest gebaut. Der Schutztopf für die Abstimmereinheit besteht aus glasverstärktem Kunststoff (GFK) und ist somit auch gegen UV-Strahlen resistent.

Um die Verluste klein zu halten, muß die Loop einen großen Rohr-Durchmesser haben. Bei den „AMA“-Antennen wird ein Aluminiumrohr mit 32 mm Durchmesser verwendet. Bei kleiner werdenden Rohrdurchmessern steigen die Verluste stark an.

Das Looprohr muß extrem stabil sein, damit bei Sturm keine Induktivitätsänderungen und Schwankungen der Resonanzfrequenz auftreten.

Bei den „AMA“-Antennen hat das Looprohr eine Wanddicke von 1,5 mm und ist mechanisch stabil befestigt. Der Abstimmkondensator muß ebenfalls mechanisch extrem stabil sein, mit dicken Trägerstangen und dicken Platten aufgebaut werden, damit bei den auftretenden hohen Strömen keine Erwärmung eintritt, also die Loop frequenzstabil und verlustarm bleibt. Bei den „AMA“-Antennen sind diese Trägerstangen 8 mm dick. Die Statorabstandsrollchen haben 12 mm und die Rotorabstandsrollchen 16 mm Durchmesser. Die Dicke der Abstandsrollchen ist von der gewünschten Spannungsfestigkeit des Kondensators abhängig.

Der Rotor des Abstimmkondensators muß kugelgelagert sein, damit die Resonanzfrequenz optimal eingestellt werden kann. Die Kontaktierung des Looprohres zum Abstimmkondensator muß großflächig sein. Bei den „AMA“-Antennen wird das Looprohr mittels Aluminiumklötzen, deren Rohraufnahme der Neigung des Loopradius angepaßt ist, kontaktiert. Es werden nur kreisförmige Einwindungsrahmen verwendet, weil hierdurch die größte Rahmenfläche und beste Symmetrie erreicht wird.

Die magnetische Antenne soll bei Leistungsüberschreitung nicht zerstört werden. Das Isoliermaterial des Abstimmkondensators muß deshalb hochspannungs-, kreisstrom- und lichtbogenfest sein.

Für die „AMA“-Antennen wurde dieses Material durch unzählige Zerstörungsversuche speziell ausgesucht.

Die angegebene Mindestbelastbarkeit für die „AMA“-Antennen gilt für alle Betriebsarten. Bei versehentlicher Überlastung gibt es lediglich Spannungsüberschläge zwischen den Platten des Abstimmkondensators. Die „AMA“-Antennen werden dadurch aber **nicht** zerstört.

Der Abstimmkondensator sollte mit einem kontinuierlich drehenden Motor, bei allen Witterungsverhältnissen drehbar sein. Versuche mit Schrittmotoren haben gezeigt, daß selbst zwischen 0,1 Grad-Schritten noch eine VSWR-Verbesserung möglich ist. Danach sind Schrittmotore für die Abstimmung von magnetischen Antennen weniger geeignet. Bei den „AMA“-Antennen wird ein robuster Gleichstrommotor verwendet, der über ein hochuntersetztes Getriebe den Abstimmkondensator kontinuierlich dreht, somit allen Wetterverhältnissen, also auch bei Regen, Schnee und Frost.

Die Frequenzabstimmung erfordert nur ein zweiadriges Kabel (z. B. Zwillingsslitze), das unauffällig und überall verlegt werden kann. Die „AMA“-Antennen erfassen mit nur zwei Modellen den gesamten Frequenzbereich von 1,75 MHz bis über 30 MHz. Dies ist z.B. mit einer Kombination von zwei „AMA“-Antennen auf einem Standrohr möglich.

Mit den neuen „AMA“-Antennen werden die bisher größten Frequenzbereiche erfaßt, z.B. überstreicht die AMA-13 lückenlos den Bereich von 3,5 MHz bis 21,5 MHz.

Vorteile der magnetischen Antennen

1. Magnetische Systeme benötigen keine Radials oder Abstimmspulen.
2. Kleinste Bauform bei hohem Wirkungsgrad.
3. Lückenlos durchstimmbare im angegebenen Frequenzbereich.
4. Präzisions-Fernabstimmung mit hoher Untersetzung.
5. Optimales Stehwellenverhältnis (VSWR).
6. Diese Antennen benötigen kein Anpaßgerät (Match-Box).
7. Für alle Transceiver geeignet.
8. Kein Leistungsverlust bei Transistorendstufen durch optimale Anpassung.
9. Diese Antenne ist sowohl für DX- als auch den Deutschland und Europaverkehr über die Flach- bzw. Steilstahlung bestens geeignet.
10. Die magnetische Antenne ist eine kleine leistungsstarke Antenne. Obwohl sie wesentlich kleiner als der Lambda/2-Dipol ist, beträgt der theoretische Gewinnunterschied der idealen Antenne bei freier Aufstellung nur -0,4 dB. Werden in der Praxis die magnetische Antenne und der horizontale Lambda/2-Dipol erdnah betrieben, so bringt eine magnetische Loop wesentlich bessere Rapporte, daher ist sie ideal für Notfunk-, Mobil-, Camping-, Fieldday- oder verdeckten Betrieb.
11. Durch ihre Achter-Charakteristik in der Horizontalebene bei senkrechter Aufstellung der Loop ist es möglich, störende Stationen auszublenden (Peilwirkung).
12. Sie hat wegen ihrer großen Einwindungsspule hoher Güte, kleine Transformationsverluste.
13. Bei erdnahe Aufstellung zeigt sie, im Vergleich zur Aufstellung in größerer Höhe, nur wenig Leistungseinbuße, da bei senkrechter Aufstellung der Loop die magnetischen Feldlinien parallel zum verlustbehafteten, elektrisch leitendem Erdboden verlaufen und durch diesen nur wenig beeinflusst werden.
14. Die magnetische Feldkomponente des elektromagnetischen Strahlungsfeldes dringt in die Räume eines Hauses tiefer ein, als es die elektrische Komponente vermag, sie kann mit Einschränkungen auch im Keller betrieben werden.
15. Zu viel Metall, zu viele Leitungen und leicht elektrisch leitende Wände verhindern teilweise das Eindringen der elektrischen Wellenkomponente ins Haus, dadurch ist die magnetische Antenne als Zimmer-, Balkon- und Dachbodenantenne besser geeignet als die elektrische Antenne.
16. Wegen ihrer extrem hohen Betriebsgüte ist sie sehr selektiv, und sorgt so für eine zusätzlich hohe Vorselektion (30 dB und mehr), so daß die Kreuzmodulationsmöglichkeit in der ersten Empfängerstufe wesentlich reduziert wird. Sie sorgt für einen klaren Empfang auch in den Abendstunden auf dem 40 m-Band.
17. Im Sendefall werden durch magnetische Antennen zusätzlich Ober- und Nebenwellen des Senders unterdrückt (z.B. 1. Oberwelle -35 dB), dadurch wesentlich weniger BCI/TVI.
18. Die Funkstation befindet sich oftmals in der Nähe eines Fernsehgerätes. Oberwellen der Zeilenfrequenz fallen im 15 kHz-Raster in sämtliche Kurzwellenbänder ein. Im Nahfeld der „Störquelle“ Fernseher, der seine Störenergie über elektrische Leitungen (elektrische Antennen also) abstrahlt, befindet sich die magnetische Antenne, doch diese nimmt die elektrischen Feldlinien des Störfeldes kaum auf, da sie vorwiegend auf magnetische Feldlinien anspricht.

19. Die Fernsehantenne befindet sich oftmals im Nahfeld der magnetischen Antenne. Im Nahfeld überwiegt auch im Sendefall die magnetische Feldkomponente des elektromagnetischen Strahlungsfeldes. Fernsehantennen sind jedoch elektrische Antennen, die auf das Nahfeld der magnetischen Antenne nur wenig ansprechen.
20. Magnetische Antennen sind symmetrische Systeme. Sie benötigen keinerlei elektrische Gegengewichte und verseuchen auch nicht das Erdreich und Hauswände mit unkontrollierten Konvektionsströmen, die für BCI und TVI sorgen.
21. Eine magnetische Antenne kann direkt geerdet werden, wodurch ein optimaler Blitzschutz und Überspannungsschutz gegeben ist.

Der Abstimmkondensator der magnetischen Antenne AMA nach DK5CZ

Der Abstimmkondensator ist das Herzstück einer magnetischen Antenne, weshalb für ihn andere Maßstäbe gelten als für Drehkondensatoren für andere Zwecke. Aus diesem Grund werden diese Abstimmkondensatoren in meinem Betrieb in Darmstadt selbst angefertigt. Durch speziellen Plattenschnitt können die AMA-Antennen teilweise über zwei Oktaven abgestimmt werden (z.B. 80 m - 15 m).

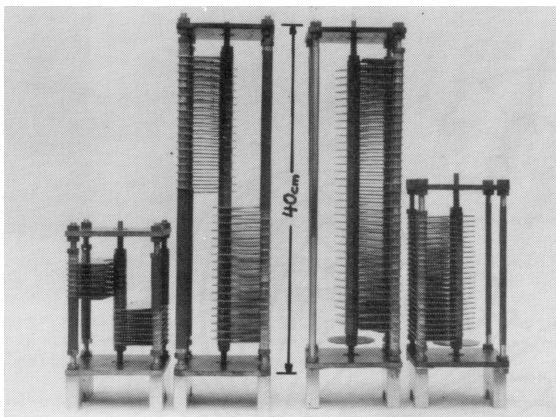
Für alle AMA-Abstimmkondensatoren nach DK5CZ gilt:

Kondensatorplatten, Abstandsrollchen, die Trägerstangen sowie die Loopkontaktierungen sind aus dem gleichen Material (Aluminium), dadurch entstehen keine zusätzlichen Verluste durch verschiedene Metallkontaktierungen. Die Kondensatorplatten werden handentgratet, dadurch keine scharfen Kanten.

Bei scharfkantigen Platten tritt der „Spritzeneffekt“ ein, wodurch der Kondensator weniger spannungsfest ist, also im Einsatz in einer magnetischen Antenne diese weniger leistungsfest ist. Durch Verwendung von 8 mm extradicken Trägerstangen, 1,2 mm dicken Kondensatorplatten und 12 mm bzw. 16 mm dicken Abstandsrollchen ist der Abstimmkondensator sehr stabil und hat nur kleinste Übergangswiderstände. Die Rotorachse ist kugelgelagert, was wichtig für eine hohe Abstimmgenauigkeit ist.

Größerer Kapazitätsbereich als herkömmliche Drehkondensatoren. Die Trägerplatten sind lichtbogen- und hochspannungskriechstromfest und wurden durch viele Zerstörungsversuche speziell ausgesucht.

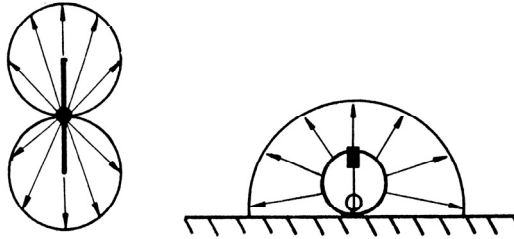
Der Antrieb des Abstimmkondensators erfolgt mittels eines robusten Gleichstrommotors über ein hochuntersetzendes Getriebe. Durch die kontinuierliche Abstimmung wird gewährleistet, daß alle Winkelgrade erfaßt werden und das bestmögliche VSWR eingestellt werden kann.



Verschiedene Abstimmkondensatoren der magnetischen Antennen AMA

Bei senkrechter Montage hat die magnetische Antenne eine Achtercharakteristik in der Horizontalebene, wodurch sich **flach** einfallende Störsignale ausblenden lassen. Das Vertikaldiagramm zeigt Rundumstrahlung, wodurch diese Antenne bestens für Nah- und Fernverbindungen geeignet ist.

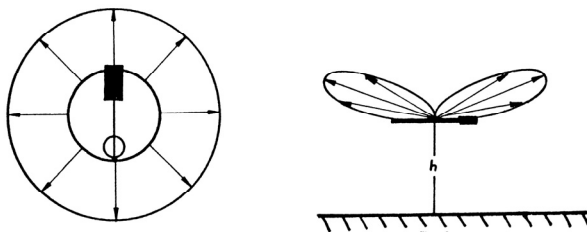
In diesem Anwendungsfall zeigt sie die **Vertikalpolarisation**.



Strahlungseigenschaften bei vertikaler Montage

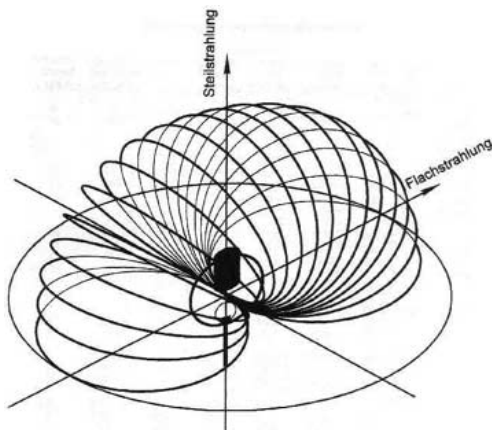
Bei waagerechter Montage hat die magnetische Antenne Rundumstrahlung in der Horizontalebene. Der Abstrahlwinkel in der Vertikalebene ist aber von der Aufbauhöhe (h) über Grund abhängig. Die Aufbauhöhe sollte bei waagerechter Montage **mindestens** $\lambda/2$ betragen. Senkrecht nach oben und unten zeigt die magnetische Antenne in diesem Fall ihre Minima. Dadurch und durch ihre Polarisation ist die Dämpfung durch den verlustbehafteten Boden minimal. Durch die stark verminderte Steilstrahlung ist diese Variante eine ausgezeichnete DX-Antenne.

In diesem Anwendungsfall zeigt sie **Horizontalpolarisation**.



$$h \geq \lambda/2 \leq \lambda$$

Strahlungseigenschaften bei horizontaler Montage



Räumliches Antennendiagramm bei vertikaler Montage

Das hier abgebildete Antennendiagramm zeigt deutlich, daß die magnetische Antenne bei vertikaler Aufstellung alle Erhebungswinkel erfaßt. Diese Aufbauweise ist ideal für den DX-Verkehr über Flachstrahlung sowie für den Kurz- und Mittelstreckenverkehr über Steilstahlung.

Da die magnetische Antenne über Steilstahlung kaum Richtwirkung zeigt, ist ein Drehen für kurze und mittlere Entfernungen gar nicht nötig (ausgenommen ist die Bodenwelle).

Stellt man die Antenne im europäischen Raum mit den Schmalseiten in Ost-West Richtung so hat man die größten Kontinente in den Hauptstrahlrichtungen und spart einen Rotor. In diesem Fall sind Afrika und der pazifische Raum benachteiligt. Soll jedes DX Land optimal erreicht werden, kann man mittels Rotor die Antenne ausrichten.

Einige Betrachtungen zum Gewinn von Kurzwellenantennen

Da es bei Gewinnangaben internationaler Antennenhersteller oft nicht ersichtlich ist, worauf sich angegebene Gewinne beziehen und deshalb Verwirrung herrscht, sollte man folgendes wissen, um Gewinnangaben richtig verstehen und interpretieren zu können:

Gewinnangaben sollen in dezi Bel /dB) bezogen auf eine Vergleichsantenne gemacht werden.

Was ist das dezi Bel (dB)?

Es ist eine Maßeinheit, nämlich der Logarithmus aus dem Verhältnis z.B. zweier Leistungen P_1 und P_2 mit zehn multipliziert. Sinn des Ganzen ist wohl, überschaubare Zahlen für Berechnungen und Vergleiche zu erhalten und die Multiplikation auf die Addition zurückzuführen.

So kann man dB-Werte einfach addieren oder subtrahieren und erspart sich im Leistungsvergleich die Multiplikation bzw. Division.

z.B. $P_1 = 100 \text{ W}$, $P_2 = 50 \text{ W}$

Das Verhältnis beider Leistungen in dB ausgedrückt lautet dann:

$$g \text{ (dB)} = 10 \times \lg \frac{P_1}{P_2} = 10 \times \lg \frac{100 \text{ W}}{50 \text{ W}} = 3 \text{ dB}$$

d. h. doppelte Leistung entspricht einem Gewinn von +3 dB,
halbe Leistung entspricht dann einem Gewinn von -3 dB.

Die Angabe dB drückt also nur ein Verhältnis aus, gibt Auskunft darüber, wieviel besser oder schlechter „Etwas“ ist und sagt nichts darüber aus, wie gut oder schlecht „Etwas“ an sich ist. Daraus folgt, daß eine Gewinnangabe einer Antenne nur in dB nichtssagend ist, solange kein Bezug angegeben wird!

So kann man sagen, daß die Kurzwellenantenne vom Typ „Weltwunder“ einen Gewinn von 100 dB hat. Niemand kann daran zweifeln, solange keine Bezugsantenne angegeben ist.

Gewinnangaben ohne Angabe einer Bezugsantenne sind also für Vergleiche unbrauchbar, weil sich diese Gewinnangaben auf verschiedene Bezugsantennen beziehen können, die ja nicht bekannt sind, und deshalb keine Umrechnung erfolgen kann.

Um aber Vergleiche anstellen zu können, hat man verschiedene Bezugsantennen definiert.

Für den Kurzwellenbereich sind die beiden folgenden Bezugsantennen am gebräuchlichsten:

1. Isotrop-Strahler = punktförmiger Strahler mit kugelförmiger Strahlungscharakteristik.
Gewinn: $g_i = 0$ dB (absoluter Bezug).
2. Halbwellen-Dipol = verlustloser Strahler mit sinusförmiger Stromverteilung.
Er hat eine Richtwirkung, so daß ein Gewinn von 2,15 dB gegenüber dem Isotropstrahler entsteht.
Gewinn: $g_d = g_i + 2,15$ dB

Wenn man nun Gewinnangaben macht, so kann man sagen:

1. Die Antenne „A“ hat einen Gewinn von 10 dB. Das sagt gar nichts aus.
2. Die Antenne „X“ hat einen Gewinn von 5,15 dBi, d. h. Antenne „X“ ist 5,15 dB besser als der Isotropstrahler.
3. Die Antenne „Y“ hat einen Gewinn von 3 dBd, d. h. die Antenne „Y“ ist 3 dB besser als der Bezugsdipol.

Beide Antenne „X“ und „Y“ sind aber gleichwertig!

Wenn also seriöse Gewinnangaben mit Hinweis auf eine Bezugsantenne gegeben werden, (z.B. dBi oder dBd) so kann man unter Berücksichtigung der Differenz der Bezugsantennen auch die so angegebenen Antennen vergleichen.

Die ganze Gewinnbetrachtung wird aber noch viel schlimmer.

(immer noch theoretische Betrachtung)

Wenn für eine Antenne eine Gewinnangabe gemacht wird, so bezieht sich diese auf die Hauptkeule bzw. Hauptkeulen. Verschiedene Antennensysteme (Dipole, Beams, Groundplanes, magnetische Antennen) haben aber verschiedene Strahlungseigenschaften, die bei Vergleichen berücksichtigt werden müssen.

Ein äußerst wichtiger Faktor ist die Antennenhöhe über Grund und die Bodenleitfähigkeit. Bei elektrischen Antennen sind die Strahlungseigenschaften sehr von diesen Faktoren abhängig. Das trifft bei der vertikal betriebenen magnetischen Antenne weniger zu.

Ein horizontaler $\lambda/2$ Dipol weist bis zu einer Höhe von $\lambda/4$ nur Steilstrahlung auf. In einer Höhe von $\lambda/2$ ist die Steilstrahlung sehr stark unterdrückt und die Leistung wird in Keulen von etwa 30 Grad Erhebungswinkel abgestrahlt. Je höher der $\lambda/2$ Dipol nun angebracht wird, desto mehr Keulen mit verschiedenen Erhebungswinkeln werden erzeugt.

Hier zeigt sich, daß ein Antennensystem noch nicht einmal mit sich selbst verglichen werden kann ohne die Aufbauhöhen zu berücksichtigen.

Man sieht bis jetzt, daß schon die rein theoretischen Vergleiche nicht einfach sind, wenn man nicht die höhenabhängigen Richtfaktoren der verschiedenen Antennen und die Bodenverhältnisse kennt und in die Betrachtung mit einbeziehen kann.

Ich finde, daß diese theoretischen Betrachtungen für die Praxis nicht sinnvoll sind, weil man Äpfel mit Birnen vergleicht.

Jetzt wird es ganz schlimm, aber das ist die Praxis

Besonders unter amateurmäßigen Bedingungen sind unsere Kurzwellenantennen viel zu nah am Erdboden, um noch mit dem $\lambda/2$ Freiraum-Bezugsdipol realistisch verglichen werden zu können.

Unterschiedliche Antennensysteme werden auch unterschiedlich vom verlustbehafteten Boden und dem Umfeld der Antenne (Häuser, Metaldächer, Bäume etc.) beeinflusst.

Aus diesem Grund ist es auch nicht möglich, theoretische Gewinnangaben unterschiedlicher Antennensysteme praktisch miteinander zu vergleichen, ohne zu berücksichtigen, wie die verschiedenen Antennensysteme von der Umwelt beeinflusst werden.

Diese sehr komplizierten, rechnerisch schwer in den Griff zu bekommenden Zusammenhänge sollen nun an einem $\lambda/2$ Dipol im Vergleich zu einer magnetischen Antenne betrachtet werden. Alle Vergleiche, Tests und Messungen beziehen sich auf mein Grundstück in 10 m Höhe über Grund (falls nicht anders angegeben). Wahrscheinlich war es die menschliche Neugierde, die mich veranlaßt hat, magnetische Antennen zu bauen, die, rein theoretisch betrachtet nicht viel Erfolg versprechen, weil der Rahmenumfang nur noch $1/16$ der Betriebswellenlänge ist und somit der Strahlungswiderstand auf $3 \text{ m}\Omega$ gesunken ist. Betrachtet man die Verlustwiderstände in der Antenne, so kann man auf einen kleinen Wirkungsgrad schließen.

Beeindruckt durch Studium der Antennenliteratur, baute ich, DK5CZ, eine Delta-Loop (vertikale Ganzwellenschleife) für das 80 m-Band, Spitze nach unten, oberer Schenkel 15 m über Grund, oben eingespeist, also vertikal polarisiert, weiterhin eine Lazy-Loop (horizontale Ganzwellenschleife), und hatte meinen 80 m $\lambda/2$ Dipol zum Vergleich.

Da in den Wintermonaten wegen geringeren QRN's wesentlich bessere Bedingungen für die tiefen Frequenzen vorhanden sind, habe ich häufig im 80 m-Band gearbeitet und folgende Ergebnisse erhalten:

Die Delta-Loop, welche theoretisch flach strahlt, also theoretisch gut für DX ist, war die schlechteste Antenne, die am meisten Störungen (man-made-noise) aufnahm. Die Lazy-Loop, für das 80 m-Band nur $\lambda/8$ hoch, also theoretisch Steilstrahlung, war im Mittel 10 dB besser als die theoretisch favorisierte Delta-Loop. Die AMA-5 mit nur 1,7 m Durchmesser war gegenüber dem Dipol meist eine S-Stufe besser.

Hier sieht man deutlich, daß bei Kurzwellen, besonders bei den tieferen Frequenzen, theoretische Betrachtungen für praktische Vergleiche völlig sinnlos sind, weil die Umgebungseinflüsse die Leistungsfähigkeit eines Antennensystems bestimmen. Wenn die Delta-Loop freistehend aufgebaut gewesen wäre, dann wäre sie für DX-Betrieb dem Dipol sicher überlegen gewesen. Aber das ist die Praxis mit der wir leben müssen.

Monatelange praktische Versuche und Messungen haben gezeigt, daß die magnetische Antenne mit einem Rahmenumfang von $1/4$ der Betriebswellenlänge, dem $\lambda/2$ Dipol in gleicher geringer Höhe, also unter gleichen Umweltbedingungen, überlegen ist, umso mehr, je tiefer die Frequenz ist.

Aufgrund der guten Resultate, die ich selbst mit magnetischen Antennen mit einem Rahmenumfang von nur $1/16$ der Betriebswellenlänge gemacht habe, baute ich diese Antenne noch „eine Nummer“ kleiner. Daraus entstanden die AMA-Antennen vom Typ 11, 12 und 13.

Diese Antennen haben bei der jeweils tiefsten Frequenz nur noch einen Rahmenumfang von $1/12$ bis $1/32$ der Betriebswellenlänge und wurden für extrem beengte Platzverhältnisse entwickelt. Im oberen Frequenzbereich sind diese Antennen mit einem $\lambda/2$ Dipol im praktischen Betrieb vergleichbar. Im tiefsten Frequenzbereich sind diese Antennen mit Gewinnabstrich von zwei bis drei S-Stufen noch gute Alternativen. Diese Antennen sind gerade bei den tiefsten Frequenzen extrem selektiv, wodurch der Mindergewinn beim Empfang durch ein hohes S+N/N-Verhältnis weitgehend kompensiert wird. Schließlich kommt es nicht so sehr darauf an, wie stark ein Signal ist, sondern wie verständlich ein Signal ist!

Jetzt kommt die Arbeit und weitere Erkenntnisse

Aufgrund der vorangegangenen praktischen Versuche und Ergebnisse wurden Meß- und Rechenverfahren entwickelt, welche Aufschluß geben über die Zusammenhänge des Lambda/2 Freiraum-Bezugsdipols und des Lambda/2 Dipols unter wirklichen, praktischen Bedingungen, also unter Berücksichtigung aller Umweltverluste. Ein wirklich brauchbarer praktischer Vergleich einer Antenne zu einem Bezugsdipol ist nämlich nur dann sinnvoll, wenn der Bezugsdipol auch in der Praxis mit Umweltverlusten betrachtet und nicht idealisiert gesehen wird.

Der Lambda/2 Dipol für 3,5 MHz in 10 m Höhe, also Lambda/8 hoch, hat an meinem Standort (DK5CZ) in Darmstadt, Weinbergstraße 5, einen theoretischen Gewinn von ca. -13 dBi, also gegenüber einem theoretischen Lambda/2 Bezugsdipol im Freiraum.

Die magnetische Antenne AMA-5 im ungünstigsten Frequenzbereich, d.h. der Rahmenumfang beträgt nur noch 1/16 der Betriebswellenlänge, weist gegenüber dem theoretischen Lambda/2 Bezugsdipol im Freiraum einen Gewinn von ca. -15 dB auf. **Das ist ein Unterschied in der Praxis von nur noch 2 dB!**

Die AMA-5 mit nur 1,7 m Rahmendurchmesser war im praktischen Betrieb dem 80 m Dipol mit einer Länge von 39 m trotzdem überlegen.

Die Erklärung dafür ist, daß der Dipol, bedingt durch seine Strahlungskeulen, nur in einige Gebiete gut strahlt, während die AMA alle Erhebungswinkel erfaßt und somit flächendeckend strahlt.

Eine AMA-Antenne, vertikal aufgebaut, erfaßt **alle** Erhebungswinkel und erreicht somit auch, unabhängig von der Höhe der reflektierenden Ionosphäre, alle Punkte der Erde, der Dipol ebenso wie Richtantennen, Beam, Quad etc. erreichen nur einige Gebiete gut (je nach Abstrahlungswinkel und Ionosphärenhops).

Magnetische Antennen mit Gamma-Anpassung

Während die magnetischen Antennen nach Christian Käferlein, DK5CZ, induktiv gekoppelt werden, gibt es auch die Möglichkeit der Kopplung mittels Gamma-Anpassung. Sie wird auch bei *Rothammel* beschrieben.

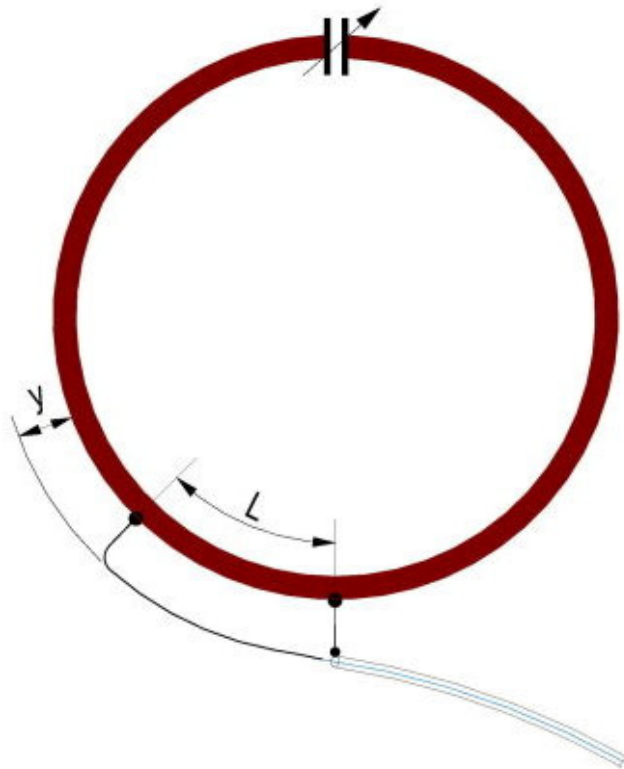
Der Vorteil der Gammaanpassung ist eine mechanisch robuste Lösung, die in der Bauphase jedoch recht aufwendig sein kann. Dies ist nichts für nur einen Bastelnachmittag.

Die Findung des Gamma-Punktes „L“ sowie des Abstandes des Hart-Kupfervolldrahtes „y“ von der Loop erfordern umfangreiche Tests.

Ein nichtparalleler Verlauf des Hart-Kupfervolldrahtes zur Loop ist ein recht brauchbarer Lösungsansatz, um die Fußpunktimpedanz über den gesamten Arbeitsbereich der Antenne etwa konstant bei 50 Ohm zu halten. Diese ist besonders bei Mehrbandantennen zu empfehlen.

Ist der Gamma-Punkt gefunden, kann der Hart-Kupfervolldraht eingelötet werden. Der örtliche Sanitärbetrieb hilft dabei sicher gern.

Bisher hat man angenommen, daß die Stromverteilung in einer magnetischen Loop an allen Stellen praktisch konstant, d.h. gleich groß ist. Bei konventioneller Betrachtung der Antenne liegen alle ohmschen Verlustwiderstände $R = R_V + R_S$ in Reihe. R_V sind hier Verlustwiderstände wie zum Beispiel die ohmschen und elektrischen (Skineffekt) Verluste des Leitermaterials, fehlerhafte Kontakte und der Erdwiderstand. R_S ist der Strahlungswiderstand, ein "gedachter" Wirkwiderstand. Versorgt man jetzt die Sendeantenne über einen HF-Generator (Sender) mit Energie und liegen alle Wirk- und Blindwiderstände in Reihe, so ist der Strom nach dem Ohmschen Gesetz in allen Widerständen gleich groß. Nun haben *Prof. Mike Underhill* (G3LHZ) und *M. J. Blewett* (G4VRN) 1997 aber festgestellt und berichtet, daß die Stromverteilung in einer magnetischen Antenne nicht an allen Stellen konstant ist. Also ist die bisherige Annahme, daß der Strom in allen Widerständen gleich groß ist, vermutlich nicht länger haltbar. Vermutlich ist die Stromverteilung "ähnlich" wie bei Dipolen sinusförmig.



Schematische Darstellung der Gamma-Anpassung einer magnetischen Antenne

Der Loopumfang U kann zwischen $\lambda/4$ und $\lambda/32$ zunächst frei gewählt werden. Mittels Bemessungssoftware können der Drehkondensator sowie alle Spannungen und Stromstärken an der Loop optimiert werden.

Die Software stelle ich, DH6ARM, jederzeit gern per eMail auf Anfrage zur Verfügung.

Für eine magnetische Loop empfehle ich Kupferrohr 42 x 1,5 mm (ca. 1,70 kg/m) nach EN 1057.

Es ist mechanisch ausreichend stabil und bietet optimale elektrische Eigenschaften in der Abstrahlung.

Der Preis für die 5 m Stange liegt bei etwas 115,00 Euro.

Der Hart-Kupfervolldraht für die Gamma-Anpassung sollte einen Durchmesser von etwa 3 - 6 mm haben.

$$L = 1/10 * U \quad U = \text{Umfang der Loop} \quad U = 3,14 * D \quad D = U / 3,14$$

$$D = \text{Durchmesser der Loop}$$

$$y = \lambda/200$$

Dieser Richtwert y kann durch probieren optimiert werden.

In der Praxis wird der Anschluß zwischen Kabel und Antenne natürlich über eine PL- oder N- Anschlußbuchse gelöst.

Zu beachtende Praxiserfahrungen für eine hoch effektive Loop:

- Der Betriebsbereich einer Mehrbandloop sollte möglichst 1 (eine) Frequenzoktave (Faktor 2) nicht überschreiten, weil sonst der Wirkungsgrad auf dem tieferen Bändern abnimmt.
- Bei einer Mehrbandloop sollte man einen Abstimmkondensator mit einer möglichst kleinen Anfangskapazität verwenden.

Wie wirkt sich der Wirkungsgrad im praktischen Funkbetrieb aus?

Ich möchte auch in diesem Zusammenhang der Meinung widersprechen, DX im Amateurfunk sei nur mit QRO und Antennen mit sehr hohem Wirkungsgrad möglich. Welche Folgen ein kleinerer Wirkungsgrad im Vergleich zu einer idealen Antenne von theoretisch 100 % Wirkungsgrad im praktischen Funkbetrieb hat, ist aus folgender Tabelle ersichtlich.

Hier ist für verschiedene Strahlungswirkungsgrade η die zu erwartende Abnahme der S-Meter-Anzeige (S 9 = 100 μ V EMK oder 50 μ V an 50 Ω) im Vergleich zum Idealfall angegeben. Quelle: Janzen: Kurze Antennen, 1986)

Strahlungs-Wirkungsgrad η der Antenne	0,1%	0,5%	1%	5%	10%	25%	50%	80%	100%
Abnahme der S-Meter-Anzeige in S-Punkten	5	3,8	3,3	2,2	1,6	1	0,5	0,2	0

Die relativ geringe Abnahme der S-Meter-Anzeige läßt sich im praktischen Funkbetrieb bei störungsfreien Bedingungen (kein QSB, QRN und QRM) nachweisen. Eine Antenne mit einem Strahlungswirkungsgrad von 80 % führt gegenüber der idealen Antenne mit dem Strahlungswirkungsgrad $\eta = 100\%$ zu einer Abnahme der S-Meter-Anzeige von lediglich 0,2 S-Stufen.

Welche Berechtigung haben da Amateurfunk mit Idealantennen oder QRO? Maximale Ausgangsleistungen sollten nicht der Trend im Amateurfunk sein. Die Tabelle zeigt deutlich, daß der Strahlungswirkungsgrad der Antenne nicht die so entscheidende Rolle spielt, die ihm oft zugesprochen wird, denn auch Antennen mit kleinerem Wirkungsgrad können für DX eingesetzt werden.

Was macht es bei CW aus, ob die Gegenstation das Signal mit S9 (Antenne mit 100 % Wirkungsgrad) oder nur ca. S7 (Antenne mit nur 10 % Wirkungsgrad) hört? Da haben oft die unterschiedlichen Auswirkungen von Fading einen weit höheren Einfluß im Funkverkehr als der Wirkungsgrad der Antenne.

Von der Sendeleistung her betrachtet, ist das noch wesentlich interessanter. Wenn eine Station mit 100 W Sendeleistung und einer idealen Antenne ($\eta = 100\%$) ein Signal von S9 erzeugt und man dann die Leistung um den Faktor 4 (= 6 dB Leistung) als auf 25 Watt reduziert, wird die gleiche Station **nur** um 1 S-Stufe leiser.

Optimale Strahlerlängen für magnetische Rahmenantennen

Man muß bei den Strahlerlängen (Loopumfang) zwischen magnetischen Mono- und Mehrbandantennen unterscheiden. Für 160 m, 80 m oder 40 m wird man wegen des höheren Wirkungsgrades in der Regel eine Monobandantenne bevorzugen. Mehrbandantennen sind in folgenden Kombinationen sinnvoll:

160 m – 80 m; 80 m – 40 m; 40 m – 30 m – 20 m; 30 m – 20 m – 17 m – 15 m – 12 m; 20 m – 17 m – 15 m – 12 m – 10 m.

Strahlerlängen (Loopumfang) magnetischer **Monobandantennen**:

- Bei magnetischen **Monobandantennen** gilt die Voraussetzung, daß sie **maximal** $\frac{1}{4}$ Lambda groß sein dürfen. (Loopumfang)
- **Vorteil:** sehr hoher Wirkungsgrad von mehr als 95 %.
- **Nachteil:** mechanisch sehr groß und relativ unhandlich.

Optimierte Strahlerlängen magnetischer **Mehrbandantennen**:

Für die Strahlerlänge (Loopumfang) von magnetischen Mehrbandantennen gilt:

$$300.000 / 4 = 75.000 - 37 \% = 47.250.$$

Der optimalen Loopumfang beträgt 47.250 dividiert durch die niedrigste Antennen-Betriebsfrequenz in kHz.

Der Durchmesser der Loop ergibt sich aus dem Loopumfang dividiert durch π .

Diese Formel ist **praxiserprobt** und gewährleistet eine optimale Leistungsfähigkeit, vorausgesetzt der Frequenzbereich der Mehrbandantenne beträgt nicht viel mehr als eine (1) Frequenzoktave.

Ausblick

Die üblichen Vergleiche mit dem verlustlosen Lambda/2 Freiraumdipol haben in der Praxis keine Aussagekraft. Vergleiche sind nur dann sinnvoll, wenn die Bezugsantenne am gleichen Standort, also unter gleichen Umweltbedingungen betrachtet werden kann wie die zu beurteilende Vergleichsantenne.

Maßgeschneiderte Computerprogramme in Verbindung mit eigenen Meßergebnissen ergaben Hunderte von Resultaten, deren exakte Analyse es zuläßt, den Gewinn einer Antenne auf der Erde, mit allen Verlusten und Umwelteinflüssen und unter Berücksichtigung der höhenabhängigen Richtfaktoren, in guter Näherung mit dem Lambda/2 verlustfreien Bezugsdipol im Freiraum vergleichen zu können.

Erst durch dieses Verfahren konnte die magnetische Antenne auch mit dem praktischen Lambda/2-Dipol rechnerisch verglichen werden. Die Ergebnisse bewiesen, was praktische Versuche und tausende QSO's schon lange gezeigt hatten.

Die magnetische Antenne ist im Kurzwellenbereich, besonders bei den tiefen Frequenzen, elektrischen Antennen in niedriger Aufbauhöhe unter Berücksichtigung aller Umweltfaktoren und Strahlungsverhalten ebenbürtig und oft sogar überlegen.

Wollte man z.B. eine Quad für das 80 m-Band bauen, so müßten die Spreizer ca. 32 m lang sein. Diese Riesenquad hätte einen theoretischen Gewinn gegenüber der Loop, der aber im erdnahen Betrieb wieder stark schrumpft. Es sind also nicht nur die Größe einer Antenne, sondern insbesondere auch die Betriebsbedingungen (Aufbau) zu beachten.

Vertikal polarisierte magnetische Antennen sind sehr brauchbare Antennen, vor allem für sogenannte "antennengeschädigte" Funkamateure. Sie werden in Zukunft bei der zunehmenden Bebauungsdichte in den Städten und Platzmangel für größere Antennengebilde immer mehr an Bedeutung gewinnen.

Auch Verunsicherungen der Bevölkerung durch diverse Massenmedien, jede Sendeantenne sei gesundheitsgefährdend, wird Funkamateure dazu bewegen, sich immer häufiger auf den verdeckten Betrieb kleiner Antennen zurückzuziehen.

Magnetische Antennen sind keine Wunderantennen, sind aber in vielen Fällen der einzige Ausweg QRV zu sein und dazu noch uneingeschränkt weltweit DX zu machen, vor allem mit kleinen Leistungen in den Sendarten CW und PSK.

Magnetische Antennensysteme **können** nahezu beliebig klein aufgebaut werden, wenn darauf geachtet wird, daß die Antennenverluste (Übergangswiderstände, Skineffektverluste etc.) sehr sehr klein in Bezug zum Strahlungswiderstand bleiben.

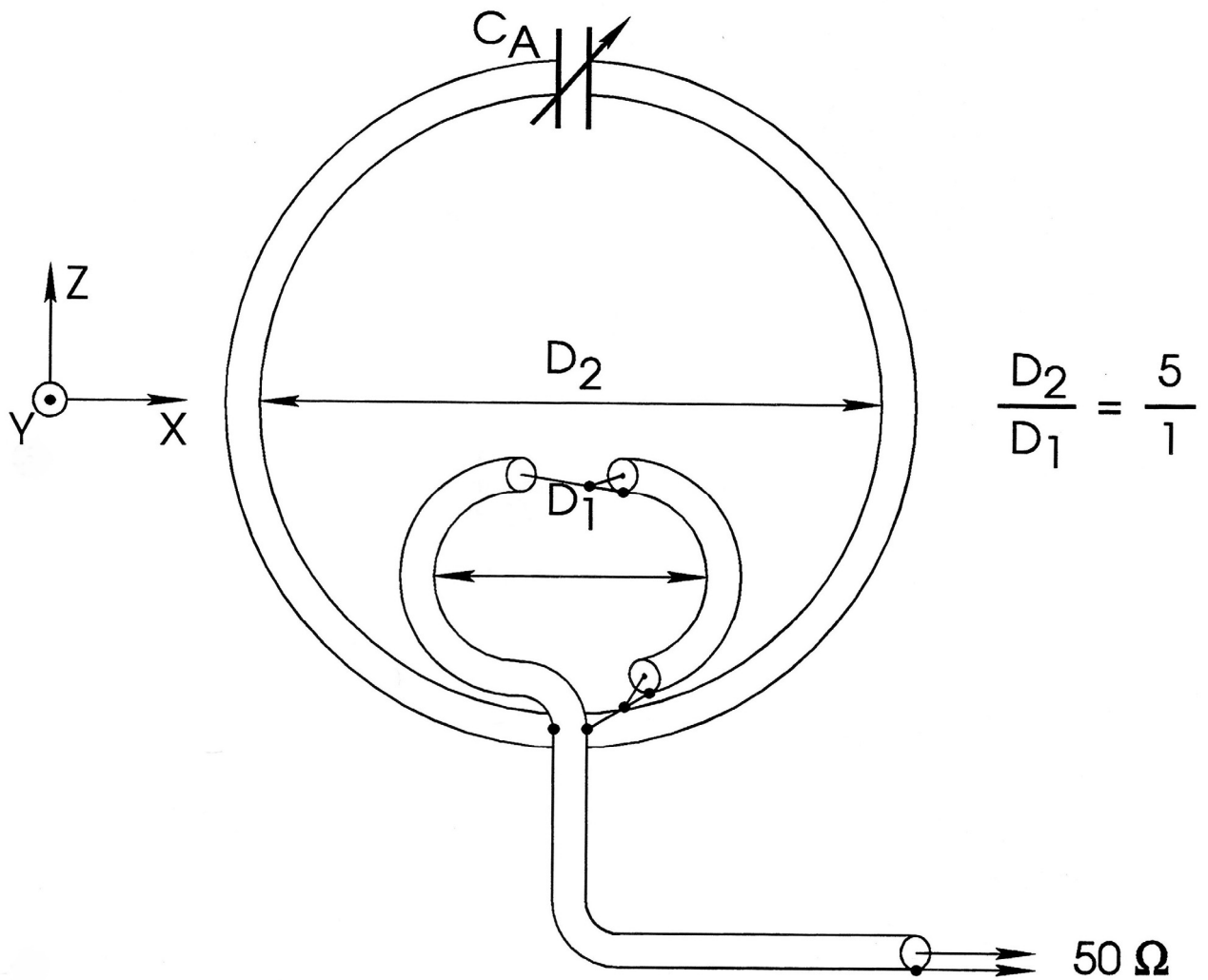
Elektrische Antennensysteme **können nicht** beliebig verkleinert werden, da sie im direkten Vergleich zu magnetischen Antennen wesentlich höhere Anpassungs- und Umgebungsverluste zeigen.

Das Interesse diverser Nachrichtendienste, des Militärs, kommerzieller Anwender und des Amateurfunks für magnetische Antennen ist in den letzten Jahren erwartungsgemäß gestiegen, diese Antenne habe für „bestimmte“ Anwendungen zahlreiche Vorteile gegenüber elektrischen Antennen.

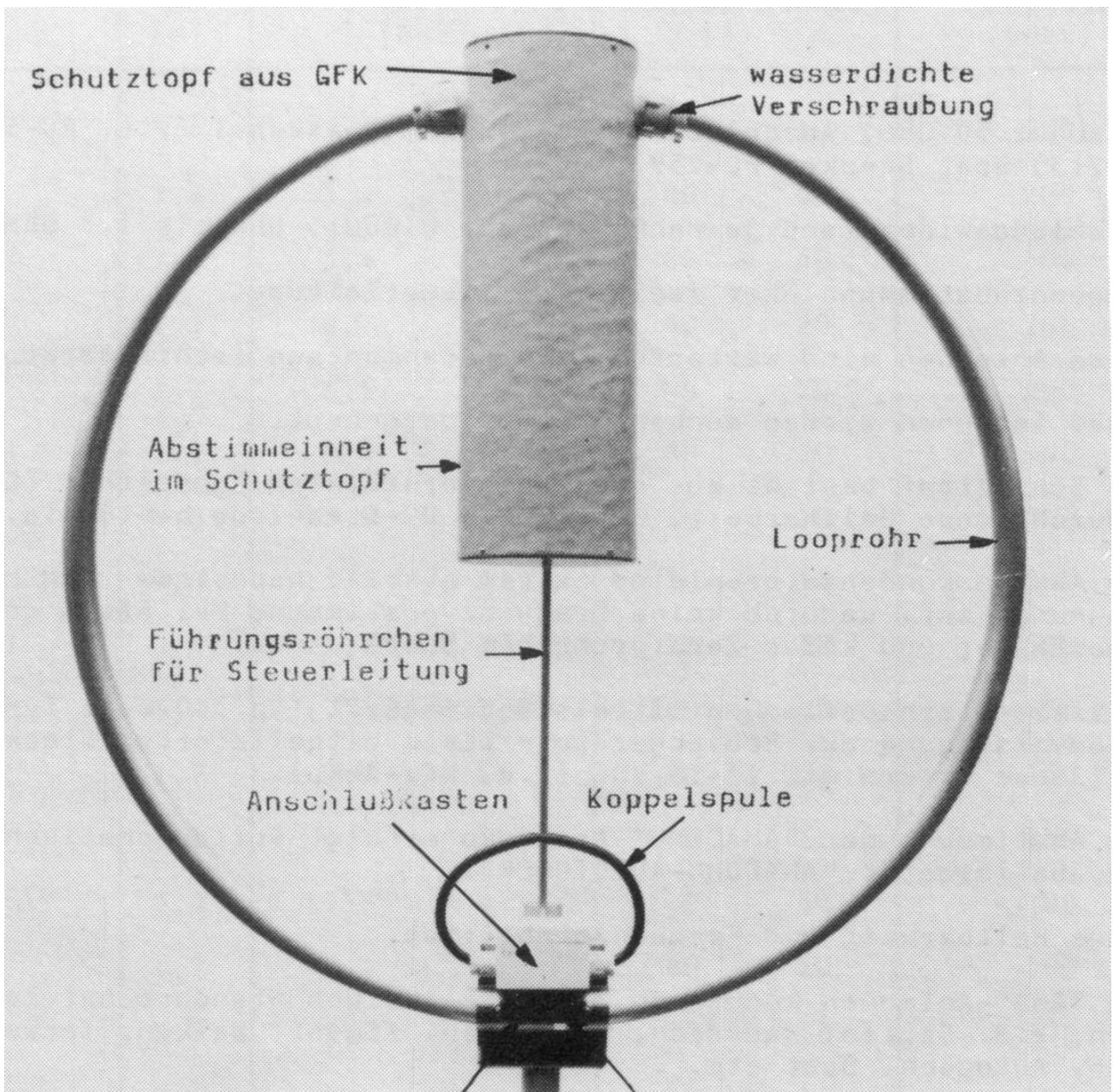
Für schnelle Frequenz- oder Bandwechsel während eines AFU-Contestes ist die Antennenabstimmung bei magnetischen Antennen eher ungeeignet. Für längeres Arbeiten auf einer Frequenz bietet sie jedoch wegen ihrer Schmalbandigkeit enorme Vorteile.



Magnetische Antennen der Fa. Käferlein



Schematische Darstellung einer magnetischen Antenne nach DK5CZ mit induktiver Kopplung



Baugruppen der magnetischen Antennen nach DK5CZ