

QRV mit der „Gelsenkirchener Mobilantenne“

Für manchen TVI- und BCI-geplagten Funkamateurliebhaber ist Mobilbetrieb eine Lösung für störungsfreien Funkbetrieb. Das gilt für 2 m und 70 cm, aber auch für Kurzwelle. Die Wahl der richtigen Antenne ist angesagt.

Trotz der eindeutigen Bestimmungen des „Gesetzes über die elektromagnetische Verträglichkeit von Geräten“ (EMV-Gesetz) gibt es in der Praxis immer wieder Geräte, deren unzureichende Störfestigkeit zu elektromagnetischen Störeffekten im Sinne dieses Gesetzes führen. Diese Störeffekte versucht man oft einem in der Nähe befindlichen Funkamateurliebhaber anzulasten, obwohl dieser in der Regel weder technisch noch rechtlich der Verursacher ist.

Für manch TVI- und BCI-geplagten Funkamateurliebhaber, vor allem in den Innenstädten, kann es daher eine Lösung sein, im Auto, also mobil QRV zu werden. Das gilt für 2 m und 70 cm, aber besonders auch für die Kurzwelle. Während die Bänder 2 m und 70 cm nur über einen kleinen Aktionsradius verfügen, kann man auf Kurzwelle quer durch Deutschland, durch Europa und auch nach Übersee herrliche Verbindungen zu Stande bringen.

Im Besonderen auch auf langen Fahrten, auf denen man sich so einerseits auf angenehme Art die Zeit vertreiben, andererseits gleichzeitig aber auch die Bedingungen studieren kann. Ein am Hals hängendes Mikrofon und ein Fußschalter sorgen dafür, dass beide Hände am Steuerrad verbleiben können. Mit einer Kopfhörergarnitur ist auch VOX-Steuerung möglich; aber das ist Geschmackssache.

Für den praktischen Betrieb braucht man zweckmäßigerweise einen Transceiver (**Bild 1**), eine möglichst gute Mobilantenne und eine Möglichkeit der Antennenabstimmung, um QSY machen zu können. Da Verbindungen auf den höheren Bändern in erster Linie

von den Bedingungen abhängen, kann man hier auch mit weniger guten Antennen gelegentlich erstaunliche Rapporte erhalten. Auf den unteren Bändern allerdings ist es notwendig, aber auch wirklich das Letzte aus der Antenne herauszuholen. So fallen Qualitätsunterschiede auf 80 m in besonderer Weise auf.

Testergebnisse dargestellt

Dieser Beitrag hat sich die Aufgabe gestellt, die guten Ergebnisse der „Gelsenkirchener Mobilantenne“ (GMA) insbesondere im Hinblick auf die ungünstigeren, niedrigen Bänder darzustellen. Darüber hinaus werden einfache Messverfahren und Versuche aufgezeigt, die zu wichtigen Erkenntnissen im Zusammenhang mit der Antennentechnik ganz allgemein und zu der optimalen Gestaltung von Mobilantennen geführt haben.

Dabei wurde besonders darauf geachtet, dass die Darstellung einerseits nicht falsch, andererseits aber leicht nachvoll-

ziehbar blieb. Außerdem sollten die Ergebnisse unbedingt in der Praxis nachprüfbar bleiben. Die notwendigen Rechnungen und Beziehungen wurden auf ein Mindestmaß beschränkt.

Im Vergleich

Dass die „Gelsenkirchener Mobilantenne“ in der Praxis immer besser abgeschnitten hat als andere Mobilantennen, haben viele Vergleichstests bewiesen. Entwickelt wurde sie in den Jahren nach etwa 1955 unter Mitwirkung einiger Gelsenkirchener Funkamateure; insbesondere von Horst Werner, DJ4KQ, und dem Verfasser.

Sie zeichnet sich dadurch aus, dass sie bei den vielen Vergleichsversuchen mit anderen Mobilantennen, auch mit solchen von namhaften kommerziellen Herstellern, bis heute immer die Nase vorn hatte. Diese Vergleichsversuche, die sich über viele Jahre hinweg immer wiederholten, fanden zu verschiedenen Tageszeiten, in unterschiedliche Richtungen und unterschiedliche Entfer-

nungen statt.

Bei verschiedenen Bodenbeschaffenheiten fuhren die Testfahrzeuge mit einem Abstand von ca. 30...50 m u.a. im Kreis hintereinander her. Das war notwendig, weil auch kleine Standortunterschiede zu unterschiedlichen Raporten geführt hatten. Um QSB auszuschließen, wurden ca. 5 bis 10-mal hintereinander nur die Rufzeichen genannt, sodass die Empfangsstationen die unterschiedlichen Empfangsfeldstärken sicher erkennen konnten.

Diese Vergleichstests waren u.a. auch deshalb notwendig, weil man auf diese Art herausfinden konnte, ob eine Veränderung an nur einer Station eine Verbesserung war oder nicht. Das war früher, zurzeit der Amplitudenmodulation mit festem Träger, natürlich einfacher als heute bei SSB.

Die Ergebnisse waren erstaunlich, weil der Aufbau der Antenne gegen die allgemeine Denkweise in Zusammenhang mit Mobilantennen verstieß. Die Spule war nicht oben, sondern unten, sie soll-

te ein Leerlauf-Q von möglichst über 1000 haben, die Wickelkapazität sollte unbedingt minimiert werden, der Strahler oberhalb der Spule sollte so dick und so lang wie möglich gemacht werden u.s.w.

Das hatte auch früher schon zu immer wiederkehrenden Diskussionen geführt. Diejenigen, die sich in den vergangenen 45 Jahren aber den Konstruktionsmerkmalen der „Gelsenkirchener Mobilantenne“ angeschlossen hatten, haben durch ihre eigenen Erfahrungen die relative Leistungsfähigkeit regelmäßig bestätigt.

Beginnen wir mit der einfachen Feststellung, dass jede Antenne die Aufgabe hat, eine elektrische Leistung in Form von elektromagnetischen Wellen in den Raum abzustrahlen. Diese Aufgabe möglichst effektiv in der Praxis zu erfüllen, ist aber gar nicht so einfach.

Schon 1955 stellte sich auf experimentellem Wege heraus, dass die in der Literatur häufig anzutreffende Betrachtungsweise – dass der Antennenteil mit



Bild 1: Kurzwellen-Transceiver im Fahrzeug für Mobilbetrieb

dem größten Stromfluss hauptsächlich für die Abstrahlung verantwortlich ist – nicht zutrifft! Sorgfältige, monatelange, auch später immer wiederholte Versuchsreihen mit zwei Fahrzeugen glei-

cher Leistung ergaben auf 80 m, dass die Nutzfeldstärke am Empfangsort in dem Maße stieg, in dem die Stablänge und die Staboberfläche (Durchmesser) oberhalb der Verlängerungsspule sich

vergrößerte.

Andererseits sank die Feldstärke am Empfangsort, wurde die Spule, bei gleicher Gipfelhöhe von ca. 3,80 m, in den oberen Teil der Antenne verlegt. Der Teil oberhalb der Spule betrug jetzt nur noch ca. 50 cm, der Teil unterhalb der Spule war ca. 2,50 m lang. Alle diese Versuche wurden mit möglichst verlustgleicher Resonanzkorrektur vorgenommen.

Schon seinerzeit wurde festgestellt, dass die Spannung auf dem Strahlerteil oberhalb der Spule nahezu ins Uferlose stieg. Desgleichen stieg der Strom in der Spule und im unteren 2,50 m langen Verlängerungsrohr erheblich an.

Strom im Strahler

Diese Anordnung, in der Literatur als „Top-Loading-System“ bezeichnet, hatte den größten Strom in dem längsten „Strahlerteil“ und hätte der Literatur nach die besten Resultate bringen müssen. Tatsächlich war sie aber von allen Anordnungen die mit den schlechtesten

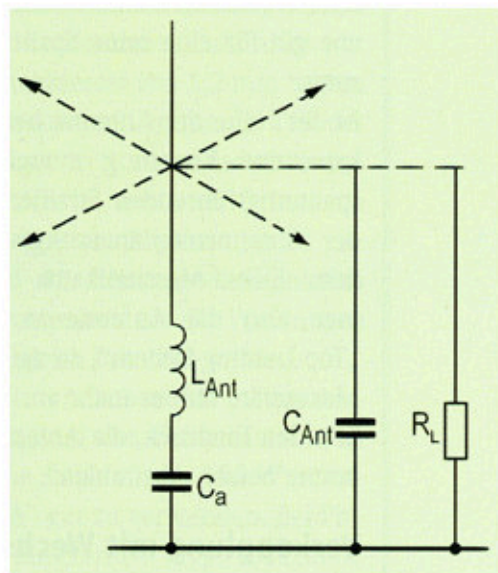


Bild 2: R_L = Antennenlastwiderstand, C_{ant} = Antennenkapazität, L_{ant} Verlängerungsspule

ten Ergebnissen.

Dabei ist es recht einfach, die Behauptung: „Der Strom in der Antenne strahlt mit seinem Magnetismus“ zu widerlegen. So weiß man schon seit langem, dass man mit einer Rahmenantenne (z.B. Peilrahmen) bei Empfang

sehr wohl den magnetischen Anteil der ankommenden elektromagnetischen Wellen (H-Feld) in eine Empfangsspannung, und damit auch in eine Empfangsleistung umsetzen kann; als Sendeantenne ist sie allerdings nach wie vor so gut wie unbrauchbar.

Das hat damit zu tun, dass selbst ein größeres rein elektromagnetisches Wechselfeld – das man ja durch Erhöhung der Windungszahl erreichen könnte – so gut wie keine elektromagnetischen Wellen erzeugen kann!

In der Nähe einer Sendeantenne hat man es daher immer gleichzeitig mit drei Dingen zu tun. Zunächst mit den gewünschten elektromagnetischen Wellen. Gleichzeitig aber auch mit dem erwähnten rein elektromagnetischen Wechselfeld. Hinzu kommt die hohe Spannungsaufschaukelung an einem immer kürzer werdenden Strahler.

Wer z.B. in der Nähe einer Mobilantenne mit einem nur magnetisch wirksamen Messindikator arbeitet, wird natürlich nicht nur den magnetischen

Anteil der elektromagnetischen Wellen, sondern auch das rein elektromagnetische Wechselfeld mitmessen. Das Gleiche gilt für eine reine Spannungsmessung.

In der Nähe der Antenne besteht eine kapazitive Kopplung zwischen dem spannungsführenden Strahler oberhalb der Antennenverlängerungsspule und dem E-Feld-Messindikator. Verändert man also die Antenne in Richtung „Top-Loading-System“, so zeigen beide Messgeräte immer mehr an. Das simuliert den Eindruck, die Antenne würde immer besser „abstrahlen“.

Verkopplung mit Wechselfeld

Tatsächlich beziehen sich die angezeigten Werte aber nicht nur auf die elektromagnetischen Wellen, sondern überwiegend auf die direkte Verkopplung erstens mit dem elektromagnetischen Wechselfeld und zweitens mit der hohen Spannung auf dem Strahler ober-

halb der Antennenspule. Bei der magnetischen Messung im Nahfeld ist der stromführende Teil der Antenne vergleichbar zur Primärwicklung eines Transformators und der Messrahmen (Spule) ist die dazugehörige Sekundärspule.

Bei der Messung der elektrischen Feldstärke im Nahfeld führt die rein kapazitive Verbindung zwischen dem spannungsführenden Teil der Antenne und der Messsonde zu erheblichen Fehlurteilungen. Man muss sich also mit seinen Messmitteln soweit von der Antenne entfernen, dass man nur noch die Stärke der elektromagnetischen Wellen misst. Das aber ist nur im Fernfeld möglich – dort, wo zum einen das reine elektromagnetische Wechselfeld nicht mehr hinreicht und zum anderen eine kapazitive Kopplung wegen der großen Entfernung nicht mehr möglich ist.

Es kommt hinzu, dass ein starkes elektromagnetisches Wechselfeld in der Nähe – durch Übertragung in alle mög-

lichen verlustbehafteten Metallteile – der Antenne Energie entzieht. Das Gleiche gilt für die hohe Spannung auf dem kurzen Strahler oberhalb der Antennenverlängerungsspule. So werden beispielsweise die Verschiebestrome im Erdreich größer, was über den Verlustwinkel $\tan \vartheta$ des Erdreiches z.B. zu größeren Verlusten führt.

Die konsequente Überlegung war, dass auch hier die Literatur sich einmal mehr geirrt hatte.

Entgegen der Literatur

Bei der in der Praxis effektivsten Lösung – Spulenunterkante ca. 15...25 cm oberhalb der Metallteile des Fahrzeuges, Strahler ca. 2,6 m lang und ca. 20 mm unten und ca. 10 mm im Durchmesser oben – wurde die Spannung auf dem strahlenden Stab oberhalb der Antennenverlängerungsspule mit ca. 5700 V gemessen. Die abgestrahlte Leistung betrug seinerzeit etwa 180 W.

Alle möglichen rechnerischen Überlegungen ließen sich zuletzt in einer recht einfachen, wenn auch nicht üblichen Betrachtungsweise zusammenfassen: Wird eine elektrische Leistung von 180 W von einem Strahler, auf dem 5700 V stehen, in den Raum abgestrahlt, so verhält sich dieser Raum in seiner Wirkung wie ein parallel zu sehender Lastwiderstand. Dieser gemittelte, abstrahlungsbedingte Wirkwiderstand lässt sich nun nach der in der gesamten Elektrotechnik gültigen Beziehung $R = U^2/P$ berechnen (**Bild 2**). Im vorliegenden Fall: $R_L = U^2/P = 5700^2/180 = 180,5 \text{ k}\Omega$.

Es galt nun diesen, aus der abgestrahlten Leistung zurückgerechneten Lastwiderstand, möglichst verlustfrei in den Fußpunkt der Antenne zu übertragen. Zeichnet man die Darstellung nach Bild 1 um, so ist unschwer ein π -Filter-Gebilde zu erkennen (**Bild 3**).

Ein π -Filter ist aber in der Lage, auf der Resonanzfrequenz, Spannungen und

damit auch Widerstände zu transformieren. Wie man sieht, kann man jetzt die Antenne selbst als Resonanztransformator verwenden. Dazu war es aber notwendig, die Kapazität des Strahlers gegen den Raum zu kennen. Sie wurde kurzerhand gemessen und mit ca. 24 pF bestimmt. Die Größe des Anfangskondensators C_a bestimmt nun in Verbindung mit der Antennenkapazität C_{Ant} das notwendige Widerstandsübersetzungsverhältnis. Bei einem gewünschten Fußpunktwiderstand R_a von 50Ω z.B. ergibt sich nach der Beziehung $\ddot{U}_R = 180 \text{ k}\Omega/50 \Omega$ ein

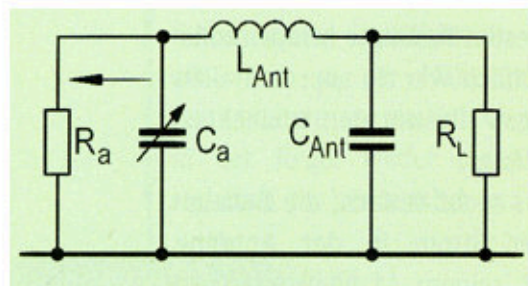


Bild 3: C_a = Anodendrehkondensator, R_a = günstigster Anoden- oder Außenwiderstand

Widerstands-Übersetzungsverhältnis von 3600.

Um die Größe des dafür notwendigen Fußpunktcondensators zu erhalten, bedienen wir uns der Formel

$$C_a = C_{Ant} \cdot \sqrt{\ddot{U}_R}$$

Im Ergebnis für 80 m: $C_a = \text{ca. } 1500 \text{ pF}$. Das Kapazitäts-Verhältnis zwischen C_a und C_{Ant} beträgt nun $1500 : 24 = 62,5$. Setzt man ein ausreichendes Betriebs-Q voraus, was hier aber gegeben ist, dann ist das Kapazitäts-Verhältnis in einem π -Filter aber gleichzeitig der Spannungs-Transformationsfaktor. Es ist also einfach, die gemessene Spannung auf dem Strahler von 5700 V durch eine simple Rechnung zu kontrollieren.

Bei einer abgegebenen Senderleistung von 180 W an 50Ω ergibt sich eine Spannung von 95 V. Das multipliziert mit 62,5, ergibt rund 5900 V. Die kleine Differenz ist in der Messungengenauigkeit und in der Belastung durch die Messanordnung selbst zu suchen.

Qualität von Spulen

Nach diesem kleinen Ausflug in eine einfache rechnerische Basisbetrachtung wollen wir zunächst wieder zur Praxis zurückkehren. Wie bei allen Antennen, muss man gerade bei Mobilantennen darauf achten, dass die Verluste in der Antenne so klein gehalten werden wie möglich.

Wegen der Straßenverkehrszulassungsverordnung ist eine wesentliche Verlängerung des Strahlers über 2,80 m wegen der Straßenverkehrsordnung kaum möglich. Die Verluste in der Antenne werden somit nahezu ausschließlich von der Qualität der Spule bestimmt. Was man da alles falsch machen kann, ist bei vielen Herstellern von Mobilantennen zu beobachten. Von dominierender Bedeutung ist die Minimierung der Wickelkapazität.

Das ist verständlich, weil die Ladung, die die Wickelkapazität aufnimmt, für die gewünschte Aufladung der Antennenkapazität weitestgehend verloren

geht. Das ist auch der Grund dafür, dass es nicht gut wäre, die Spule innerhalb des Fahrzeuges zu platzieren. Die Kapazität des Hochspannungskabels nach Masse und die Durchführungskapazität nach Masse müssten ebenfalls mit aufgeladen werden; was den gleichen negativen Einfluss hätte. Die Kapazitäten sind zwar objektiv nicht groß, haben aber, wie wir später sehen werden, einen relativ großen Anteil zur Antennenkapazität.

Will man die Wickelkapazität klein halten, so ergeben sich leider einige Zwänge. Zunächst muss man den Abstand der einzelnen Windungen zueinander vergrößern, was man zusätzlich durch das versetzte Eindringen jeder zweiten Windung nach innen erreichen kann. Will man außerdem die rein Ohm'schen Verluste klein halten, muss man einen dickeren Draht verwenden. Ein dickerer Draht hat aber eine größere Oberfläche und erbringt automatisch eine größere Wickelkapazität.

Also muss man den Windungsabstand noch einmal erhöhen. Im Endeffekt führen diese Überlegungen zu einer großen, auffälligen Luftspule. Diese hat dann aber den Vorteil, über sehr wenig Verluste zu verfügen. Die große Spule hatte, als sie noch neu war, ein Leerlauf-Q von 1270; eine auch von Fachleuten kaum für möglich gehaltene Qualität (Q = Quality = Güte). Dieser hohe Wert war aber das Ergebnis bei einer speziellen Messanordnung innerhalb der Fa. Rohde und Schwarz und kann insoweit kaum angezweifelt werden. Außerdem hat man erkannt, dass sich versilberter Kupferdraht auf lange Sicht nicht bewährt hat. Ca. 2...2,5 mm dicker Kupferlackdraht (CuL) ist hier die bessere Lösung.

Stegluftspulen von Vorteil

Es ist außerdem wichtig, grundsätzlich bei einer Stegluftspule zu bleiben. Plastikwickelkörper, etwa noch mit eingedrehten Rillen, in denen dann der Draht auf dem Material aufliegt, sind deshalb abzulehnen, weil das Epsilon – Relativ des Plastikmaterials immer, z.T. erheblich, über dem Wert der Luft liegt. Das würde zu einer unnötigen Steigerung der schädlichen Wickelkapazität führen. Aus dem gleichen Grund verbietet es sich, solche Spulen dann auch noch in eine Plastikmasse zu tauchen oder mit einem Schrumpfschlauch zu überziehen. Dass solche Materialien darüber hinaus auch immer einen größeren Verlustwinkel ($\tan \delta$) als die Luft haben, soll nur noch am Rande erwähnt werden.

Wem die Luftspule zu groß und zu auffällig ist, kann sich eine kleine, schlanke „ladylike-Spule“ bauen. Sie ist zwar 0,6 dB schlechter (80 m), kostet ca. 75 € zusätzlich, fällt aber in der Praxis

kaum noch auf. Nur aus diesem Grunde ist sie vom Verfasser entwickelt worden.

Tabelle

Band	80 m	40 m	20 m
Durchmesser	11 cm	11 cm	5 cm
Spulenlänge	22 cm	17 cm	18 cm
Windungszahl	48	24	12
Induktivität	62 μH	18 μH	2,6 μH

Daten für 2,2...2,5-mm-Kupferdraht

Genau wie bei der Luftspule, überträgt ein ca. 20 mm starkes Glasfaserrohr, welches von oben nach unten mitten durch die Spule verläuft, die mechanischen Kräfte (Winddruck etc.).

Auf dieses Rohr werden zwölf bis 15 Ringkerne 4C6 der Fa. Philips geschoben. Da der Innendurchmesser dieser Kerne 21 mm beträgt, ist es zweckmäßig, das Rohr vorher dünn mit Plastikband zu bewickeln. Auf diese Ferritsäule werden nun in Längsrichtung sechs Abstandstreifen mit einer Höhe von 5...6 mm geklebt. Dies ist notwen-

dig, damit die Windungen der Spule nicht direkt auf dem Ferrit aufliegen.

Wirbelströme entstehen

Durch die hohe Induktion (magnetische Feldliniendichte pro Flächeneinheit) an den beiden Enden des „Ferritstabes“ entstehen sonst Wirbelströme im Kupferdraht! Aus diesem Grunde sollte der Kupferdraht (CuL) auch nur einen Durchmesser von 1,2 mm haben. Um wiederum den mittleren Teil der Spule magnetisch zu entlasten, empfiehlt es sich im mittleren Drittel die Windungen etwas auseinander zu ziehen (**Bild 4**). Beim ggf. Einschleifen von Führungsrillen für die Windungen sollte das gleich beachtet werden.

Wegen der endlichen Magnetisierbarkeit (Sättigung) des Ferritmaterials ist eine solche Spule nur bis 150 W (maximal 250 W) gut zu verwenden. Bei Philips 4C6-Ringkernen (Typ: RCC36.6/15,6-4C65) beträgt die Windungszahl für 80 m – entsprechend ca. 62 mH –

ca. 28 Windungen ($\varnothing = \text{ca. } 50 \text{ mm}$).
Zwei bis vier Windungen zunächst
mehr zu wickeln ist immer gut, weil
man dann später die Möglichkeit hat,
am „lebenden Objekt“ Feinabgleich
vornehmen zu können. Will man we-
der die ganz große noch die „ladylike-
Spule“ bauen und verwenden, bieten
sich die Maße und Windungszahlen in
der **Tabelle** an.

Der zweite Teil widmet sich der Anpas-
sung an 50Ω sowie Betrachtungen zur
Antennentheorie. DL9AH