

KARL H. HILLE · DL1VU
WINDOM- UND STROMSUMMEN-ANTENNEN

15

FUNK
AMATEUR

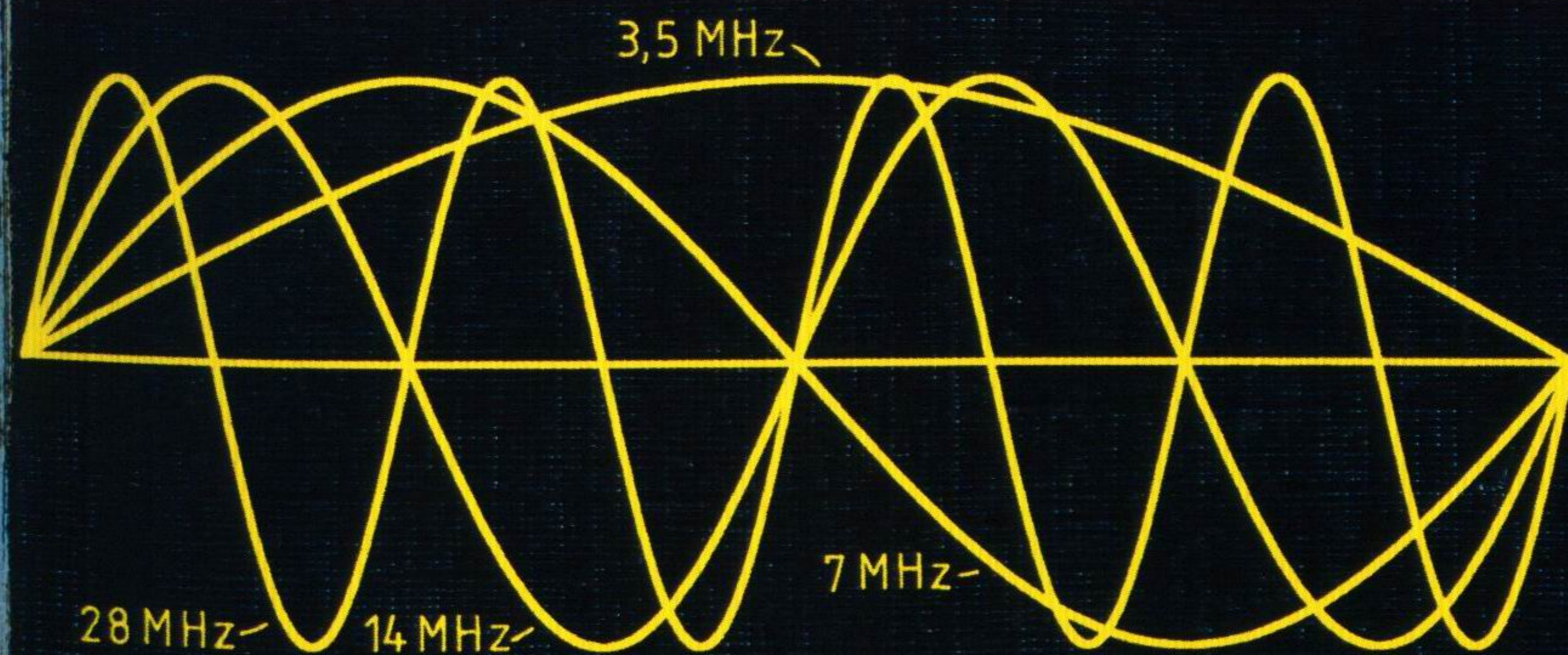
15

BIBLIOTHEK

14 m

6,7 m

300 Ohm



WINDOM- UND STROMSUMMEN-ANTENNEN

Karl H. Hille
**Windom- und
Stromsummen-Antennen**

ISBN 3-910159-14-1



9 783910 159143

THEUBERGER VERLAG GMBH
BERLIN
9,80 DM · 72 öS · 5 €

Funkamateurl-Bibliothek
Band 15

Karl H. Hille, DL1VU

Windom- und Stromsummen-Antennen

Inhaltsverzeichnis

Einleitung	4
Vorwort	5
1. Geschichte der Windom-Antenne	6
2. Der Strahler der Windom-Antenne und seine Resonanz	9
3. Der Anschluß der Speiseleitung	22
4. Die Eindrahtspeiseleitung, ihre Verluste und ihr Wirkungsgrad	39
5. Vertikale und verkürzte Windom-Antennen	45
6. Breitband-Windom-Antennen	50
7. Harmonisch erregte Windom-Antennen	52
8. Mehrband-Windom-Antennen	55
9. Sonderausführungen von Windom-Antennen	56
10. Ankopplung der Eindrahtspeiseleitung an den Sender	61
11. Die symmetrisch gespeiste Windom-Antenne	64
12. Der Weg zur Stromsummen-Antenne	80
13. Berechnung der Stromsummen-Antenne	91
14. Programme für Stromsummen-Antennen	94
15. Stromsummen-Antenne in Baukastenform	106
16. Die Stromsloper-Antenne	108
17. Programme für Stromsloper-Antennen	111
Literatur und Quellen	115

1. Auflage, Juni 2000

© Theuberger Verlag GmbH
Postfach 73, 10122 Berlin

Umschlaggestaltung: A. Reim
Satz: Theuberger Verlag GmbH
Druck und Bindung:
Druckerei Steinmeier Nördlingen

ISBN 3-910159-14-1

Einleitung

Antennenbauen bereitet Freude. Wir können verfolgen, wie unter unseren Händen etwas Neues entsteht, ein Strahler, mit dem wir handfeste Funkverbindungen aufbauen können. Ganz im Gegensatz zu moderner Mikro-Elektronik, die sich durch ihre Winzigkeit dem Verständnis entzieht, ist die Arbeitsweise von Antennen zu verstehen und im wahren Sinne zu begreifen.

Die Wirkung einer guten Antenne überragt bedeutend die Wirkung eines guten Gerätes, so daß wir auf der Bahn des Gelingens vorankommen. Bei der Entwicklung und dem Bau von Antennen sind wir auch nicht gezwungen, uns an Herkömmliches zu klammern; nein, wir können in einem weiten Feld eigene Initiative entwickeln und eigenen Gedanken nachgehen.

Antennenbau bedeutet auch gesunde Bewegung in frischer Luft. Nur vor der großen Gefahr gewagter Klettereien müssen wir uns hüten. Leider hat es beim Bau von Antennen bereits einige Unfälle gegeben, die mit Tod oder Siechtum endeten. Geprüfte Leitern, Sicherheitsgurte und -seile sowie ein stabiler Bauhelm sind ein notwendiges Muß. Beim Aufstellen von Masten sind die Vorschriften zur Unfallverhütung genau zu befolgen. Der Blitzschutz bedarf wacher Aufmerksamkeit.

Wenn wir durch rechtzeitiges Bedenken der Gefahren alles gut organisiert haben, kann nichts mehr schiefgehen. Die Lust an unserer Aktivität wird wachsen, und der Erfolg wird nicht ausbleiben.

Vorwort

Antennen beruhen auf einer Handvoll Prinzipien, die aber durch Kombination eine kaum überschaubare Anzahl von Arten, Typen, Modellen und Abarten hervorbringen. Aus zwei Grundformen, dem gestreckten, elektrischen Elementarstrahler und dem kreisförmigen, magnetischen Elementarstrahler können alle Antennen hergeleitet werden. Die Grundregel für eine wirkungsvolle Antenne ist einfach:

Ein kräftiger Strom fließt in einem guten Leiter, der in bester Höhe strahlt. Die Speiseleitung ist verlustarm und gut an Antenne und Sender angepaßt.

Im Prinzip strahlt jeder Leiter gleich gut ab, gleichgültig, wie lang er ist. Der Halbwellendipol ist in Resonanz, daher fließt in ihm ein Maximum an Strom, der Resonanzstrom. Der Halbwellendipol und längere Strahler von vielfacher Halbwellenlänge sind wegen des kräftigen Stromes zu bevorzugen. Aus den Speiseleitungen können wir wählen: Eindraht-Speiseleitung, symmetrische Zweidraht-Speiseleitung und Koaxialkabel. Ein Draht wiegt am wenigsten, zwei Drähte wiegen doppelt so viel und Koaxialkabel wiegt am meisten. Der mit einem einzigen Draht gespeiste Halbwellendipol heißt Windom-Antenne. Der außerhalb seiner Mitte mit einer Zweidraht-Leitung gespeiste Halbwellendipol, der auch für höhere Frequenzbänder genutzt wird, heißt, abhängig von seiner Auslegung, symmetrisch gespeiste Windom-Antenne oder aber Stromsummenantenne.

Lenggries, im Juni 2000

Karl H. Hille, DL1VU

1. Die Geschichte der Windom-Antenne

Diese Antenne ist ein geradliniger Strahler, der von einer Speiseleitung gespeist wird, die nur aus einem einzigen Draht besteht. Die Eindraht-Speiseleitung ist eine Erfindung von Frank Conrad, W8XK, der bei der US-Elektrofirma Westinghouse beschäftigt war. Conrad speiste eine vertikale, geerdete Viertelwellen-Antenne, also eine Marconi-Antenne mit einer waagerechten Eindraht-Speiseleitung, die parallel zum Erdboden verspannt war. Kurz darauf schlossen die Brüder V. D. Landon und E. B. Landon, W8VN, eine Eindraht-Speiseleitung an ein System aus Antenne und Gegengewicht an [1]. Diesen Gedanken griff Howard M. Williams, W9BXQ, auf und speiste als erster eine horizontale Halbwellenantenne mit einer außerhalb der Mitte angeschlossenen Eindraht-Speiseleitung [2]. Damit gebührt ihm die Priorität als Erfinder der Windom-Antenne.

In der Mitte der zwanziger Jahre betrieb der Student Loren Windom, W8GZ und W8ZG, in der Nähe von Columbus, Ohio, seine respektable Station. Windom galt unter den Funkamateuren von Columbus als Spitzenmann. Man bewunderte seine Experimente, die er mit Gerät und Antennen anstellte, und sprach ehrfürchtig über die damalige Riesenleistung seines Senders von 250 Watt. Um dieselbe Zeit veröffentlichte der technische Herausgeber der US-Amateurzeitschrift QST, Robert Kruse, einen Artikel, der die damals bekannten Speisemethoden von Antennen zusammenfaßte [3]. Ein Teil dieses Artikels war die Methode Windoms, den Punkt der Halbwellenantenne zu bestimmen, wo die Speiseleitung anzuschließen war. Windom trennte den waagerechten Dipol in der Mitte auf und schleifte dort eine kleine Glühbirne ein. Dann versob er den Anschlußpunkt der Eindraht-Speiseleitung von der Mitte ausgehend so lange, bis die Glühbirne am hellsten brannte. Dies war seiner Meinung nach der richtige Anzapfpunkt. Dort wurde der Speisedraht angelötet, dann die Glühlampe entfernt und beide ungleiche Teile des Dipols wieder verbunden und verlötet. Die Methode Windoms wurde in die ersten drei Auflagen des ARRL Radio Amateur's Handbook übernommen.

Offensichtlich hatte Windom überschen, daß der Halbwellendipol mit Glühlampe sich von dem unbewehrten Dipol stark unterschied: Resonanzfrequenz und Strahlungswiderstand waren ganz anders. Eine

richtige Methode wäre gewesen, erst die Resonanzfrequenz des Strahlers an Ort und Stelle richtig hinzutrimmen, zum Beispiel mit einem Dipmeter, was wir als große akrobatische Leistung werten müssen. Erst danach hätte man für den Speisedraht den Anzapfpunkt durch Verschieben ermitteln können. Die Glühbirne als Indikator war auszuschließen. Besser wären Neonlämpchen an den Enden des Strahlers gewesen, weil diese die Resonanzfrequenz nur unwesentlich beeinflussen. Die wären mit einem Fernrohr leicht zu beobachten gewesen.

Loren Windom war Student der Rechtswissenschaft an der Ohio State University. Zu gleicher Zeit studierte dort John Byrne, W8DKZ, Elektroingenieur. Beide wurden miteinander bekannt und betrieben bald darauf gemeinsam eine Amateurfunkstation. Davon zeugen QSL-Karten von 1925, die beide Rufzeichen tragen: W8GZ/ZG und W8DKZ. Für die Schlußprüfung suchte Byrne ein Thema für seine Hausarbeit. Er schloß sich mit seinem Kommilitonen E. F. Brooke, W8DEM, zusammen, und beide wählten die Eindraht-Speiseleitung für ihre gemeinsame Arbeit. Es gab eine Menge zu tun: theoretische Erwägungen und praktische Experimente. Wenn es irgendwie ging, half Windom dabei und experimentierte auch viel in seiner eigenen Station.

Byrnes Studienbetreuer war der Professor für Elektrisches Ingenieurwesen W. L. Everitt. Die Hausarbeit von Byrne und Brooke wurde angenommen, aber sie war durchaus ausbaufähig. So wählte sich Byrne im Studienjahr 1927/28 das gleiche Thema für seine Diplomarbeit und als Partner A. B. Crawford. Das nun gut ausgefeilte Werk wurde von der im obersten Rang stehenden Fachzeitschrift »Proceedings of the Institute of Radio Engineers« (PIRE) angenommen und im Oktober 1929 veröffentlicht. Dem damaligen Brauch entsprechend wurde der Studienbetreuer Professor W. L. Everitt als Mitautor (und erster!) im Titel genannt [4].

Loren Windom war sehr erfreut über das gelungene Werk und redete Byrne zu, seine Ergebnisse auch in der Amateurfunk-Zeitschrift der ARRL, der »QST« zu veröffentlichen. Byrne wollte nicht und veranlaßte Windom, einen Artikel über die Eindraht-Speiseleitung für die QST zu schreiben. Dieser erschien im September 1929 in der QST, einen Monat vor Everitt/Byrnes Artikel in den Proceedings [5]. Die Redaktion der Proceedings prüft nämlich alle Manuskripte genauestens und gibt recht häufig Artikel zur Neubearbeitung an die Autoren

zurück. Das handhabt sie auch heute noch so. Die Verzögerung durch die Prüfung verzögerte Byrnes Artikel, und Windoms Artikel gelangte einen Monat früher unter die Funkamateure. Obschon Windom in seinem Artikel die Urheberschaft von Byrne, Brooke, Rider und Everitt deutlich machte, sprach bald jeder von der Windom-Antenne und niemand von der Byrne-Antenne. 1930 druckte das australische Amateur-Magazin Windoms Artikel nach, der Begriff Windom-Antenne prägte sich ein und wurde Standard. Als ich 1938 Funkamateur wurde, war eine »Windom-Antenne« ein fester Begriff.

2. Der Strahler der Windom-Antenne und seine Resonanz

Der eigentliche Strahler der Windom-Antenne ist ein Halbwellendipol, um den wir uns zuerst kümmern müssen. Wäre dieser Strahler aus unendlich dünnem und widerstandslosem Draht und schwebte er im freien Raum, dann müßte er als Freiraumdipol genau eine halbe Welle lang gemacht werden. Er verdiente dann seinen Namen Halbwellendipol voll zu Recht. Die Physik des Alltags zwingt ihn jedoch in die Nähe der Erde und um nicht abzureißen, muß er körperlich dick gemacht werden. Im Normalfall ist er etwa 10 m über der Erde und besteht aus Kupferdraht oder -litze von 1,5 mm bis 3 mm Durchmesser. Unter diesen Umständen muß seine halbe Wellenlänge um annähernd 5 % gekürzt werden. Der Verkürzungsfaktor ist demnach: $100\% - 5\% = 95\%$. Dies sind 95 Hundertstel, als Dezimalbruch: $v = 0,95$.

Der Verkürzungsfaktor v ist in jedem besseren Antennenbuch zu finden. In der Funkamateur-Bibliothek, Band 7, »Der Dipol in Theorie

1963: Der Verfasser prüft mit einer Glimmlampe das Spannungsmaximum einer 78 m langen Windom-Antenne in San Marino. Mit dieser Antenne wurden unter dem damaligen Rufzeichen 9A1VU Erstverbindungen auf 1,8 MHz mit 15 Ländern getätigt, u.a. mit W1BB und VE1ZZ.



und Praxis« [6] ist die Verkürzung des Halbwellendipols auf S. 47 ff. genau abgehandelt. Sind die Höhe der Antenne, die Drahtdicke und die elektrischen Eigenschaften des Bodens sowie der umliegenden Gebäude, Bäume u. dgl. genau bekannt, können wir die notwendige Länge des Halbwellendipols berechnen. Meist sind Boden und Umgebung nicht genau zu erfassen, so daß die Resonanzfrequenz und der aus der geometrischen Länge hervorgehende Verkürzungsfaktor nur durch Messung an Ort und Stelle festgestellt werden können.

Die Messung der Resonanzfrequenz des Halbwellendipols ist grundsätzlich mit einem Dipmeter möglich. Dabei treten zwei Schwierigkeiten auf: Wir müssen mit dem Dipmeter zum ausgespannten Antennendraht emporklettern; und die Messung der Frequenz mit einem gebräuchlichen Dipmeter ist alles andere als genau. Einfacher zu handhaben sind ein Meßgerät für HF-Strom, eine Erregerschleife und ein Leistungsmeßsender.

Das Strom-Meßgerät hat einen geschlitzten Ringkern, der zur Kopplung über den zu messenden Draht geschoben wird, eine Diode zur Gleichrichtung und ein empfindliches Drehspulmeßwerk zur Anzeige. Bild 2.1 zeigt den Stromlaufplan. Der Trick liegt im Ringkern.

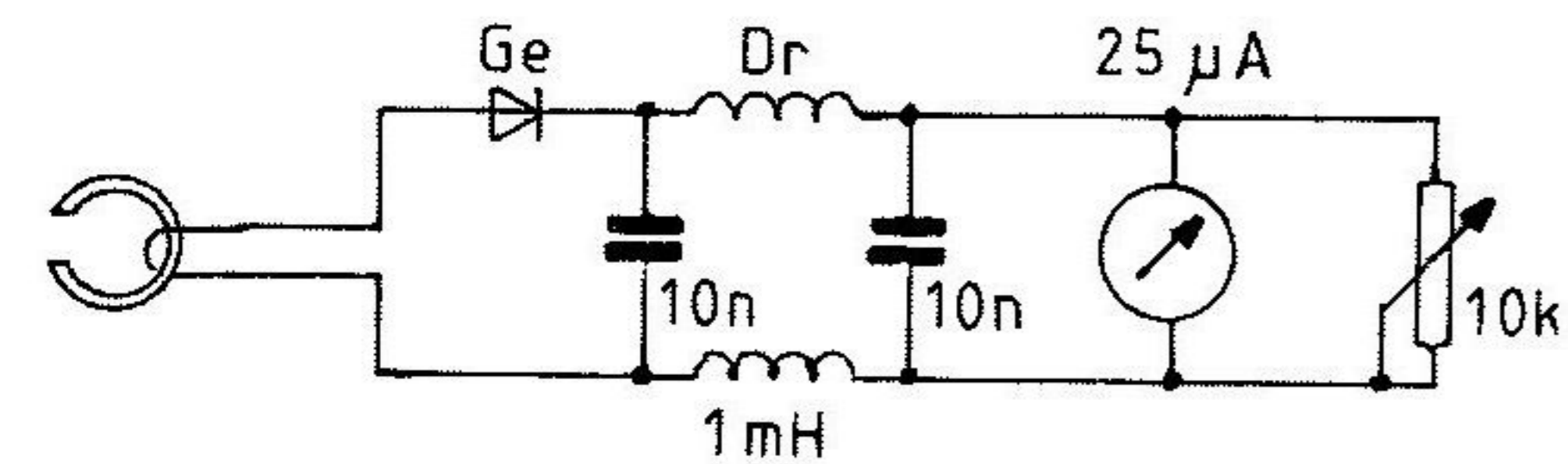


Bild 2.1:
Stromlaufplan
eines HF-Strom-
meßgerätes

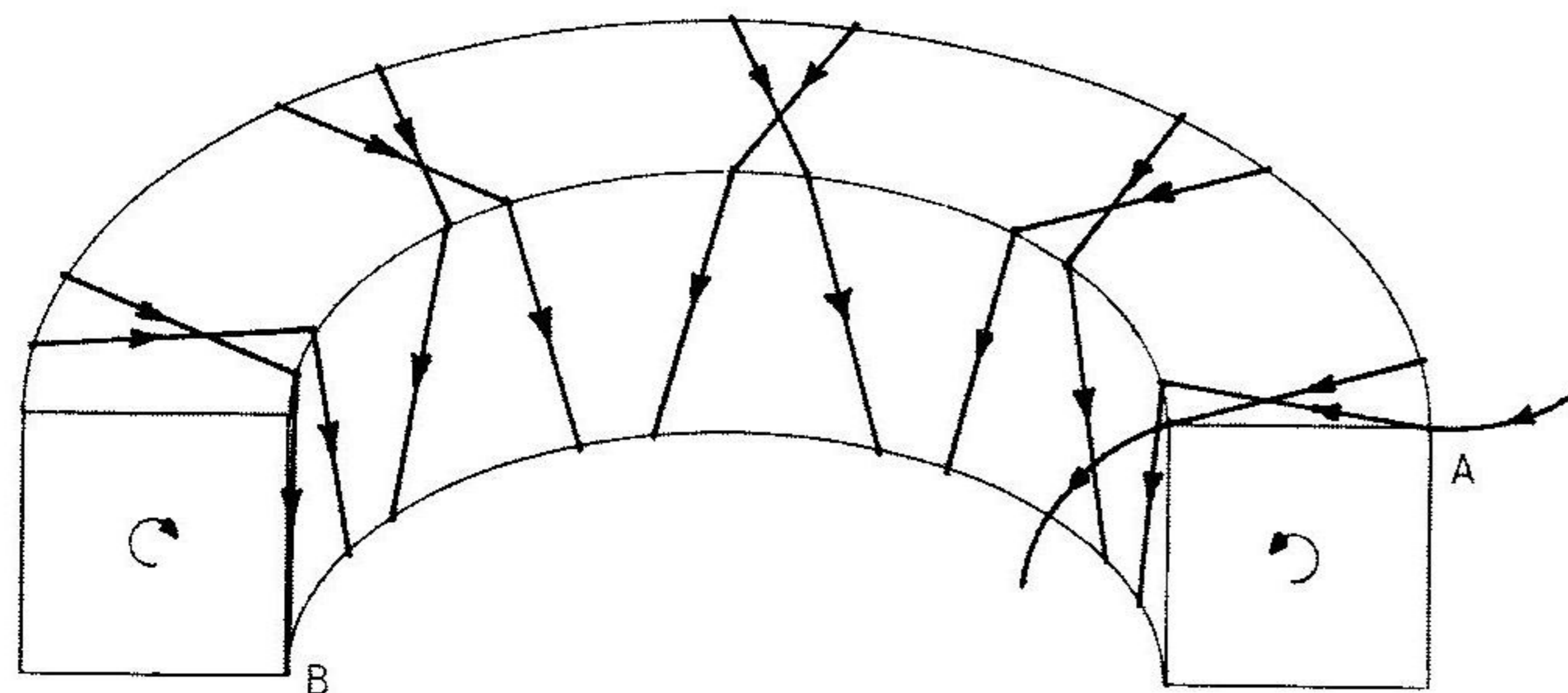
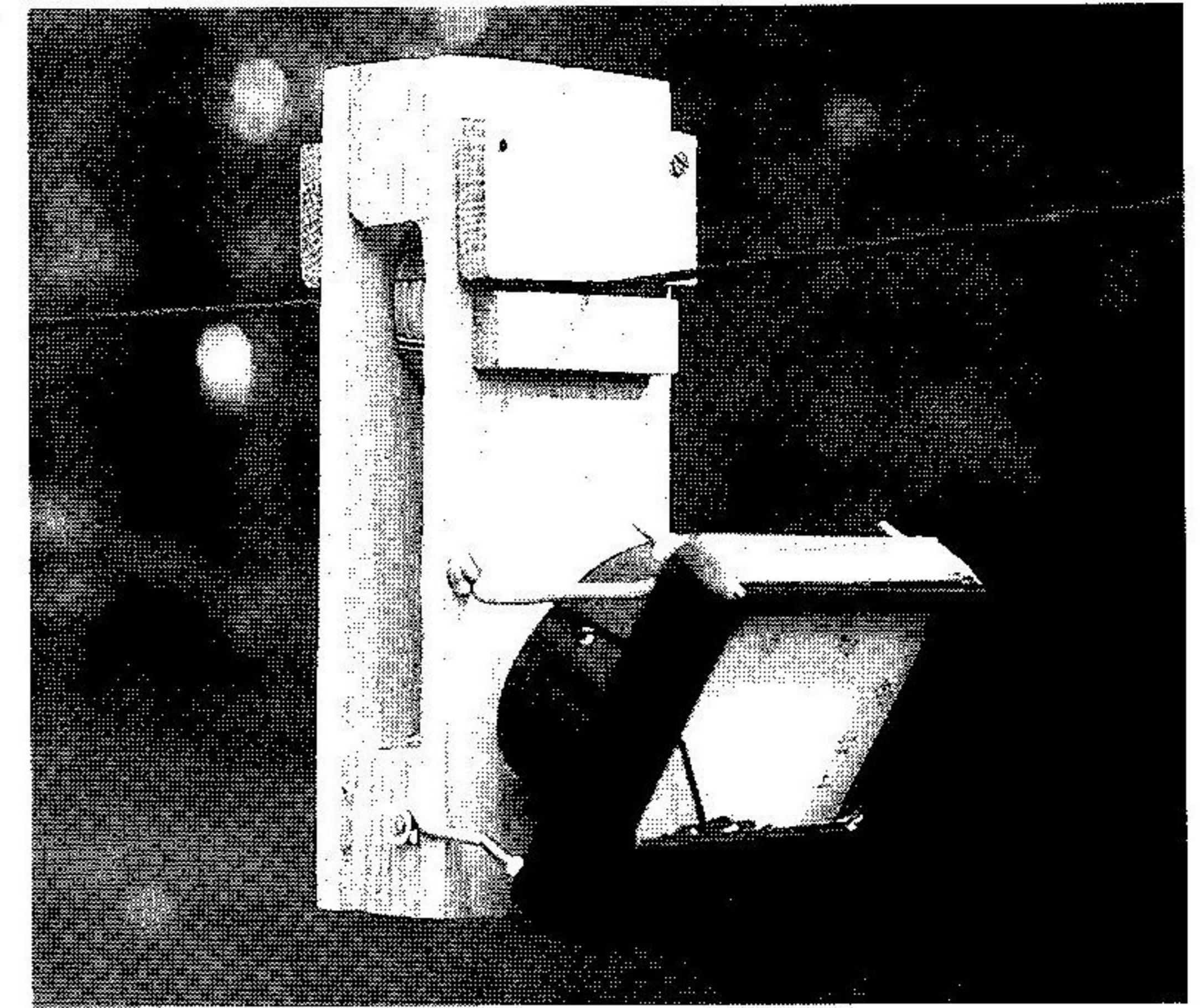


Bild 2.2: Wicklungsschema des Toruskernes

Das Meßgerät für
HF-Strom im Einsatz



Nachdem sich Ferrit nur sehr schlecht bohren und sägen läßt, wurden Versuche mit trockenem Kiefernholz unternommen, die gute Erfolge zeigten. Dabei hat das Holz nur die Aufgabe, die Drahtwicklung in ihrer Form zu halten, irgend welche magnetischen Wirkungen werden nicht verlangt. Man könnte genausogut den Ringkern aus einem anderen Isolierstoff anfertigen. Zuerst wird der Ring mit der Laubsäge ausgesägt, mit feinem Glaspapier nachgeschliffen, die Kanten gebrochen und der Schlitz gesägt. Die Schlitzbreite richtet sich nach dem zu messenden Draht. Ein Durchlaß von 5 mm reicht für alle Drahtantennen. Für die Wicklung ist 0,5 mm dicker Kupfer-Lackdraht gut geeignet (Bild 2.2). Auch mit Baumwolle oder Seide isolierte Drähte stehen nicht nach. Wir stechen diametral gegenüber dem Schlitz einen Reißnagel in den Kern, der den Drahtanfang festhalten soll (A). Von dort aus umwinden wir den Kern *immer im gleichen* Drehsinn bis vor zum Schlitz (B). Nun wickeln wir zurück zum Reißnagel (A), über diesen hinaus bis zur anderen Seite des Schlitzes. Haben wir den erreicht, so wickeln wir zurück zum Reißnagel (A). Der Reißnagel wird herausgezogen und beide Drahtenden werden verdreht. Es genügen sechs bis acht Windungen; für minimale Leistungen benötigen wir mehr als acht Windungen, vielleicht 20 Windungen. Parallel zum Meßwerk kann ein Potentiometer oder ein Festwiderstand angesteckt werden, um damit die Empfindlichkeit des Gerätes dosiert herabzusetzen.

Eine maßstäbliche Zeichnung des ganzen Strom-Meßgerätes stellt Bild 2.3 dar. Das Gerät ist aus 6 mm dicken Holzbrettchen und dreikantigen bzw. vierkantigen Klötzchen gefertigt. Zwei Klappen aus Hartholz werden über dem Draht geschlossen und mit Schrauben gesichert. Der Ringkern ist mit kleinen Korkstückchen in das Gehäuse geklebt. Er nimmt einen Teil der HF auf, die an dem schräg mit Dräh-

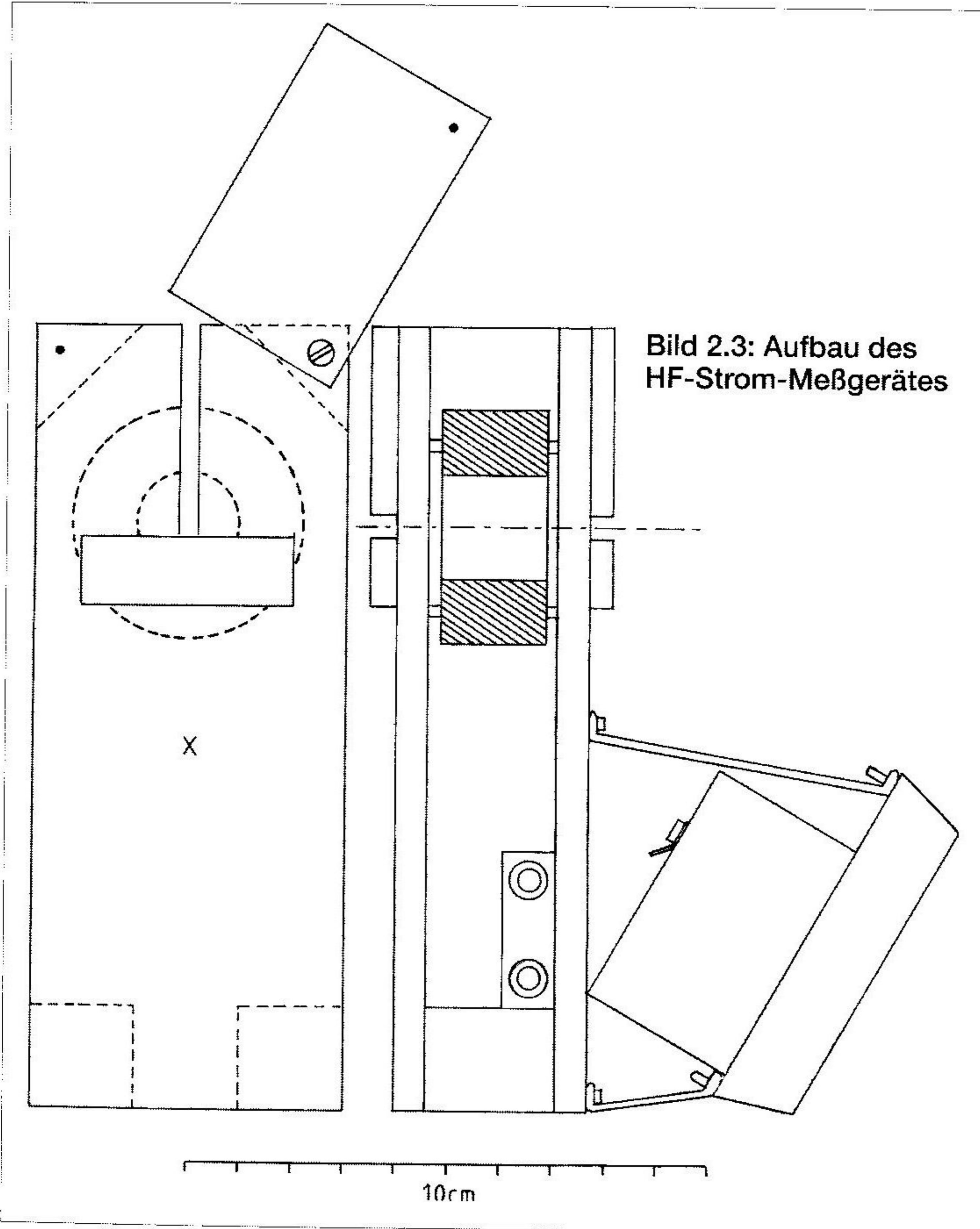


Bild 2.3: Aufbau des HF-Strom-Meßgerätes

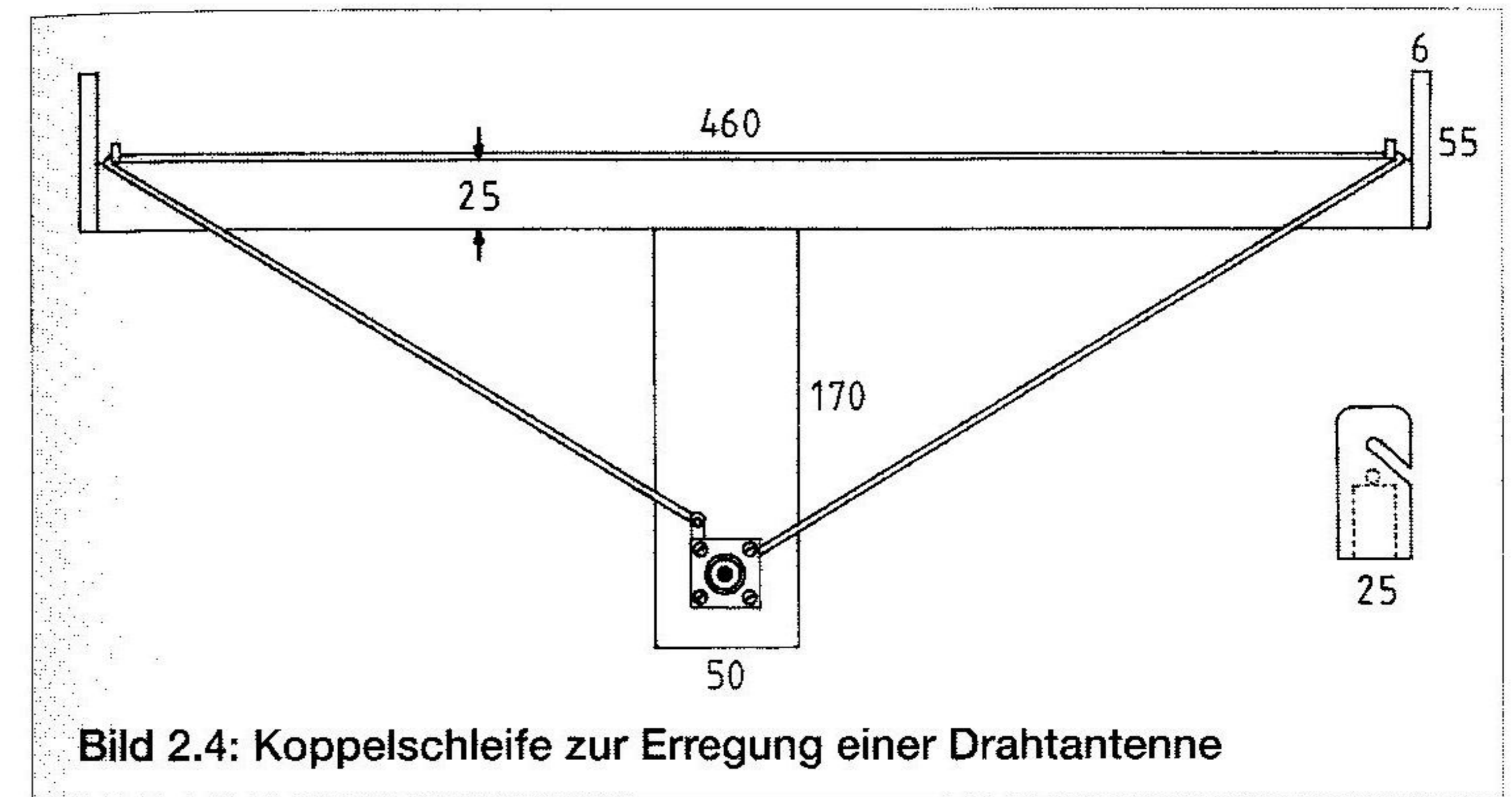
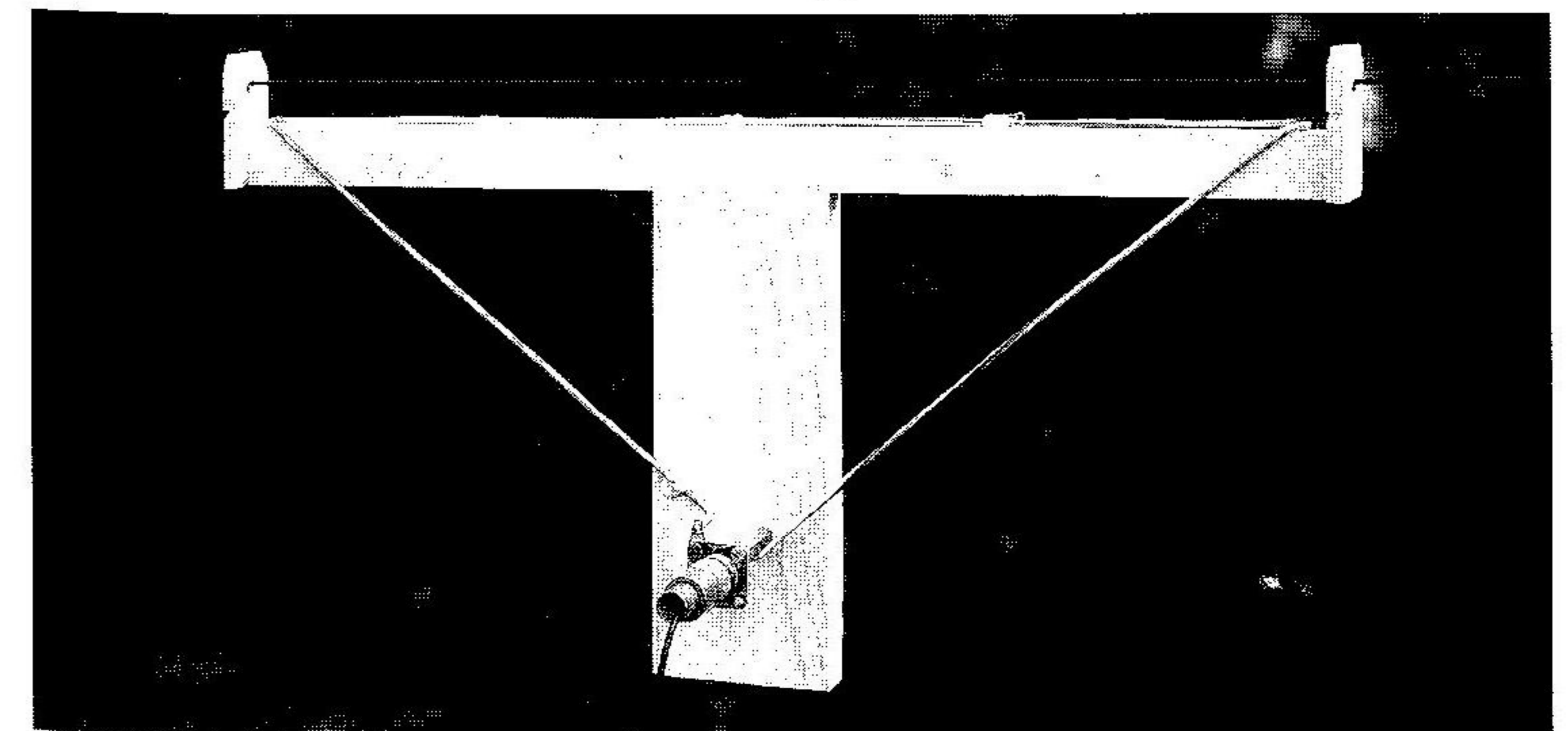


Bild 2.4: Koppelschleife zur Erregung einer Drahtantenne

ten montierten Meßgerät angezeigt wird. In die zwei sichtbaren Telefonbuchsen kann das die Empfindlichkeit herabsetzende Potentiometer eingesteckt werden. Am Punkt X, der über dem Schwerpunkt des waagerechten Gerätes liegt und individuell ausprobiert werden muß, ist eine Ringschraube eingedreht. An dieser Schraube kann das Gerät mit einer Schnur aufgehängt sowie auf- und abgezogen werden. Auf diese Weise können wir den HF-Strom einer Vertikalantenne an beliebigen Punkten messen.

Zur Einkopplung der HF in den Halbwellendipol der Windom-Antenne dient die Koppelschleife (Bild 2.4). Diese ist aus 15 mm dickem

Koppelschleife zum Induzieren der HF



Holz gebaut. An den Enden der Leiste sind hölzerne Haken angebracht, damit die Schleife an die zu erregende Antenne gehängt werden kann. Dicht daneben sind zwei Messingschrauben eingedreht, um die der isolierte Kupferdraht der Schleife führt. Die Schleife erhält ihre Energie aus einer SO-239-Buchse, an die das speisende Koaxialkabel angesteckt wird. Besonders eignet sich wegen seines geringen Gewichtes das spaghettidünne RG 174. Für die Messung genügt eine Leistung von 1 Watt; die Obergrenze sind etwa 5 Watt. Wir brauchen uns also um die Verluste in dem sehr dünnen Koaxialkabel nicht zu sorgen. Das Kabel muß auch nicht an den Meßsender oder Transceiver angepaßt werden; für eine Messung kommt allemal genügend Leistung in die Antenne.

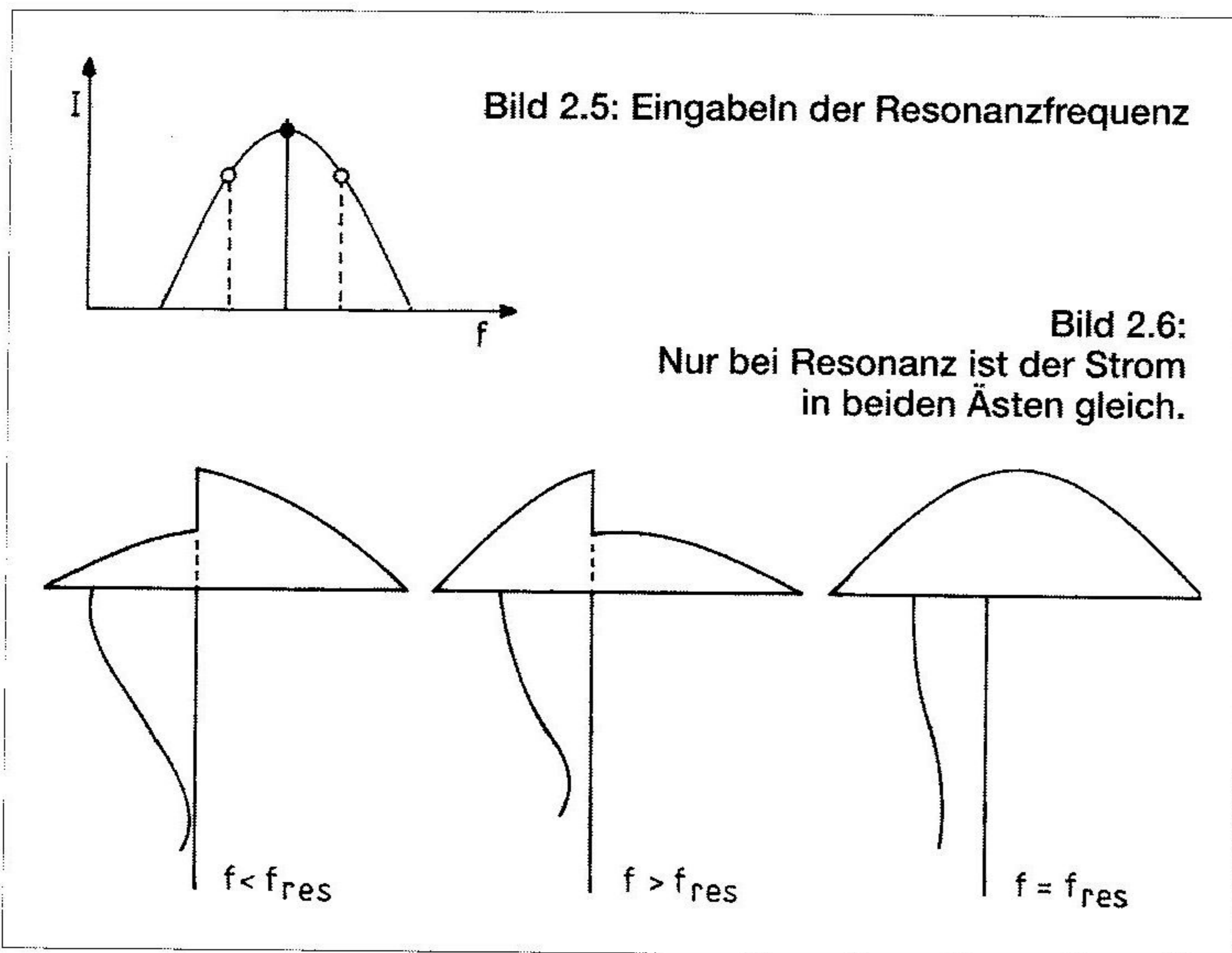
Zur Messung der Resonanzfrequenz bzw. des Verkürzungsfaktors werden das Strom-Meßgerät und die Koppelschleife auf die Antenne gesteckt und in die Antennenmitte geschoben, wobei Gerät und Schleife etwa einen halben Meter Abstand voneinander haben sollen. Die Antennenmitte wird deshalb als Ort der Messung gewählt, weil dort der Strom sein Maximum hat und am leichtesten zu messen ist. Der Abstand der Geräte sorgt für möglichst geringe Beeinflussung zwischen Schleife und Gerät. Darauf wird die Antenne aufgezogen und in ihre endgültige Lage gebracht. Nun werden etwa 1 Watt eingespeist und der HF-Strom am Instrument abgelesen. Bei sehr hochliegenden der Antenne ist das Instrument mit einem Fernglas abzulesen, das zweckmäßig auf einem Stativ montiert wird. Beim Durchdrehen der Frequenz zeigt das Instrument ein deutliches Maximum, das durch Nachstellen der Leistung auf Vollausschlag gebracht wird. Durch vorsichtiges Hin- und Herdrehen der Frequenz wird das Maximum gesucht, das sich auf plus minus 1 kHz genau finden läßt. Sollte das Maximum sehr breit sein, so kann man die Resonanzfrequenz eingabeln (Bild 2.5). Wir suchen beim Eingabeln die beiden Frequenzen, die z.B. 50% des angezeigten Strommaximums erreichen. In der Mitte beider Frequenzen liegt dann das Maximum.

Aus der Länge der Halbwellenantenne und ihrer Resonanzfrequenz läßt sich der Verkürzungsfaktor berechnen. Wir berechnen aus der Resonanzfrequenz die Resonanzwellenlänge, halbieren sie zur Resonanz-Halbwellenlänge und vergleichen diese mit der geometrischen Länge der Antenne durch Division.

Ein Versuch im Garten ergab folgendes: Drahtlänge: 19,61 m, Draht-



Resonanzmessung mit Transceiver, Koppelschleife und Strom-Meßgerät



höhe 2 m, Frequenzen beim Eingabeln auf 70% des Maximums: 7,265 MHz und 7,277 MHz. Mittenfrequenz und damit Resonanzfrequenz: 7,271 MHz.

Resonanzwellenlänge: $\lambda / 7,271 \text{ MHz} = 41,260 \text{ m}$
 Res' Halbwellenlänge: $\lambda / 2 = 41,260 \text{ m} / 2 = 20,630 \text{ m}$
 Geom. Länge /
 R' halbwellenlänge: $v = 19,61 \text{ m} / 20,630 \text{ m} = 0,950562$
 Verkürzungsfaktor: $v = 0,950562$.

Der Verkürzungsfaktor wird am besten in der Nähe der endgültigen Frequenz gemessen, das heißt: Wir wählen die Länge des Halbwelldipols etwas länger als später beabsichtigt und hängen ihn an den Platz, den er endgültig einnehmen soll. Dann können wir nach der Messung der Resonanzfrequenz den Draht so weit kürzen, bis er auf der gewünschten Frequenz in Resonanz schwingt. Soll die oben gemessene Antenne auf 7,000 MHz in Resonanz sein, dann können wir mit dem Verkürzungsfaktor die notwendige geometrische Länge berechnen:

gewünschte Resonanzfrequenz: 7,000 MHz
 gewünschte Res'wellenlänge: $300 / 7,000 = 42,857 \text{ m}$
 gewünschte Halbwellenlänge: $42,857 \text{ m} / 2 = 21,429 \text{ m}$
 Endgültige Länge: $L = 21,429 \cdot 0,950562 = 20,369 \text{ m}$
 Verlängerung: $20,369 \text{ m} - 19,610 \text{ m} = 0,759 \text{ m}$.

Wir müssen also unseren Draht um 76 cm verlängern, um bei gleicher Höhe auf die gewünschte Resonanzfrequenz von 7,000 MHz zu kommen. Künstlerpech! Das Verlängern ist komplizierter als Verkürzen.

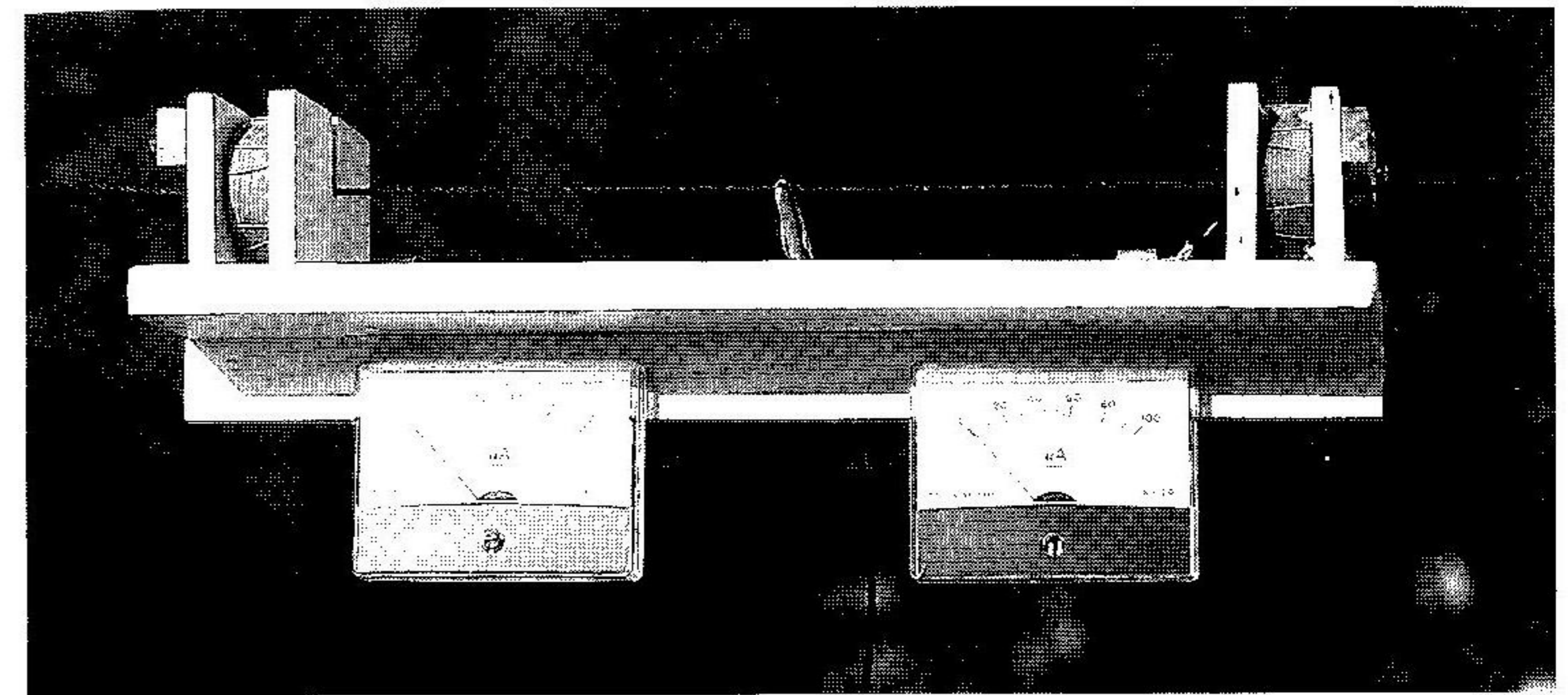
Wer die von der Theorie errechneten Werte als Grundlage für den Bau seiner Antenne verwenden will, kann auf die Zahlen der Verkürzungsfaktoren bauen, die L. B. Cebik, W4RNL, mit Hilfe von NEC-2 ermittelt hat [34].

Verkürzungsfaktoren für den Freiraum

Draht- dicke (mm)	Frequenzband (MHz)							
	3,5	7	10,1	14	18,1	21	24,9	28
1,0	0,9752	0,9739	0,9730	0,9720	0,9712	0,9706	0,9700	0,9695
1,5	0,9747	0,9731	0,9721	0,9710	0,9700	0,9694	0,9686	0,9681
2,0	0,9742	0,9725	0,9713	0,9702	0,9691	0,9684	0,9675	0,9669
2,5	0,9737	0,9718	0,9706	0,9693	0,9681	0,9673	0,9664	0,9658
3,0	0,9731	0,9711	0,9698	0,9684	0,9672	0,9664	0,9654	0,9647
3,5	0,9726	0,9706	0,9692	0,9677	0,9664	0,9656	0,9646	0,9639
4,0	0,9723	0,9702	0,9688	0,9672	0,9659	0,9650	0,9639	0,9632
5,0	0,9717	0,9693	0,9678	0,9661	0,9647	0,9637	0,9626	0,9618
10,0	0,9693	0,9662	0,9642	0,9620	0,9601	0,9588	0,9573	0,9563
15,0	0,9674	0,9638	0,9613	0,9588	0,9565	0,9550	0,9531	0,9521
20,0	0,9659	0,9618	0,9590	0,9562	0,9536	0,9519	0,9500	0,9486
30,0	0,9634	0,9587	0,9555	0,9521	0,9491	0,9471	0,9448	0,9431
40,0	0,9617	0,9562	0,9526	0,9487	0,9454	0,9431	0,9405	0,9387
50,0	0,9600	0,9541	0,9501	0,9460	0,9422	0,9399	0,9370	0,9350

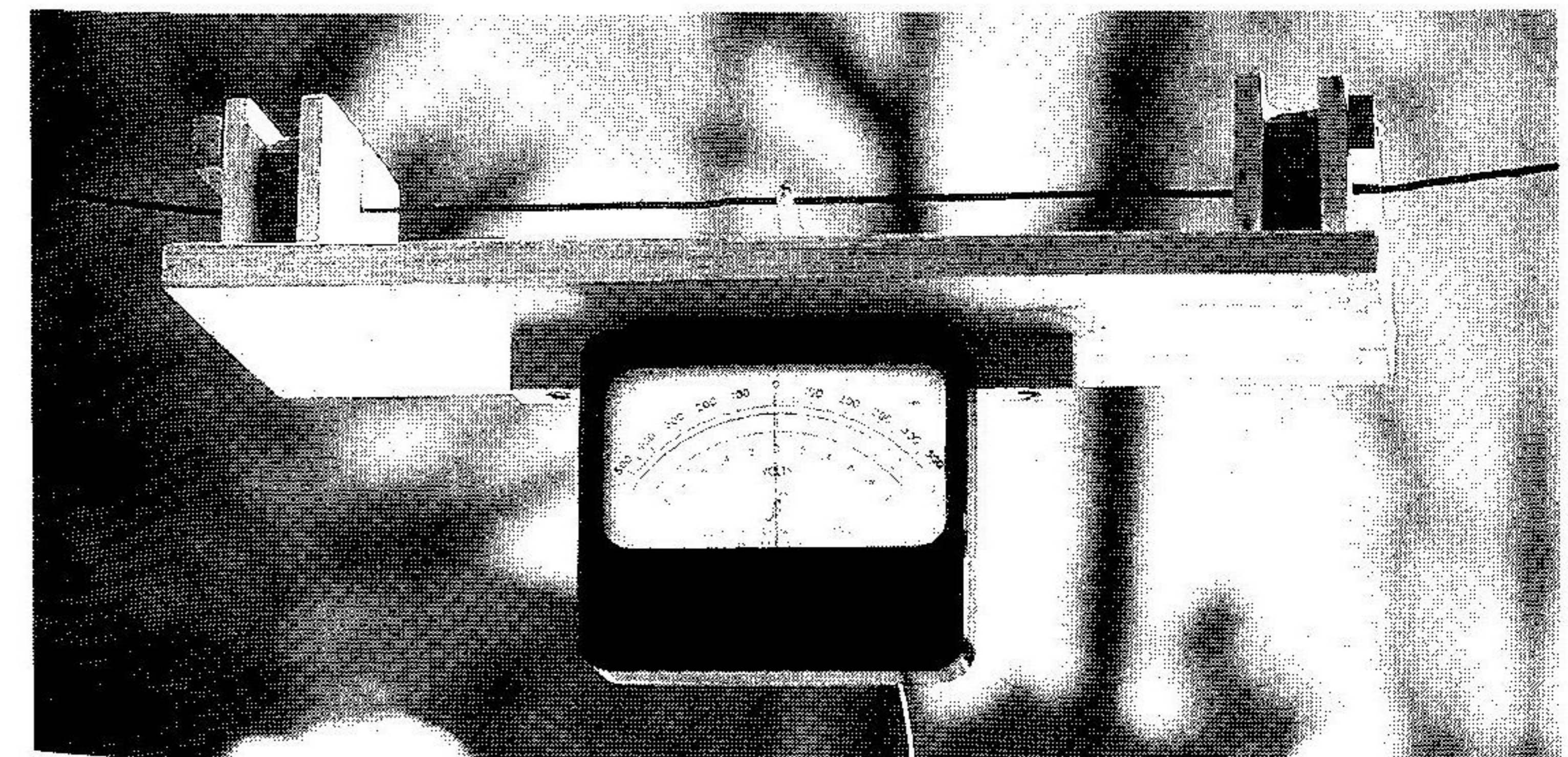
Die Werte sind für den Freiraum gerechnet, bis 3 mm Durchmesser für Kupferdraht, ab 3,5 mm Durchmesser für Aluminium, wobei der Unterschied im Metall glatt vernachlässigt werden kann. Da unsere Antennen (leider) meist sehr erdnah sind, ist von den Zahlen der Tafel etwa 1% bis 2% zu subtrahieren; es sei jedoch hier nochmals betont: Eine Messung läßt sich durch nichts ersetzen.

Wir können die Resonanz des Halbwellenstrahlers auch dann messen, wenn bereits die Speiseleitung angeschlossen ist. Dazu betrachten wir das Bild 2.6. Wenn die erregende Frequenz niedriger als die Resonanzfrequenz ist, verteilt sich der Strom, wie links zu sehen ist. Der kurze Ast der Antenne ist für die lange Welle viel zu kurz. Dort kann der Strom nicht auf die volle Stärke kommen und bleibt zu klein. Der lange Ast der Antenne ist für die lange Welle gerade recht, der Strom kommt auf beinahe die volle Stärke. Dadurch harmonisieren die Ströme auf beiden Ästen nicht, und es bildet sich ein Sprung in der Stromstärke aus: kurzer Ast – Strom zu klein, langer Ast – Strom zu groß. Die Welligkeit auf der Speiseleitung wird unerwünscht stark, und die Speiseleitung strahlt kräftig. Liegt dagegen die erregende Frequenz über der Resonanzfrequenz des Strahlers, so gilt das mittlere Bild. Der Strom fließt im kurzen Ast recht kräftig. Dafür ist er im langen Ast schwächlich. Es entsteht ein Stromsprung an der Speisestelle. Die



Messung des HF-Stromes links und rechts vom Speisepunkt. Bei gleichen Stromstärken ist die Windom-Antenne resonant.

Speiseleitung hat eine hohe Welligkeit und strahlt. Ist die Frequenz zu hoch, so gilt: kurzer Ast – Strom zu groß, langer Ast – Strom zu klein. Ist die erregende Frequenz mit der Resonanzfrequenz identisch, so kann es keinen Stromsprung geben, nicht einmal dann, wenn der Speisepunkt schlecht gewählt ist. Die Resonanzmessung ist einfach: Auf dem Strahler wird sehr nahe dem Speisepunkt der Strom gemessen, einmal links vom Anschluß und einmal rechts vom Anschluß. Ist der Strom beide Male gleich stark, so herrscht Resonanz. Bequemer ist es.



Vergleich der HF-Ströme links und rechts vom Speisepunkt mit einem Brückeninstrument. Bei Brückenstrom null ist die Windom-Antenne resonant.

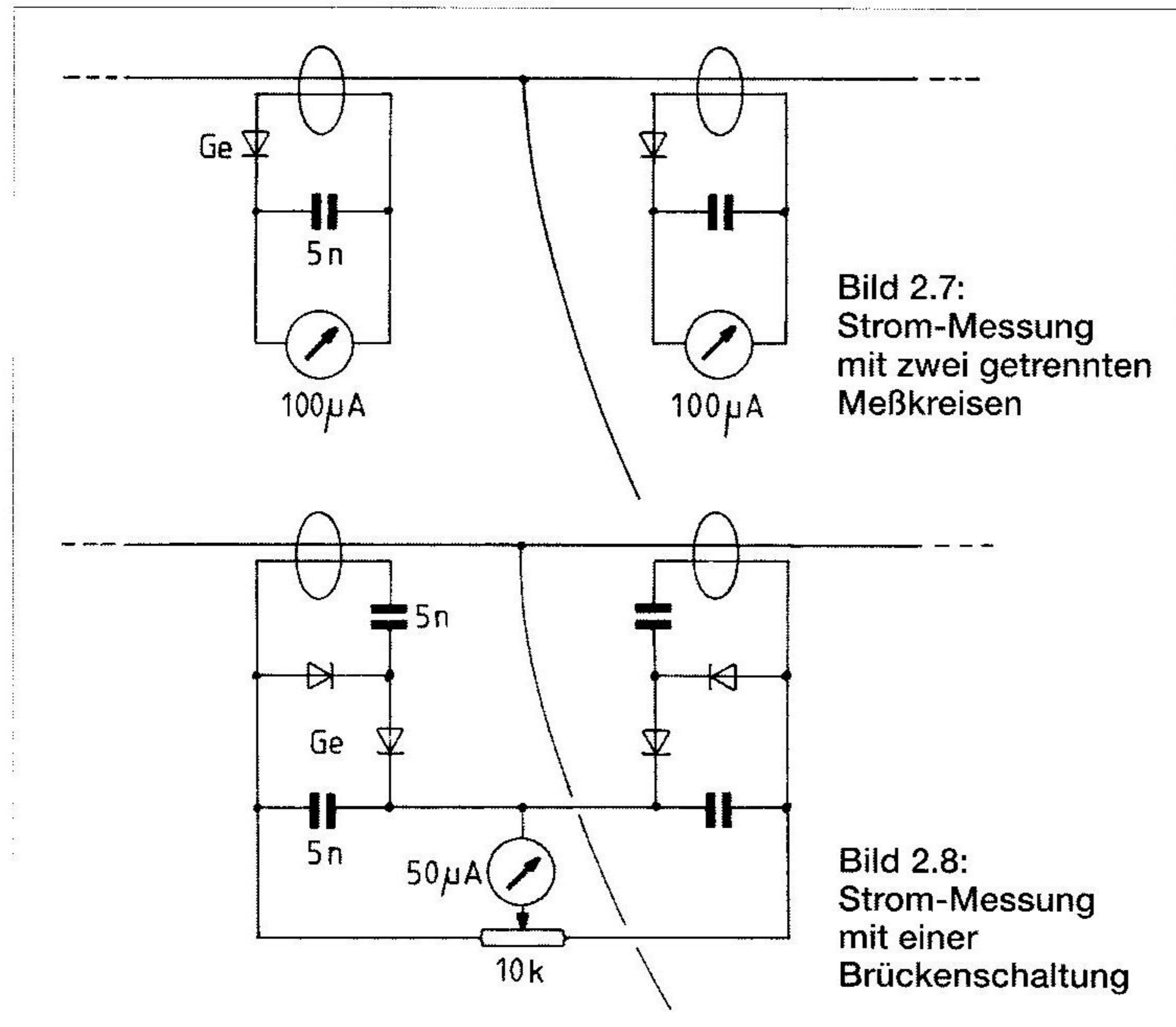


Bild 2.7:
Strom-Messung
mit zwei getrennten
Meßkreisen

Bild 2.8:
Strom-Messung
mit einer
Brückenschaltung

mit zwei Meßgeräten gleichzeitig zu messen. Zeigen beide den gleichen Strom, so ist der Strahler resonant. Bild 2.7 zeigt den Stromlaufplan eines Meßgerätes. Die Stromwandler sind geschlitzte Ringkerne aus Holz, wie oben beschrieben. Sie entnehmen den zu messenden Strom wie eine Stromzange. Je eine Germanium-Diode oder Schottky-Diode übernimmt die Einweg-Gleichrichtung. Die Ströme werden durch 100- μ A-Meßwerke angezeigt, die vorher so zu kalibrieren sind, daß sie bei gleichen Strömen gleich anzeigen. Noch eleganter ist die Strommessung in Brückenschaltung. Die Ströme werden so gerichtet, daß sie gegeneinander fließen und die Differenz von dem Brücken-Instrument angezeigt wird (Bild 2.8). Zeigt das Instrument Null oder wenigstens ein tiefes Minimum, dann schwingt der Strahler in Resonanz. Die Gleichrichtung erfolgt zweckmäßig in Spannungsverdoppler-Schaltung, um einen kräftigen Brückenstrom zu erzielen. Der Brückenabgleich wird mit dem 10-k Ω -Potentiometer vorgenommen.

Eine 5,8 m lange und etwa 10 m hohe Windom-Antenne mit einem Speisepunkt, der vom linken Ende 2,41 m entfernt war, wurde durch das beschriebene Strommeßgerät mit zwei Meßwerken auf Resonanz überprüft. Bei Resonanz müssen beide Ströme gleich stark sein. Das heißt: Der linke Strom I_L ist genauso groß wie der rechte Strom I_R . Damit ergibt sich die Stromdifferenz $D = |I_L - I_R|$. Wir rechnen hier mit dem Betrag der Differenz, und der ist immer positiv. D kann die Differenz aus zwei sehr schwachen oder aus zwei sehr starken Strömen sein. Um die gesamte Stromstärke zu berücksichtigen, wird die Differenz D mit der Gesamtstromstärke gewogen, das heißt, sie wird auf die gesamte Stromstärke bezogen, und das sieht mathematisch so aus:

$$\text{gewogene Stromdifferenz: } D_1 = |I_L - I_R| / (I_L + I_R)$$

Ob wir dabei mit μ A, mA oder A messen, ist gleichgültig. Die Wägung hat den großen Vorteil, daß alle Schwankungen der eingespeisten Leistung aus der Rechnung herausfallen, wenn diese zeitlich nicht zu kurz sind. Bei 24,9 MHz waren die Ströme $I_L = 91 \mu$ A, $I_R = 67 \mu$ A. Damit ergibt sich $D_1 = |91 \mu$ A - 67μ A| / 156μ A. $D_1 = 0,1519$. So wurden von 24,4 MHz bis 25,3 MHz alle gewogenen Stromdifferenzen gemessen und in das Diagramm von Bild 2.9 eingetragen. Bei 24,915 MHz war $D_1 = 0$, das heißt: Hier herrscht Resonanz. Dem entspricht eine Wellenlänge von 12,04 m. Daraus können wir den Verkürzungsfaktor v berechnen: Freiraum-Halbwellenlänge = 6,02 m. Drahtgebundene Halbwellenlänge = Antennenlänge = 5,80 m. $v = 5,80 \text{ m} / 6,02 \text{ m}$. $v = 0,963455$.

Mit der meßtechnischen Bestimmung der gewünschten, resonanten Halbwellenlänge ist der erste große Schritt zu einer perfekten Windom-Antenne getan. Nun folgt die Bestimmung des Punktes, an dem die Eindraht-Speiseleitung angeschlossen werden soll.

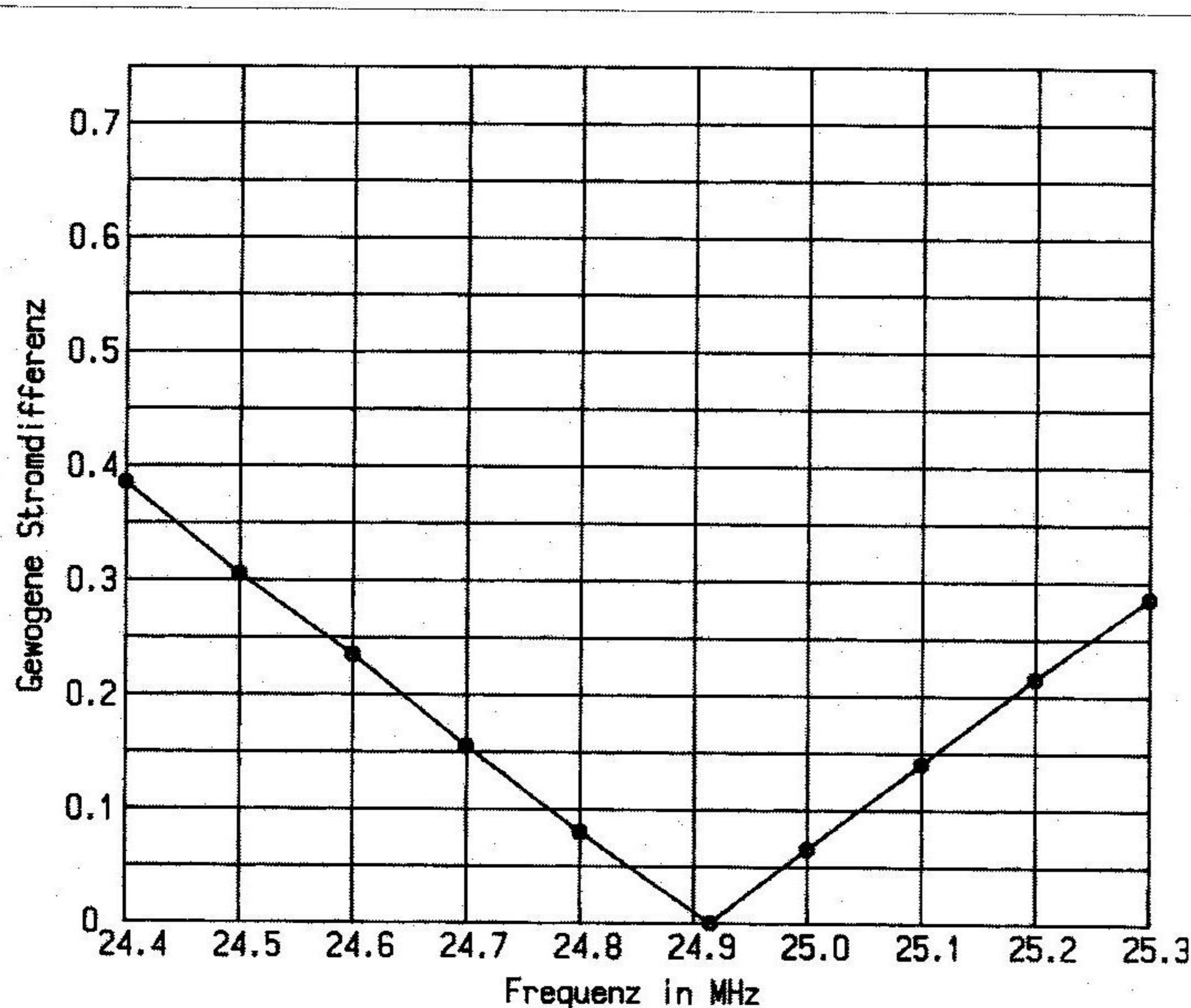


Bild 2.9: Resonanz-Messung mit der gewogenen Stromdifferenz

3. Der Anschluß der Speiseleitung

Bei Resonanz hat der Halbwellendipol einen Wirkwiderstand, der dem Strahlungswiderstand von etwa 72Ω gleich ist: $R = R_r$. Streng genommen wäre dazu noch der Verlustwiderstand des Strahlers R_v zu addieren. Die Induktanz des Strahlers ist im Betrag gleich der Kapazität: $|X_L| = |X_C|$. Es ergibt sich so die Ersatzschaltung nach Bild 3.1. Dabei ist $R_1 = R_2$ und $R_1 + R_2 = R_r$. Bei Resonanz des Strahlers heben sich die Blindwiderstände X_L und X_C gegenseitig auf. Nur der Wirkwiderstand verbleibt. Gleichviel, wo wir den Strahler anzapfen, wir bemerken nur den Wirkwiderstand.

Wird der Dipol an einem Ende mit der Resonanzfrequenz gespeist (Bild 3.2), so heben sich die Reaktanzen auf, und es bleibt nur der Wirkwiderstand bestehen. Der Widerstand im Speisepunkt nimmt ein Maximum an: $R_{max} = 2000 \dots 4500 \Omega$. Die Rückleitung des HF-Stromes erfolgt über die Kapazität zur Erde. Der Speisewiderstand berechnet sich aus

$$R_{max} = Z_{ind}^2 / R_r$$

Wenn wir den Halbwellendipol in der Mitte auftrennen und die beiden Zweige in Serienschaltung gegenphasig speisen, z.B. mit einer Zweidrahtleitung, dann teilt sich der Strahlungswiderstand in zwei gleiche Hälften auf: $72 \Omega = 36 \Omega + 36 \Omega$. Jeder Zweig hat $R = 36 \Omega$. Beide Zweige sind hintereinander geschaltet, woraus sich ein Speisewiderstand von 72Ω ergibt (Bild 3.3).

Speisen wir den Halbwellendipol *in der Mitte* mit einer Eindraht-Speiseleitung, so hat jeder Zweig wie oben 36Ω Widerstand. Beide Zweige sind jetzt *parallel* geschaltet. Der Speisewiderstand ist daher $36 \Omega / 2 = 18 \Omega$, also nur noch $1/4$ des Strahlungswiderstandes (Bild 3.4).

Mit einer Eindraht-Speiseleitung wird der Strahler außerhalb der Mitte gespeist. Der kurze Teil des Dipols wirkt als Kapazität, der lange Teil als Induktivität. Die Blindwiderstände der Kapazität und der Induktivität heben sich bei Resonanz im Speisepunkt gegenseitig auf, gleichgültig, wo der Speisepunkt liegt (Bild 3.5). Der Strahlungswiderstand R_r ist stets 72Ω , er wird aber durch die als Schwingkreis wirkende Antenne auf andere Werte transformiert, ganz ähnlich wie eine angezapfte Spule eine angeschlossene Impedanz als Autotransformator umwandelt.

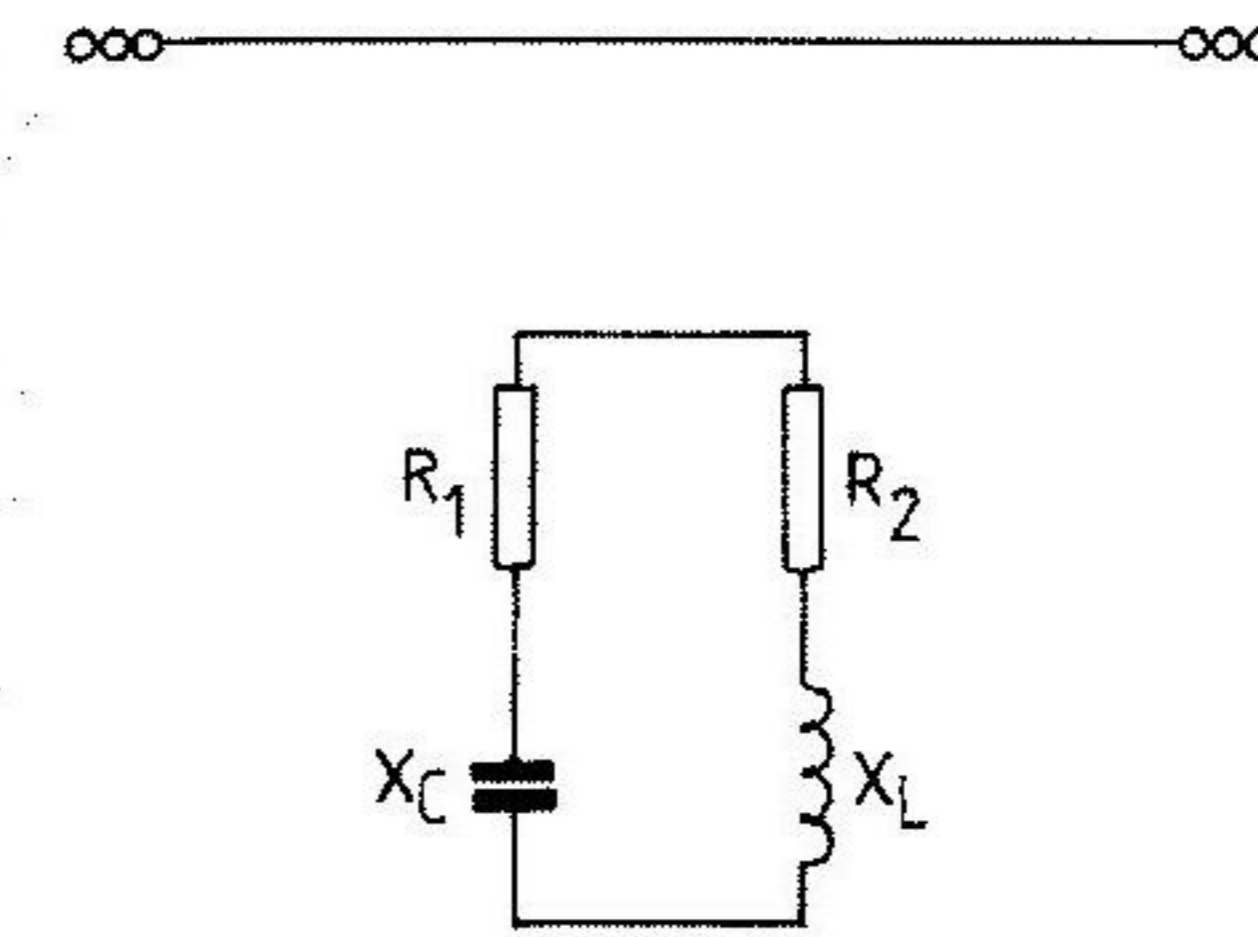


Bild 3.1:
Freier Dipol und
Ersatzschaltbild

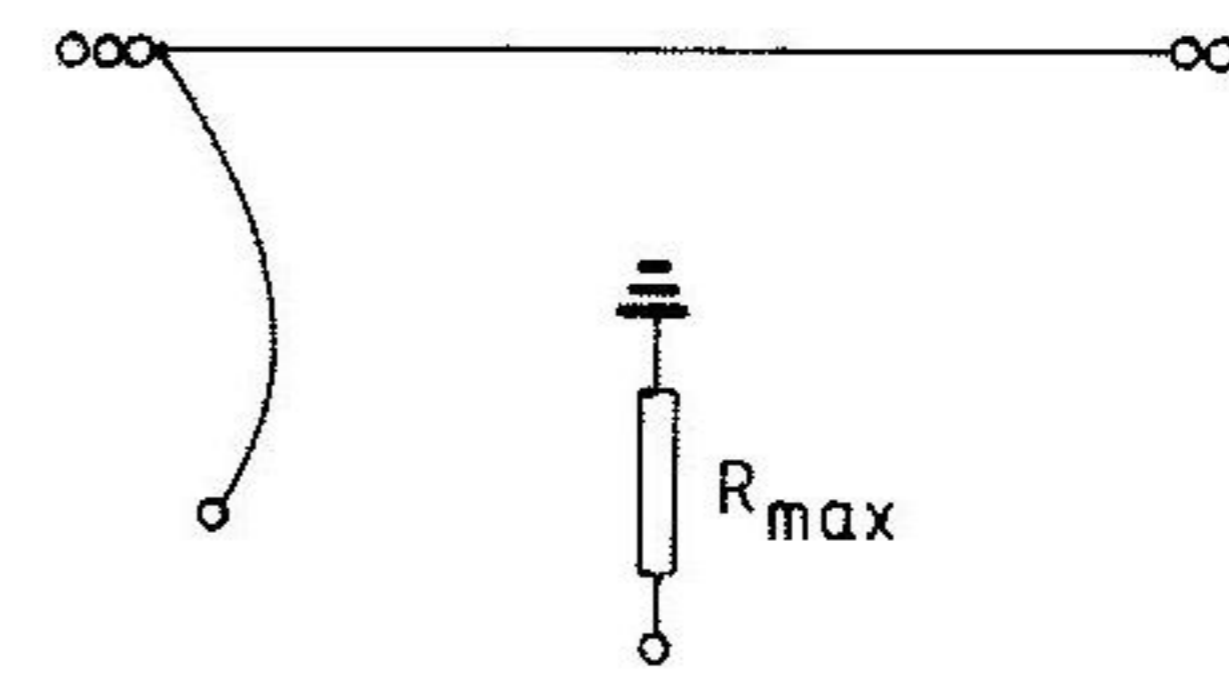


Bild 3.2:
Endgespeister Dipol

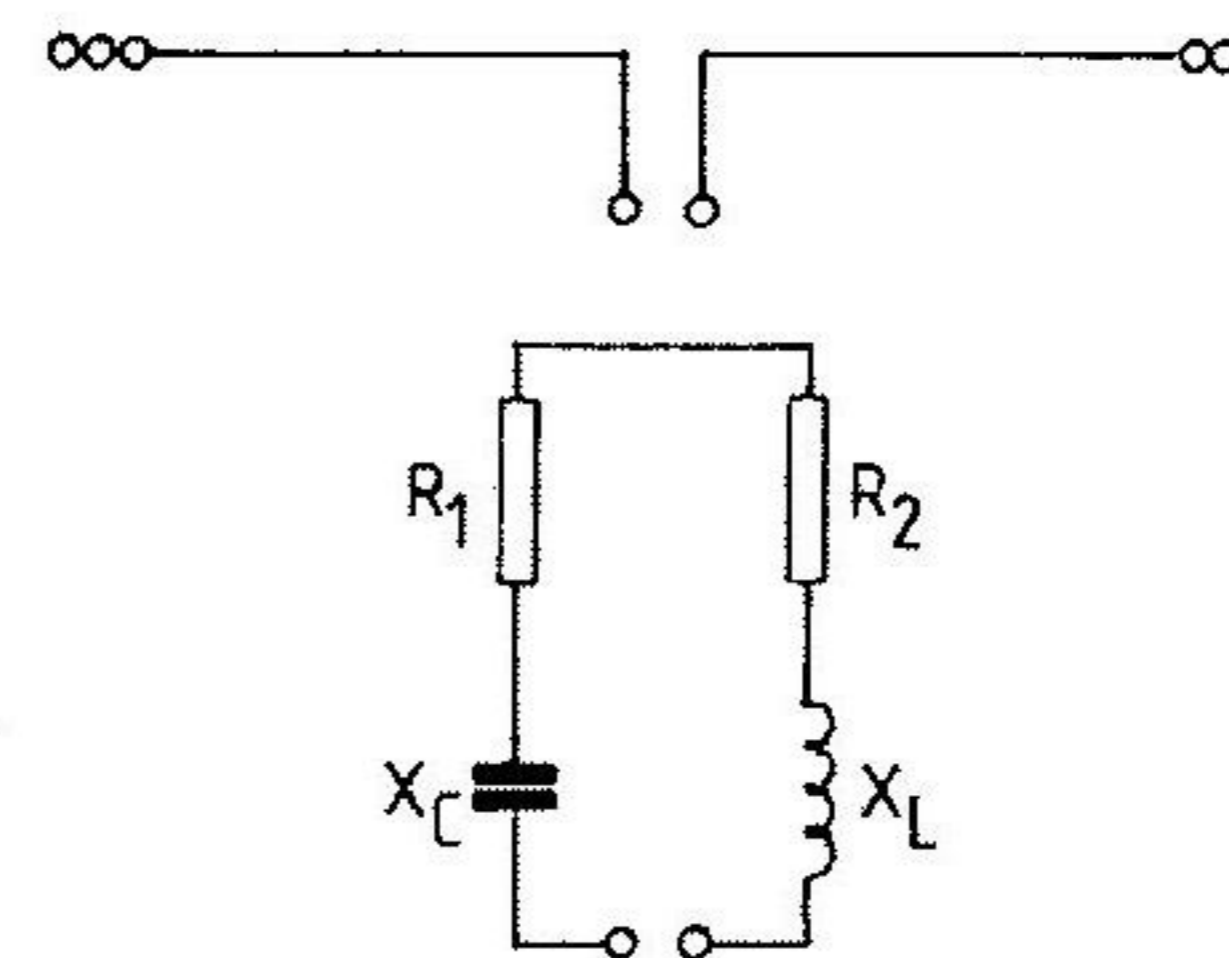


Bild 3.3:
Mit Zweidrahtleitung
mittengespeister Dipol

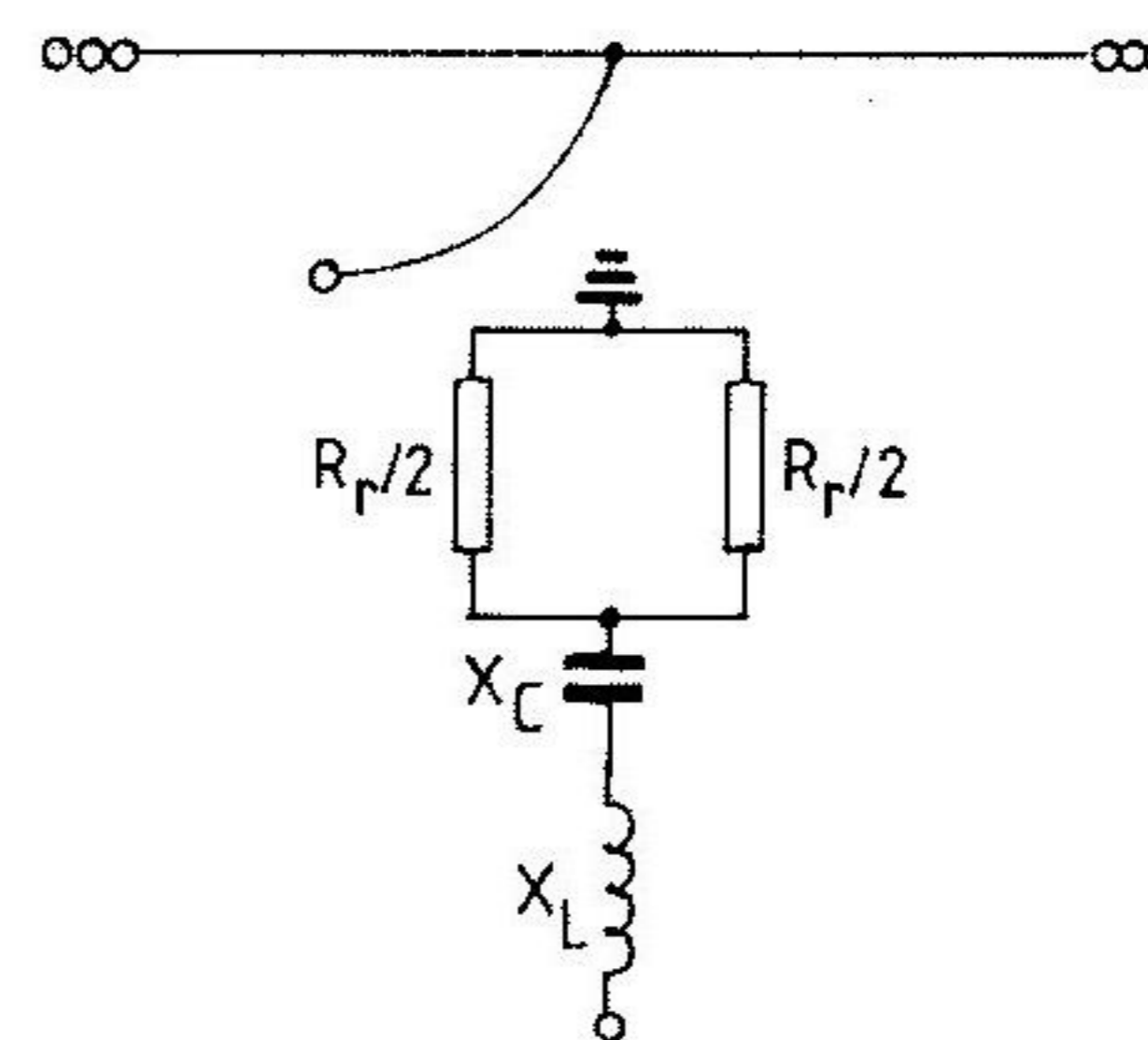


Bild 3.4:
Mit Eindrahtleitung
mittengespeister Dipol

Um diese Transformation berechnen zu können, brauchen wir den mittleren Wellenwiderstand Z_{md} des Halbwellendipols, der vom Schlankheitsgrad des Dipols abhängt. Der Schlankheitsgrad ist das mit gleicher Maßeinheit gemessene Verhältnis aus Länge geteilt durch Drahtdurchmesser l/d . Der mittlere Wellenwiderstand ist dann nach [18]:

$$Z_{md} = 120 \cdot (\ln(4 \cdot l/d) - 1) \quad [\Omega]$$

Die Basis der natürlichen Logarithmen ist die Zahl $e = 2.718\ 281\ 828\ 459\dots$; $4/e = 1,471\ 571\ 765\dots$. Durch Umrechnung ergibt sich die mathematisch gleichwertige, zugeschnittene Größengleichung:

$$Z_{md} = 120 \cdot \ln(1,4715 \cdot l/d) \quad [\Omega]$$

Bild 3.6 zeigt das Diagramm für den mittleren Wellenwiderstand eines Halbwellendipols.

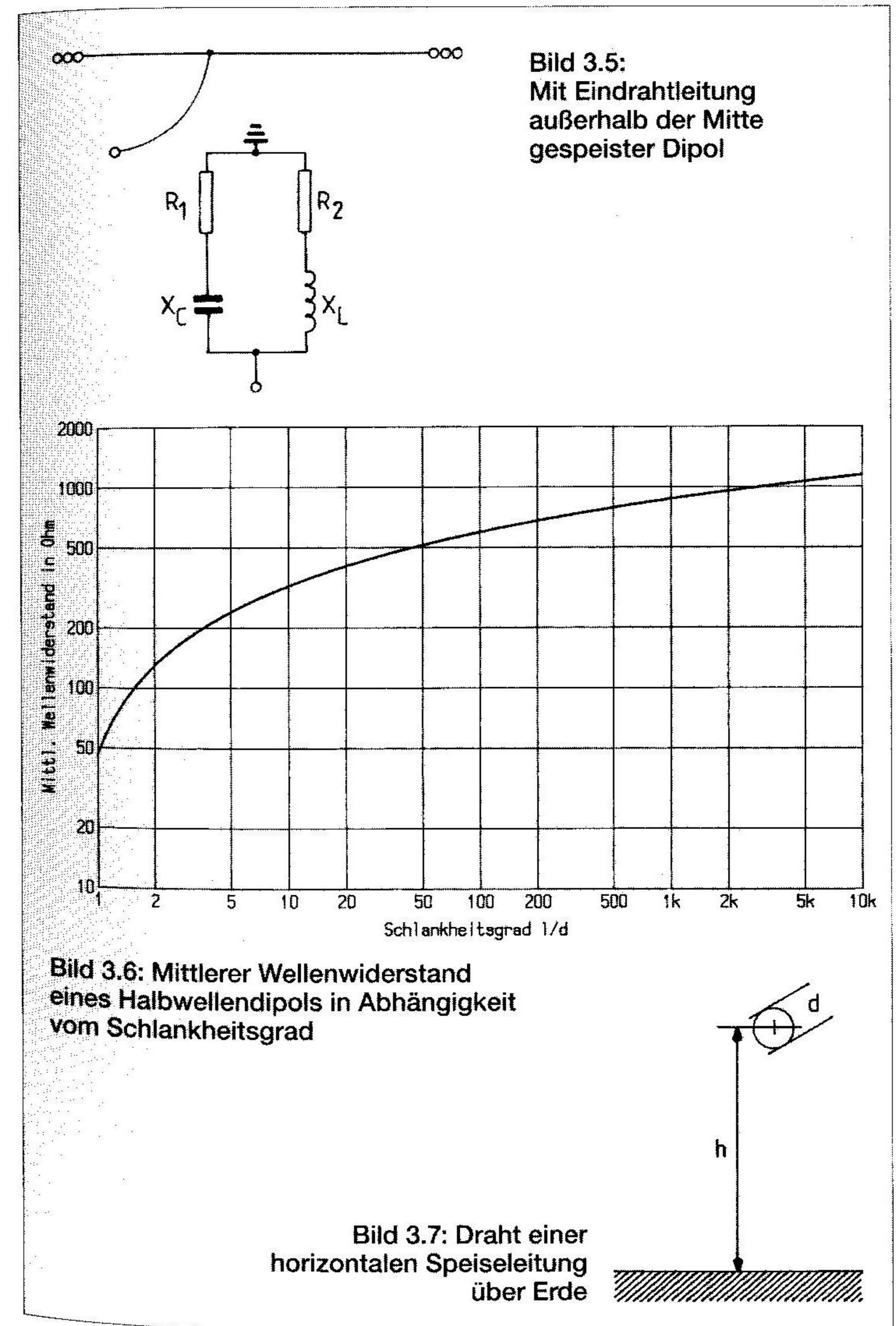
Die wichtigste Frage bei der Errichtung einer Windom-Antenne ist »Wo schließe ich die Speiseleitung an?« Es gibt nur eine klare Antwort: »Dort, wo die Impedanz von Speiseleitung und Strahler gleich groß sind!« Die Speiseleitung können wir uns als waagrecht über dem Boden gespannten Draht vorstellen. Dieses Bild entspricht nur teilweise der Wirklichkeit; aber ein senkrecht geführter Draht hat in erster Näherung die gleiche Impedanz wie ein waagerechter, wenn die Drähte nur etwa in gleicher Höhe verlaufen. Bild 3.7 zeigt uns einen Querschnitt durch die horizontale Speiseleitung und die darunter liegende Erde. Die Höhe des Drahtmittelpunktes über Erde ist h , der Durchmesser des Drahtes ist d . Beide müssen im gleichen Längenmaß gemessen werden, z. B. $h = 20$ m, $d = 0,003$ m (3 mm). Die Impedanz ist dann [16]:

$$Z = 60 \cdot \operatorname{arcosh}(2 \cdot h/d) \quad [\Omega]$$

Wäre alles in einen Isolator der Permittivität ϵ gebettet, so müßten wir Z noch durch ϵ teilen; doch verlaufen unsere Antennen meist in Luft. Arcosh ist die Areafunktion des Hyperbelcosinus, oft auch als \cosh^{-1} bezeichnet. Wenn wir diese Funktion durch den natürlichen Logarithmus ersetzen, begehen wir einen Fehler im ppm-Bereich, der in der Praxis bedeutungslos ist, außer der Draht verläuft nur wenige Dezimeter über dem Boden. Für die Praxis gilt dann [17]:

$$Z = 60 \cdot \ln(4 \cdot h/d) \quad [\Omega]$$

Die Impedanzen von Eindrahtspeiseleitungen über Erde können wir



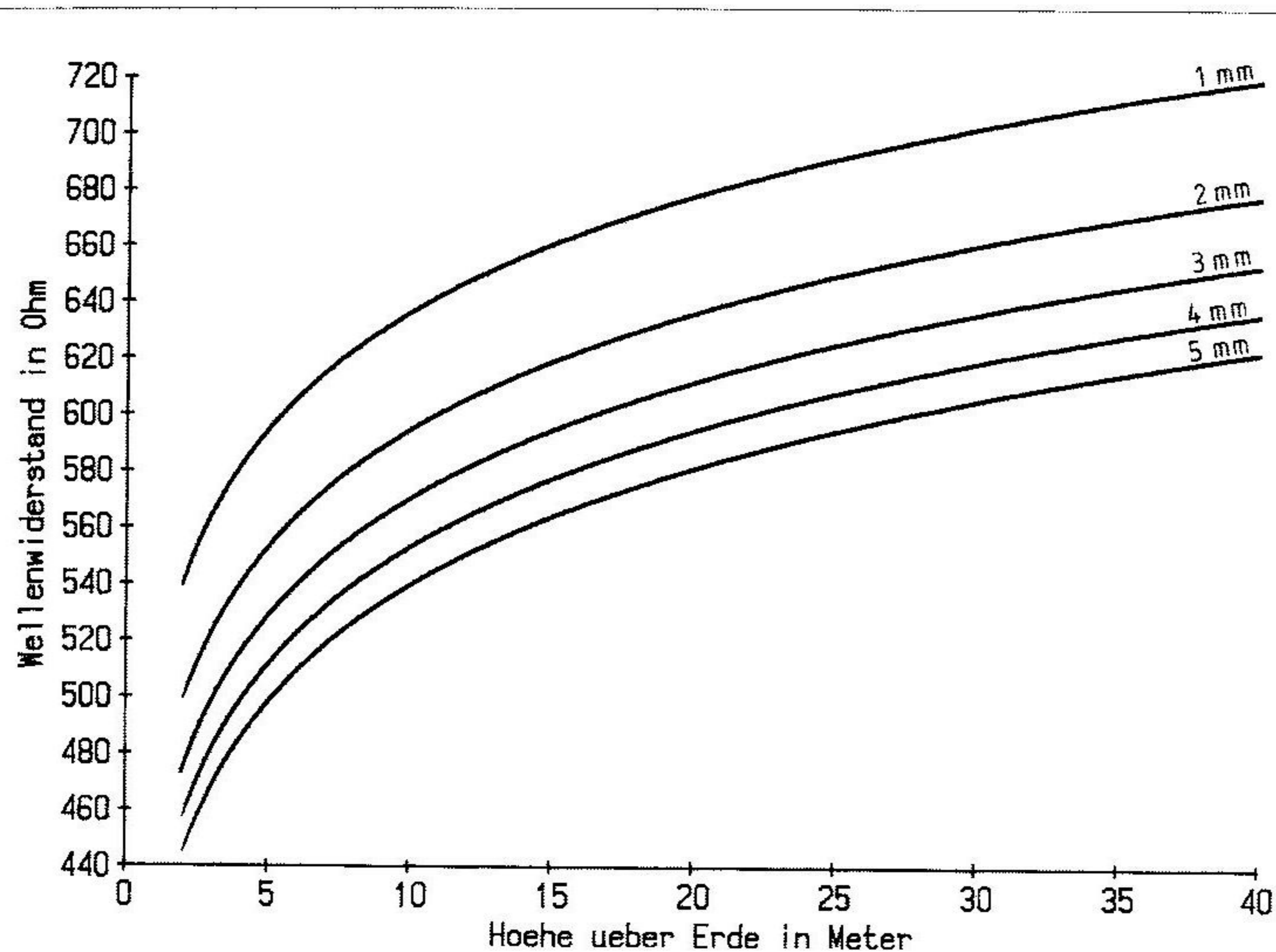


Bild 3.8: Die Impedanz von horizontalen Eindrahtspeiseleitungen

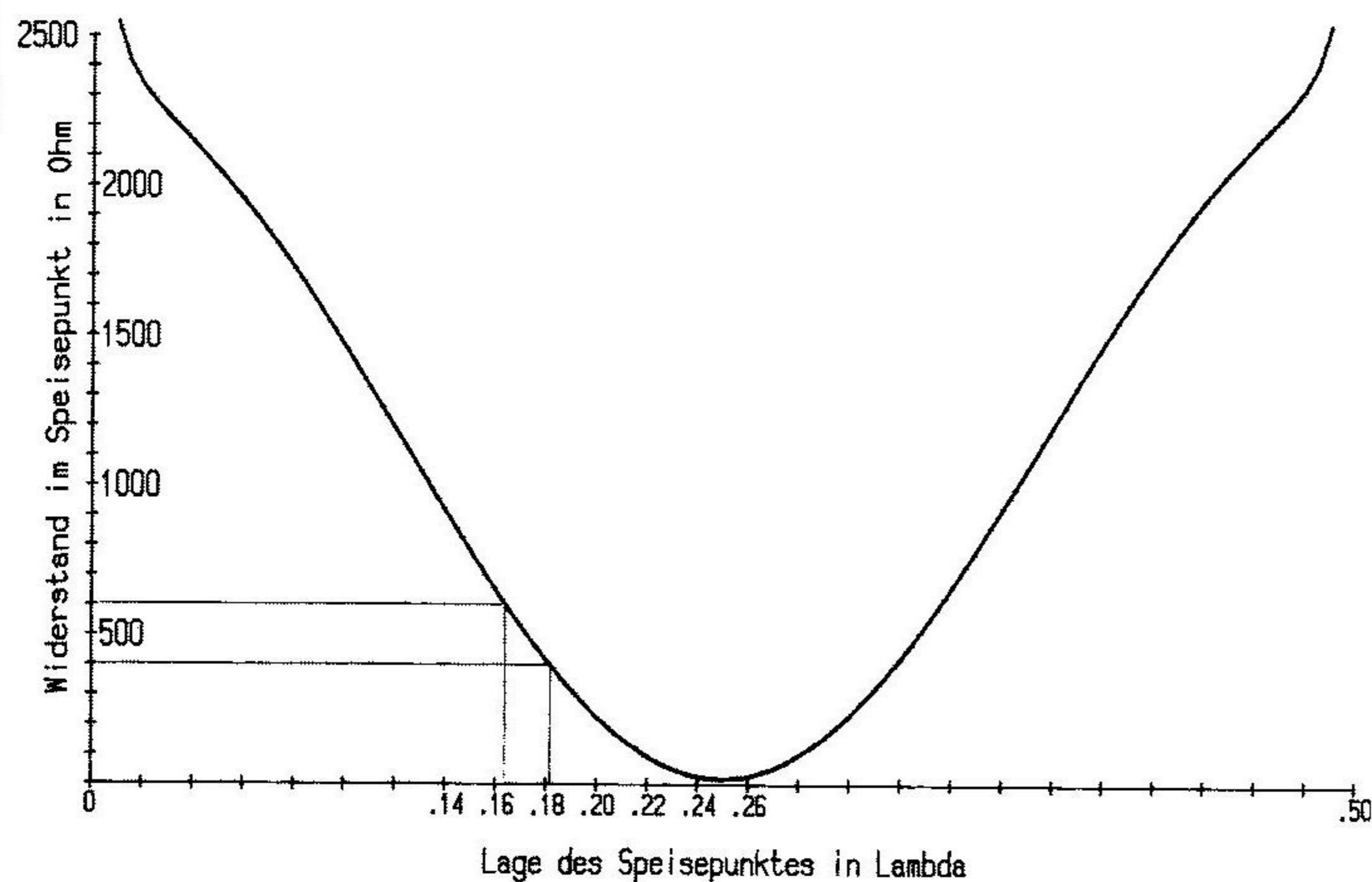


Bild 3.9: Die Lage des Speisepunktes einer Windom-Antenne

aus Bild 3.8 entnehmen. Sie sind für Drahtdicken von 1 mm bis 5 mm und Höhen von 2 m bis 40 m berechnet und geplottet worden.

Alle Möglichkeiten der Speisung lassen sich mit einer einzigen Formel abdecken [19]:

$$R_a = \frac{R_r \cdot x \cdot (1-x)}{4 \cdot l^2 \cdot \sin^2(\pi \cdot x/l)} + \frac{Z_{md}^2 \cdot \cos^2(\pi \cdot x/l)}{R_r} \quad [\Omega]$$

Dabei ist R_a = Aufnahmewiderstand im Speisepunkt, l = Länge des Strahlers in λ (fast immer $l = 0,5 \lambda$), x = Abstand Antennenende – Speisepunkt in λ , R_r = Strahlungswiderstand des Strahlers, Z_{md} = mittlerer Wellenwiderstand des Strahlers.

Bild 3.9 demonstriert den Verlauf des Aufnahmewiderstandes für $Z_{md} = 400 \Omega$, $R_r = 73 \Omega$ und $l = 0,5 \lambda$. Der Abstand x für Speiseleitungen von 400 bis 600 Ω liegt im Bereich von 0,163 bis zu 0,181 λ , was den oftmals in der Praxis zitierten Wert von $x = 0,17$ deutlich bestätigt. Um die Anpassung zwischen Speiseleitung und Antenne in ihrer Abhängigkeit vom Anzapfpunkt zu demonstrieren, hat Byrne [4] die Ströme auf Windom-Antenne und Speiseleitung Meter für Meter gemessen und gezeichnet. Der resonante Halbwellendipol war 18 m lang und 15 m hoch. Strahler und Speiseleitung bestanden aus Kupferdraht # 14 (1,63 mm). Die erregende Frequenz war 8,1 MHz, $\lambda = 37$ m. Die Stromverteilungen zeigt Bild 3.10. Zunächst ist der Anzapfpunkt 1 m aus der Mitte. Die Welligkeit auf der Speiseleitung ist erheblich. Bei 2 m bessert sich die Welligkeit, bei 2,25 m ist sie schon sehr gut. Bei 2,5 m ist die Welligkeit völlig verschwunden, der Strom ist erdseitig einen winzigen Betrag stärker als antennenseitig. Bei 3 m steigt die Welligkeit wieder an, und bei 4 m Abstand des Zapfpunktes von der Mitte ist die Welligkeit auf der Speiseleitung wieder ganz erheblich. Der Idealzustand tritt also bei 2,5 m Abstand ein. Das sind 0,1757 λ .

Die eindrätige Speiseleitung hat einen Wellenwiderstand von etwa 600 Ω . Auf dem Strahler muß nun ein Punkt gesucht werden, der einen Aufnahmewiderstand von 600 Ω hat. Wird die Speiseleitung dort angeschlossen, so erfolgt die Speisung ohne Impedanzsprung, und auf der Speiseleitung ist der Strom an allen Stellen gleich groß. Der Phasenwinkel auf der Speiseleitung ändert sich jedoch mit dem Abstand vom Punkt der Einspeisung und interessiert hier nicht weiter. Der Strom auf der Speiseleitung verläuft nach einer Sinus-Funktion.

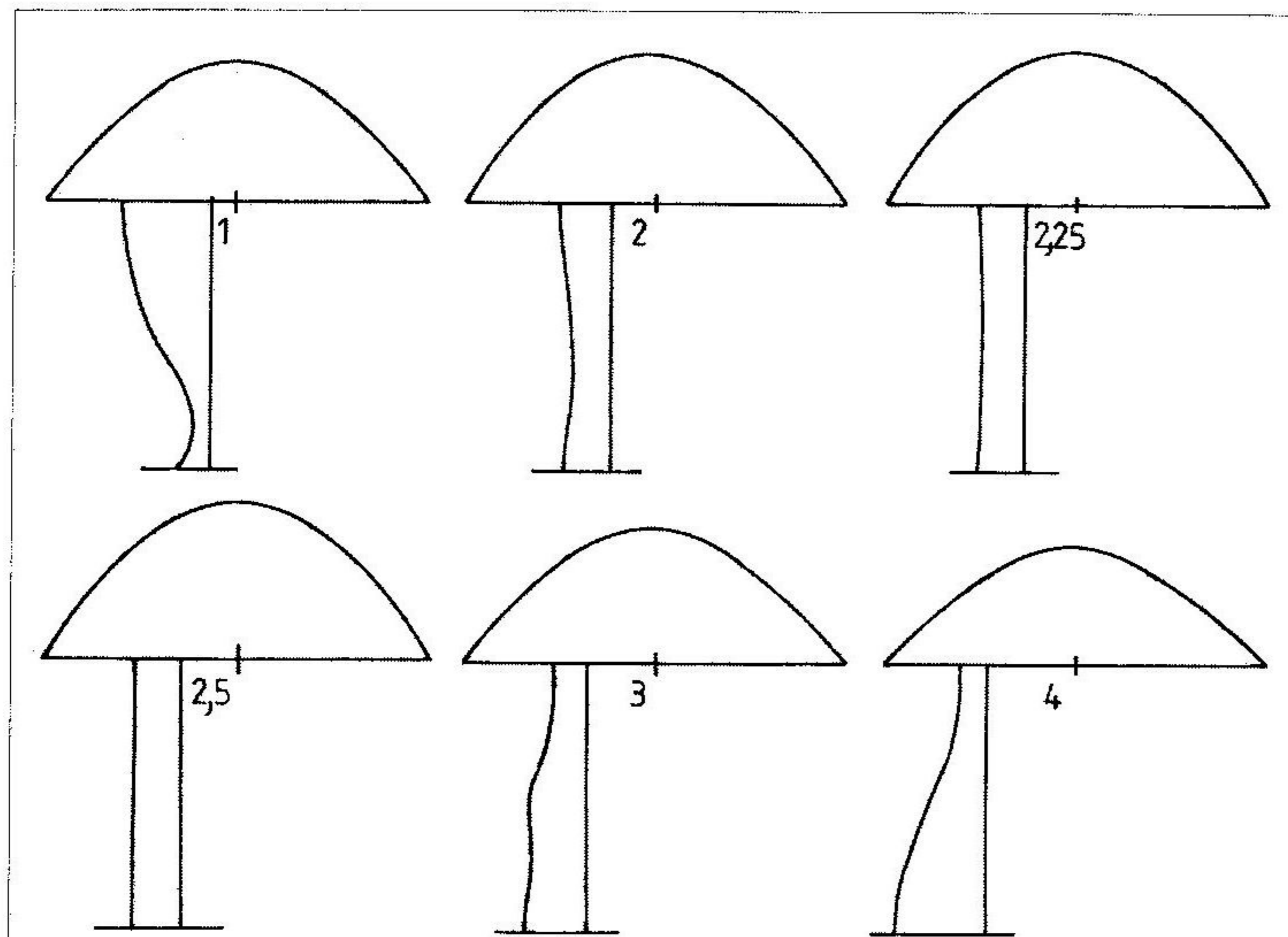


Bild 3.10: Die Stromverteilungen auf Speiseleitung und Antenne in Abhängigkeit vom Anzapfpunkt (Maße in m von der Mitte)

Er wird aber an keiner Stelle Null und auch nicht negativ. Der Strom setzt sich aus zwei Komponenten zusammen: Die eine ist sinusförmig, die andere ist an allen Stellen gleich. Diese Stromverteilung auf dem Speisedraht nennt man: pseudostehende Wellen. Stehende Wellen wären rein sinusförmig, Wanderwellen wären an allen Stellen gleich stark. Die pseudostehende Welle ist davon ein Mittelding. Bild 3.11 bietet einen Eindruck. Die stehende Sinuswelle entlang der Speiseleitung ist um den Betrag der Wanderwelle nach oben gehoben.

Für Eindraht-Speiseleitungen gibt es keine Meßgeräte der Welligkeit. Wir können also nicht mit einem SWR-Meter arbeiten. In einigen Quellen wird vorgeschlagen, die Welligkeit auf der Speiseleitung mit zwei Strom-Meßgeräten, die ein Viertel der Wellenlänge = 90° voneinander entfernt sind, zu messen. Messen wir nach Bild 3.11 mit Gerät A bei 135° und mit Gerät B bei 225° der Sinuskurve, so haben wir die größtmögliche Stromdifferenz gefunden. Messen wir nach Bild 3.12 mit Gerät A bei 45° und mit Gerät B bei 135° , so ist die Stromdifferenz

Null und damit ein Minimum, obwohl der Strom beträchtliche Unterschiede zeigt. Die bei A und B gleich großen Ströme täuschen einen vollkommen gleichbleibenden HF-Strom auf der Speiseleitung vor. Wir würden annehmen, die Antenne sei hervorragend angepaßt, was natürlich falsch ist. Um uns vor Fehlmessungen und Trugschlüssen zu schützen, dürfen wir diese 90° -Methode mit zwei Instrumenten nicht anwenden.

Als beste Meßmethode hat sich die Dreipunktmessung herausgestellt. Dabei wird die Stromstärke auf der Speiseleitung an drei Punkten gemessen, anschließend werden die gemessenen Stromstärken gegeneinander verglichen, indem man die Differenzen bildet. Sind die drei Differenzen Null, dann war der Strom an allen Stellen gleich stark, und auf der Speiseleitung liegt eine reine Wanderwelle. Damit hätten wir den Idealzustand erreicht. Zuvor ist zu klären, an welchen drei Stellen der Strom gemessen werden soll. Wo liegen die besten Meßpunkte? Auf Bild 3.13 sind die drei Strommesser A, B, C an der gleichen Stelle angebracht. Diese werden also den gleichen Strom messen, die Differenzen sind Null. Diese Messung ist nicht brauchbar.

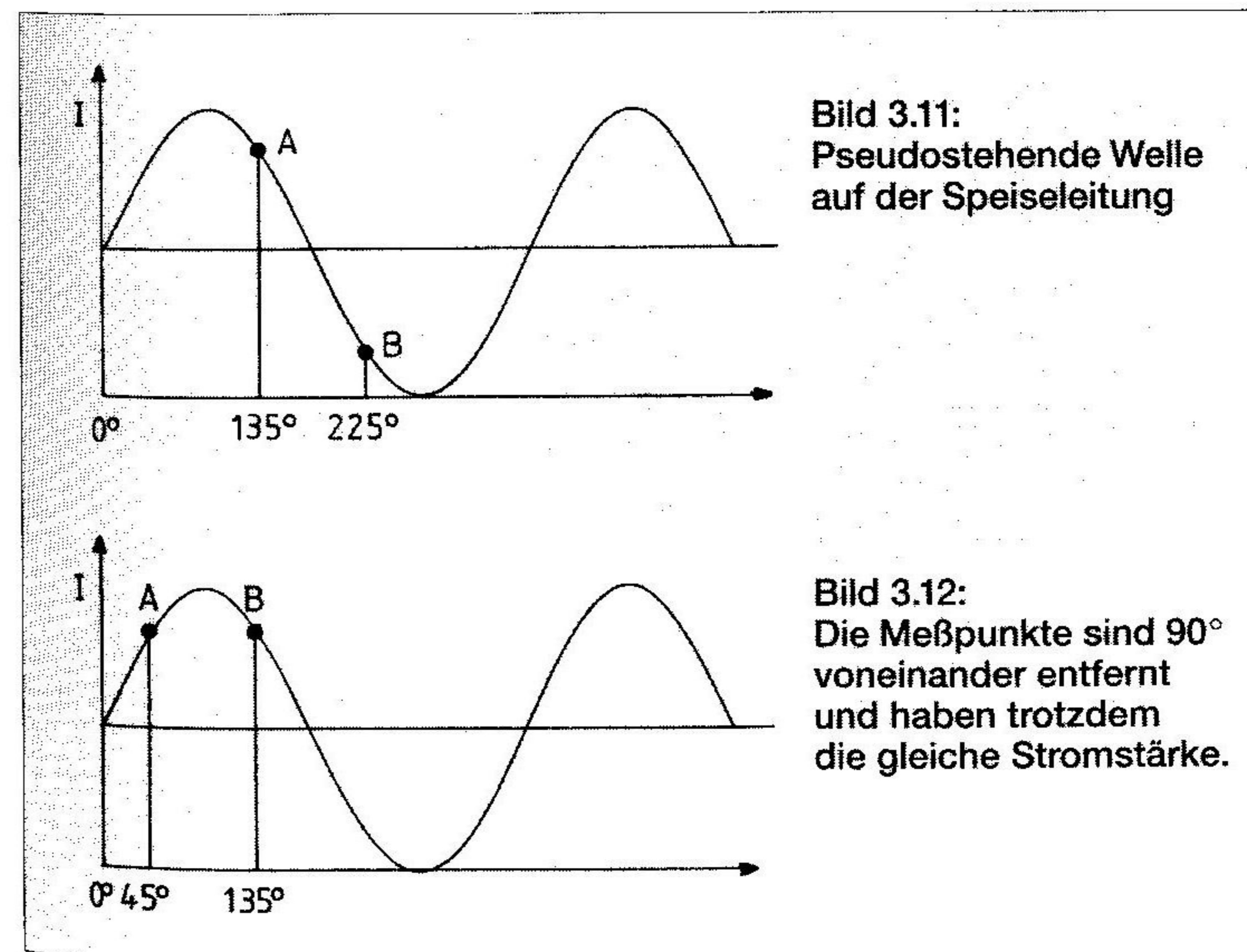


Bild 3.11: Pseudostehende Welle auf der Speiseleitung

Bild 3.12: Die Meßpunkte sind 90° voneinander entfernt und haben trotzdem die gleiche Stromstärke.

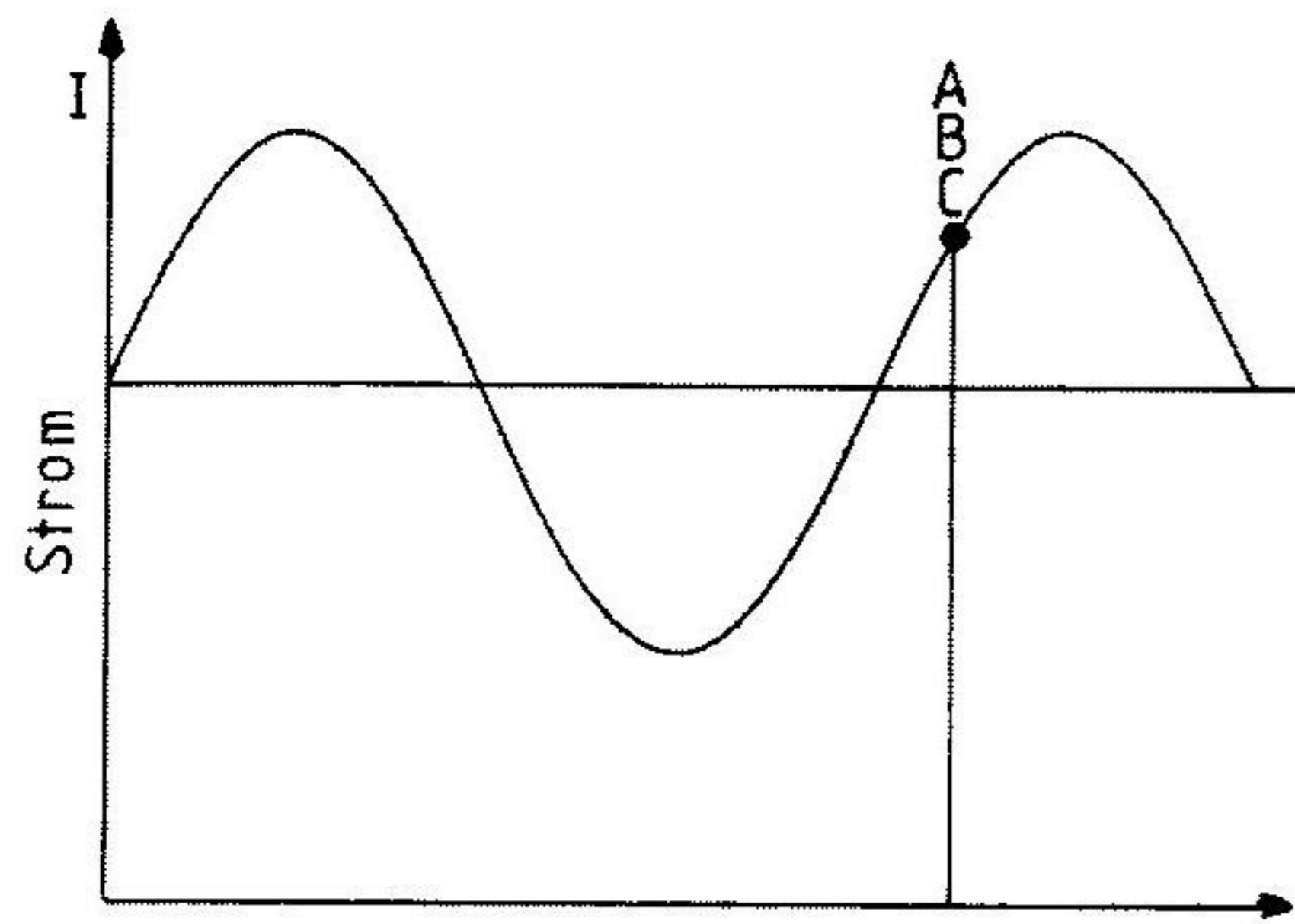


Bild 3.13:
Drei Strommesser am gleichen Punkt

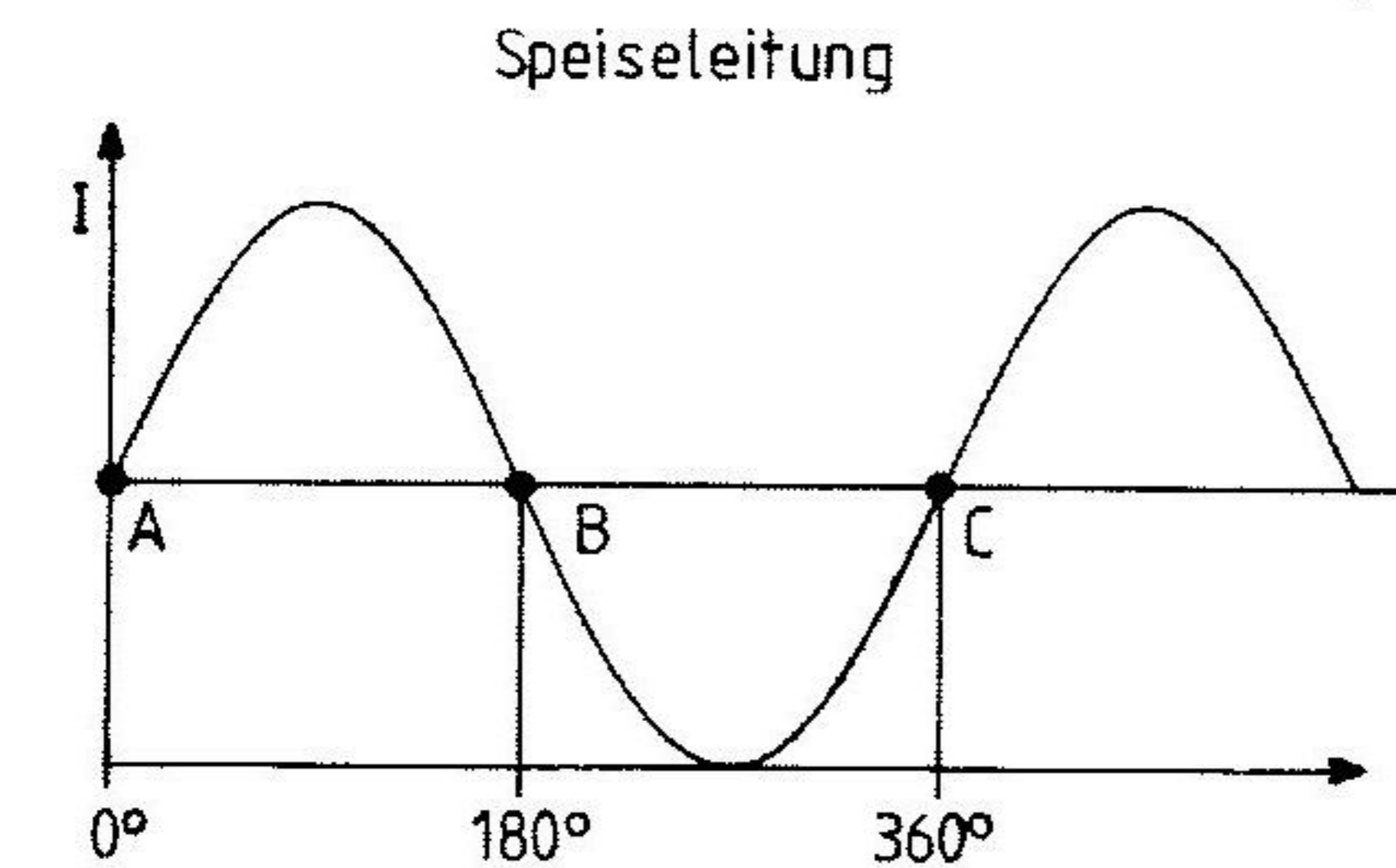


Bild 3.14:
Drei Strommesser in 180° Abstand

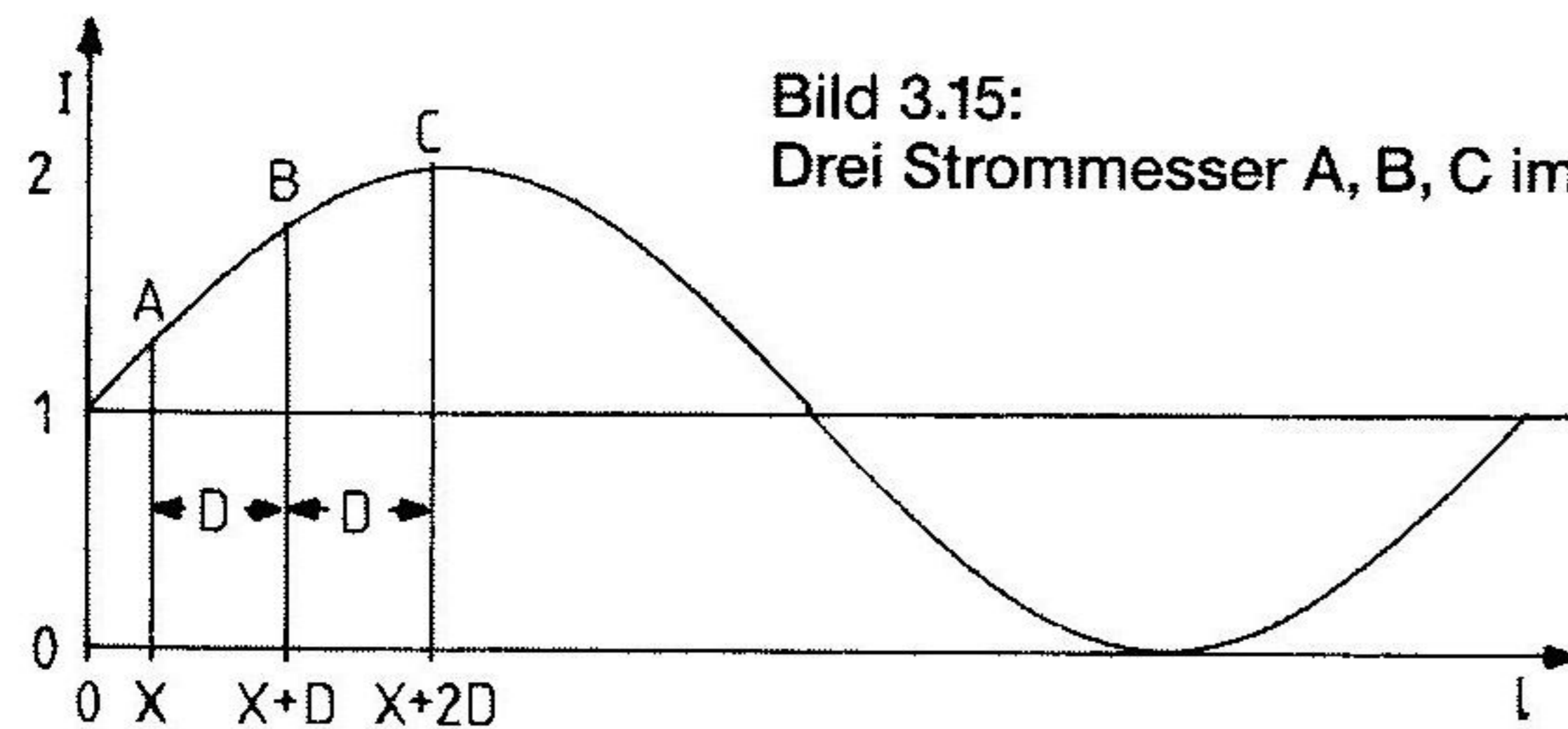


Bild 3.15:
Drei Strommesser A, B, C im Abstand D

Bild 3.14 zeigt die andere Unmöglichkeit: Die drei Meßgeräte sind mit 180° Abstand angebracht. Sie zeigen trotzdem alle den gleichen Strom. Auch diese Anordnung ist unbrauchbar. Der günstigste Abstand wird also irgendwo zwischen 0° und 180° liegen.

Um den optimalen Abstand der drei Strom-Meßgeräte zu finden führen wir eine mathematische Analyse durch. Zur Überlegung dient Bild 3.15. Die Y-Achse gilt für die Stromstärke, die X-Achse zeigt die

Lage auf der Speiseleitung. Die drei Meßpunkte sind mit A, B, C bezeichnet. Die dazu gehörigen Ströme sind I_a , I_b und I_c . Die Differenz der Ströme zwischen I_a und I_b ist D_{ab} . Die beiden weiteren Differenzen der Ströme sind D_{ac} und D_{bc} . Der Abstand zwischen den Meßgeräten ist D . Der Wanderwellenstrom ist gleich 1, das Maximum der Sinuslinie ist 2, das Minimum 0. Nun gilt:

$$\begin{aligned} I_a &= \sin(x) + 1 \\ I_b &= \sin(x + D) + 1 \\ I_c &= \sin(x + D + D) + 1 \end{aligned}$$

Dann sind die Differenzen der Ströme:

$$\begin{aligned} D_{ab} &= |I_a - I_b| \\ D_{ac} &= |I_a - I_c| \\ D_{bc} &= |I_b - I_c| \end{aligned}$$

Die Summe aller Stromdifferenzen ist:

$$SD = D_{ab} + D_{ac} + D_{bc}$$

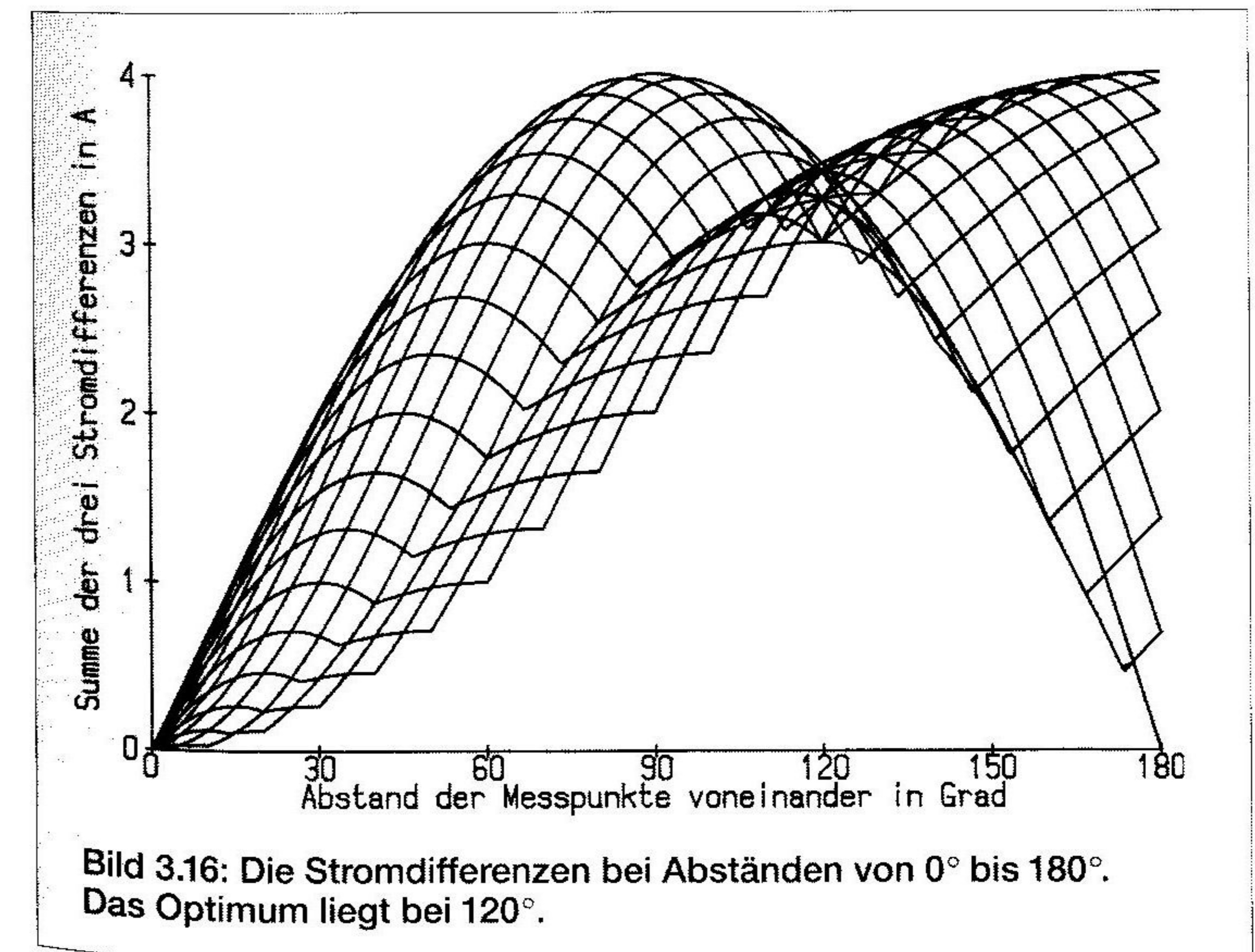


Bild 3.16: Die Stromdifferenzen bei Abständen von 0° bis 180°. Das Optimum liegt bei 120°.

Diese Summe ist vom Abstand D der Meßgeräte abhängig. Sie soll ein Maximum werden, was wir im allgemeinen mit Hilfe der Differentialrechnung schaffen. Die Lösung mit dem Computer ist wesentlich einfacher, wozu das Programm WINDOM02.BAS dient. Es ist im Kapitel 14 angegeben.

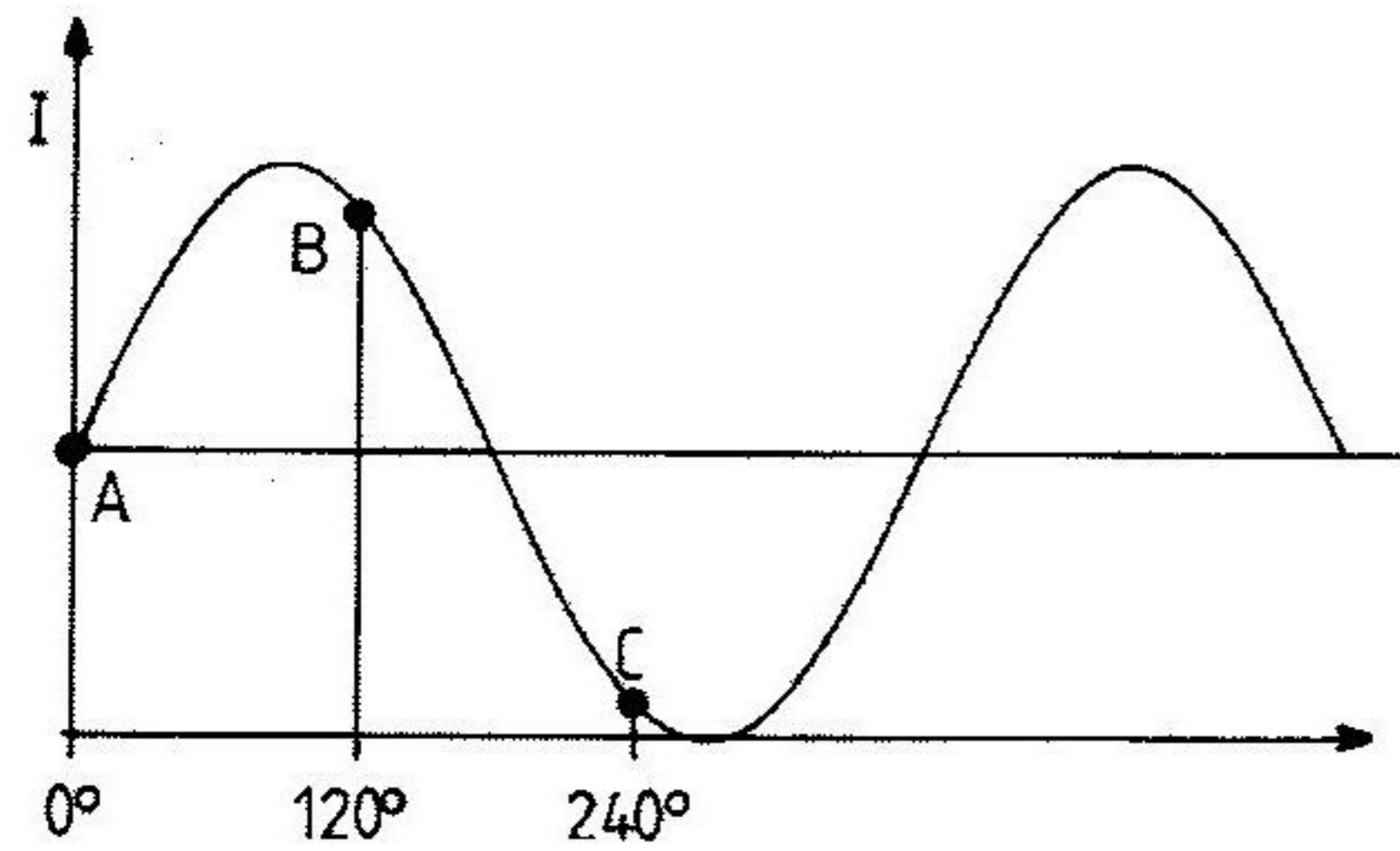


Bild 3.17:
Bei 120° Abstand unterscheiden sich die Ströme am stärksten.

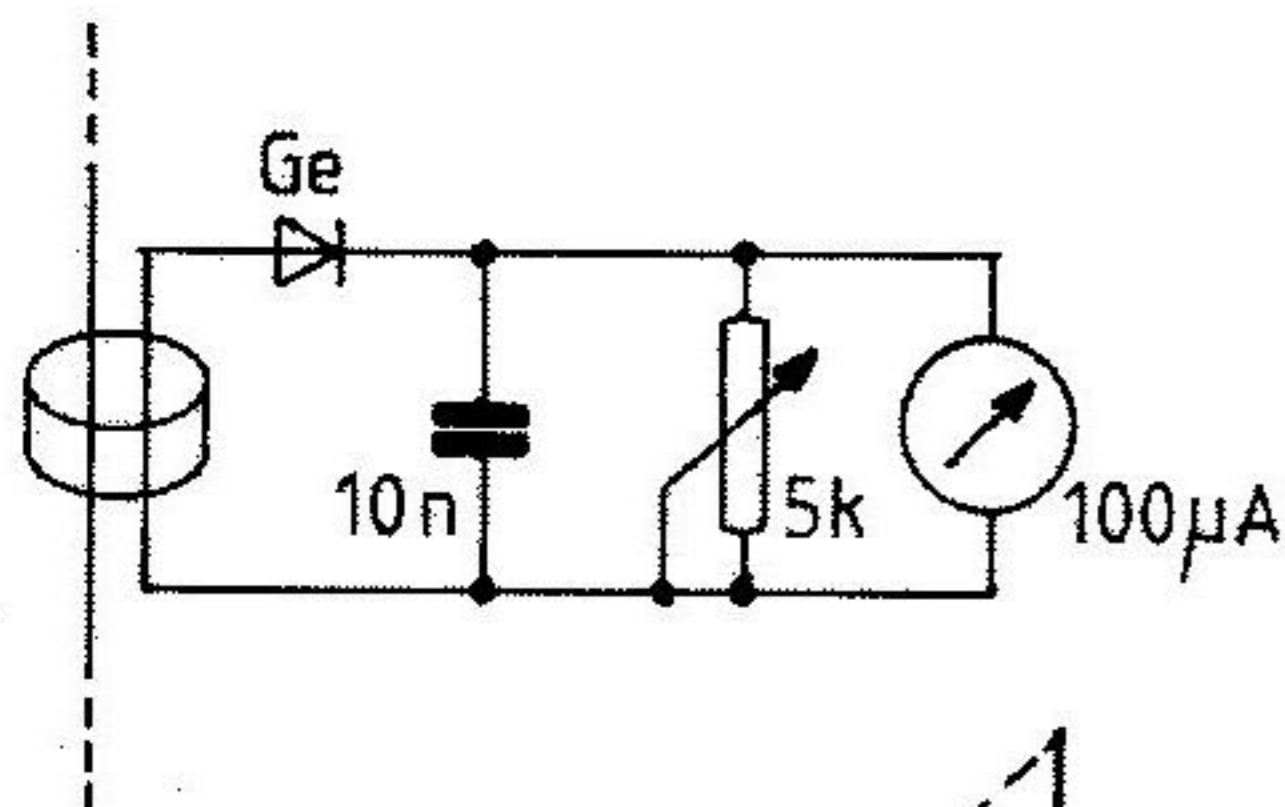


Bild 3.18: Stromlaufplan des Strommessers

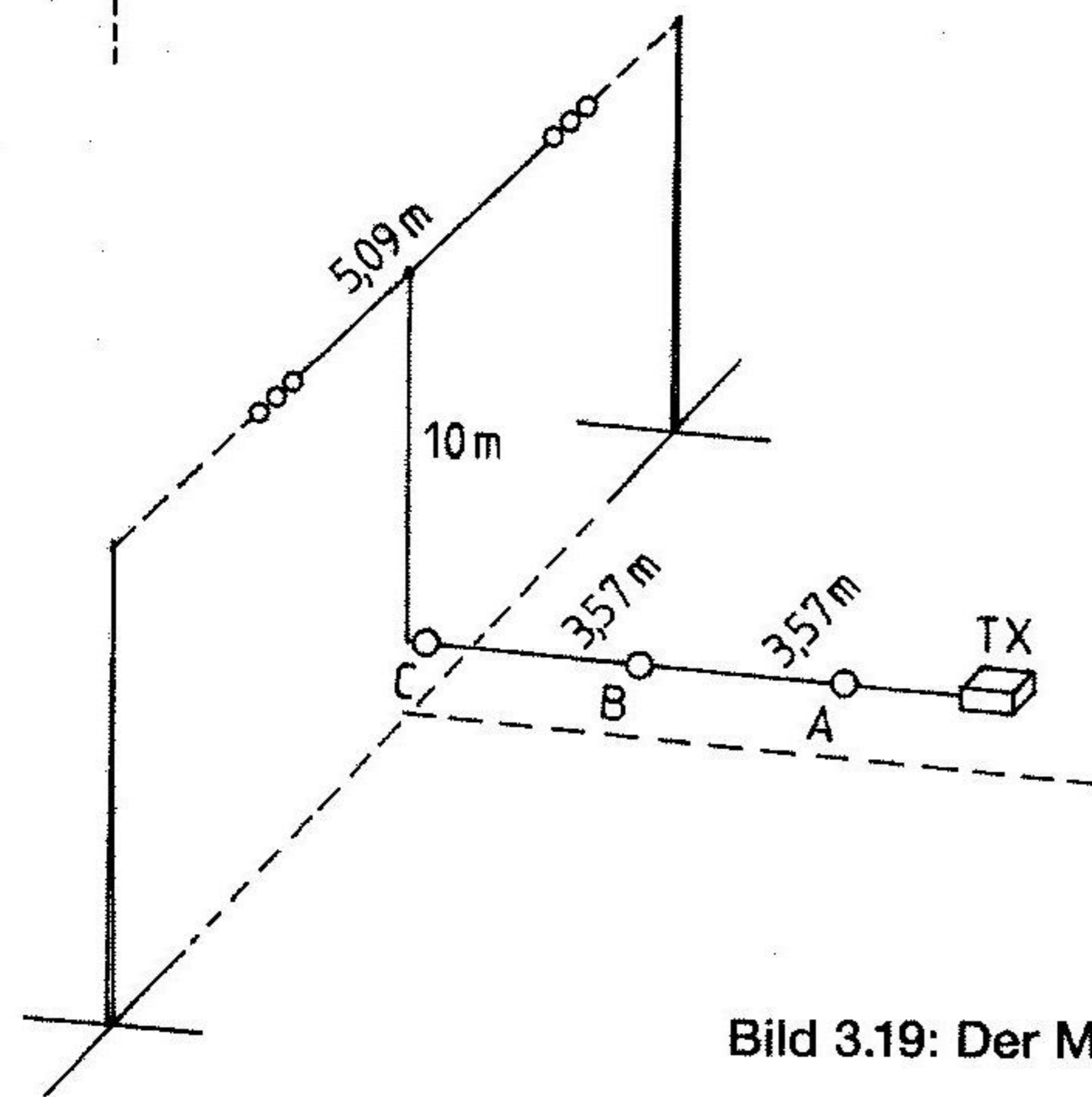


Bild 3.19: Der Meßaufbau im Garten

Mit diesem Programm können wir für jeden Abstand der drei Meßgeräte die Stromdifferenz berechnen. Diese ist auch von der Lage des ersten Meßpunktes auf der Speiseleitung abhängig. Berechnen wir die Stromdifferenz für jede Lage und jeden Abstand der Meßgeräte, so erhalten wir das Diagramm von Bild 3.16. Dort sind alle 10° die Stromdifferenzen als Kurven dargestellt. Unter ihnen liegt ein weißes »Dreieck«, dessen Spitze bei 120° aufragt. An dieser Stelle sind die Stromdifferenzen am größten. Also ist der optimale Abstand der drei Meßgeräte voneinander 120° gleich $\lambda/3$. Wie groß die Stromunterschiede bei einer 120°-Messung sind, demonstriert Bild 3.17. Winkel von 120° sind für die Bänder 3,5 und 7 MHz: Längen von 28 m bzw. 14 m sind kaum zu verwirklichen. Die untere, praktisch brauchbare Grenze für den gegenseitigen Abstand der Meßgeräte sind 30°, was für die beiden Bänder 7 m bzw. 3,5 m Abstand ergibt.

Für die Messung der HF-Ströme reichen selbstgebaute Meßgeräte aus. Bild 3.18 stellt den Stromlaufplan dar. Die Speiseleitung wird durch zwei Löcher in den Haltebrettchen gefädelt. Sie koppelt auf eine Abnahmeschleife. Um die Kopplung zu kräftigen, befinden sich Speiseleitung und Koppelschleife in einem weiten Ferritrohr. Der HF-Strom wird mit einer Germanium-Diode gleichgerichtet und nach Glättung durch einen Kondensator an das 100-µA-Instrument geführt. Dieses ist mit einem kleinen 5-kΩ-Potentiometer geschuntet. Vor der Messung werden alle drei Geräte mit einem kurzen Draht durchzogen. Durch diesen schicken wir einen HF-Strom, der an allen Stellen etwa gleich stark ist, und den wir auf Vollausschlag eines der drei Instrumente stellen. Mit den Potis werden dann die anderen Geräte auf den gleichen Strom kalibriert. Die Meßgeräte messen den relativen HF-Strom. Eine absolute Messung in A oder mA ist nicht notwendig.

Zur Messung wurde im Garten eine 28-MHz-Windom-Antenne in 10 m Höhe aufgespannt. Die Länge des Halbwellendipols wurde wie folgt bestimmt:

$$\begin{aligned} \text{Resonanzwellenlänge: } & 300 / 28 \text{ MHz} = 10,714 \text{ m} \\ \text{R' Halbwellenlänge: } & 10,714 \text{ m} / 2 = 5,357 \text{ m} \\ \text{V' Faktor: } & v = 0,95; 5,357 \cdot 0,95 = 5,090 \text{ m.} \end{aligned}$$

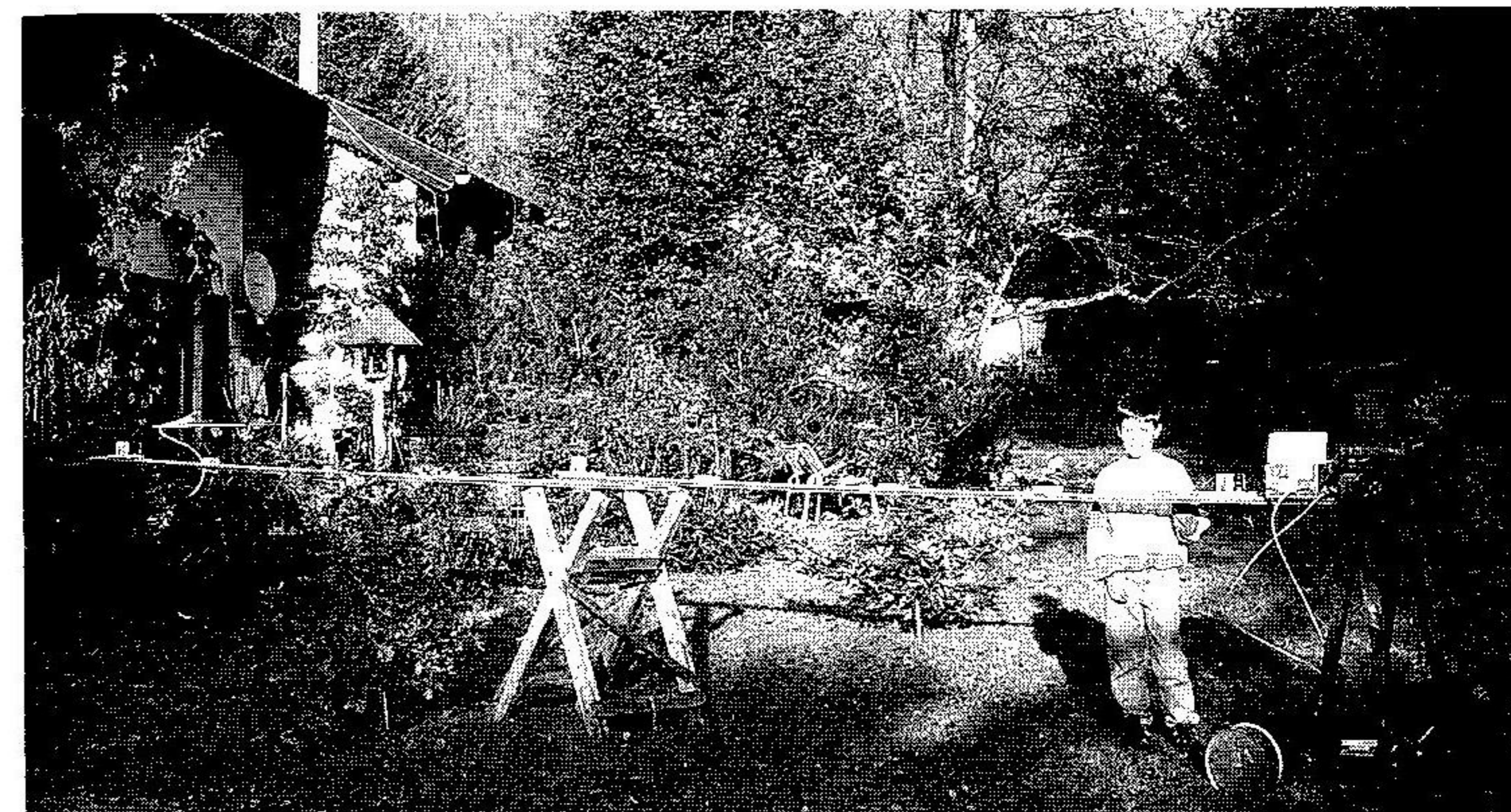
Die Resonanzfrequenz wurde in 10 m Höhe mit 28,010 MHz gemessen, gab also keinen Anlaß zu Änderungen. Die Speiseleitung führte zunächst etwa 10 m senkrecht nach unten und von dort aus waagrecht

über eine 8-m-Bretterbahn von 1 m Höhe über dem Erdboden zum Transceiver (Bild 3.19). Einige Holzklötzchen sorgten für 5 cm Abstand von den Brettern und geradlinigen Verlauf zwischen den drei Meßgeräten, die in 3,57 m Abstand (etwa 120°) auf die Bretterbahn gestellt wurden. Für den ersten Versuch wurde die Speiseleitung 1,50 m vom Antennenende entfernt angeklemt und die Antenne aufgezogen. Die Ströme waren A: 84, B: 69, C: 34. Zur nächsten Messung wurde die Antenne abgelassen, die Speiseleitung gelöst, neu bei 1,55 m Abstand vom Antennenende angeklemt, wieder aufgezogen und so fort.

Um die Ströme aller Messungen vergleichbar zu machen wurde jeweils der größte Strom auf 100 erweitert. Zunächst wurde der Erweiterungsfaktor berechnet (erste Messung): $100/84 = 1,1905$. Damit wurden alle Ströme dieser Messung multipliziert: $84 \cdot 1,1905 = 100$; $69 \cdot 1,1905 = 82$; $34 \cdot 1,1905 = 40$. Das gleiche geschah bei allen anderen Messungen. Aus den Strömen wurden die drei Differenzen und die Summe der drei Differenzen berechnet. So ergab sich folgende Tabelle:

Abstand d	A	B	C	A-B	B-C	A-C	Summe der Differenzen
1,50 m	100	82	40	18	42	60	120
1,55 m	100	89	56	11	33	44	88
1,60 m	100	95	84	5	11	16	32
1,65 m	100	89	87	11	2	13	26
1,70 m	100	89	79	11	10	21	42
1,75 m	100	76	76	24	0	24	48
1,80 m	100	79	87	21	8	13	42
1,85 m	100	73	86	27	13	14	54
1,90 m	100	59	72	41	13	28	82

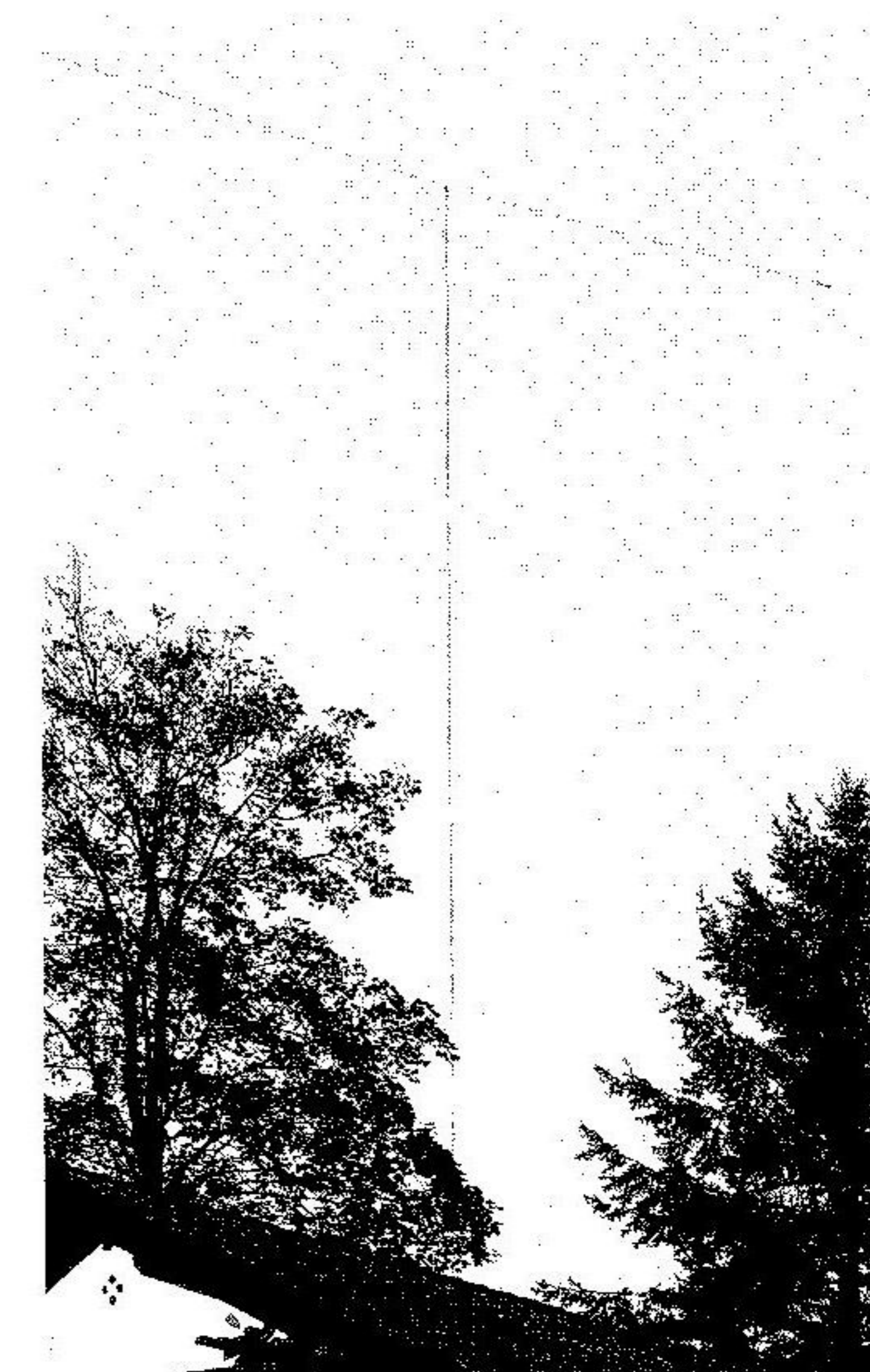
Es ist interessant, daß die Stromstärke in der Nähe des Transceivers stets am größten ist. Dies ist eine Folge des örtlichen Verlaufes der Leitung. Am Transceiver ist der Abstand zur Erde am geringsten, am Strahler jedoch am größten. Der Feeder entspricht also einer schräg gespannten Leitung, deren Impedanz vom Transceiver zum Strahler immer größer wird. Selbst wenn alle Welligkeit auf dem Feeder beseitigt ist, muß erdseitig ein größerer Strom fließen als antennenseitig.



Eindraht-Speiseleitung zur Windom-Antenne. Von rechts nach links: Transceiver, Tuner, Assistent, drei Strom-Meßgeräte, hinten senkrecht aufsteigende Speiseleitung



Die Meßbahn aus anderer Perspektive



5,09 m lange Windom-Antenne für die Messungen auf 28 MHz

Dies war bei allen Messungen der Fall. Beim Abstand $d = 1,65$ m tritt ein deutliches Minimum der Summe ein. Mit diesem Abstand ist die Welligkeit auf der Speiseleitung am geringsten. Die Summe der Differenzen ist nochmals in Bild 3.20 dargestellt. Das zweite Minimum bei $d = 1,8$ m liegt wesentlich höher. Eine Erklärung dafür ist darin zu suchen, daß eine metallene Dachrinne in zehn Meter horizontaler Entfernung (eine Wellenlänge!) auf die Antenne gekoppelt hat.

Das endgültige Meßergebnis ist in Bild 3.21 in mehrfacher Weise dargestellt. Die Resonanzfrequenz ist 28,010 MHz. Die Maße der Darstellungen sind von oben nach unten: In Metern, in λ , in Prozent und in Prozent Abweichung von der Mitte aus gemessen.

Die Windom-Antenne ist in der Antennenliteratur immer wieder aufgetaucht. Die Autoren haben für die Abmessungen der Antenne recht unterschiedliche Angaben gemacht. So steht im ersten deutschen Antennenbuch von Kollak und Wehde (1938) [7] folgendes: Dipollänge = $1/2 \lambda$, Speisepunkt ca. $1/7 \lambda$ von einem Ende entfernt. Ein

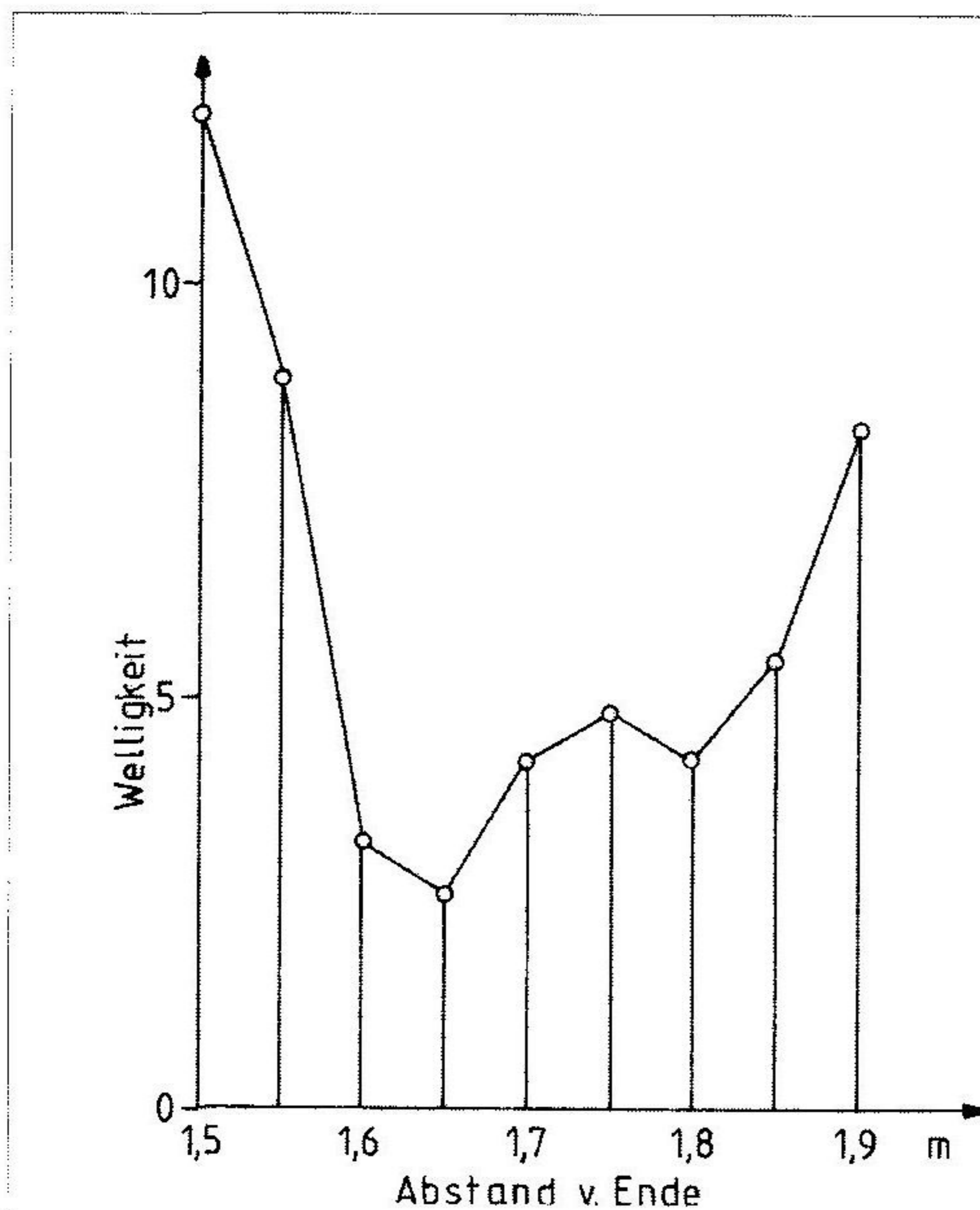


Bild 3.20:
Das Minimum der Welligkeit liegt bei 1,65 m Abstand vom Ende.

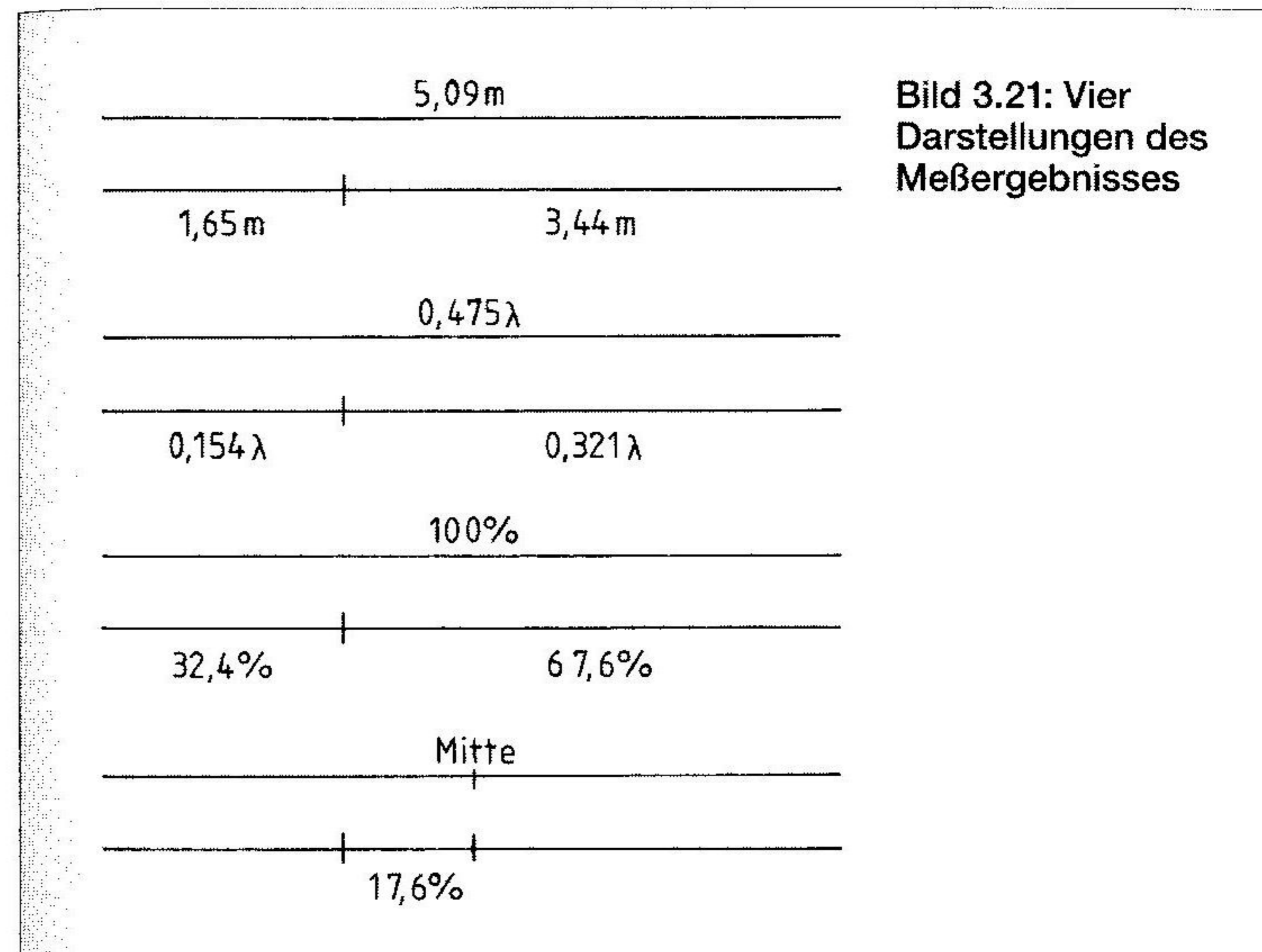


Bild 3.21: Vier Darstellungen des Meßergebnisses

Verkürzungsfaktor wird nicht genannt, aber die Speiseleitung »soll zweckmäßig jedoch wenigstens $1/3 \lambda$ lang sein.«

Das Signalbuch für den Kurzwellenverkehr [8] befaßt sich 1941 ausführlich mit der Windom-Antenne, bemaßt die Dipollänge mit $0,483 \lambda$ (entspricht einem Verkürzungsfaktor von $v = 0,966$) und bringt eine Tabelle für den Abstand des Anzapfpunktes von einem Ende:

Antennendraht-Dicke (mm)	Abstand von einem Dipolende (λ)
1,8	0,176
1,6	0,174
1,4	0,171
1,2	0,169
1,0	0,167
0,8	0,164
0,6	0,162

Die Urschrift des heutigen ARRL Antenna Books war ein technisches Handbuch des US-Kriegsministeriums von 1943 [9]. Die Dipollänge

ist dort mit 0,475 l angegeben, was $v = 0,95$ ergibt. Die Anzapfpunkte sind von der Dicke des Strahlerdrahtes abhängig:

Drahtnummer	Dicke (mm)	Abstand von einem Dipolende (λ)
# 12	2,03	0,174 325
# 14	1,63	0,171 475
# 16	1,27	0,169 100

Diese Angaben stimmen mit denen im »Fuchs-Fasching« nicht überein.

Helmut Bürkle (1950) [10] beschränkt sich auf eine Strahlerlänge von $0,5 \lambda$ und etwa $1/7 \lambda$ für den Abstand des Anzapfpunktes. Gustav Bläser [11] erweitert die Lage des Anzapfpunktes auf $1/6$ bis $1/7 \lambda$ und erwähnt ebenfalls keinen Verkürzungsfaktor.

Das ARRL Antenna Book (1970) [12] beharrt wie sein Vorgänger [9] auf einem Verkürzungsfaktor $v = 0,95$ und beziffert den Abstand des Anzapfpunktes vom Ende mit $0,171 \lambda$.

Das Radio Handbook (1975) [13] schreibt einen Speisedraht # 14 (1,63 mm) vor, hat $v = 0,95$ und bestimmt den Speisepunkt mit 14% von der Dipolmitte entfernt, was vom Ende gemessen $0,171 \lambda$ sind.

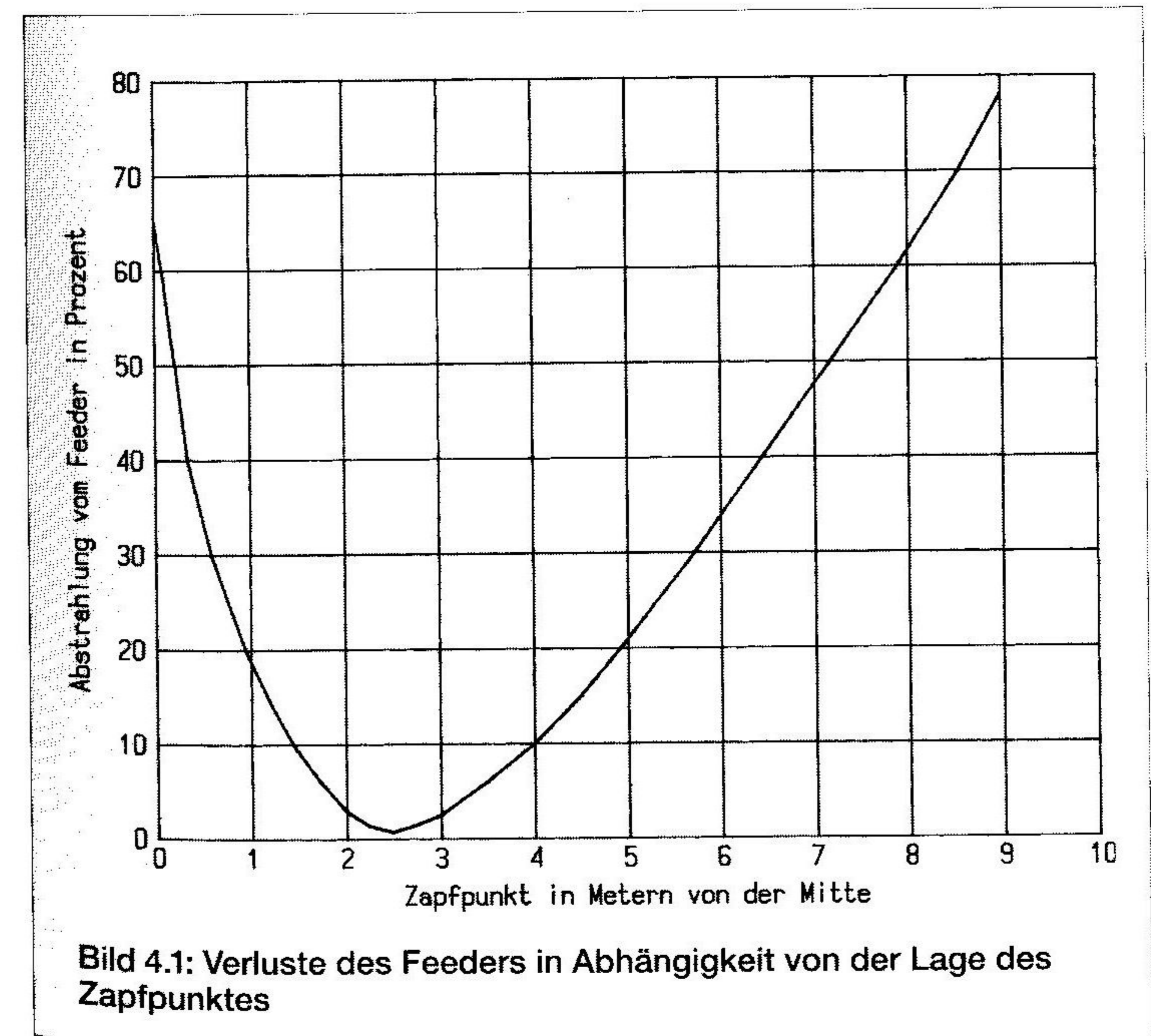
Der »Rothammel« (1995) [14], neu bearbeitet von A. Krischke, DJ0TR, hat zwei Maßangaben parat: Auf Seite 176 ist der Verkürzungsfaktor $v = 0,95333$ und der Abstand vom Ende ca. $0,18 \lambda$. Auf Seite 177 ist $v = 0,9525$ und der Abstand vom Ende $0,17232 \lambda$.

Das ARRL Antenna Book (1997) [15] beschreibt nur eine Windom-Antenne für 3750 kHz. Aus den Maßangaben in Fuß ergeben sich $v = 0,9906$ und der Abstand des Zapfpunktes mit $0,17907 \lambda$. Da eine Antenne für das 80-m-Band stets sehr erdnah ist, wird im Verkürzungsfaktor zu hoch gegriffen.

Am Ende dieser Revue können wir ersehen, in welcher breiten Bereichen die Zahlenangaben der einzelnen Autoren voneinander abweichen. Die Werte könnten grob abgeschätzt worden sein, oder hervorragend abgeglichen und gemessene Antennen haben auf ihre unterschiedliche Umgebung reagiert. Für uns ist das ein Hinweis, sich nicht auf die Autorität der Autoren zu verlassen, sondern exaktes Wissen durch Messen zu schaffen.

4. Die Eindrahtspeiseleitung, ihre Verluste und ihr Wirkungsgrad

Byrne berichtet in [4] über die Versuche von J. D. Ryder und E. D. Shipley, die auf dem Gelände des Universitätsstadions eine 15,2 m lange Windom-Antenne aufbauten und diese mit einem 365 m langen Eindrahtfeeder speisten. Antenne und Feeder waren aus 1,63-mm-Cu-Draht aufgebaut. Der durch den Skin-Effekt und das Material hervorgerufene ohmsche Widerstand des Feeders wurde mit $48,7 \Omega$ berechnet. Die Sendeleistung betrug 31,1 W bei einem Speisestrom von 0,32 A. Der Verlust im Feeder war also: $P_v = I^2 \cdot R_v = 0,32^2 \cdot 48,7 = 4,987$ W. Der Strom in der Antenne war 0,46 A bei einem Strahlungswiderstand von 128Ω . Die abgestrahlte Leistung war also: $P_r = I^2 \cdot R_r = 0,46^2 \cdot 128$



= 27,085 W. Daraus ergibt sich ein Wirkungsgrad von: $27,085 \text{ W} / (27,085 \text{ W} + 4,987 \text{ W}) = 84,5 \%$, was erstaunlich gut ist.

Für seine 18 m lange Antenne, die diesmal 13 m hoch hing, berechnete Byrne nach Strom- und Impedanzmessungen den Prozentsatz des Verlustes, der durch die Strahlung der 13 m langen Eindraht-Speiseleitung hervorgerufen wurde. Der Verlust ist vom richtigen Zapfpunkt auf der Antenne stark abhängig. Lag der Zapfpunkt 2,5 m aus der Mitte, so gab es zwischen Antenne und Speiseleitung keinen Impedanzsprung, und der Verlust war nahezu Null. Bild 4.1 gibt davon einen Begriff. Bei einer Frequenz um die 8 MHz ergeben Abweichungen vom richtigen Anzapfpunkt mit etwa plus/minus 1 m immer noch einen recht niedrigen Verlustanteil der Speiseleitung, so daß wir uns um dessen Lage keine übertriebenen Sorgen machen müssen.

Im Gegensatz zu Byrne gibt August Hundt [20] einen Rechenweg für die Abstrahlung der Eindraht-Speiseleitung an und kommt zu weniger günstigen Ergebnissen: Er hat dazu zwei Werte: den Strahlungswiderstand der Speiseleitung R_r , der nur von der Länge abhängig ist, und den Wellenwiderstand Z dieser Leitung, von dem oben schon berichtet worden ist. Weil diese beiden (theoretischen) Widerstände vom gleichen Strom durchflossen werden, sind die transportierte Leistung $P_t = I^2 \cdot Z$ und die abgestrahlte Leistung $P_r = I^2 \cdot R_r$. Setzen wir beide in Beziehung, so ergibt sich der Wirkungsgrad:

$$\eta = (P_t - P_r) \cdot 100 / P_t \quad [\%]$$

Dies ist gleichbedeutend mit:

$$\eta = (Z - R_r) \cdot 100 / Z \quad [\%]$$

Z können wir aus Bild 3.8 entnehmen oder berechnen. Für R_r ist die Berechnung nach Hundt etwas umständlich, während Aisenberg [21] dies etwas erleichtert.

$$R_r = 60 \cdot (\ln(2 \cdot k \cdot l) + (\sin(2 \cdot k \cdot l) / 2 \cdot k \cdot l) - \text{Ci}(2 \cdot k \cdot l) - 0,423) \quad [\Omega]$$

Dafür ist: \ln = natürlicher Logarithmus, $k = 2 \cdot \pi / \lambda$, l = Länge in λ . Ci = Integralcosinus, $0,423 = 1 - (\text{Eulersche Konstante}) 0,577 215 665 \dots$ Um den Strahlungswiderstand R_r ohne mühsame Rechnung zu finden, dienen Bild 4.2 und im erweiterten Maßstab Bild 4.3. Als Beispiel ermitteln wir den Wirkungsgrad einer Eindrahtspeiseleitung aus 1,5 mm Draht in 12 m Höhe, die eine Wellenlänge lang ist. Wir entneh-

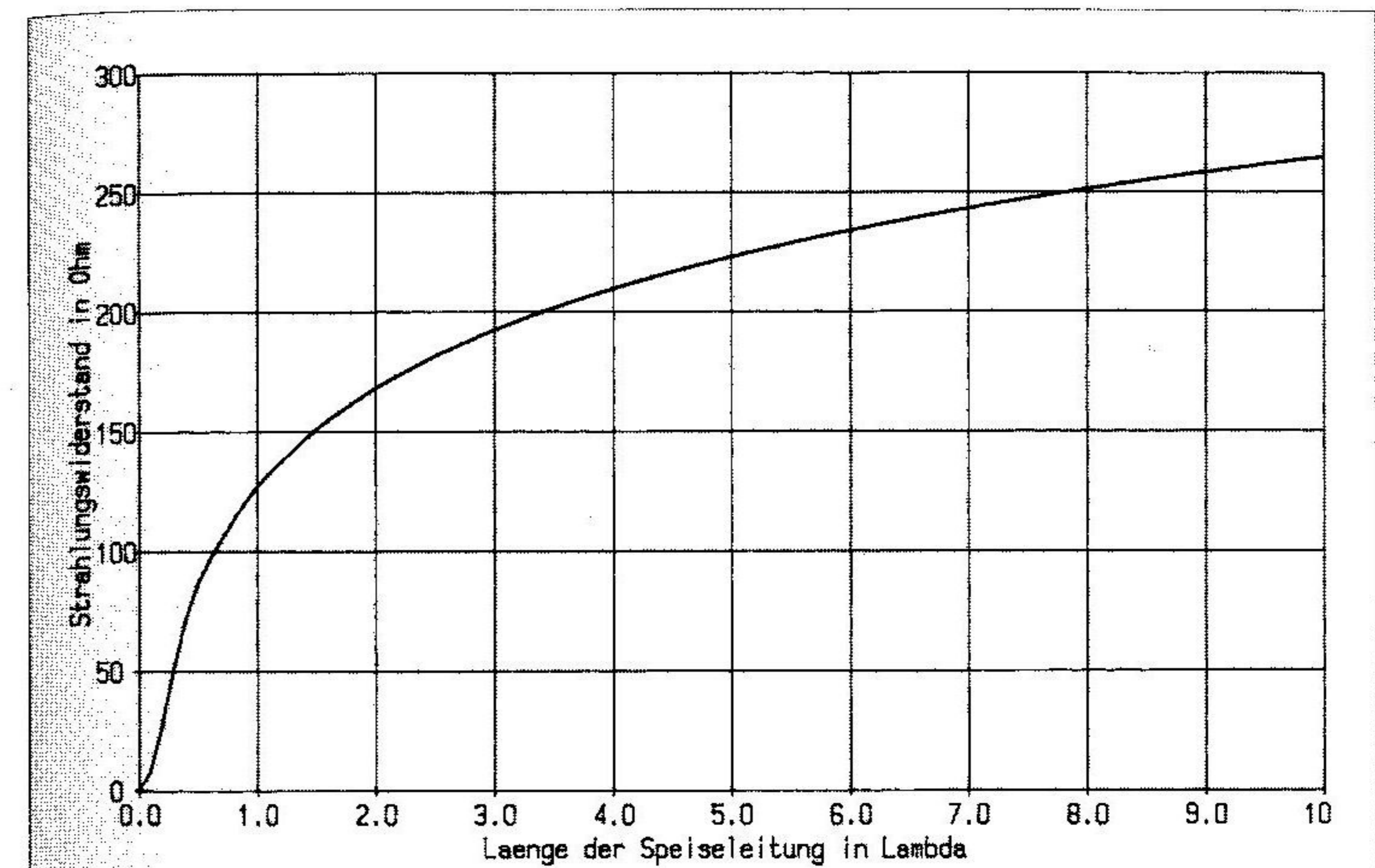


Bild 4.2: Strahlungswiderstand einer Speiseleitung im Freiraum bis 10λ

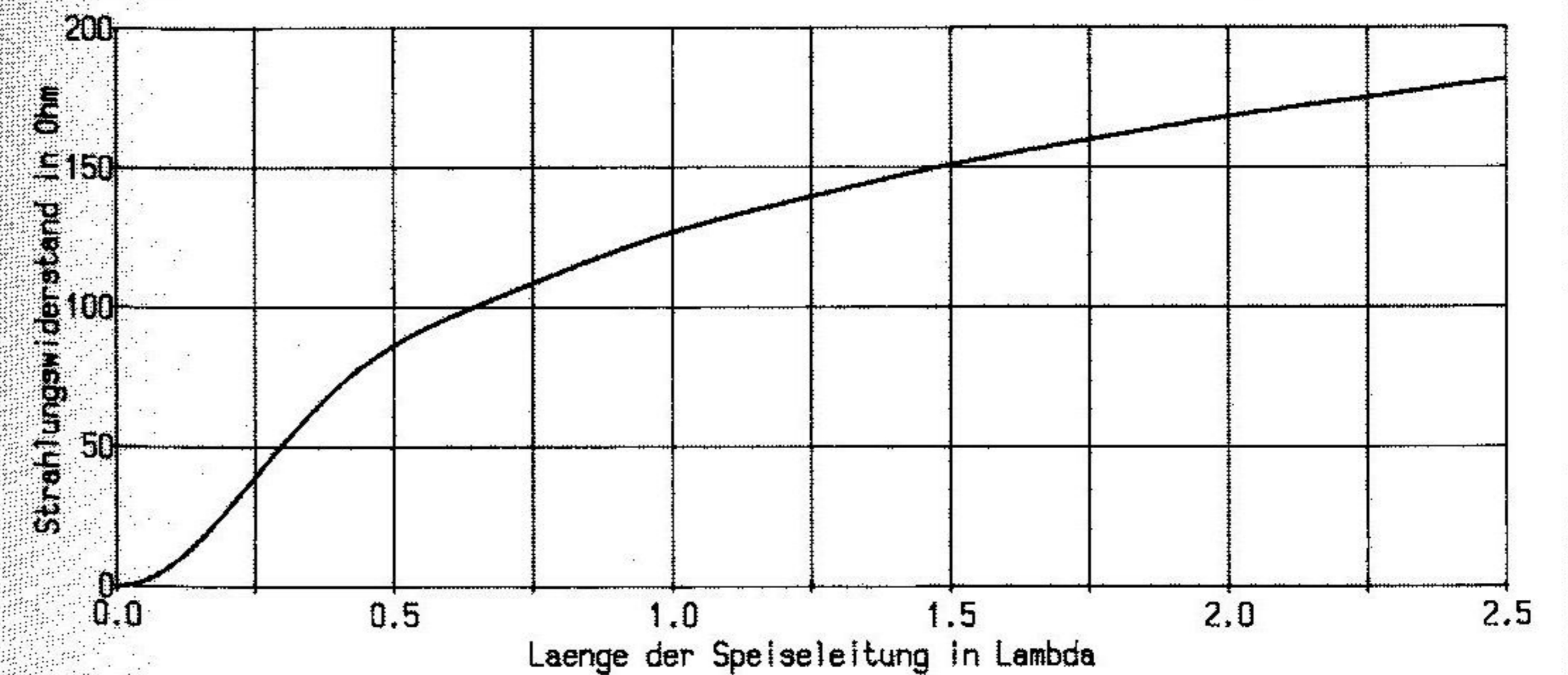


Bild 4.3: Strahlungswiderstand einer Speiseleitung im Freiraum bis $2,5 \lambda$

men aus Bild 3.8 den Wellenwiderstand Z . $Z =$ etwa 620Ω . Bei der Länge von 1λ ist R_r etwa 125Ω . Dann ist $\eta: (620 - 125) \cdot 100 / 620 = 79,8 \%$. Dies kommt wenigstens in der Größenordnung an die Werte hin, die Byrne durch Messung erhalten hat, ist aber doch lange nicht so günstig. Hundt hat bei seiner Berechnung angenommen, daß die

Eindrahtspeiseleitung sich im freien Raum befindet. Demzufolge ist der Strahlungswiderstand R_r verhältnismäßig hoch. Das elektromagnetische Feld im Freiraum ist vollkommen gleichmäßig, wie es Bild 4.4 darstellt. Gelangt die Speiseleitung jedoch in die Nähe der Erde, so streben die meisten Feldlinien der Erde zu, das Feld flutet zwischen Erde und Speiseleitung hin und her, ohne viel zur Abstrahlung beizutragen (Bild 4.5). Der Strahlungswiderstand der Speiseleitung geht damit beträchtlich zurück, wodurch der Wirkungsgrad in die Höhe steigt.

Bild 4.4:
Feldverteilung
um den
Feeder
im Freiraum

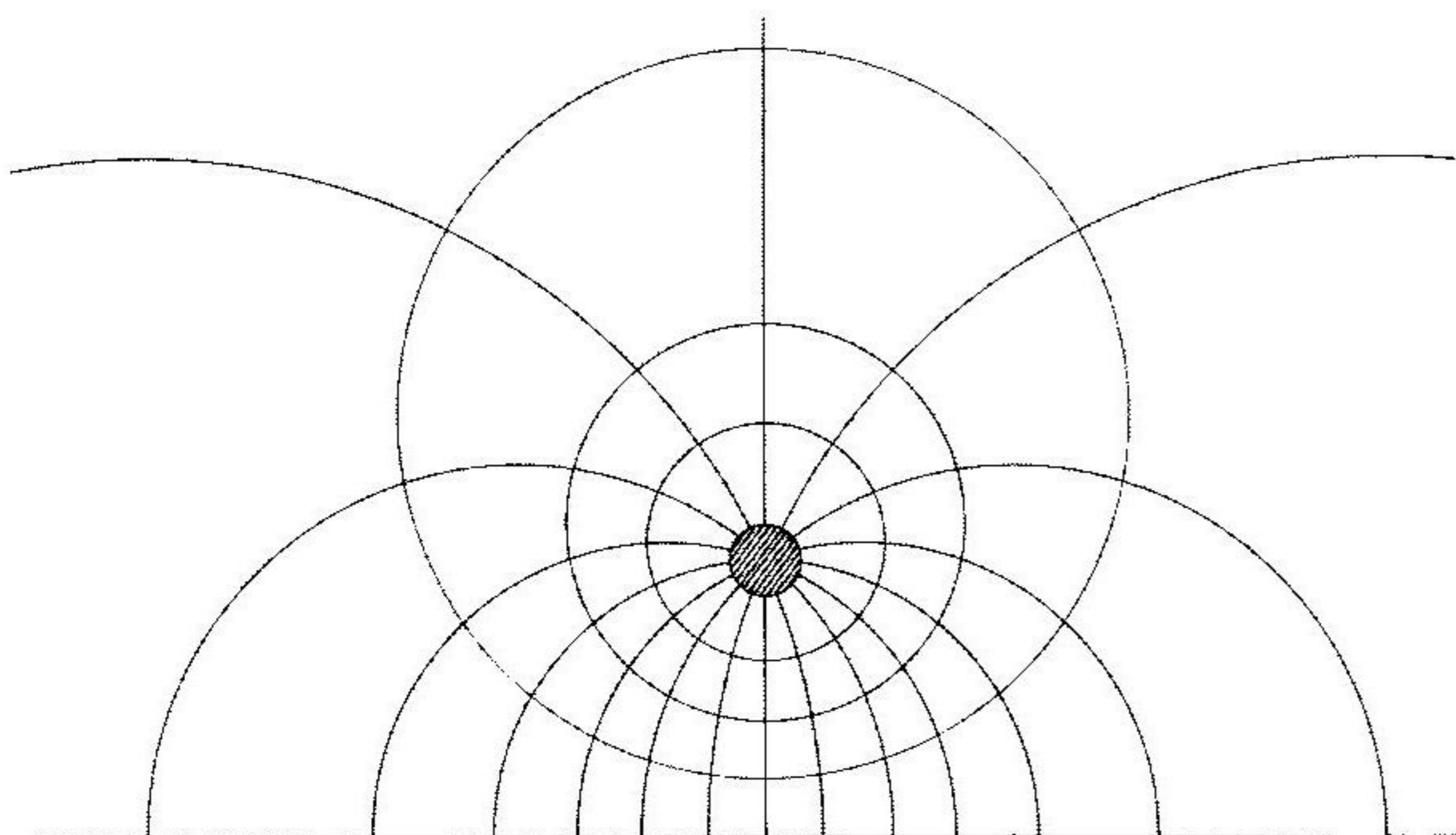
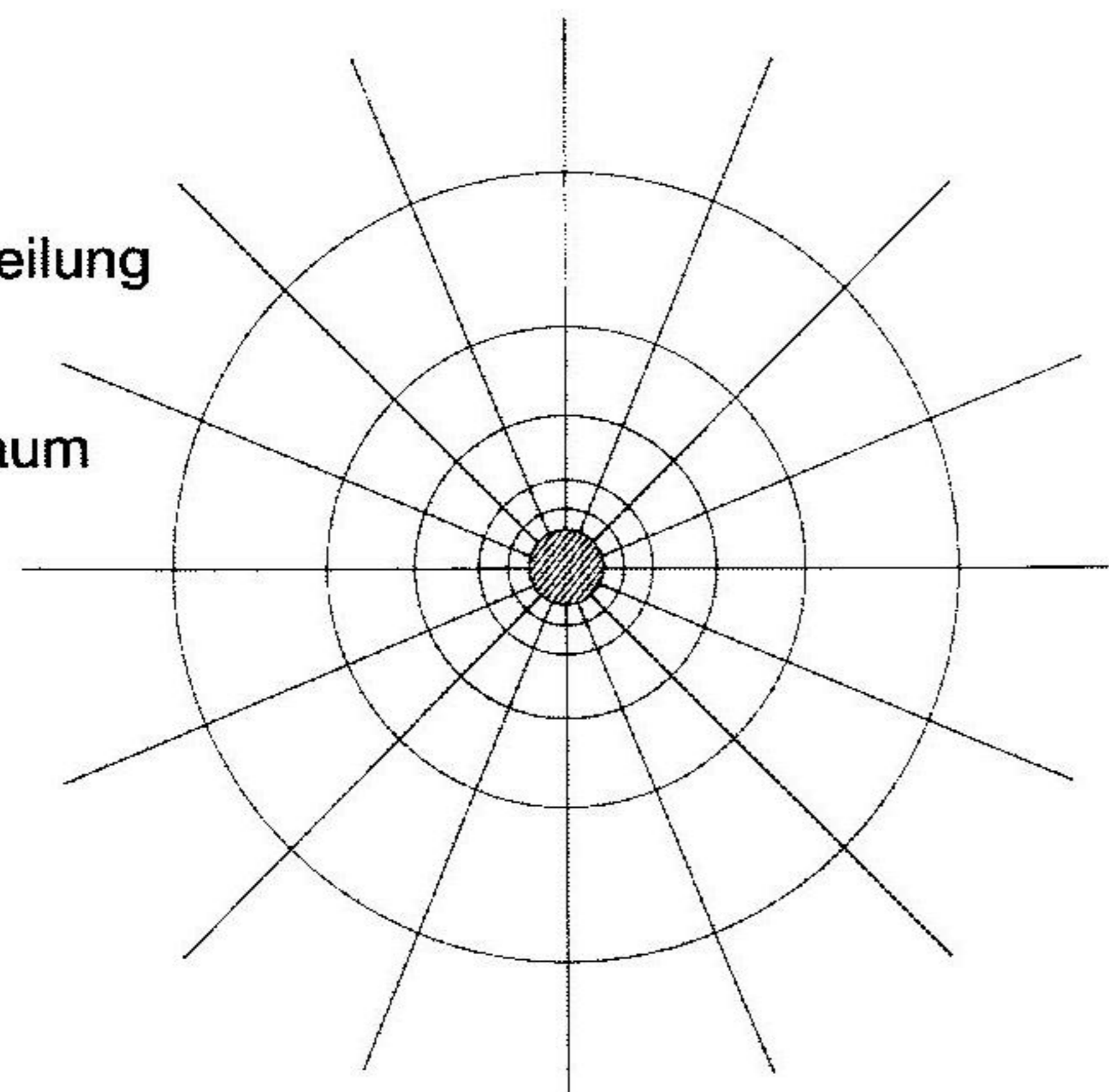


Bild 4.5: Feldverteilung um den Feeder in Erdnähe

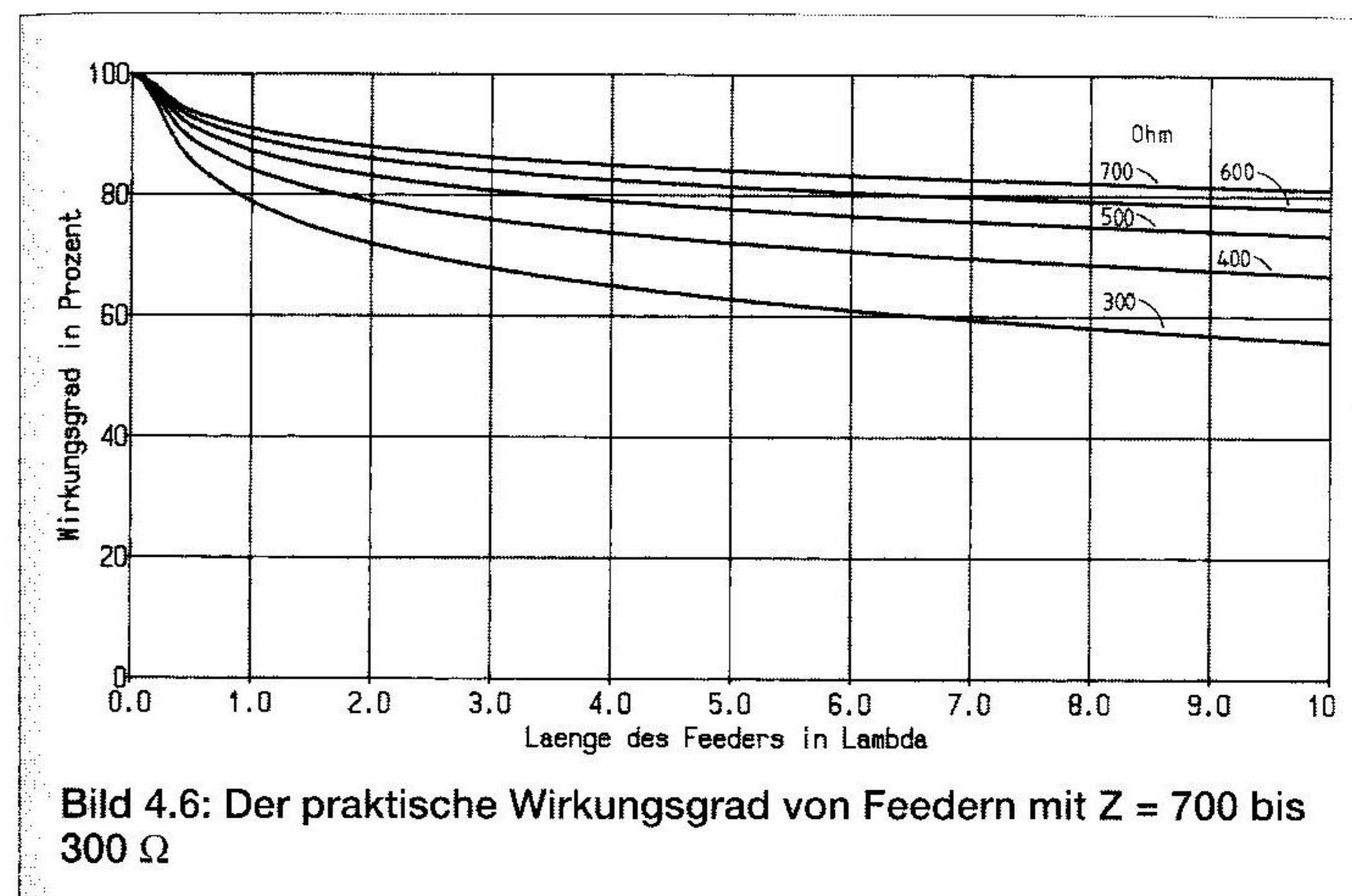


Bild 4.6: Der praktische Wirkungsgrad von Feedern mit $Z = 700$ bis 300Ω

Dabei ist es ziemlich gleichgültig, ob die Speiseleitung waagrecht oder senkrecht geführt ist.

Dies bedeutet für die Praxis: Der Strahlungswiderstand der Eindraht-Speiseleitung ist über Erde etwa halb so groß wie im Freiraum. Je besser die Leitfähigkeit des darunter liegenden Erdbodens ist, um so verlustärmer ist die Speiseleitung. Je höher der Wellenwiderstand des Feeders ist, um so höher ist sein Wirkungsgrad. Das hat natürliche Grenzen: Wir können den Draht des Feeders nicht viel dünner als 1,5 mm machen, ohne die Verluste durch ohmschen Widerstand und Skinneffekt anwachsen zu lassen. Auf Grund dieser Tatsachen wurde der Wirkungsgrad der Eindraht-Speiseleitung berechnet und ist in Bild 4.6 zu sehen. Die Kurvenschar der Kennlinien ist für Feeder von $Z = 700$ bis 300Ω dargestellt. Mit einem $600\text{-}\Omega$ -Feeder von 1λ Länge sind 90 % Wirkungsgrad zu schaffen. Feeder, die mehr als 1λ haben, sind im Amateurfunk selten, also sieht das nicht schlecht aus, wobei wir die Verluste durch Wirkwiderstand und Stromverdrängung wegen ihrer geringeren Bedeutung einfach weggelassen haben. Die geringe Strahlung des Feeders und der von der Windom-Antenne zur Erde zurückfließende HF-Strom können bei ungünstigen Verhältnissen Störungen im Rundfunk (BCI) und im Fernsehen (TVI) verursachen. Wenn wir aber ordentliche Erdverhältnisse schaffen und den Eingang

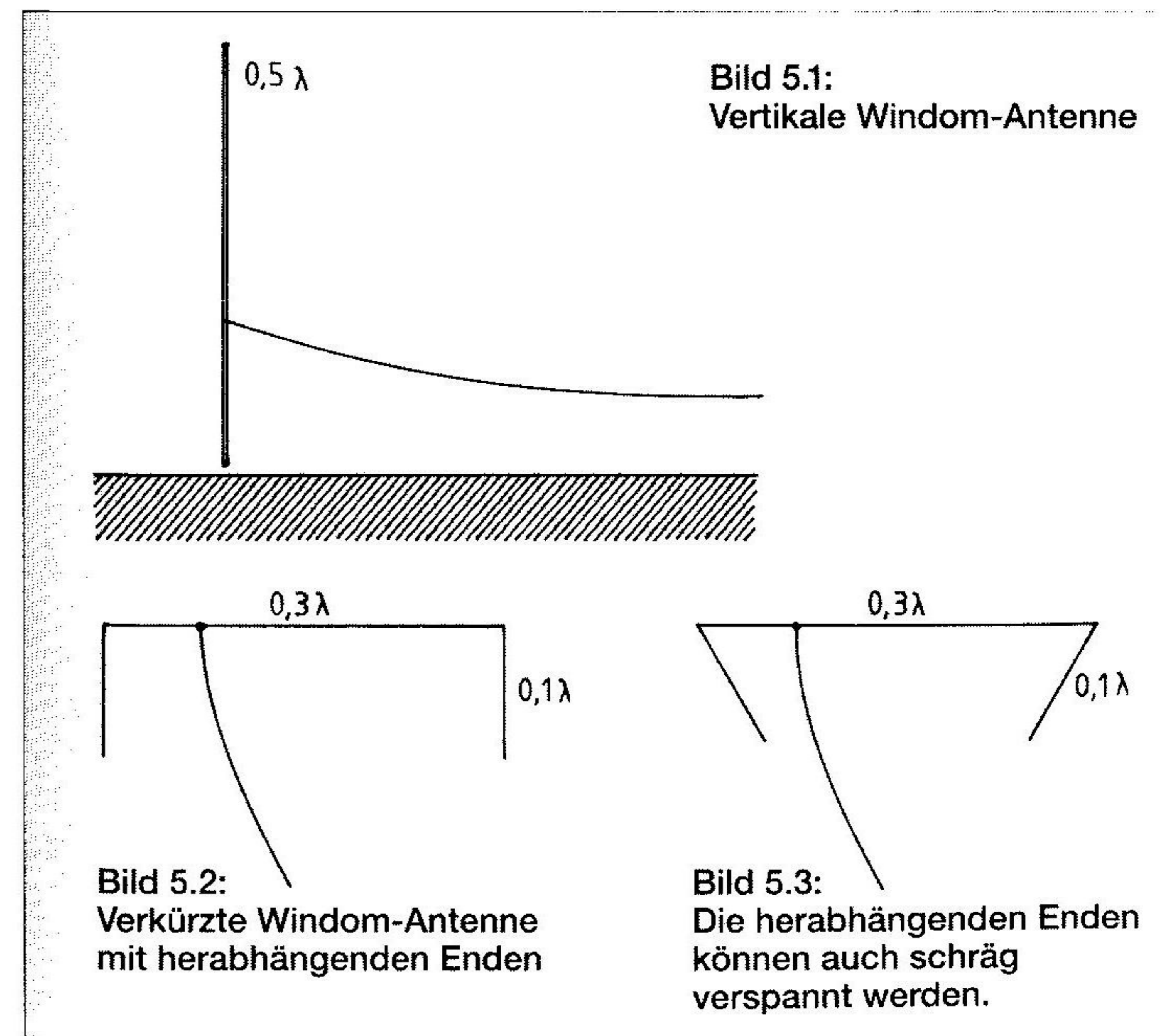
der Unterhaltungs-Geräte richtig verblocken, ist die Mehrzahl der Störfälle in den Griff zu bekommen. Die Windom-Antenne und manchmal auch ihre Speiseleitung strahlen die Oberwellen der Arbeitsfrequenz ungehindert ab, wodurch sie für die Anwendung auf höheren Bändern gut geeignet ist. Die Sender der Gegenwart sind jedoch sehr arm an Oberwellen, so daß dieses Problem kaum Sorgen bereitet.

Wir kommen also mit einer vorher berechneten Windom-Antenne, der ein Verkürzungsfaktor $v = 0,95$ und ein Zapfpunkt-Abstand von $0,17 \lambda$ zu Grunde liegt, in den meisten Fällen zurecht, vorausgesetzt Gebäude, Bäume und andere hinderliche Gegenstände bleiben fern in einem Respekts-Abstand von wenigstens einer Halbwelle. Mit der beschriebenen Resonanzmessung, der Messung der Welligkeit auf der Speiseleitung und den Hinweisen zum Feeder haben wir jedoch die Mittel in der Hand, aus der Windom-Antenne das Letzte herauszuholen

5. Vertikale und verkürzte Windom-Antennen

Etwas ungewöhnlich erscheint die vertikale Windom-Antenne mit einem senkrecht aufgestellten Vertikalstrahler, der über eine Eindraht-Speiseleitung erregt wird (Bild 5.1). Diese Ausführung wirkt als vertikal polarisierter Rundstrahler und hat gute Eigenschaften im DX-Verkehr. Auch hier ist mit $v = 0,95$ und Zapfpunkt-Abstand vom Ende mit $0,17 \lambda$ zu beginnen, bis durch Messung die Resonanzfrequenz und der Zapfpunkt optimiert worden sind.

Bei Platzmangel stehen uns eine ganze Reihe von verkürzten Modellen zur Verfügung. Ist die Spannweite kürzer als eine halbe Wellenlänge, so können wir die Enden der Antenne zum Boden hin herabhängen lassen und zweckmäßig dort abspannen (Bild 5.2). Die gesamte Drahtlänge sollte $0,5 \lambda$ sein, während der Zapfpunkt $0,17 \lambda$ vom Ende



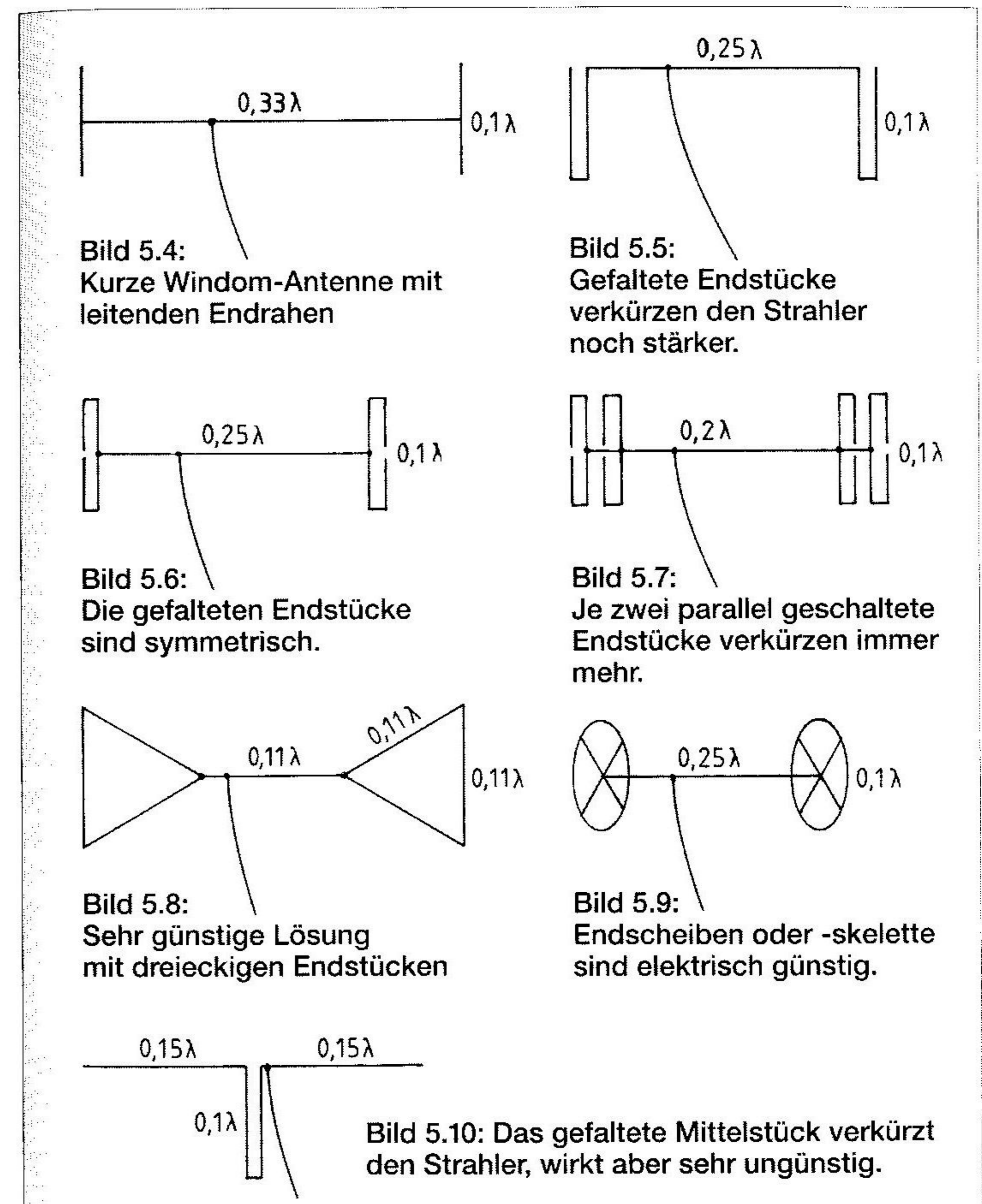
entfernt ist. Die beiden senkrechten Teile sind tunlichst gleich lang zu bemessen. Bei dieser und jeder folgenden Antenne ist das Optimum nur durch Resonanzmessung und Feststellung des richtigen Zapfpunktes durch Kontrolle des Feederstromes zu erreichen, wenn auch die Antenne ohne Optimierung auf Antrieb funktioniert. Bei weiterer Platzeinschränkung ist es nach Bild 5.3 durchaus möglich, die herabhängenden Endstücke schräg abzuspannen. Dafür gilt die Regel: Je öfter und je stärker der Strahler geknickt ist, umso länger muß er werden, um in Resonanz zu schwingen. Deshalb gilt für geknickte Strahler auch nicht mehr der ursprüngliche Verkürzungsfaktor v .

Recht günstig und der vollen Ausführung kaum nachstehend ist ein Strahler nach Bild 5.4 mit symmetrischen Endstücken, die $0,1 \lambda$, aber auch kürzer oder länger sein können. Die Resonanz läßt sich recht einfach durch das Verändern der Länge des horizontalen Strahlers an beiden Enden beeinflussen. Man könnte auch die vier Enden der Außenstücke verlängern oder verkürzen, hätte aber damit doppelt so viel Arbeit. In der Praxis werden wir die zwei Enden als waagrecht liegende Rahen in Metall ausführen. Auch isolierende Stangen aus Holz oder Kunststoff sind möglich, wenn sie mit Draht umwunden sind.

Auf Bild 5.5 ist eine Windom-Antenne mit gefalteten Endstücken zu sehen. Ihr Außenmaß beträgt $0,1 \lambda$, die Drahtlänge dagegen $0,2 \lambda$ plus dem kleinen Verbindungsstück von etwa 10 bis 20 cm. Trotz dieser Länge wird das Mittelstück mit $0,25 \lambda$ bemessen, so daß die gesamte Länge $0,65 \lambda$ wird. Die Ursache liegt darin, daß gefaltete Verlängerungen nicht mehr mit ihrer vollen Länge wirksam sind.

Auf Bild 5.6 sind die Endstücke mit dem Außenmaß $0,1 \lambda$ in sich gefaltet. Sie sind so wirksam, daß der Mittelteil des Strahlers nur $0,25 \lambda$ lang sein muß. Bei Bild 5.7 sind zwei solche Endstücke angebracht, womit sich der Mittelteil auf $0,2 \lambda$ Länge verkürzt. Die Konstruktion solcher vielfachen Endstücke müssen wir uns vor dem Bau sehr gründlich überlegen.

Recht elegant ist die Lösung mit dreieckigen Endstücken von Bild 5.8, weil wir dabei mit nur zwei waagrecht verspannten Rahen auskommen. Jeder einzelne Drahtabschnitt ist ein Neuntel der Betriebswellenlänge lang. Elektrisch ideal sind Endscheiben und Endscheibenskelette, wie auf Bild 5.9 dargestellt. Haben wir keine Metallreifen, so läßt sich ein rechtwinkliges Kreuz aus Holz-, Bambus- oder Glasfaserstäben mit Draht umspannen, ähnlich einer Cubical-Quad-Antenne.



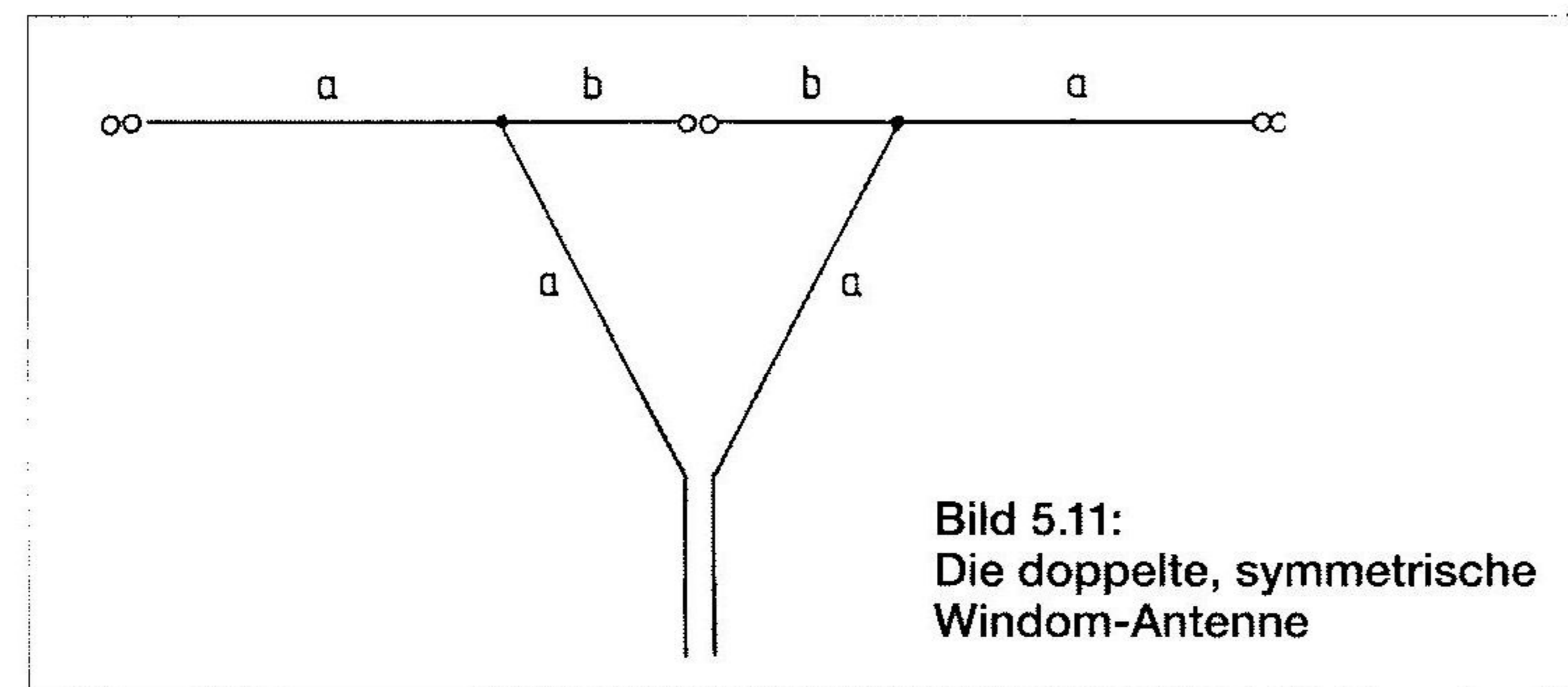
Als abschreckendes Beispiel sei eine ungünstige Lösung der verkürzten Windom-Antenne gezeigt (Bild 5.10). Hier ist der Mittelteil gefaltet, während die Außenstücke waagrecht gespannt sind. Die Stromverteilung auf einem Halbwelldipol ist bekanntlich nahezu sinusförmig. Je stärker der Strom, um so kräftiger die Strahlung. Ausgerechnet der Mittelteil mit der kräftigsten Strahlung ist gefaltet, und

dadurch ist diese Strahlung kompensiert und nicht mehr vorhanden. Die Außenteile mit ihrem schwachen Strom hingegen liegen frei und können strahlen, aber eben nur mäßig. Eine weitere Schwachstelle ist der Zapfpunkt, der nur etwa $0,15 \lambda$ vom Ende entfernt ist. Unter Umständen liegt dies zu nahe dem inneren Antennenende. Bei der Optimierung, die bei keiner Windom-Antenne vergessen werden sollte, ist der Zapfpunkt dann auf den geknickten Mittelteil zu legen, was Probleme bereiten kann.

Ein gutes Beispiel aus der Praxis stellt die symmetrische, doppelte Windom-Antenne von Bild 5.11 dar. Zwei Strahler sind in geringem, nur durch Isolator Ketten verursachtem Abstand, Rücken an Rücken verspannt. Es gibt eine große, für das 3,5-MHz-Band bestimmte Antenne, und eine kleine, die für das 7-MHz-Band vorgesehen ist. Die Antennenteile a und b haben folgende Abmessungen:

	Bauteil a	Bauteil b
3,5-MHz-Modell	13,6 m	6,8 m
7-MHz-Modell	6,8 m	3,4 m

Der Strahler ist also im Verhältnis 2 : 1 geteilt, der Zapfpunkt ist um ein Drittel des Strahlers vom Ende versetzt. Am Ende der schrägen Niederführungen schließt sich eine 450- Ω - bis 600- Ω -Zweidraht-Speiseleitung an, die zur Station führt. Erst später hat sich herausgestellt, daß die symmetrische Windom-Antenne auf *allen* Bändern einen hervorragenden Strahler abgibt. Zwei solche Antennen werden seit vielen



Jahren von Radio Honiara im Kurzwellen-Rundfunk mit Zufriedenheit verwendet. Bei einer konnte ich mit einer großen Leuchtstoffröhre das SWR auf dem Zweidrahtfeeder nachweisen und das Nachtrimmen der Anzapfpunkte veranlassen.

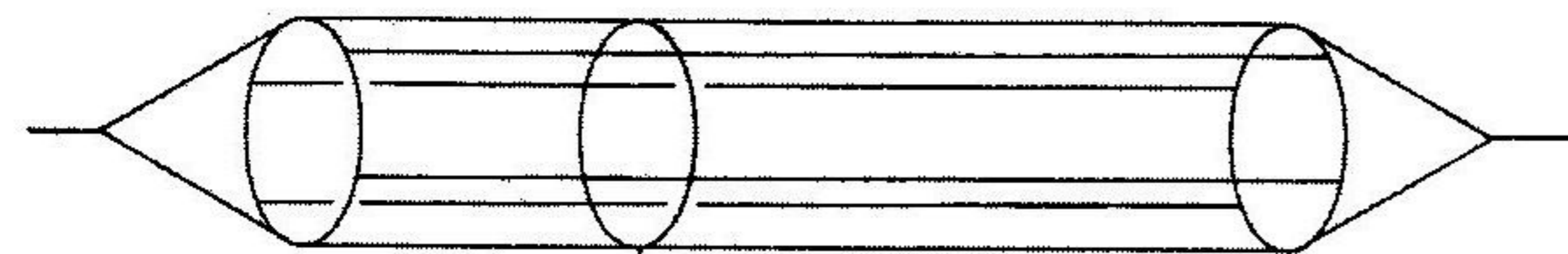
Selbstverständlich können wir Windom-Antennen auch durch eingeschleifte Spulen verlängern. Leider haben Spulen im Gegensatz zu den hier gezeigten kapazitiven Verlängerungsmethoden den schwerwiegenden Nachteil, daß sie in sich erhebliche Verluste bergen und den Wirkungsgrad der Antenne beträchtlich herabsetzen. Bei einigem Nachdenken geht es auch ohne Spulen, und deswegen wurde auf diese hier bewußt verzichtet.

Zum Schluß sei darauf hingewiesen, daß auf den Bildern die Eindraht-Feeder geschwungen gezeichnet worden sind, um das Herabhängen zu zeigen. In der Wirklichkeit sind diese möglichst lang senkrecht zum Strahler zu führen, bis sie in die Station einmünden. Dies geschieht deshalb, um die Kopplung zwischen Strahler und Feeder so gering wie möglich zu halten. Bei Planung und Aufbau der Antenne müssen wir darauf achten, Strahler und Feeder tunlichst nicht parallel zu führen, denn in diesem Falle koppeln beide maximal aufeinander. Stehen dagegen beide Leiter senkrecht aufeinander, so koppeln sie nicht.

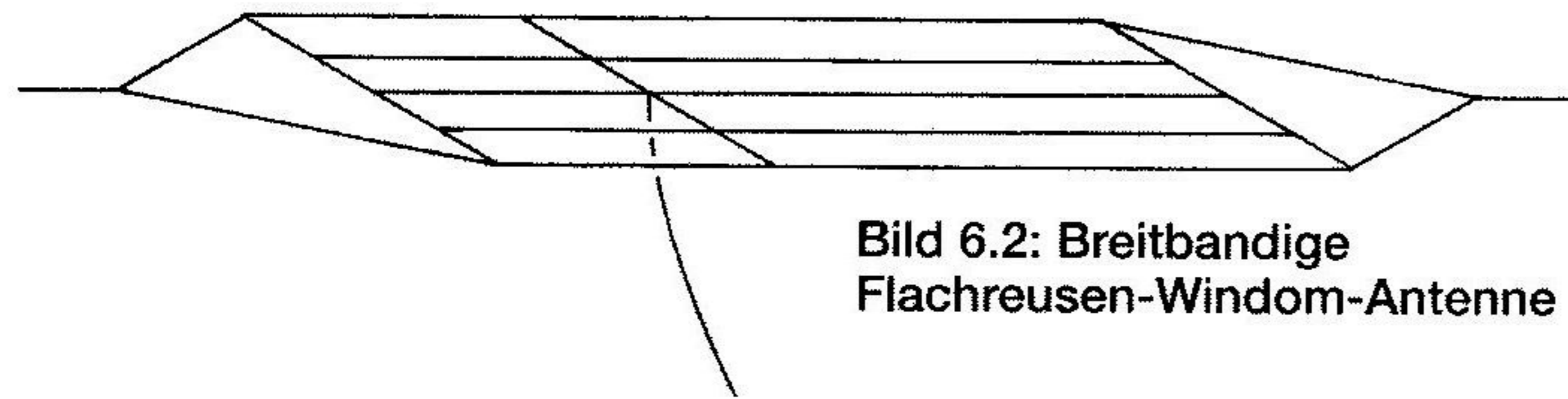
6. Breitband-Windom-Antennen

Als ich in den sechziger Jahren in Unteruhldingen Dr. Fritz Spillner, DJ2KY, besuchte, der damals durch aufsehenerregende Neuerungen sehr bekannt war (Tonfilter, kalter Thermostat, Quarzfilter, SSB-Technik), begrüßte er mich mit schwarzen Händen, die er sich beim Hantieren mit den Aluminiumdrähten seiner Reusen-Windom-Antenne geholt hatte. Diese Windomantenne hatte etwa einen Meter Durchmesser und bestand aus acht parallel gespannten Drähten von 40 m Länge, die an den Enden als spitze Kegel zusammengeführt waren und in den Isolator führten. Die Drähte waren durch große Aluminiumringe gespreizt und geordnet. Das einzige Problem bei dieser Antenne war die Einstellung des Anzapfpunktes; denn der dortige Spreizring mußte beim Verschieben achtmal gelöst und achtmal neu angeklemt werden, was beim Experimentieren viel Zeit verschlang. Die $I^2 \cdot R$ Verluste in dem achtfachen Strahler waren auf ein Minimum geschrumpft. Obwohl diese Reusen-Antenne sehr gut funktionierte, kam es nie zu einer Veröffentlichung. Eine Sechsfach-Reusen-Windom zeigt Bild 6.1. Ob wir die kegelförmigen bzw. dreieckigen Außenstücke auf Draht fertigen, womit sie aktiv strahlen, oder ob wir sie aus isolierendem Nylon-Draht bauen, ist Geschmackssache und hängt auch von

verfügbarem Platz ab. Ich würde aber die Außenstücke aus Nylon bevorzugen. Der Zapfpunkt sollte zunächst auf ein Drittel des Strahlers gelegt werden. Beim Ändern der Lage muß auch der mittlere Ring verschoben werden. Die Resonanzmessung mit Strommeßgerät, Koppelschleife und Meßsender ist auf einem einzelnen Draht möglich, wenn auch der Strom auf ein Sechstel zurückgegangen ist. Die ungefähren Maße einer Reuse lassen sich nach einer Faustformel bestimmen: Der Längsumfang der Reuse wird eine Freiraumwellenlänge lang gemacht. Dann ist sie kürzer als eine Halbwelle. Eine Resonanzmessung nach der Zwei-Instrumenten-Methode ist nicht möglich. Einfacher können wir mit einer fünffachen Flachreuse nach Bild 6.2 hantieren. Alle drei Rahen sind leitend. An der mittleren Rahe gestatten fünf lösbare Klemmen das rasche Verschieben des Zapfpunktes. Auch hier empfehle ich, die schräge Verspannung in isolierendem Nylon auszuführen. Die waagerechte Lage der Flachreuse wird mit zwei dünnen nach unten führenden Seilen, die an den Außenpunkten einer Rahe angeknüpft sind, durch entsprechenden Zug eingestellt und festgelegt.



**Bild 6.1: Breitbandige
Reusen-Windom-Antenne**



**Bild 6.2: Breitbandige
Flachreusen-Windom-Antenne**

7. Harmonisch erregte Windom-Antennen

Wir bauen eine Windom-Antenne perfekt auf und gleichen sie ab, bis auf dem Feeder nur noch Wanderwellen laufen. Nun schließen wir an ein Ende dieser Antenne, die eine halbe Welle lang ist, einen weiteren, gleichen Draht der selben Länge an (Bild 7.1). Wohin ist der Zapfpunkt zu verschieben, um wieder Anpassung zu erreichen? Die Lösung: Die Verlängerung der Antenne auf die doppelte Länge nimmt Energie auf. Diese Energie fließt über den Zapfpunkt. Der Strom im Zapfpunkt wird größer. Das heißt: Die Impedanz an diesem Punkt wird kleiner. Wir müssen also den Zapfpunkt vom Strommaximum zum Stromminimum hin verschieben, das ist: von innen nach außen verlegen. Die

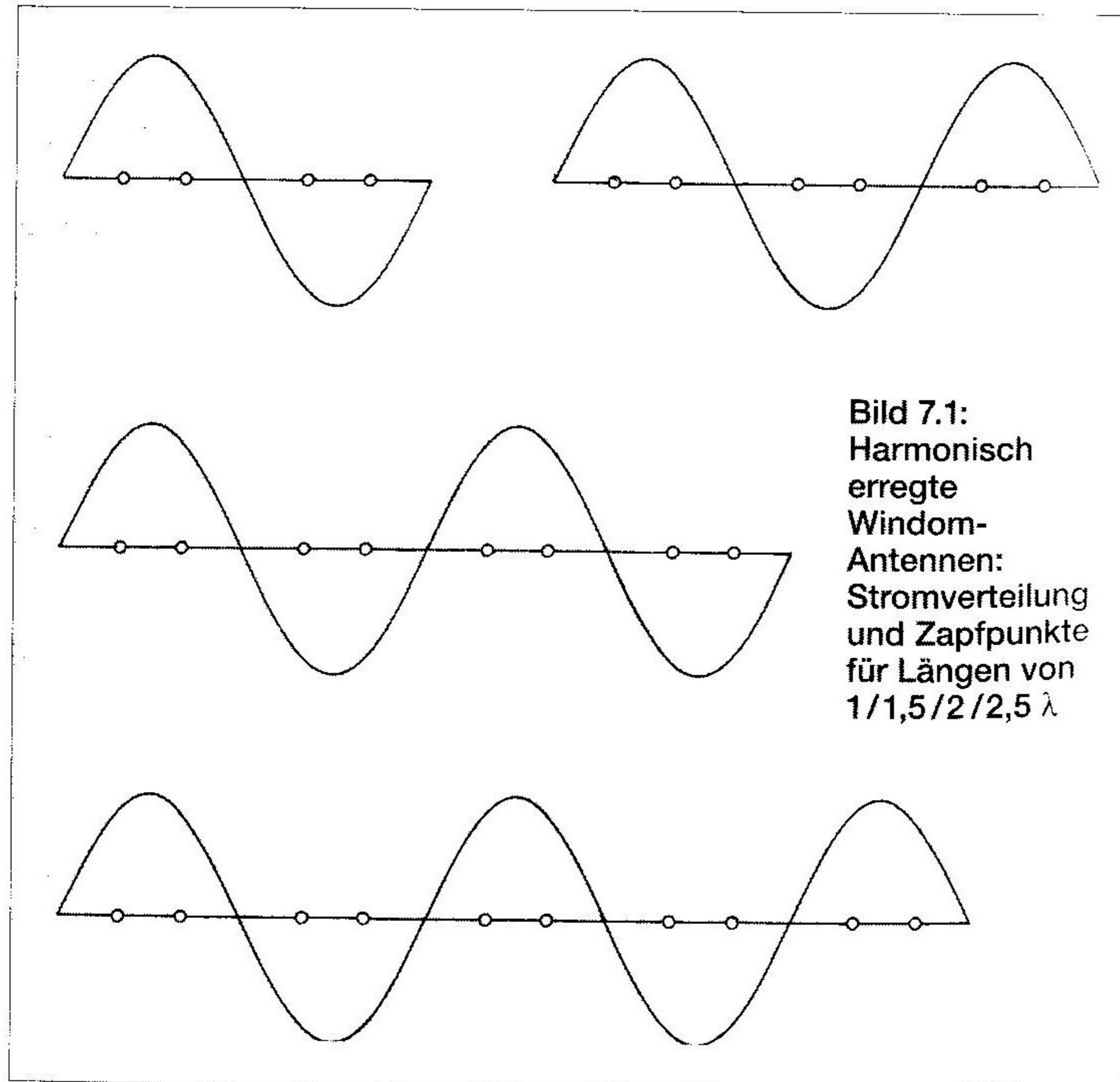


Bild 7.2

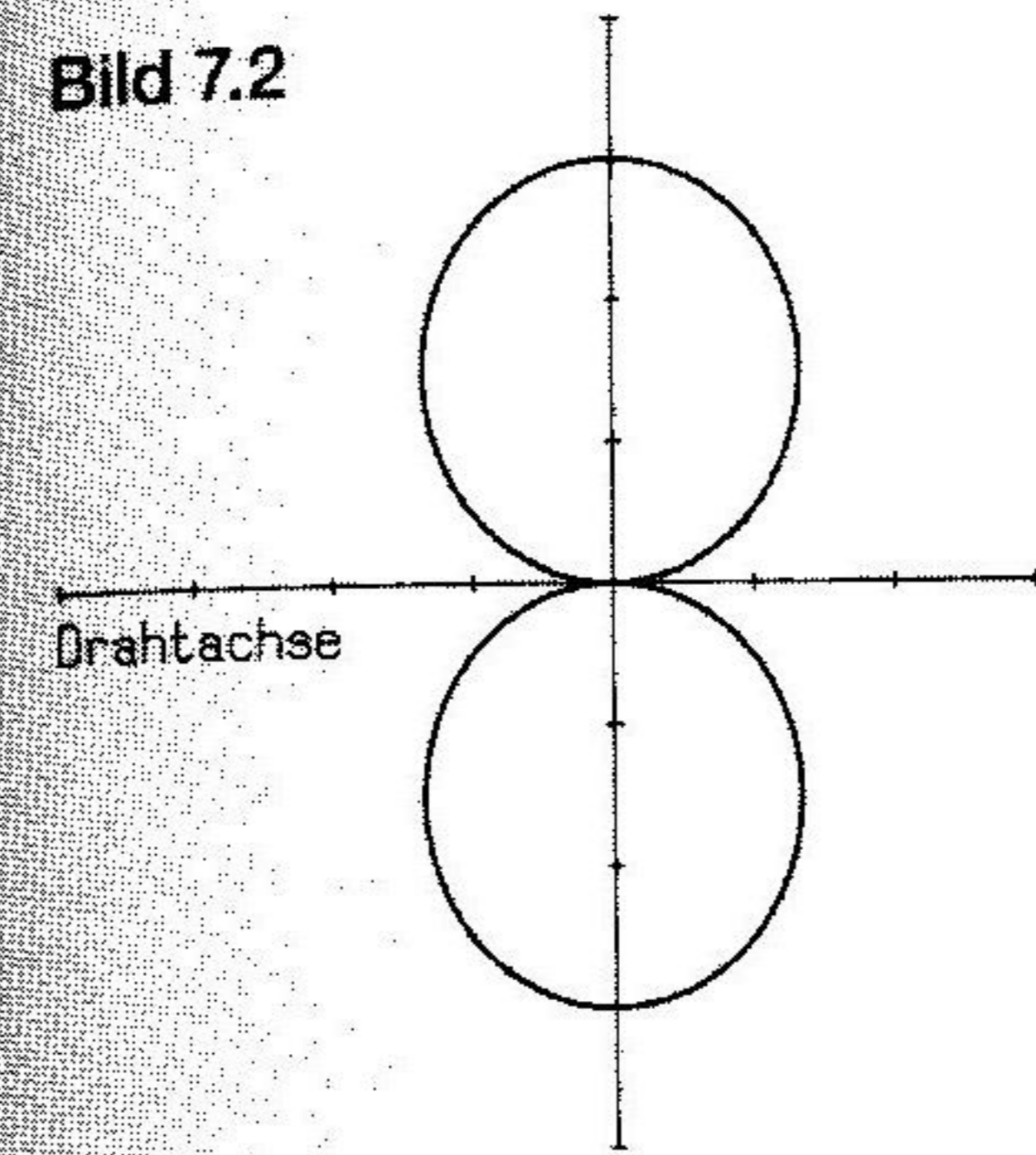


Bild 7.3

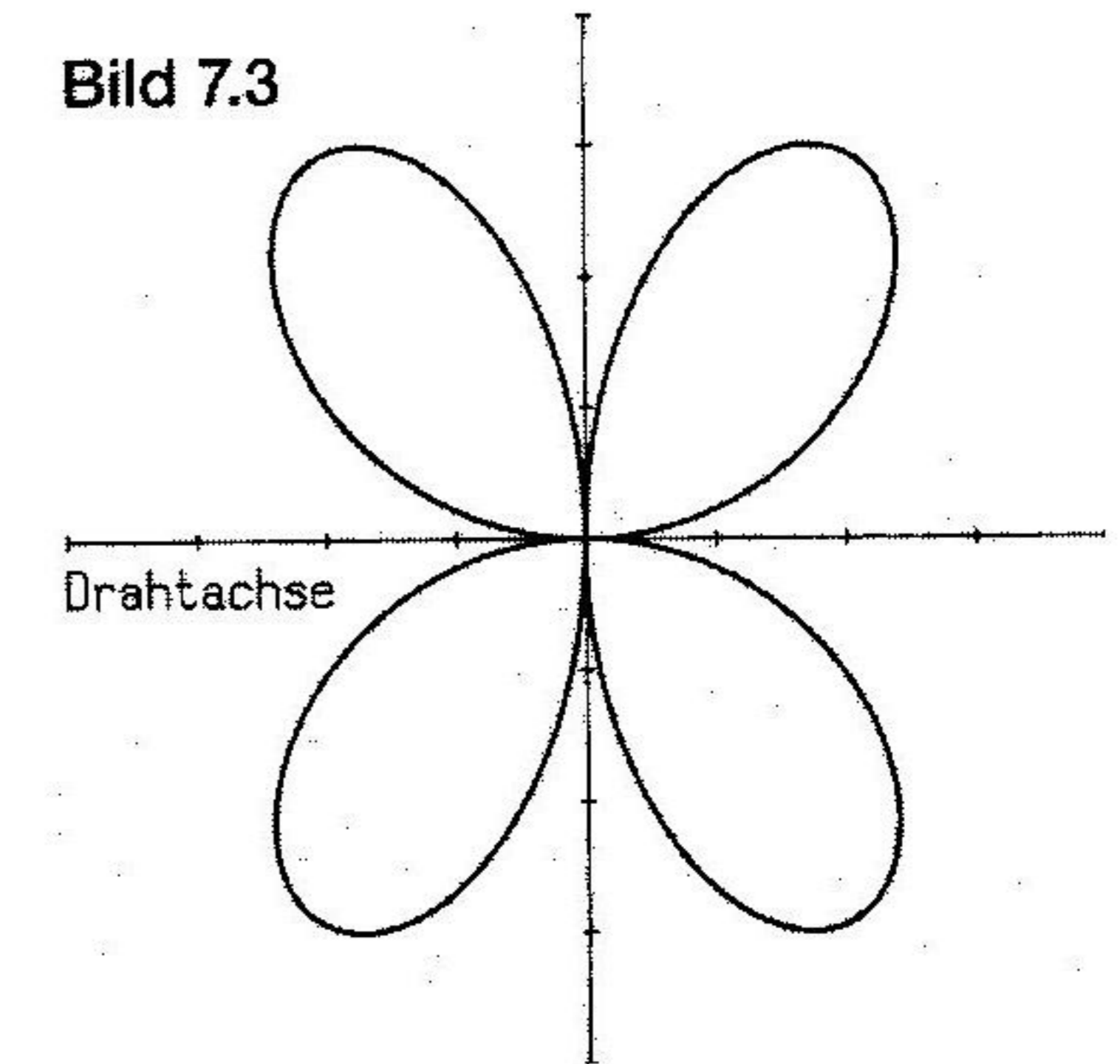


Bild 7.4

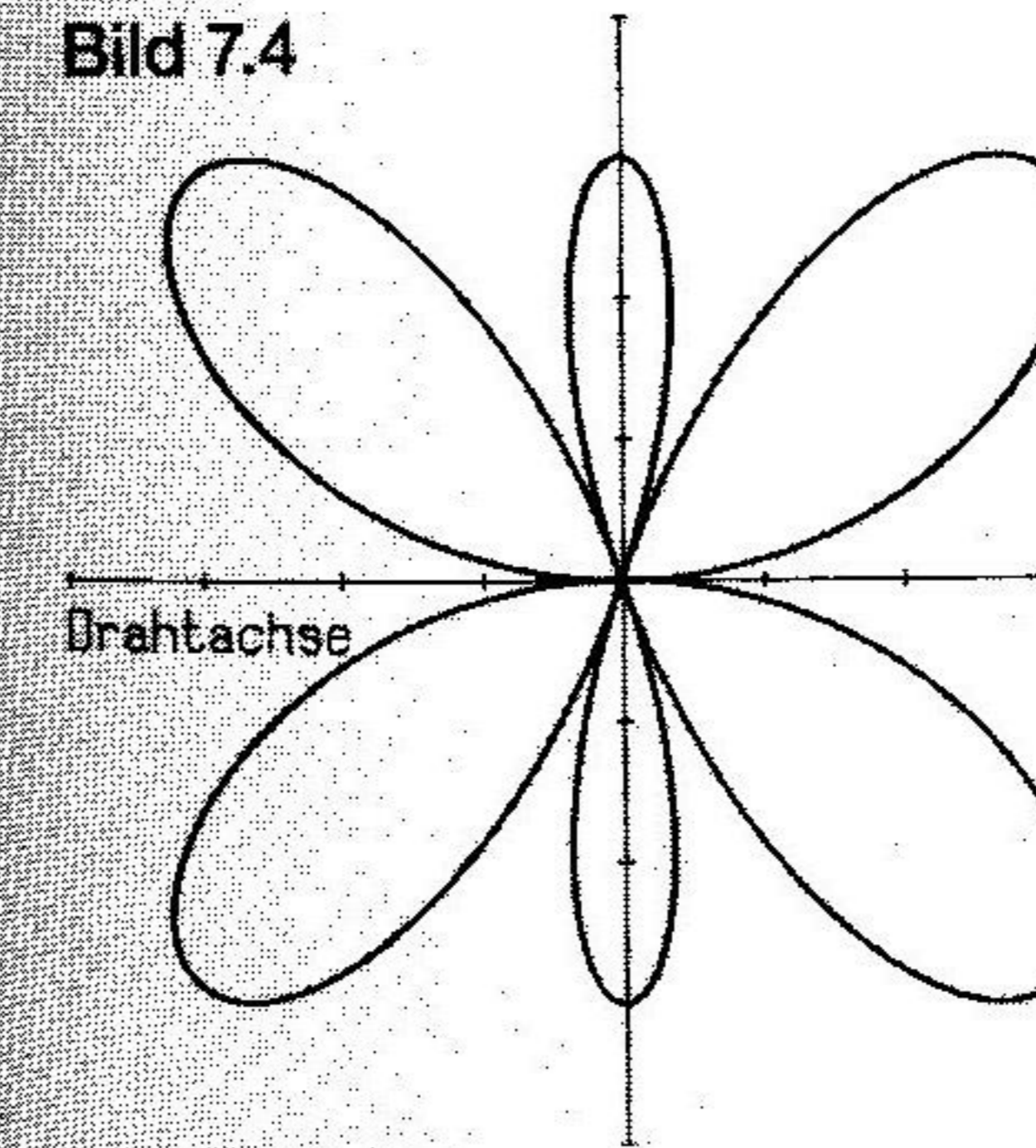


Bild 7.5

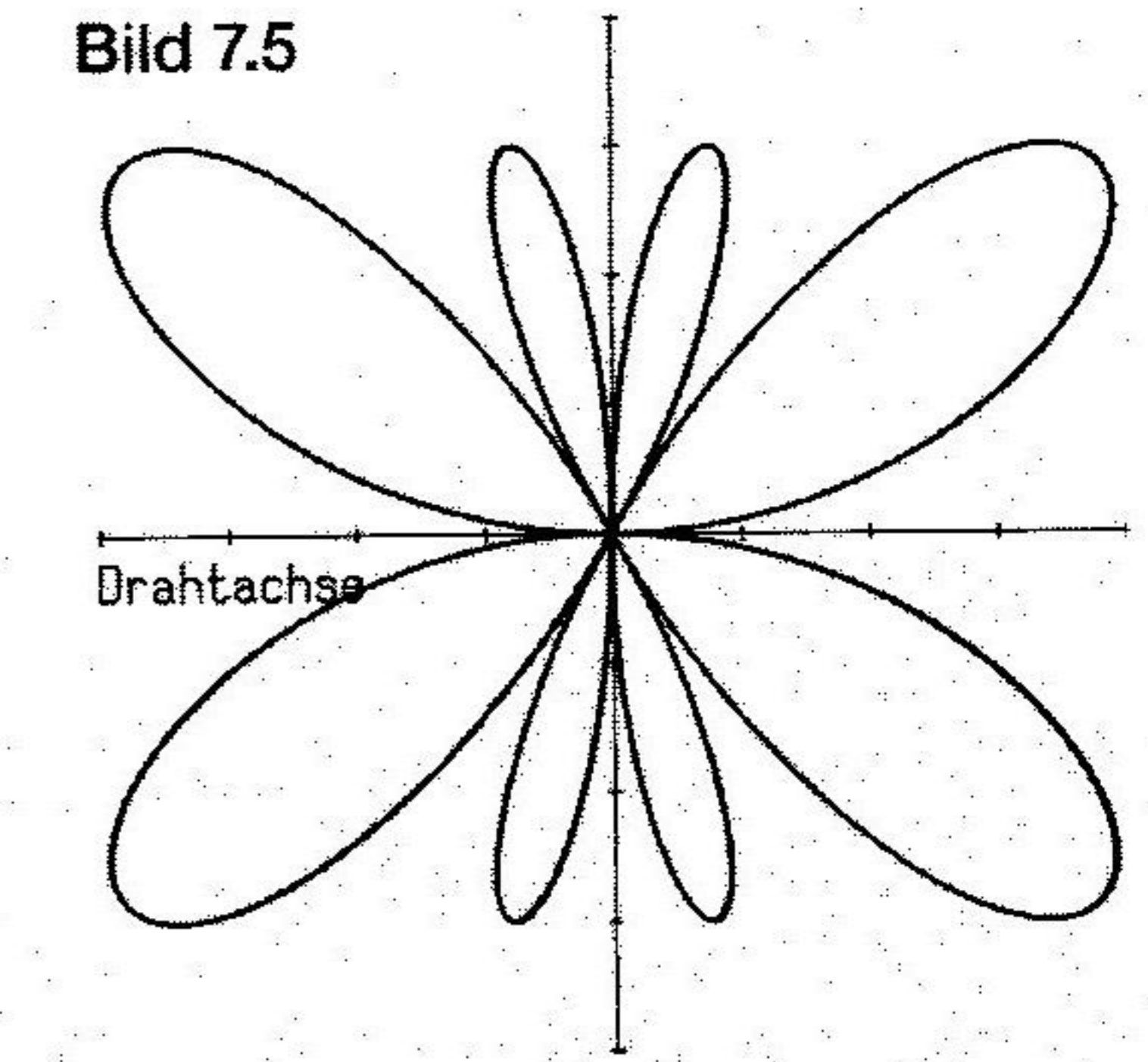


Bild 7.6

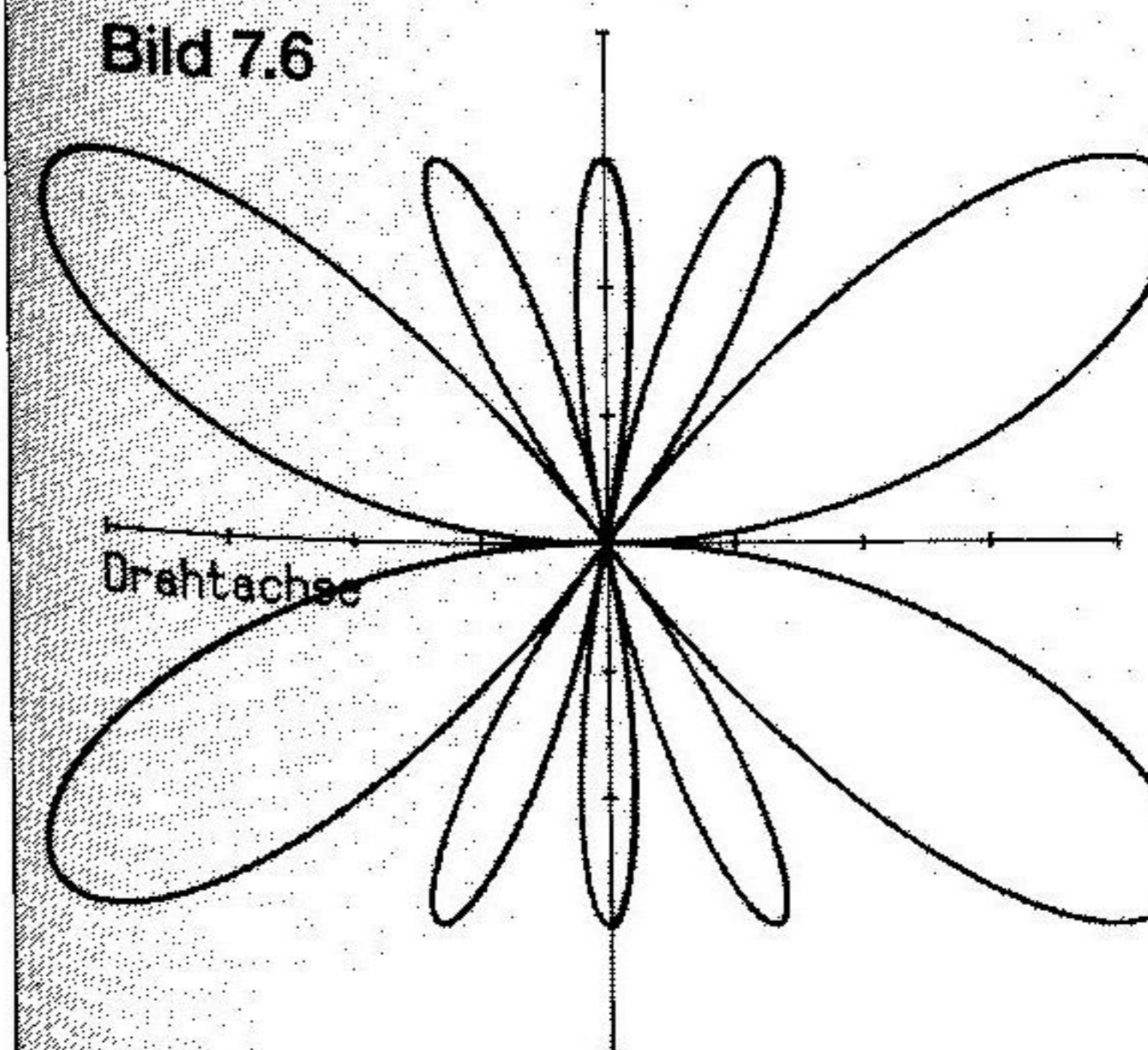


Bild 7.2: Feldstärke-Diagramm einer $0,5\text{-}\lambda$ -Windom

Bild 7.3: Feldstärke-Diagramm einer $1,0\text{-}\lambda$ -Windom

Bild 7.4: Feldstärke-Diagramm einer $1,5\text{-}\lambda$ -Windom

Bild 7.5: Feldstärke-Diagramm einer $2,0\text{-}\lambda$ -Windom

Bild 7.6: Feldstärke-Diagramm einer $2,5\text{-}\lambda$ -Windom

Verschiebung kann auf dem 28-MHz-Band 10 cm, auf dem 3,5-MHz-Band einen Meter betragen, ist also nicht allzugroß. Lag bis jetzt der Zapfpunkt bei $0,17 \lambda$, so geht er jetzt auf $0,16 \lambda$ zu. Wir sind nicht schlecht beraten, den Abstand des Zapfpunktes mit einem Sechstel der Wellenlänge zu wählen, was $0,16667 \lambda$ entspricht. Nun schwingt die Antenne im Ganzwellen-Modus mit zwei Halbwellen.

Teilen wir eine Halbwelle in Drittel, das sind $\lambda/6$, so bekommen wir je Halbwelle zwei Speisepunkte. Weil auf dem Ganzwellenstrahler zwei Halbwellen liegen, verfügen wir über vier Speisepunkte, was recht praktisch ist; denn wir können den Verlauf unserer Speiseleitung weitgehend den örtlichen Gegebenheiten anpassen. Wenn n die Zahl der Halbwellen auf dem Leiter ist und m die Zahl der Zapfpunkte, ergibt sich die simple Formel: $m = 2 \cdot n$. Durch Ansetzen weiterer Leiterstücke von der Länge einer Halbwelle erhalten wir immer längere Antennen. Die ersten vier sind in Bild 7.1 zu sehen. Die langen Antennen sind nicht mehr auf der Grundwelle, sondern in einer Harmonischen, in einer Oberwelle erregt. Wir können also Langdrahtantennen, die viele Wellenlängen lang sind, mit einer Eindraht-Speiseleitung erregen. Die Meßmethoden für Resonanz und Anpassung des Feeders bleiben die gleichen wie bei einer Halbwellen-Windom.

Die Länge einer Windom-Antenne, deren Strahler länger als eine Halbwelle ist, wird folgendermaßen berechnet:

$$L = 150 \cdot (n - 0,05) / f \quad [\text{m}]$$

Dabei ist L = Länge des Strahlers in m, n = Anzahl der Halbwellen auf dem Strahler, f = Arbeitsfrequenz in MHz. Auf diese Weise können wir Strahler mit großen Längen von vielen Wellen berechnen und bauen.

Für die Längen und Stromverteilungen des Bildes 7.1 nehmen die horizontalen Feldstärkediagramme die Formen von Bild 7.2 bis Bild 7.6 an. Die Gewinne in den Hauptkeulen sind wie folgt:

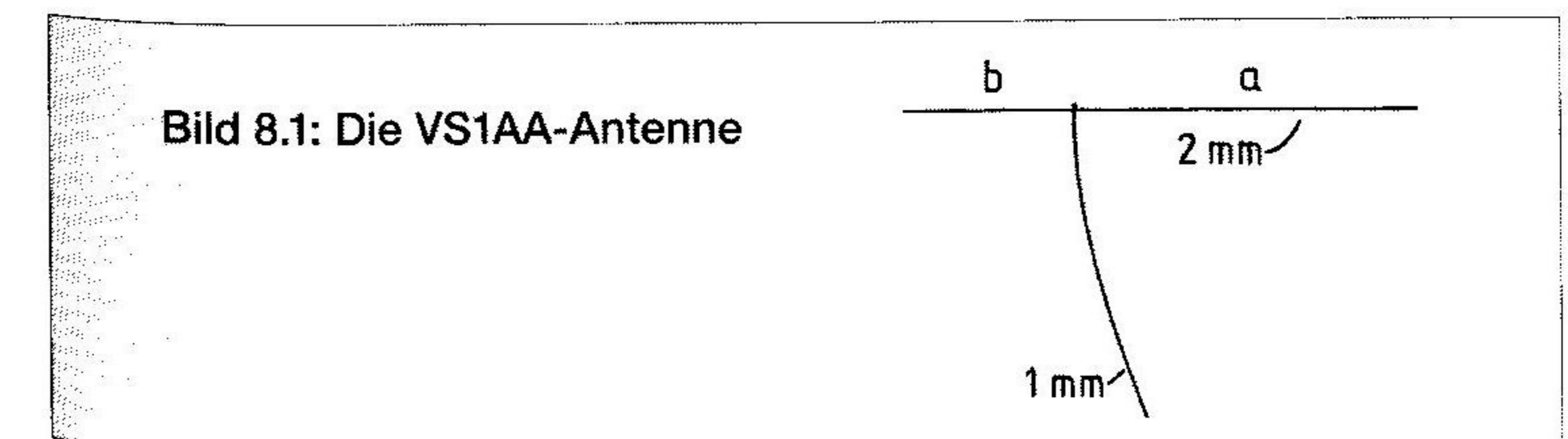
Länge in λ	Gewinn in dBd (über Halbwellendipol)
0,5	0,00
1,0	0,44
1,5	1,32
2,0	2,07
2,5	2,70

8. Mehrband-Windom-Antennen

Am bekanntesten ist wohl die nach ihrem Erfinder benannte VS1AA-Antenne von Bild 8.1. Sie arbeitet auf allen Bändern des Amateurfunks von 3,5 MHz bis 29,7 MHz, wobei natürlich pseudostehende Wellen auf dem Eindraht-Feeder nicht immer vermieden werden können; aber sie werden wenigstens kleingehalten. Der technische Kniff liegt in den unterschiedlichen Drahtdicken vom Strahler mit 2 mm und vom Feeder mit 1 mm. Die Antenne funktioniert aber auch mit den Drahtdurchmessern 3 mm/1,5 mm sowie 4 mm/2 mm, was wegen der höheren Bruchlast zu empfehlen ist. Es sei nicht verschwiegen, daß sie auch funktioniert hat, wenn beide Teile aus gleich dickem Draht bestanden haben. Auch hier gibt es eine kleine und eine große VS1AA-Antenne mit folgenden Maßen:

	Länge a	Länge b	Gesamtlänge
3,5 MHz bis 29,7 MHz	27,40 m	13,60 m	41,00 m
7,0 MHz bis 29,7 MHz	13,59 m	6,84 m	20,43 m

Das 7-MHz-Modell kann auch auf 3,5 MHz als Vertikalstrahler mit Dachkapazität arbeiten, wobei man auf ein Erdsystem aus Radialen nicht verzichten sollte. Auf allen Bändern ist ein Antennenkoppler zwischen Feeder und Sender nötig. Die VS1AA-Antenne wirkt auf der Grundfrequenz als Windom-Antenne. Auf allen anderen Frequenzen wirkt sie teils als Windom-Antenne mit nur gering strahlender Speiseleitung, teils als Vertikalantenne mit Dachkapazität. So oder so, sie strahlt auf allen Bändern und wird wohl nie ihren Erbauer restlos enttäuschen.



9. Sonderausführungen von Windom-Antennen

Gerade bei Platzmangel sind wir oft nicht imstande, einen Windom-Strahler geradlinig auszuspannen. Dann hilft nur noch das Abknicken des Strahlers. Der Zapfpunkt sollte bei $\lambda/6$ liegen und muß experimentell verschoben werden, um Anpassung zu schaffen. Je spitzer der Knickwinkel wird, umso kleiner wird die Impedanz, umso weiter rückt der Zapfpunkt nach außen. Bild 9.1 stellt einige markante Knickstrahler dar. Ist der Strahler mehrfach geknickt, so sinkt die Impedanz mit der Zahl der Knicke und natürlich auch mit der Schärfe der Winkel. Eine Vorausberechnung ist nicht möglich, so daß wir mit Resonanzmessung des Strahlers und Dreipunktmessung des Feeders arbeiten müssen. Es empfiehlt sich, die Winkel der Knicke soweit wie möglich an eine gerade Linie anzunähern. Ein um 135° geknickter Strahler kann nicht so gut strahlen wie ein um 90° geknickter, der wiederum vom 45° -Strahler und dieser vom geradlinigen 0° -Strahler übertriften wird. Über 135° zu gehen, ist gewiß ein abenteuerliches Experiment. Bei 180° -Knickung entsteht eine Art Zeppelin-Antenne. Durch die Knickung ändert sich nicht nur die Impedanz des Strahlers, sondern auch seine Abstrahlcharakteristik (vgl. Bild 7.2 bis 7.6) und seine Feldstärke.

Schließlich lassen sich mehrere Windom-Strahler parallelschalten, wodurch sie nur von einer Eindraht-Speiseleitung erregt werden. Da die Strahler nicht aufeinander koppeln sollen, sind sie senkrecht zueinander

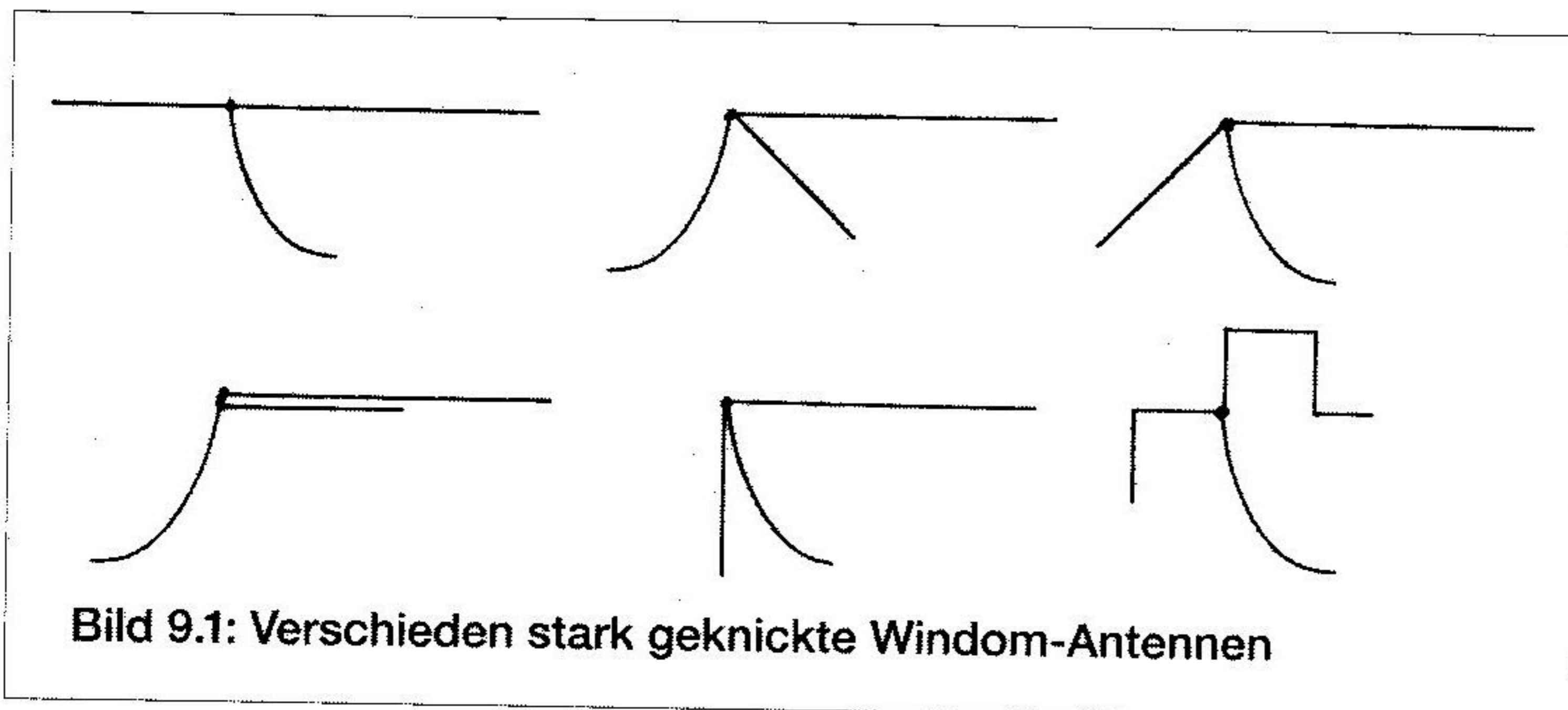
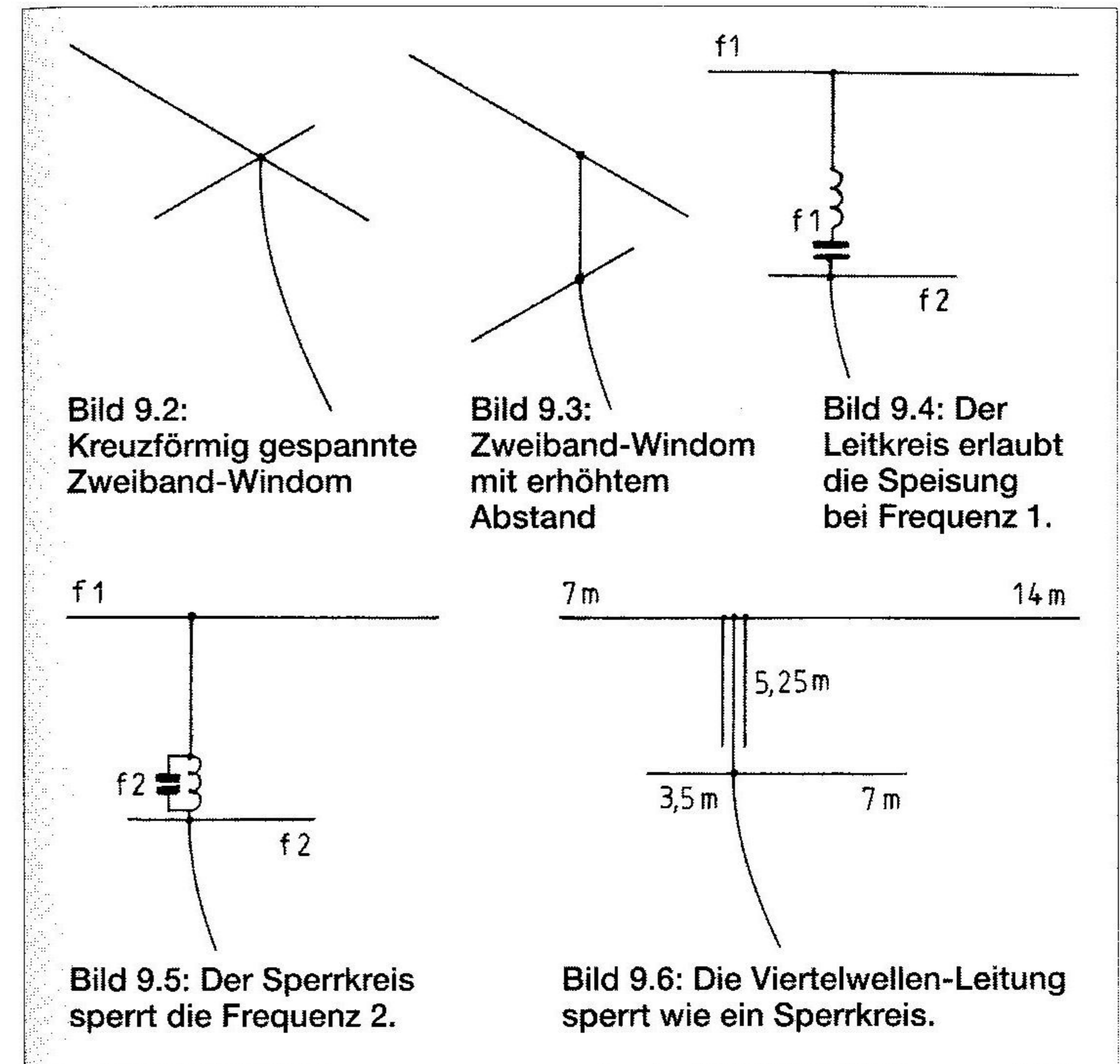


Bild 9.1: Verschieden stark geknickte Windom-Antennen



zu verspannen (Bild 9.2). Die Kopplung geht zurück, wenn die Strahler räumlich weiter voneinander entfernt sind (Bild 9.3). Bei Entfernungen über $\lambda/4$ der niederen Betriebsfrequenz können wir es wagen, die Strahler parallel zu führen. Mit einem Leitkreis können wir den Ausgang des Feeders elektrisch und automatisch an den resonanten Strahler legen (Bild 9.4). Den selben Zweck erfüllt ein Parallel- oder Sperrkreis, der die nicht gewünschte Frequenz vom nichtresonanten Strahler fernhält (Bild 9.5). Beide Schwingkreise müssen eine Spule als Induktivität verwenden. Leider sind Spulen stets mit nicht auszurottenden Verlusten behaftet. Wesentlich vorteilhafter sind Schwingkreise aus linearen Drähten. Die erste Anwendung stammt von R. R. Schellenbach, W1JF [22, 23]. Auf Bild 9.6 sehen wir die sperrende Entkopplung zweier Windomdipole, die auf 7 MHz und 14 MHz reso-

nant sind. Die Maße sind noch nicht optimiert. Der obere Strahler wird über eine Viertelwellenleitung gespeist. Das offene Ende dieses drei-dräftigen Stubs hat eine sehr hohe Impedanz, wenn der untere Strahler und gleichzeitig der Stub in Resonanz schwingen. Der obere Strahler wird durch die Sperrwirkung des Stubs nicht gespeist.

Schellenbach hat diese Anordnung zu einer Allbandantenne ausgebaut. Bild 9.7 zeigt eine Kombination von kopfstehender J-Antenne und L-Antenne für die klassischen Bänder. Folgende Tabelle zeigt die Impedanzen am Fußpunkt auf den einzelnen Bändern:

Band	Speisewiderstand	Band	Speisewiderstand
1,8 MHz	35 Ω	10,1 MHz	>1000 Ω
3,5 MHz	>1000 Ω	14,0 MHz	600 Ω
7,0 MHz	600 Ω	21,0 MHz	600 Ω

Am unteren Speisepunkt muß natürlich ein Antennenkoppler angebracht werden. Dort sind auch eine gute Erdung und zweckmäßig ein Radialsystem für 10,1 MHz unbedingt notwendig. Das untere Stück der J-L-Antenne von 14,06 m Höhe arbeitet bei 10,1 MHz als vertikaler Halbwellen-Rundstrahler, dessen Fußpunkt im Mittelpunkt des Radialsystems seinen Anfang hat. Wird die sperrende Viertelwellenleitung für 10,1 MHz am oberen Ende T-förmig aufgeweitet, so geht bei nahezu gleichbleibender Wirkung ihre Länge zurück, wodurch die gesamte J-L-Antenne nur noch 17,68 m hoch ist (Bild 9.8). Die Drähte des Stubs haben voneinander je 3 cm Abstand.

Auch die parallele Anordnung von Windom-Strahlern kann durchaus erfolgreich arbeiten, und nicht vergessen sei die Anbringung der Strahler in verschiedenen Höhen. Hier liegt ein Spezialgebiet der Antennentechnik brach, das überhaupt noch nicht bearbeitet worden ist. Durch Viertelwellenleitungen als Sperrkreise läßt sich eine ganze Gruppe von Strahlern parallelschalten (Bild 9.9). Diese Mehrbandantenne für 3,5/7/14/28 MHz ähnelt einem kopfstehenden Tannenbaum. Selbstverständlich ist jede erdenkliche Kombination von Arbeitsfrequenzen möglich, z.B. 10,1/18,1/24,9 MHz. Die Antennenlängen werden berechnet und optimiert, wie oben gezeigt. Die unten offenen Viertelwellenstubs bestehen aus dem Eindraht-Feeder und zwei Außen-drähten, die durch isolierende Distanzstücke einen 3-cm-Abstand von

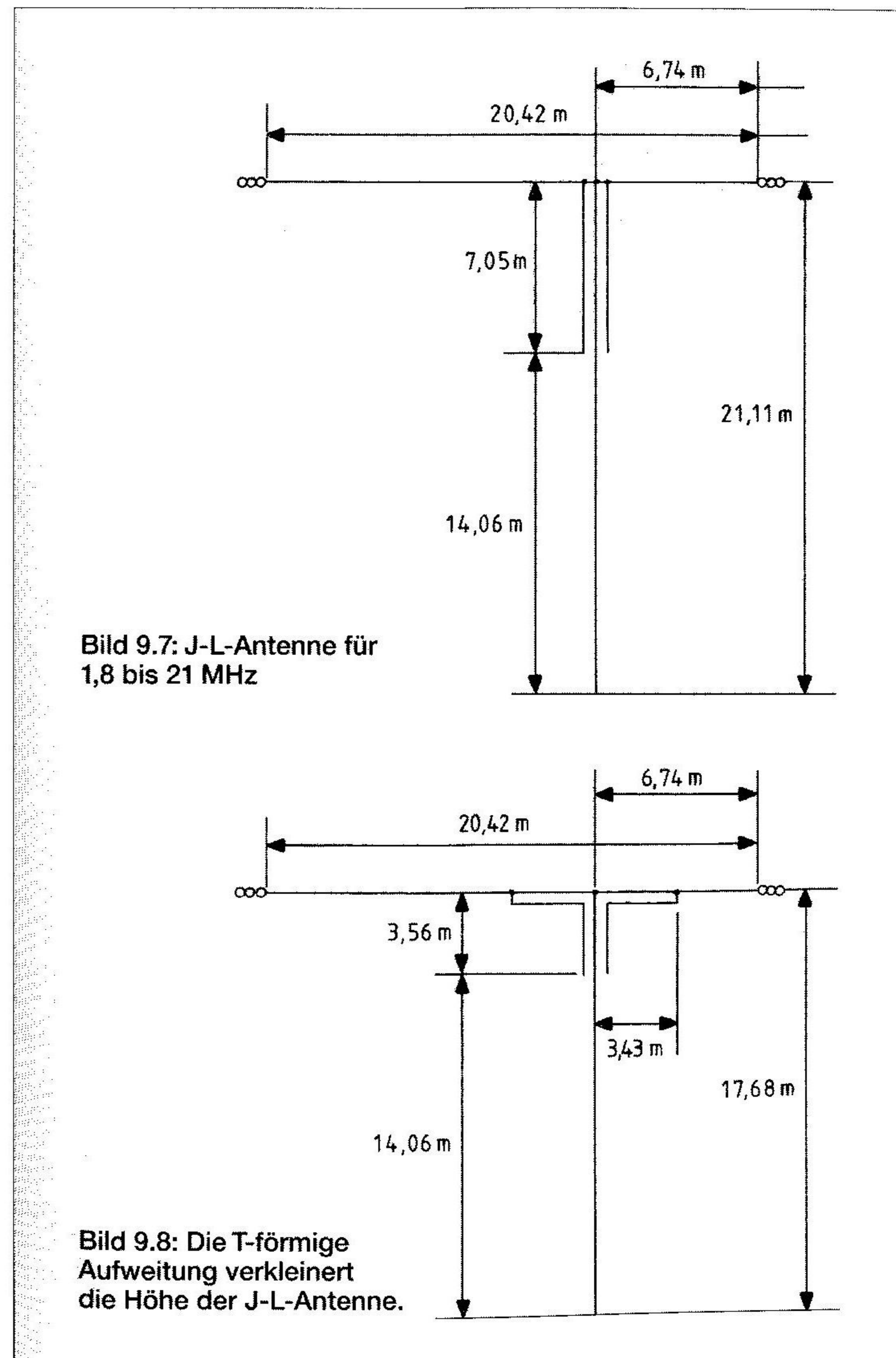
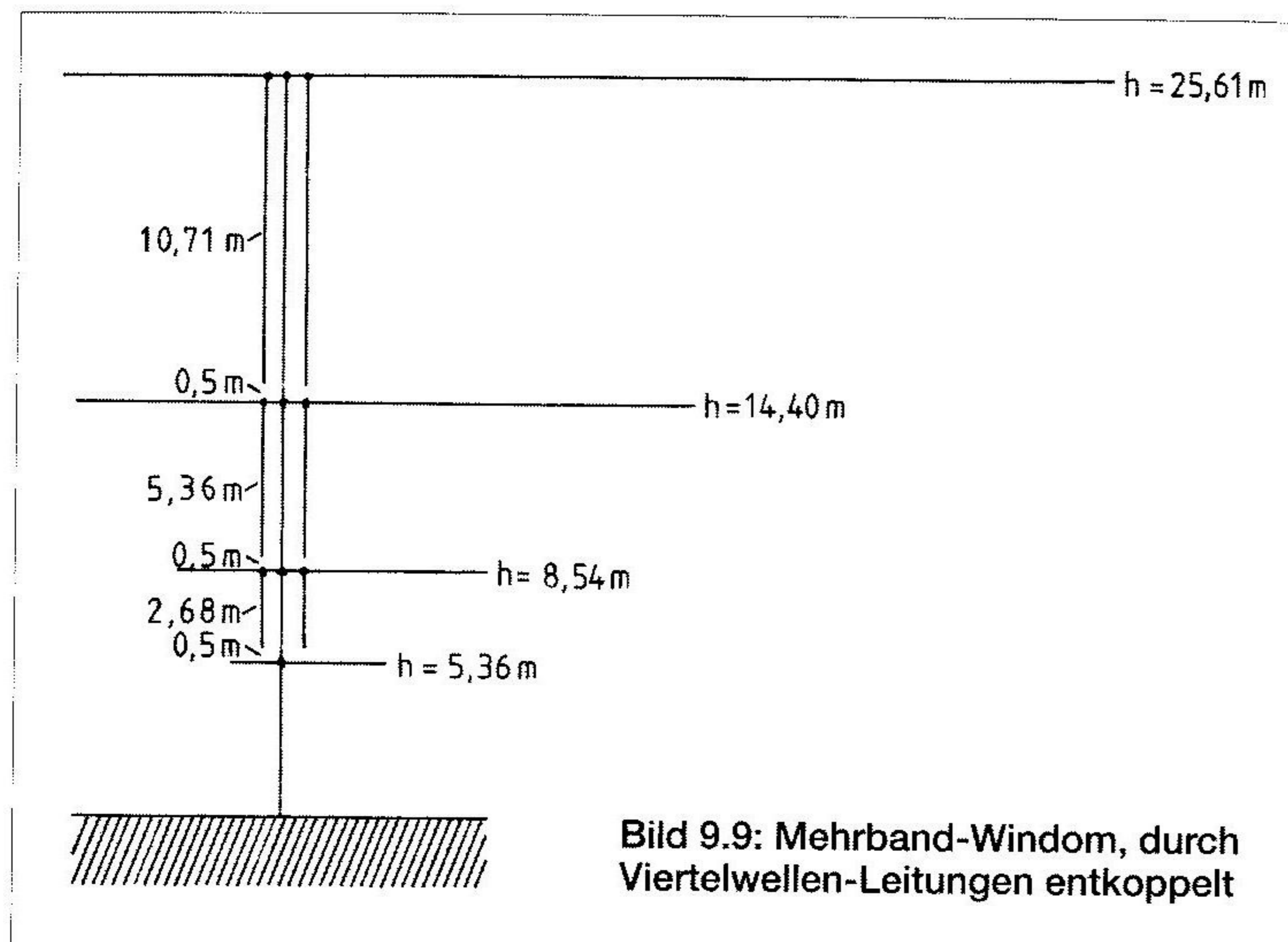


Bild 9.7: J-L-Antenne für 1,8 bis 21 MHz

Bild 9.8: Die T-förmige Aufweitung verkleinert die Höhe der J-L-Antenne.



Innenleiter erhalten. Abstände zwischen Innen- und Außenleiter bis zu 5...6 cm sind durchaus möglich. Die Speisung erfolgt am Fußpunkt über einen Antennenkoppler. Ein Erdsystem oder ein Radialsystem ist unabdingbar.

10. Ankopplung der Eindrahtspeiseleitung an den Sender

Der Feeder wird zweckmäßig über einen Erdungsschalter in die Station eingeführt. Wird die Antenne nicht gebraucht, so ist sie durch den Schalter an eine vorschriftsmäßige Erdung zu legen. Die einschlägigen Vorschriften sind dabei wegen der Haftung genau zu beachten. Wir fragen dazu am besten die Versicherungsgesellschaft; denn wenn wir deren Wünsche alle erfüllt haben, ist sie nicht imstande, sich im Schadensfall der Zahlungspflicht zu entziehen.

Die Impedanz des Feeders von etwa 600Ω ist auf die Impedanz des Transceivers von 50Ω herabzusetzen. Das ginge mit einem HF-Transformator recht ordentlich. Meistens ist jedoch der Wirkwiderstand von 600Ω noch mit einem Blindwiderstand behaftet, der die Wirkung des Transformators stark beeinträchtigt. Um diesen Schwierigkeiten aus dem Wege zu gehen, verwenden wir besser einen Antennenkoppler, von denen einige hier dargetan werden sollen. Bild 10.1 zeigt eine sehr gebräuchliche Schaltung, die einfach zu bedienen ist. Die Unterdrückung von Harmonischen ist nur mäßig und liegt in der Größenordnung von 6 dB. Mit $C_1 = C_2 = 1000 \text{ pF}$ und $L = 28 \mu\text{H}$ kommen wir auf allen KW-Bändern gut zurecht. Wenn wir auf das Top-Band verzichten, genügen für die Kapazitäten 500 pF. Als Induktivität ist eine Rollspule ideal, sie kann aber durch eine in vielen Schritten schaltbare Spule ersetzt werden.

Erheblich besser ist die Unterdrückung der Oberwellen mit der Schaltung nach Bild 10.2. Die Rollspulen haben $28 \mu\text{H}$, der Drehkondensator 1000 pF, bei Verzicht aufs Top-Band nur 500 pF. Die Bedienung der beiden Rollspulen ist aufwendiger als die von Drehkonden-

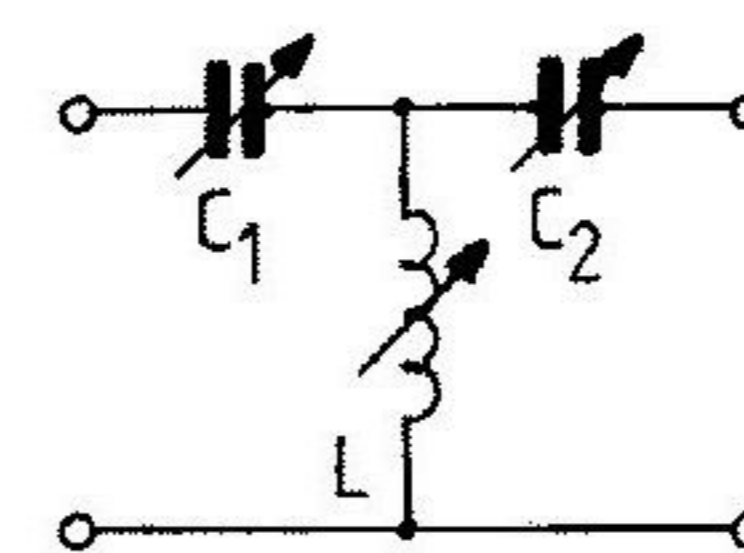


Bild 10.1: Antennenkoppler in Hochpaß-T-Schaltung

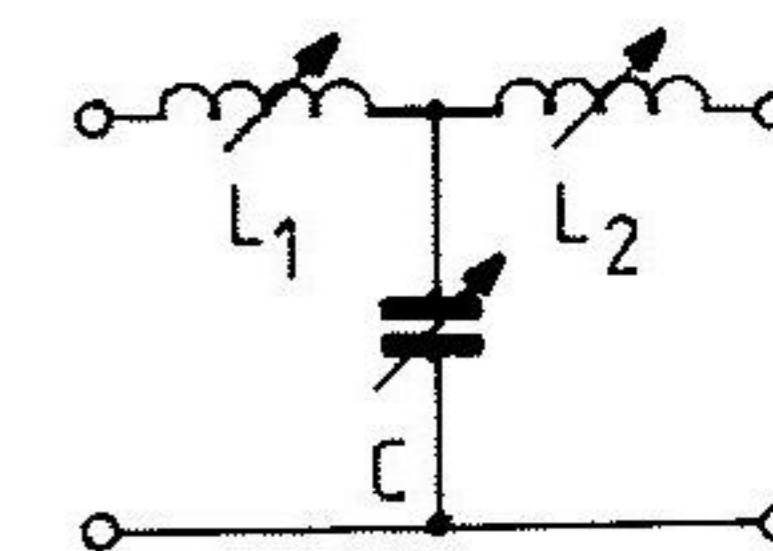


Bild 10.2: Antennenkoppler in Tiefpaß-T-Schaltung

satoren, ein Nachteil, mit dem wir die Dämpfung der Harmonischen erkaufen müssen, ganz abgesehen vom höheren Preis der Rollspulen und der dazugehörigen Zählwerke.

Geradezu universal ist der Antennenkoppler des Bildes 10.3 einzusetzen. Diese Schaltung ist als Transmatch bekannt. $C_1 = C_3 = 300 \text{ pF}$, $C_2 = 500 \text{ pF}$, $L = 28 \text{ } \mu\text{H}$. C_1 und C_2 können auf einer gemeinsamen Welle sitzen und so bedient werden. An C_1 und C_3 liegen die höheren Spannungen, was bei höherer Leistung zu beachten ist. Wir können den Transmatch auch umkehren, was den SPC-Tuner des Bildes 66 ergibt. Die Bauteile haben folgende Werte: $C_1 = C_2 = 300 \text{ pF}$, $C_3 = 500 \text{ pF}$, $L = 28 \text{ } \mu\text{H}$. Kluge Köpfe richten sich den Transmatch-Koppler mit Koax-Buchsen und Antennenklemmen so ein, daß er in Sekundenschnelle in einen SPC-Match umgewandelt werden kann (Bild 10.4).

Für Einband-Antennen können wir den Feeder exakt lotrecht dem Erdboden zuführen und dort einen wetterfesten Antennenkoppler aufstellen, von dem ein Koaxialkabel in die Station führt (Bild 10.5). Um ein großes L/C-Verhältnis zu schaffen, sollte der abstimmende Drehkondensator rund 100 pF haben, fürs 1,8-MHz-Band empfehlen sich 250 pF . Die Induktivität der Spule ist nach Arbeitsfrequenz und Kapazität zu wählen. An die Güte der Spule sind hohe Anforderungen zu

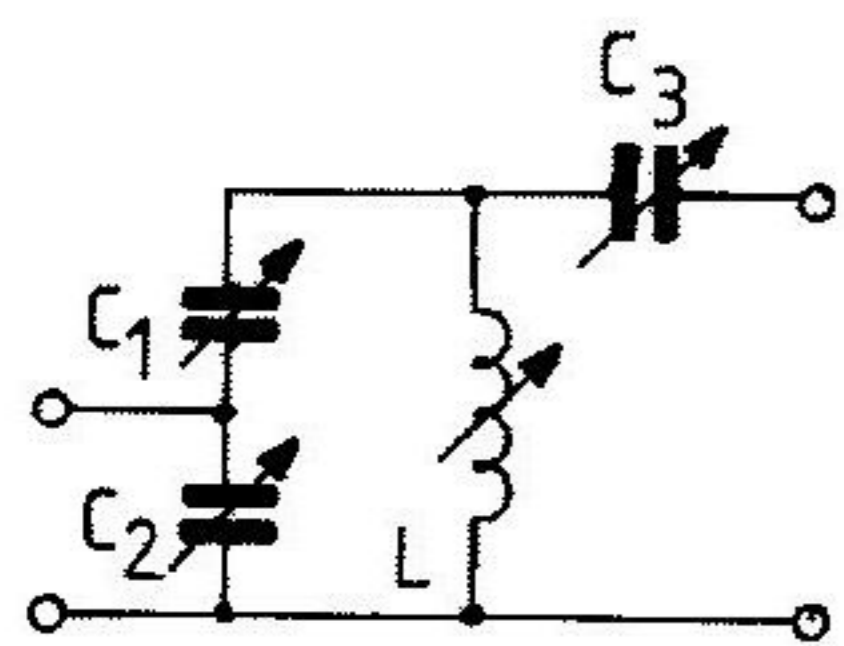


Bild 10.3: Antennenkoppler in Transmatch-Schaltung

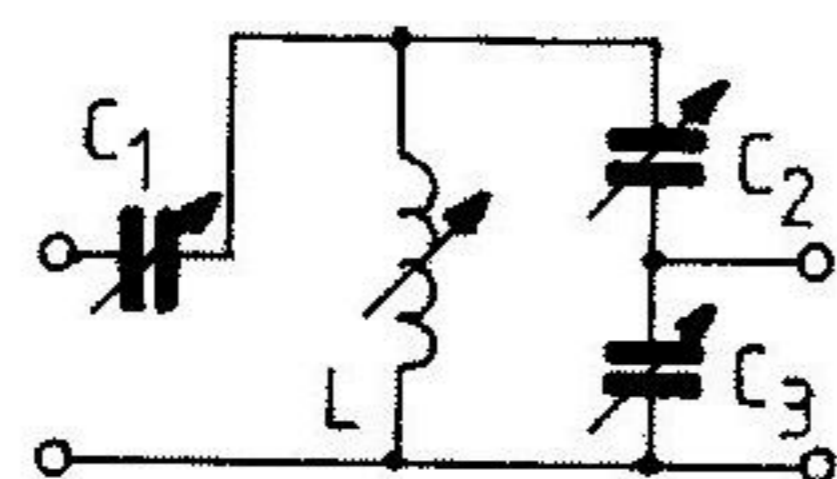


Bild 10.4: Antennenkoppler in SPC-Schaltung

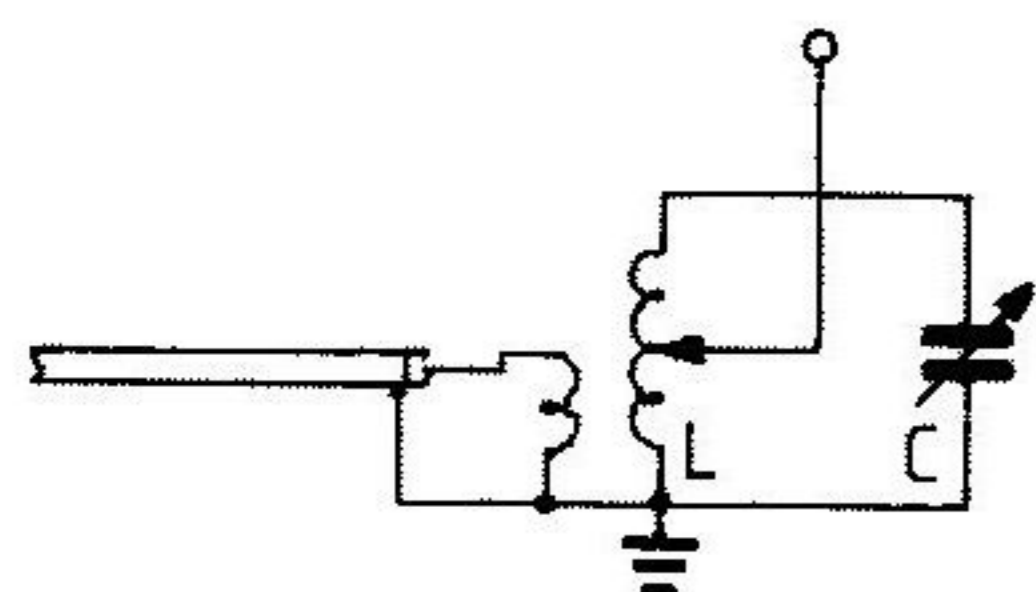


Bild 10.5: Anpassung über einen induktiv gekoppelten Parallelkreis

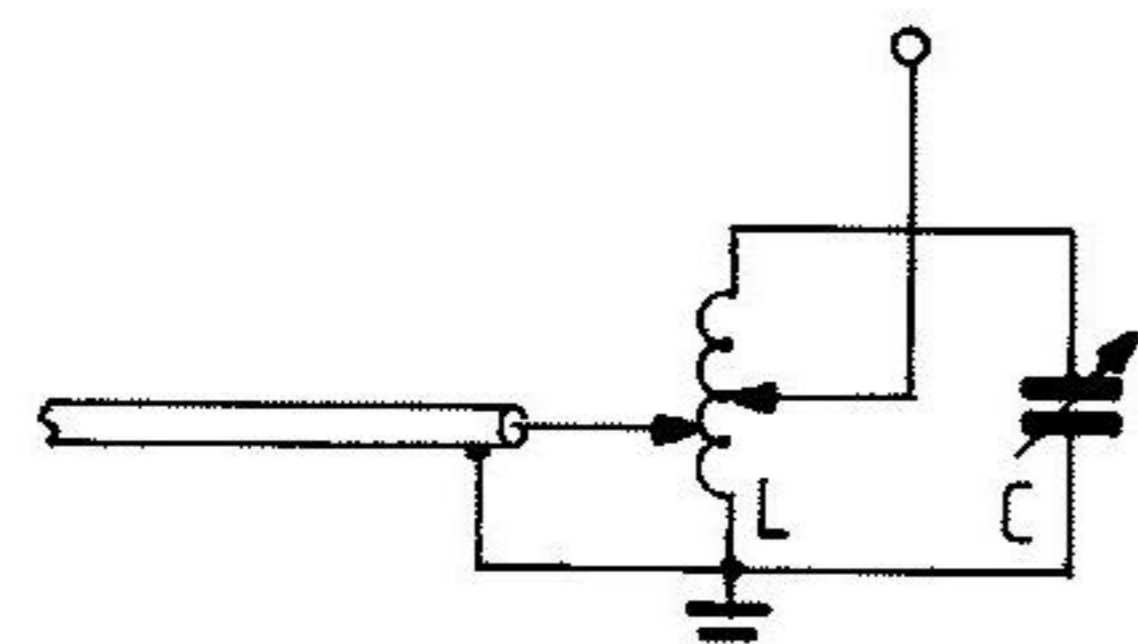


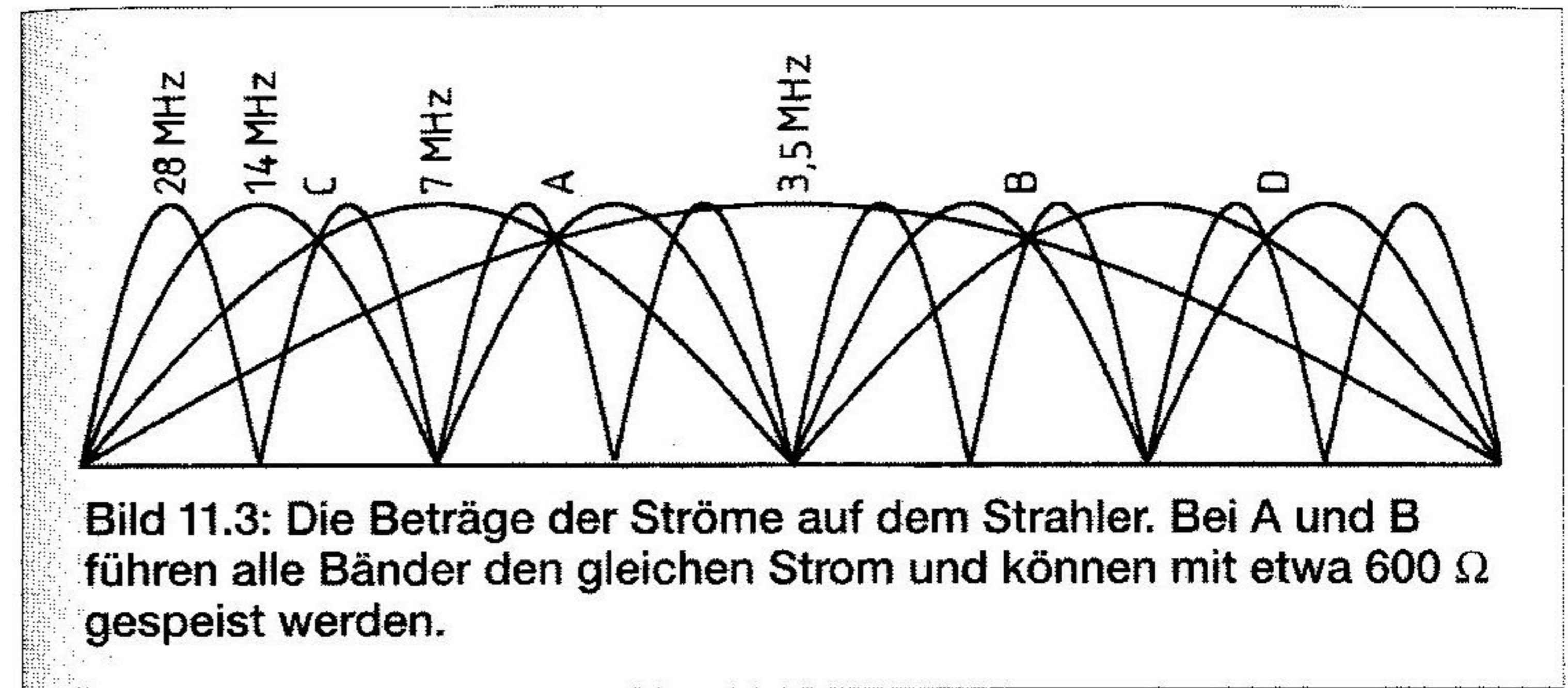
Bild 10.6: Anpassung über einen galvanisch gekoppelten Parallelkreis

stellen, das heißt, eine keramisch isolierte Luftspule aus versilbertem Draht ist dringend zu wünschen. Die Koppelspule zum Koaxkabel hat nur wenige Windungen. Die Kopplung ist kräftig zu wählen, was wir erreichen, indem wir die Koppelspule um das untere Ende der Spule wickeln. Der Feeder wird an einen Anzapf der Spule gelegt. Die vollkommene Anpassung wird durch die Messung der Welligkeit auf dem Kabel kontrolliert. Exakt kann nur gemessen werden, wenn das SWR-Meter an der Antennenseite des Kabels liegt. Messungen im Stationsraum sind um eine Kategorie schlechter. Das heißt: Das gemessene SWR erscheint durch die Kabeldämpfung zu günstig. Durch Änderung von Kopplung, Abstimmung und Zapfpunkt können wir das SWR leicht auf ein tiefes Minimum bringen, es ist kein Kunststück, $\text{SWR} = 1$ zu erreichen.

In Bild 10.6 sind wir von der induktiven Kopplung auf galvanische Kopplung übergegangen: Die Seele des Koaxkabels führt zu einem Zapfpunkt, die Antenne zu einem anderen Zapfpunkt. Die Einstellung der Zapfpunkte erleichtern wir uns mit Krokodilklemmen, die solange verwendet werden, bis wir die als richtig befundenen Zapfpunkte sorgfältig verlöten. Wenn wir uns überlegen, daß der Rückstrom der Windom-Antenne über den Erdboden verläuft, wissen wir sofort, wie gut diese Erde sein muß. Ein eingeschlagener, verzinkter Stahlstab genügt auf gar keinen Fall; er kann höchstens Mittelpunkt eines Radialnetzes sein, das aus 12 sternförmig verlegten Drähten von je einer Viertelwelle besteht. Bis auf vier Radials kann man das vielleicht abspecken, weniger geht nicht. Nach den Untersuchungen von Prof. Dr. Janzen [31] sind vier frei in der Luft verspannte Radials von großem Vorteil.

11. Die symmetrisch gespeiste Windom-Antenne

Nicht jedermann ist von einer Eindrahtspeiseleitung begeistert, besonders, wenn er die Arbeitsweise nicht versteht oder vor der meßtechnischen Optimierung zurückschreckt. So wurden schon frühzeitig Versuche unternommen, die Windom-Antenne mit einer Zweidrahtspeiseleitung zu speisen und diese auf mehreren Kurzwellen-Bändern zu verwenden. Zu den ersten Erfolgen zählte eine Zweiband-Windom von G. Schwarzbeck, DL1BU, die mit einer 300-Ω-Bandleitung gespeist war [24] (Bild 11.1). Der unsymmetrische Strahler war mit einer symmetrischen Leitung beliebiger Länge gespeist und arbeitete vorzüglich auf 3,5 und 7 MHz. Später griff Dr. F. Spillner diese Methode der Speisung auf und beschrieb sie für eine Mehrband-Antenne [25]. Er ging dabei von der Idee aus, daß sich Punkte gleicher Impedanz bei verschiedenen Frequenzen auf dem Strahler finden lassen. Dazu zeichnete er die sinusförmigen Ströme der klassischen Kurzwellen-Bänder auf dem etwa 41 m langen Strahler auf (Bild 11.2). Wir sehen dort Punkte, an denen sich die Stromkurven exakt kreuzen, z.B. in der



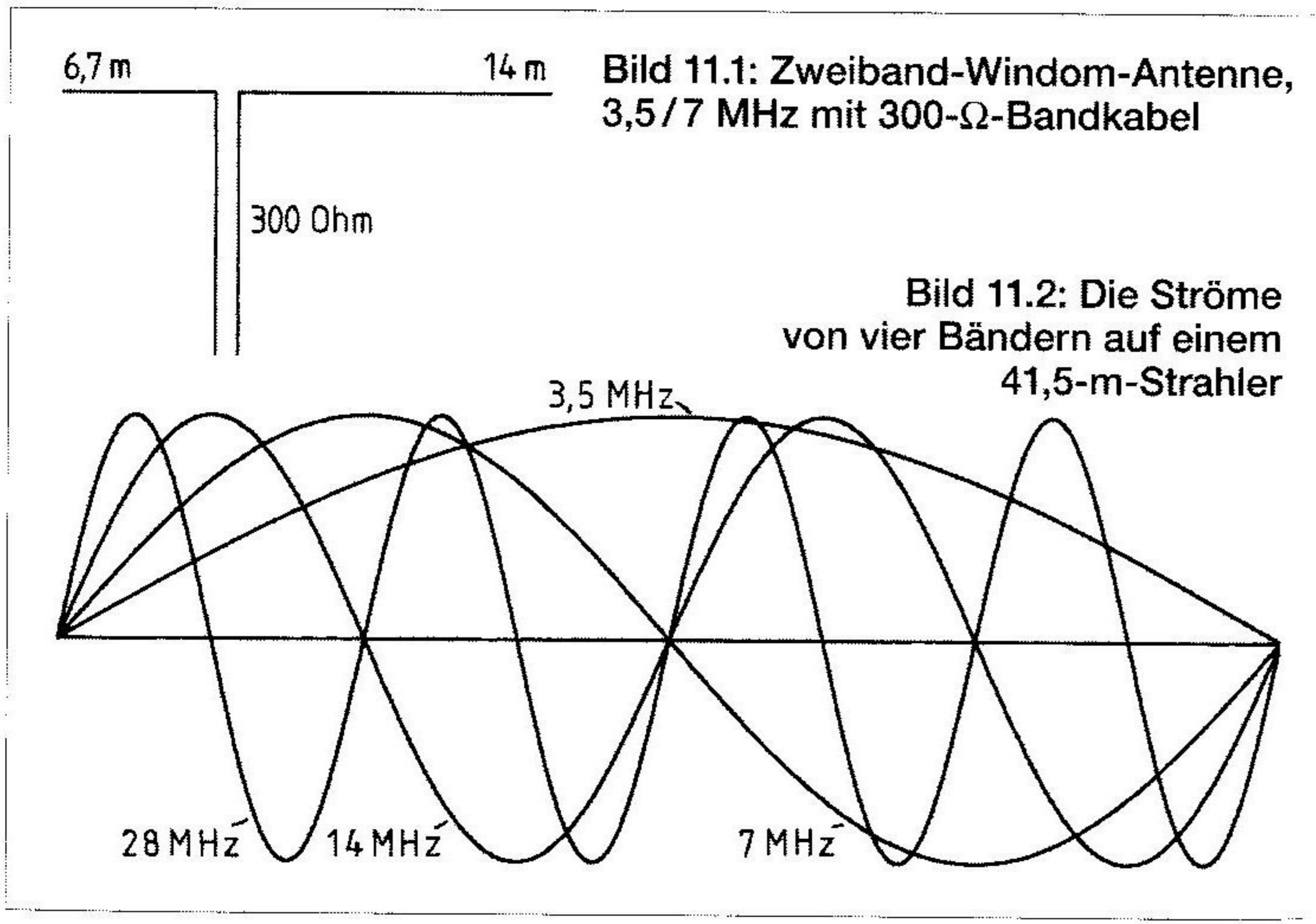
Mitte, wo allerdings das 3,5-MHz-Band nicht dazu beiträgt, und oben links von der Mitte, wo das 14-MHz-Band keine Kreuzung bildet. Wenn der Strahler gespeist wird, ist es gleichgültig, in welcher Phase er gespeist wird. Wichtig ist nur der Betrag des Stromes. Der Betrag ist immer positiv, also können wir alle Ströme nach oben zeichnen, wie es Bild 11.3 zeigt. Sehr auffällig sind die Kreuzungen A und B. Dort schneiden sich die Stromkurven der vier KW-Bänder. Die Punkte C und D wären auch nicht schlecht, doch fehlt leider das 3,5-MHz-Band. Genauso ist es im Mittelpunkt des Strahlers.

Die Methode, den Speisepunkt von den Kreuzungen der Stromkurven abzuleiten, ist gut anzuwenden, wenn die Ströme von harmonischen Frequenzen herrühren. Die Windom-Antenne von DL1BU arbeitet auf 3,5 und 7 MHz. 7 MHz ist exakt die doppelte Frequenz von 3,5 MHz. Somit ergibt sich für die Sinuskurven des Stromes der Ort der Kreuzungen folgendermaßen:

$$\sin x = \sin 2x$$

und aus einer Identität: $\sin x = 2 \sin x \cdot \cos x$
wir teilen durch $\sin x$: $1 = 2 \cos x$
wir tauschen die Seiten: $2 \cos x = 1$
 $\cos x = 1/2 = 0,5$
damit wird x : $x = 60^\circ$

Weil wir aber die Phase fortlassen und den Betrag der Funktion nehmen $|\sin x|$, ergibt sich ein weiterer Kreuzungs- und Zapfpunkt bei $x = 120^\circ$, wie dies deutlich Bild 11.3 aufweist. Ebenfalls sehr einfach ist die Berechnung des Zapfpunktes, wenn sich die Frequenzen wie 3:1



verhalten. Das klassische Beispiel ist 7 MHz und 21 MHz. Wir können dazu schreiben:

$$\begin{aligned} \sin x &= \sin 3x \\ \text{aus einer Identität:} \quad \sin x &= 3 \sin x - 4 \sin^3 x \\ \text{wir teilen durch } \sin x: \quad 1 &= 3 - 4 \sin^2 x \\ \text{tauschen und umformen: } 2 \sin^2 x &= 1 \\ \sin^2 x &= 0,5 \\ \sin x &= \sqrt{0,5} \\ x &= 45^\circ \end{aligned}$$

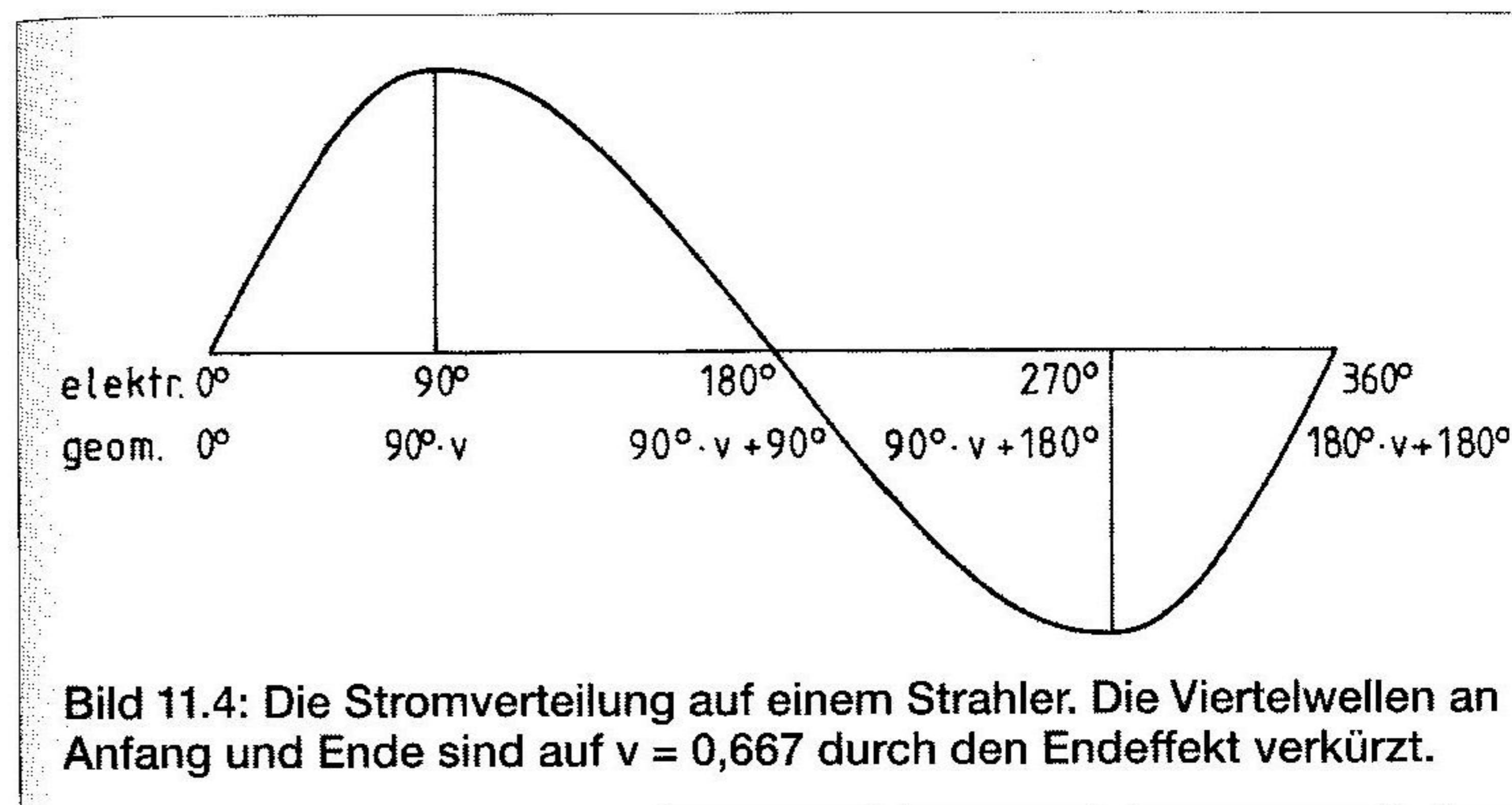
Mit zunehmender Kompliziertheit des Frequenz-Verhältnisses wird die Mathematik rasch aufwendig, so daß wir darauf gern verzichten.

Die acht Bänder der Kurzwelle sind in MHz: 3,5/7/10,1/14/18,1/24,9/28. Wir haben dabei bewußt das Top-Band 1,8 MHz und das höchste Band 50 MHz ausgeklammert, weil für diese Bänder, Grenzwellen und UKW, Windom-Antennen nur selten angewandt werden. Wenn wir aus den verbleibenden acht Frequenzen nur zwei Bänder auswählen, die von einer Windom-Antenne abgestrahlt werden sollen, so haben wir 28 mögliche Antennen. Soll jedoch die Windom-Antenne drei Frequenzen abstrahlen, so sind 56 Antennen möglich. Bei vier abstrahlenden Frequenzen haben wir die Auswahl aus 70 möglichen Antennen.

Um nicht ins Uferlose zu gelangen, beschränken wir uns auf die symmetrisch gespeisten Zweiband-Windom-Antennen. Diese gehören zu den Langdrahtantennen, deren Länge nach folgender Formel berechnet wird:

$$L = 150 \cdot (n - 0,05) / f \quad [\text{m}]$$

Darin ist: L = Länge in Metern, n = Anzahl der Halbwellen auf dem Strahler, f = Frequenz in MHz. Der Wert 0,05 ist das Komplement des Verkürzungsfaktors $v = 0,95$. Das heißt, ein Strahler von einer Halbwelle ist um 0,05 (= 5%) kürzer als die Welle im Freiraum. Diese Verkürzung wird hervorgerufen durch den sogenannten Endeffekt: Die Enden des Strahlers haben eine Kapazität, die Endkapazität gegenüber der Erde und sogar gegen den freien Raum. Der Draht ist nämlich nicht unendlich dünn, sondern hat eine bestimmte Dicke, die ähnlich einem kleinen Kondensator wirkt. Um in Resonanz zu kommen, muß die Endkapazität durch Kürzen des Strahlers ausgeglichen werden. Diese Kürzung um etwa 5% ist die Ursache des Verkürzungsfaktors.



der mit $v = 0,95$ am besten der Praxis genügt. Als Beispiel berechnen wir eine Vollwellenantenne für 18,1 MHz: $L = 150 \cdot (2 - 0,05) / 18,1 = 150 \cdot 1,95 / 18,1 = 16,16 \text{ m}$.

Der Verkürzungsfaktor wirkt nur auf die äußeren Viertelwellen-Abschnitte des Strahlers. Innerhalb der Antenne gibt es keinen Endeffekt und deshalb auch keine Verkürzung. Bild 11.4 demonstriert diese Fakten. Die Abweichungen von der echten Sinuskurve erscheinen unserem Auge recht gering, dabei ist der Verkürzungsfaktor $v = 0,67$, also erheblich mehr als es je in der Praxis vorkommen könnte. Die beiden äußeren Viertelwellen sind auf 67% der echten Länge verkürzt. Im Inneren des Strahlers findet keine Verkürzung statt. Elektrisch bleibt alles beim alten, auch die Graduierung: $0^\circ, 90^\circ, 180^\circ, 270^\circ, 360^\circ$. Geometrisch oder mechanisch ist das erste Viertel nur $90^\circ \cdot v$ lang, das sind $90^\circ \cdot 0,67 = 60^\circ$. In der Mitte sind es $60^\circ + 90^\circ = 150^\circ$ und am Ende ist das geometrische Maß des Strahlers $L = 180^\circ \cdot v + 180^\circ$; $L = 120^\circ + 180^\circ = 300^\circ$. Dasselbe hätte die obige Formel für zwei Halbwellen ergeben.

Für die Bildung einer Zweiband-Windom-Antenne berücksichtigen wir die Verkürzung der ersten Viertelwelle und der letzten Viertelwelle auf den Verkürzungsfaktor v , den wir hier auf dem gängigsten Wert $v = 0,95$ belassen. Für die Berechnung der Antennenlänge dient das Programm: KGV-ANT3.BAS. Es ist in Kapitel 14 angeführt.

Ein Ergebnis für eine Zweiband-Windom-Antenne zeigt uns, daß auf dem 24,13 m langen Strahler für 18,1 MHz 3 Halbwellen, für

24,9 MHz 4 Halbwellen stehen. Die idealen Strahler haben einen Längenunterschied von 0,65 m. Daher wird mit der durchschnittlichen Länge von 24,13 m gearbeitet, die für 18,1 MHz um 0,32 m zu kurz und für 24,9 MHz um 0,33 m zu lang ist. In der Praxis kann man von den errechneten Werten vom cm-Bereich in den dm-Bereich runden und beeinträchtigt die Wirkung der Antenne nicht.

Die folgende Tabelle zeigt die praktisch verwertbaren Zweiband-Windom-Antennen mit symmetrischer Speisung, die auf die angeführte Weise berechnet worden sind. Darin sind die Frequenzen in MHz, die Länge in Metern, Zapfpunkt: der Abstand des Zapfpunktes von einem Ende in Metern, I der Strom, der in beiden Bändern gleich groß ist, wobei das Maximum des Stromes $I_{\max} = 1,0000$ ist. Für einen Strom von 0,8660 brauchen wir einen Balun 1:6. Für Ströme $> 0,9500$ können wir Baluns von 1:2 bis 1:1 verwenden. Für Ströme $< 0,8000$ können Baluns von 1:9 eingesetzt werden. Hier ist noch ein weites Feld für Experimente offen.

Freq ₁	Freq ₂	Länge	Zapfpunkt	Strom I
3,5	7	41,25	13,35	0,8838
3,5	10,1	42,26	10,34	0,7444
3,5	10,1	340,78	32,02	0,6561
3,5	14	41,52	8,05	0,6084
3,5	18,1	40,86	6,54	0,5064
3,5	18,1	40,86	19,77	0,9994
3,5	21	41,61	16,47	0,9729
3,5	21	41,61	17,33	0,9867
3,5	24,9	41,29	13,44	0,8872
3,5	28	41,65	11,72	0,8144
7	10,1	42,80	8,15	0,9698
7	14	20,63	6,67	0,8838
7	18,1	41,41	5,60	0,7861
7	18,1	41,41	17,39	0,4909
7	21	20,72	5,02	0,7282
7	24,9	41,83	4,41	0,6568
7	24,9	41,83	13,57	0,8788
7	24,9	41,83	16,23	0,6320
7	28	20,67	4,03	0,6084
7	28	20,67	12,32	0,9511
7	28	20,67	13,75	0,8660

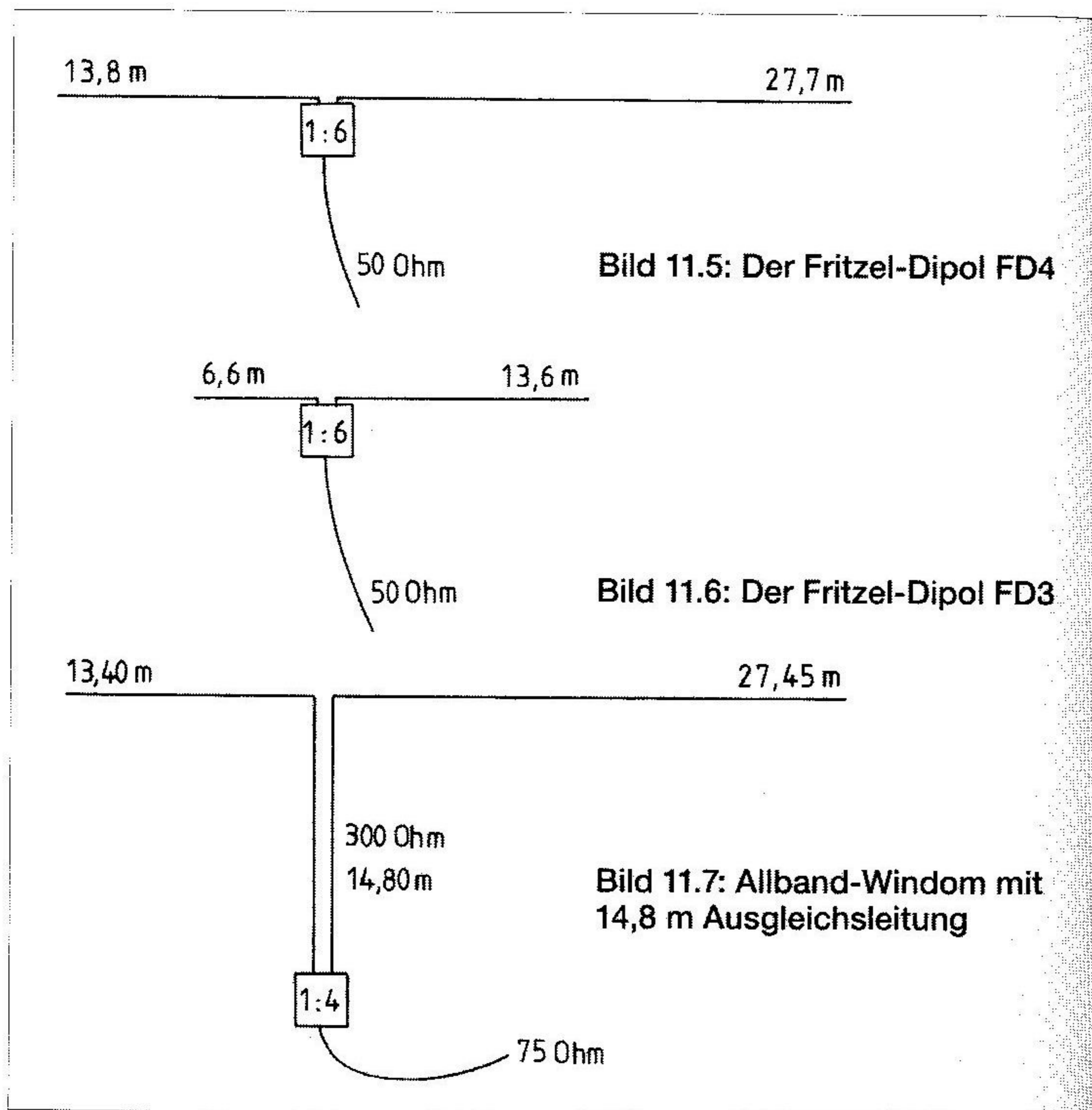
10,1	14	43,07	5,78	0,9770
10,1	14	73,99	5,78	0,9770
10,1	18,1	15,14	4,96	0,9180
10,1	18,1	58,13	4,96	0,9180
10,1	21	14,02	4,51	0,8706
10,1	24,9	29,39	4,01	0,8079
10,1	24,9	29,39	12,48	0,4099
10,1	28	14,96	3,69	0,7613
10,1	28	58,66	11,44	0,6004
14	18,1	32,17	4,34	0,9870
14	18,1	74,32	4,34	0,9870
14	21	20,98	3,99	0,9623
14	24,9	10,97	3,60	0,9201
14	24,9	42,10	3,60	0,9201
14	28	10,32	3,34	0,8838
18,1	21	7,33	3,56	0,9970
18,1	21	49,48	3,56	0,9970
18,1	24,9	24,13	3,24	0,9781
18,1	24,9	65,92	3,24	0,9781
18,1	28	15,98	3,03	0,9555
21	24,9	6,26	3,03	0,9956
21	24,9	35,60	3,03	0,9956
21	28	21,12	2,84	0,9828
24,9	28	5,41	2,54	0,9949
24,9	28	47,92	2,54	0,9949

Alle diese 46 Zweiband-Windom-Antennen werden mit 50-Ω-Koaxialkabel gespeist. Zwischen Kabelende und Strahler liegt ein Balun, dessen Widerstands-Übersetzung je nach Strom von 1:1 bis 1:9 betragen kann. Wo es sich ergeben hat, sind auch längere Strahler angeführt worden; denn die Programme können Antennen bis zu 200 Halbwellen Länge berechnen.

Kurt Fritzel, DJ2XH, entwickelte 1970 solch eine symmetrisch gespeiste Mehrband-Windom-Antenne durch Überlegung und Experimente und brachte sie als FD4 (Fritzel-Dipol für 4 Bänder) auf den Markt (Bild 11.5). Die Speisung erfolgt sehr bequem mit 50-Ω-Koaxialkabel. Um Anpassung zu erzielen, und um das unsymmetrische Kabel zu symmetrieren, ist an der Speisestelle ein Balun 1:6 eingeschleift, der nach der verwendeten Leistung zu bemessen ist. Die FD4 kann auf 3,5/7/14/18,1/24,9/28 MHz verwendet werden. Die Gesamt-

länge summiert sich aus den beiden Ästen mit $13,8\text{ m} + 27,7\text{ m} = 41,5\text{ m}$. Wem dies zu lang ist, oder wer gern auf das 3,5-MHz-Band verzichtet, wählt die FD3 (Fritzel-Dipol für 3 Bänder) nach Bild 11.6. Beide Äste sind auf etwa die Hälfte zusammengeschrumpft und ergeben $6,6\text{ m} + 13,6\text{ m} = 20,2\text{ m}$ als Gesamtlänge. Die FD3 arbeitet auf 7/14/28 MHz. Bei A. Klüß, DF2BC, [27] hat die FD4 andere Abmessungen: $13,5\text{ m} + 28\text{ m} = 41,5\text{ m}$. Die FD3 hat nach Klüß $7\text{ m} + 13,5\text{ m} = 20,5\text{ m}$. Bei T. Sorbie, GM3MXN [28] hat die FD4: $14\text{ m} + 28\text{ m} = 42\text{ m}$ und wird entweder mit einem 1:4-Balun und 75- Ω -Koax oder einem 1:6-Balun und 50- Ω -Koax gespeist; denn $4 \cdot 75\ \Omega = 6 \cdot 50\ \Omega = 300\ \Omega$.

Nachdem das Tor durch Fritzel und Spillner aufgestoßen war, bemühten sich zahlreiche Entwickler um Verbesserungen. Eine pfiffige



Lösung brachte R. B. Grove, WA4PYQ, [26] (Bild 11.7). Grove bringt zwischen Speisestelle und Koaxkabel eine symmetrische Ausgleichsleitung von 14,8 m Länge an. Teile der Stromkurven, die auf dem Strahler nicht mehr Platz haben, können sich auf dieser Leitung ausgleichen. Der Balun 1:4 und das Koaxkabel von 75 Ω Wellenwiderstand können bedenkenlos gegen einen Balun 1:6 und 50- Ω -Koax ausgetauscht werden. Recht erstaunlich sind die geringen Welligkeiten auf dem 75- Ω -Kabel, wobei das sonst schwierige 21-MHz-Band gut abschneidet. Mit Balun 1:6 und 50- Ω -Koax sind die gleichen, guten Werte zu erwarten:

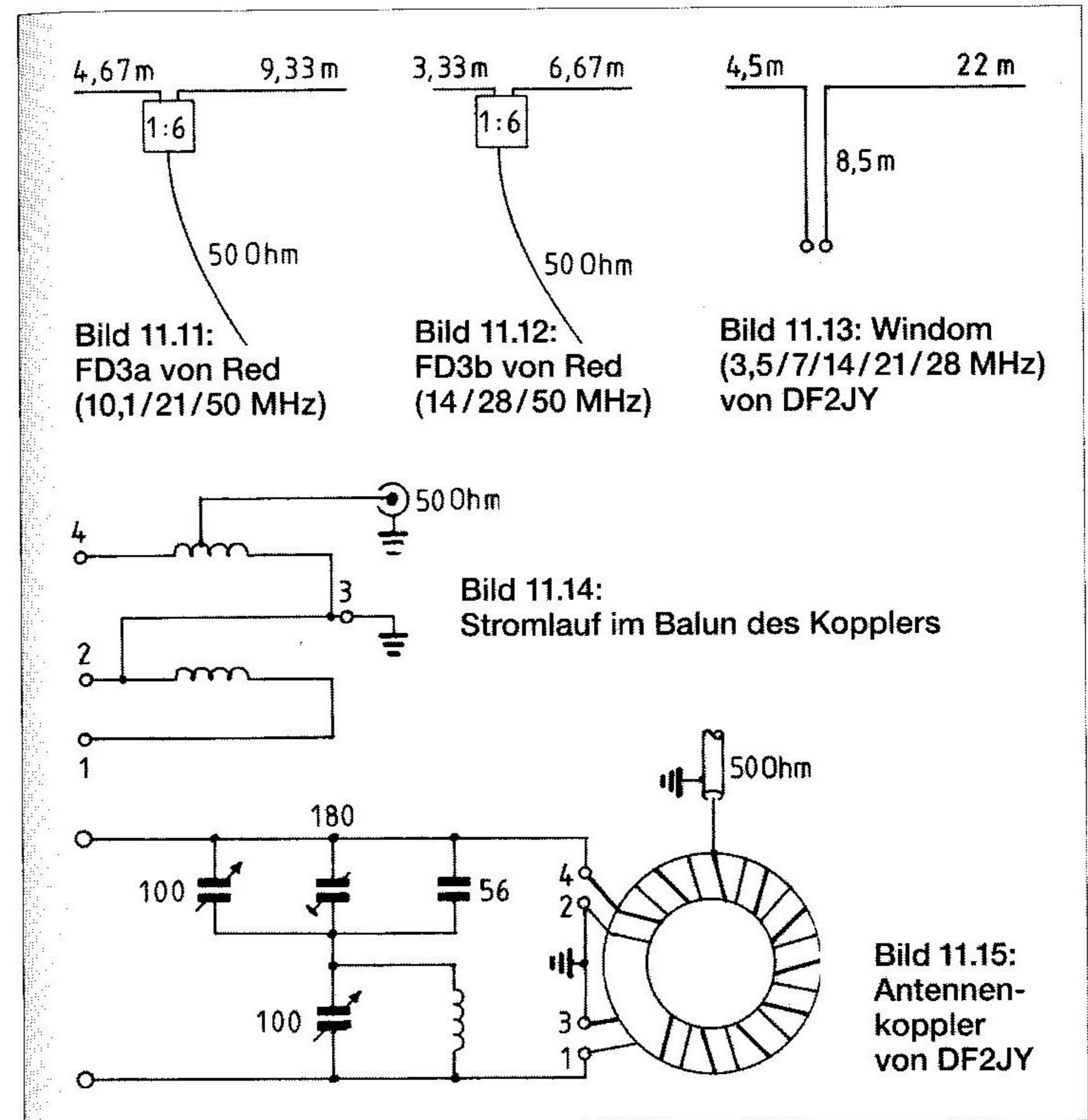
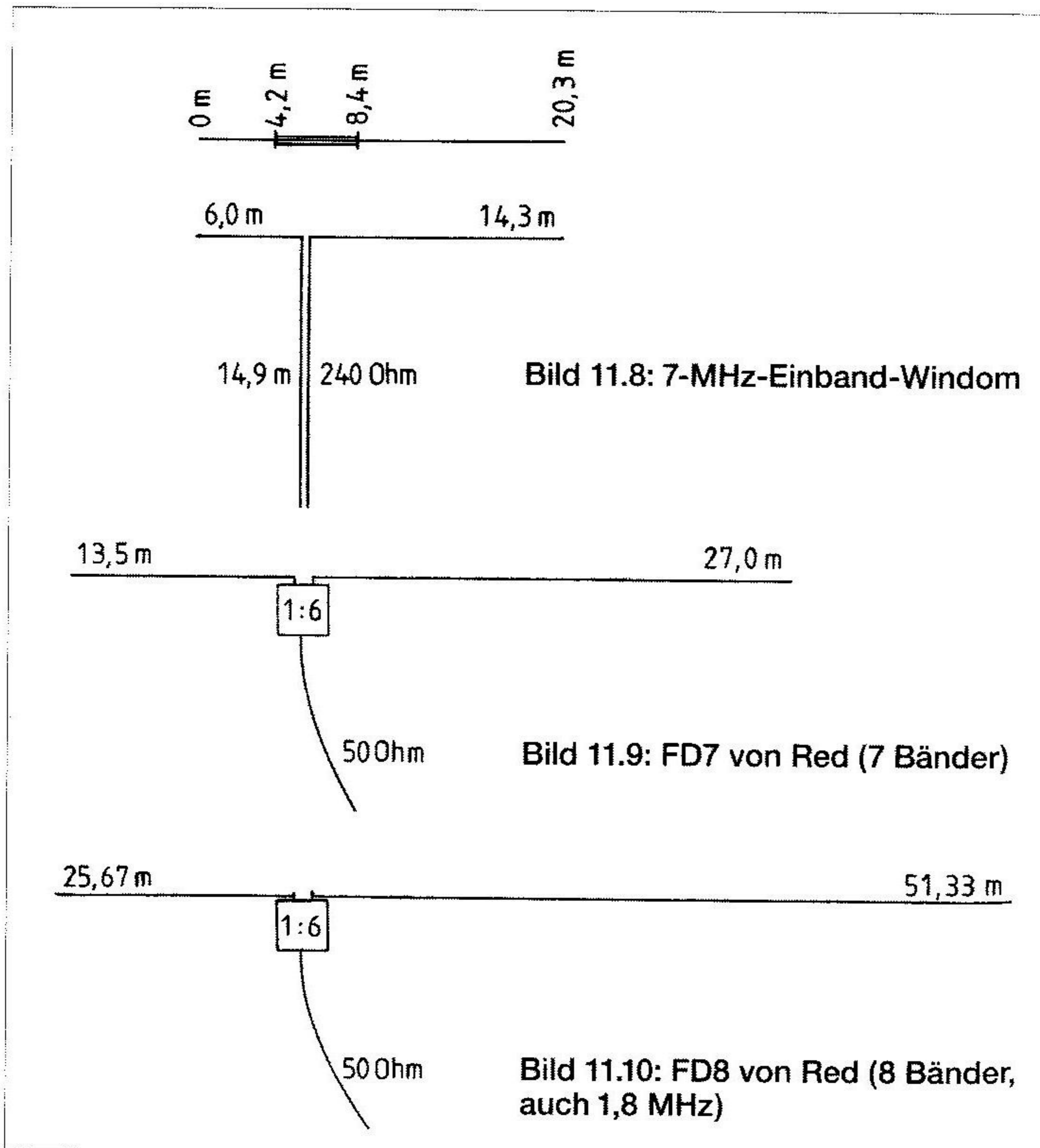
Frequenz (MHz)	1,8	3,5	3,6	3,7	3,8	3,9	4,0	7,0	7,1	7,2	7,3
SWR	2,0	1,3	1,4	1,3	1,3	1,4	1,3	1,5	1,3	1,1	1,1
Frequenz (MHz)	14,0	14,25	14,35	21,0	21,25	21,45	28,0	28,5	29,0	29,5	
SWR	2,7	2,4	2,0	3,5	1,8	1,2	3,0	1,8	2,5	1,9	

Für die gleiche Anordnung gibt Klüß [27] andere Abmessungen an: $13,5\text{ m} + 28\text{ m} = 41,5\text{ m}$. Seine Bandleitung kann auch durch eine offene Hühnerleiter ersetzt werden und kann beliebig lang sein. Der Balun ist 1:6 und das Koaxialkabel hat einen Wellenwiderstand von 50 Ω . Die Kleinform von Klüß hat folgende Längen: $7\text{ m} + 13,5\text{ m} = 20,5\text{ m}$. Sie ist für das 3,5-MHz-Band nicht mehr zu verwenden. Die FD4-Windom von T. Sorbie, GM3MXN, [28] hat die Maße $14\text{ m} + 28\text{ m} = 42\text{ m}$. Der Strahler ist also in $1/3 + 2/3$ geteilt, was fast immer gut funktioniert.

Eine reine Einband-Angelegenheit ist die symmetrisch gespeiste Windom-Antenne von U. Kirschner, Y26MO, die nur für das 7-MHz-Band vorgesehen ist [34]. Der Strahler ist 20,3 m lang, der Zapfpunkt liegt 6,0 m von dem einen Ende entfernt. Gespeist wird mit 240- Ω -Bandkabel (Bild 11.8). Verschiebungen des Zapfpunktes von 4,2 m bis 8,4 m vom Ende erbrachten stets brauchbare SWRs unter 2 auf der Speiseleitung, die in Gleichtaktwellen schwang. Es strahlte also das ganze System Strahler – Speiseleitung. War der Zapfpunkt 6,0 m vom Ende entfernt, so ging das SWR auf 1 zurück und die Antenne arbeitete einwandfrei. Der 4,2 m breite Zapfbereich für ein $\text{SWR} < 2$ demonstriert die Gutartigkeit der symmetrisch gespeisten Windom-Antenne

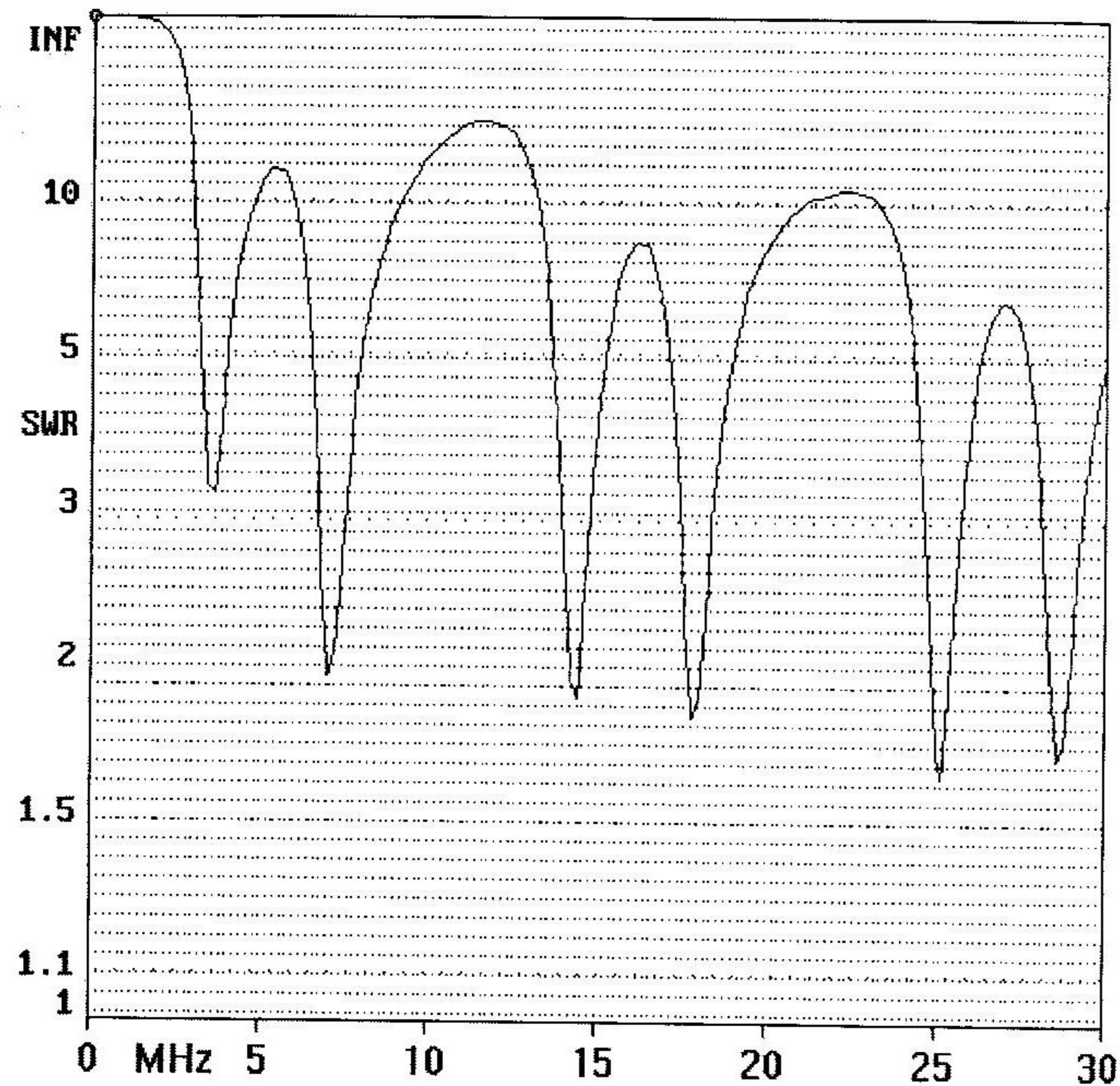
und ist die Ursache, daß sich Windom-Antennen so gut als Mehrbandantennen eignen.

Nahezu gleich dem Fritzel-Dipol FD4 ist der FD7 von Eric T. Red [29]. Er hat $13,5\text{ m} + 27\text{ m} = 41,5\text{ m}$ Länge und ist auf Bild 11.9 zu sehen. Als siebentes Band kommt das 50-MHz-Band hinzu. Red hat ebenfalls das Rezept $1/3 + 2/3 = 1$ befolgt, und dies gilt auch für seine weiteren Windom-Antennen. Der FD8 von Red (Bild 11.10) hat $25,67\text{ m} + 51,33\text{ m} = 77\text{ m}$ und arbeitet auf $1,8/3,5/7/14/18,1/24,9/28$ 50 MHz. Wesentlich kürzer ist Reds FD3a für $10,1/21/50\text{ MHz}$. Er be-
mißt sich mit $4,67\text{ m} + 9,33\text{ m} = 14\text{ m}$ und ist auf Bild 11.11 dargestellt



Noch kürzer ist Reds FD3b mit $3,33\text{ m} + 6,67\text{ m} = 10\text{ m}$ (Bild 11.12). Diese Antenne arbeitet nur auf $14/28/50\text{ MHz}$.

Eine nicht alltägliche Lösung fand Peter Fabian, DF2JY, durch Experimentieren. Seine Windom-Antenne hat einen kurzen Ast von 4,50 m und einen langen Ast von 22 m. Gespeist wird diese Antenne von einer 8,50 m langen, offenen Zweidraht-Speiseleitung oder von einer 450-Ω-Wireman-Bandleitung. Sie arbeitet auf den klassischen Kurzwellenbändern $3,5/7/14/21/28\text{ MHz}$, dürfte aber auch für die WARC-Bänder zu nutzen sein (Bild 11.13). Der verwendete Antennenkoppler ist ebenfalls recht ungewöhnlich (Bild 11.14 und 11.15): Auf einen Amidon-Kern T 106-2 sind 2×10 Windungen aufgebracht, was einen Balun 1:4

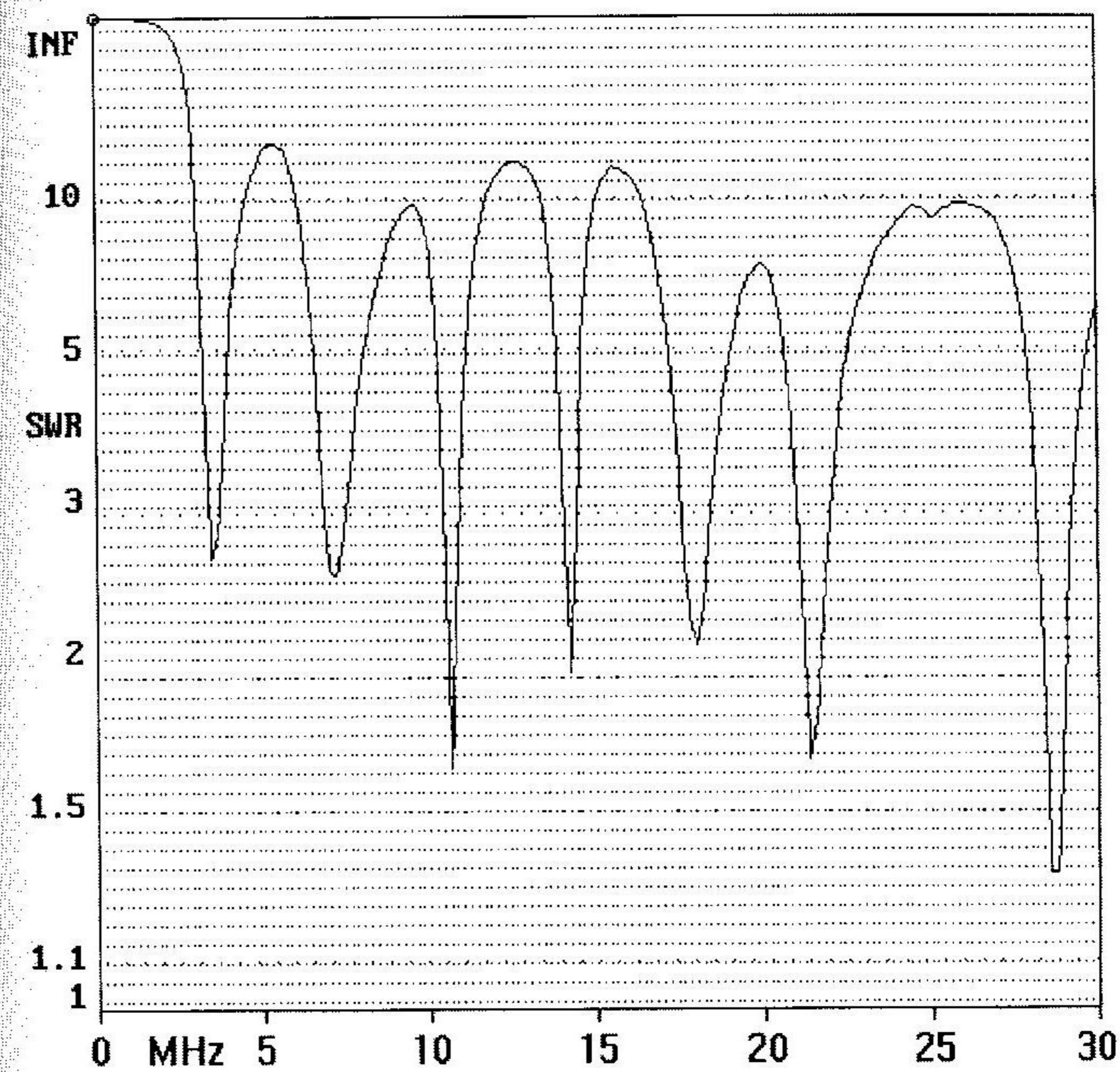


EzNEC 2.0 SWR-Plot ($Z_0=300\Omega$):
 FD-4, $l=41.5\text{m}$, $h=15.0\text{m}$ (5.0mS/m, Diel. 13.0)
 Speisepunkt 13.75m vom Ende

Bild 11.16

ergibt. Bei Windung 8 ist das 50- Ω -Kabel angeschlossen. Damit ist das Impedanzverhältnis 50 Ω zu 128 Ω . Die Abstimmung erfolgt über zwei Drehkondensatoren zu je 100 pF. Dem einen liegt eine Induktivität parallel, die aus 15 Windungen 0,6 mm CuL auf einem Amidon Kern T 68-6 besteht. Dieser Parallelkreis wirkt auf den niederen Frequenzen als Induktivität, auf den hohen Frequenzen als Kapazität. Das Stehwellenminimum von 1 wird durch wechselseitiges Drehen der beiden Drehkos eingestellt.

Allerneueste Untersuchungen von Karl H. Fischer, DJ5IL, die leider noch nicht abgeschlossen sind, erbrachten überraschende Ergebnisse



EzNEC 2.0 SWR-Plot ($Z_0=300\Omega$):
 FD-4, $l=41.5\text{m}$, $h=15.0\text{m}$ (5.0mS/m, Diel. 13.0)
 Speisepunkt 11.67m vom Ende

Bild 11.17

Fischer analysiert mit der Antennen-Software EZNEC 2.0 eine 41,5 m lange, kabelgespeiste Windom-Antenne, die 13,75 m von einem Ende her mit einem 300- Ω -Bandkabel beziehungsweise mit 1:6-Balun und 50- Ω -Kabel gespeist wird. Bild 11.16 zeigt die Welligkeit (SWR) auf dem Kabel von 3 bis 29 MHz. Deutlich sehen wir die Minima bei 3,5/7/14/18/25/28 MHz, wo die Welligkeit unter $s = 3$ und oft unter $s = 2$ zurückgeht. Die Verlegung des Speisepunktes auf 11,67 m verändert die SWR-Minima beträchtlich, siehe Bild 11.17. Zunächst sind die Minima von 6 auf 8 angewachsen, wobei allerdings das vorletzte bei 25,25 MHz allzu winzig ist. Erfreulich sind die Minima bei 10,5 und

21 MHz, die bekanntermaßen schwierig in den Griff zu bekommen sind. Die Verschiebung des Speisepunktes von 13,7 m auf 11,6 m hat also die Situation erheblich geändert.

Bei der kabelgespeisten Windom-Antenne lassen sich folgende Parameter ohne baulichen Mehraufwand ändern: 1. Länge des Strahlers, 2. Lage des Speisepunktes. Parameter mit Vermehrung des Aufwandes sind: 3. Hinzufügen eines dritten Drahtes, 4. Hinzufügen eines dritten und vierten Drahtes, 5. Einschleifen einer Spule, 6. Einschleifen eines Kondensators, 7. Einschleifen eines ohmschen Widerstandes und Kombinationen dieser Parameter. Die Mathematik läßt uns in der Kombinatorik erkennen, daß diese sieben Parameter eine Vielzahl von Möglichkeiten eröffnen, doch noch einen Strahler zu schaffen, der alle acht KW-Bänder mit geringsten Welligkeiten bedient; aber die Findung dieses Strahlers dürfte schwierig und zeitraubend sein. Auch dies ist ein Grund, daß mit der Stromsummenantenne diese Probleme ganz anders gelöst worden sind.

Fast alle bisher dargestellten Windom-Antennen haben Probleme bei der Abstrahlung des 21-MHz-Bandes und wohl auch des 10,1-MHz-Bandes. Diesem Mangel abzuhelpen schlug Dr. F. Spillner, DJ2KY, im Jahre 1972 vor, dem FD-4-Strahler eine kleinere Windom-Antenne parallel zu schalten, die auf 21 MHz resonant war [14]. Der kleine Strahler hängt unter dem großen Strahler (Bild 11.18). Bei ihm ist dieser nach dem Drittel-Prinzip aufgeteilt. $4,69\text{ m} + 9,38\text{ m} = 14,07\text{ m}$. Der kleine Strahler wird zum Erdboden hin abgespannt und soll nicht schärfer als um 100° geknickt sein. Damit kann auf 3,5/7/10,1/14/18,1/21/24,9/28 MHz Betrieb gemacht werden. DJ7SH und DL1BBC haben diese Antenne in [32] beschrieben und die dazu gehörigen Welligkeits-Diagramme aller Bänder veröffentlicht. Die Antenne arbeitet auf allen Bändern mit sehr niedrigem Stehwellenverhältnis, das stets unter $s = 1,5$ bleibt. Nur auf dem 7-MHz-Band geht das SWR bei DJ7SH auf 1,6 und bei DL1BBC auf 2 hinauf. Natürlich beweist das niedere SWR lediglich die geringe Welligkeit auf dem Koaxialkabel und nicht die gute Wirksamkeit der Antenne; aber es darf als günstiges Zeichen gedeutet werden.

Etwas kleiner ist die Fünf-Band-Ausführung nach Bild 11.19. Diese Doppel-Windom ist für 3,5/7/14/21/28 MHz zu verwenden. Der kleine Strahler ist nicht nach dem Drittel-Prinzip geteilt und soll nicht mehr als um 100° geknickt werden. Die große Doppel-Windom von

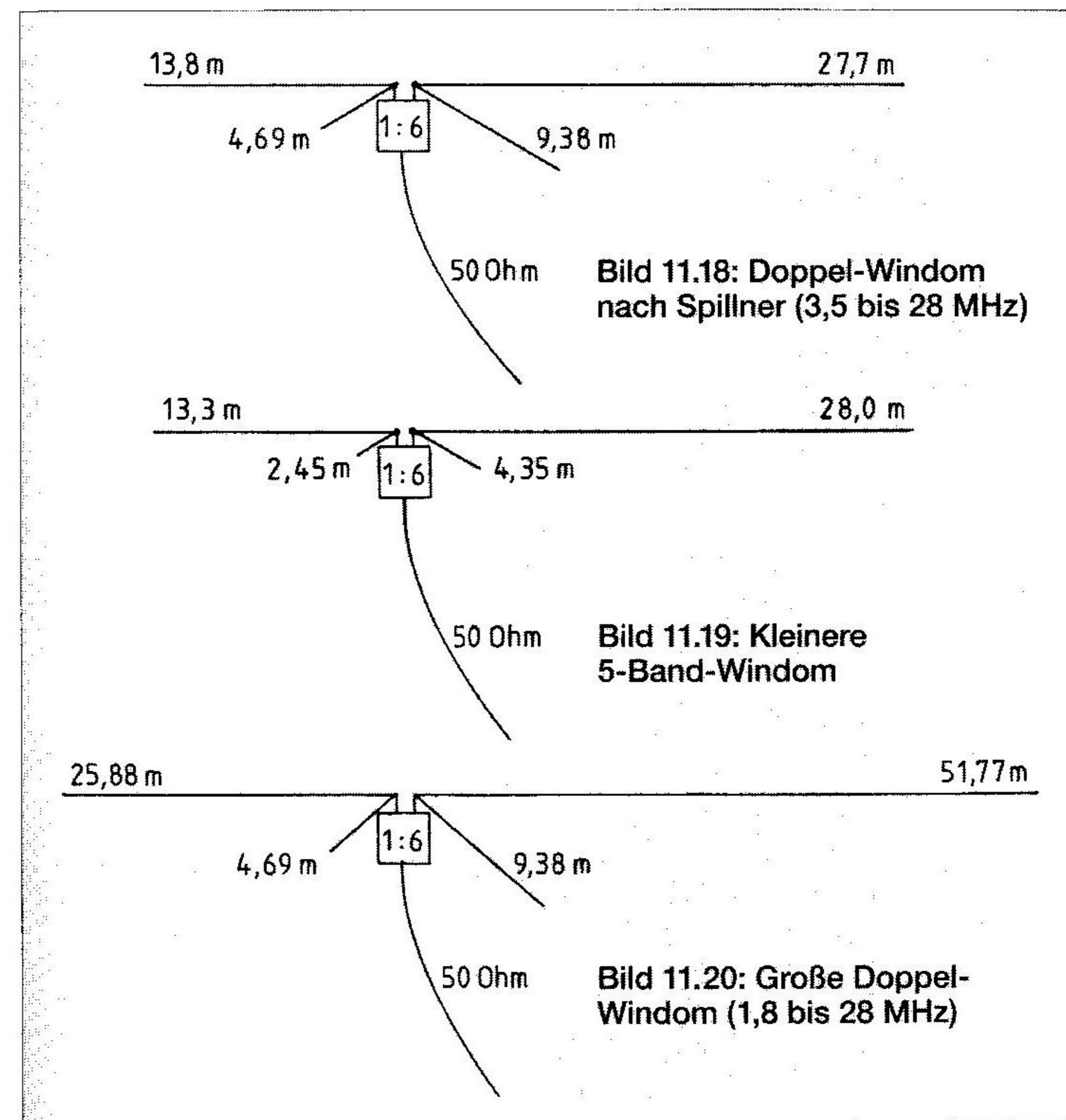


Bild 11.20 entspricht grundsätzlich der großen Einfach-Windom von Red und hat leicht abweichende Maße [14]. Der kleine Zusatz hat wie schon bekannt $4,69\text{ m} + 9,38\text{ m} = 14,07\text{ m}$ [14]. Kommen wir mit dem Platz nicht aus, so läßt sich diese Antenne auch um 90° abknicken (Bild 11.21). Allgemein sind alle Doppel-Windom-Antennen so hoch wie möglich aufzuspannen. Als untere Grenze dürften 5 m gelten. Infolge ihrer Eigenschaften als Langdraht-Antennen können die Windom- und Doppel-Windom-Antennen Oberwellen, die als Vielfache der Arbeitsfrequenz im Sender entstehen, sehr leicht abstrahlen. Diese Gefahr ist bei modernen Geräten nicht allzugroß; doch sind wir gut beraten, ein Tiefpaßfilter einzuschleifen.

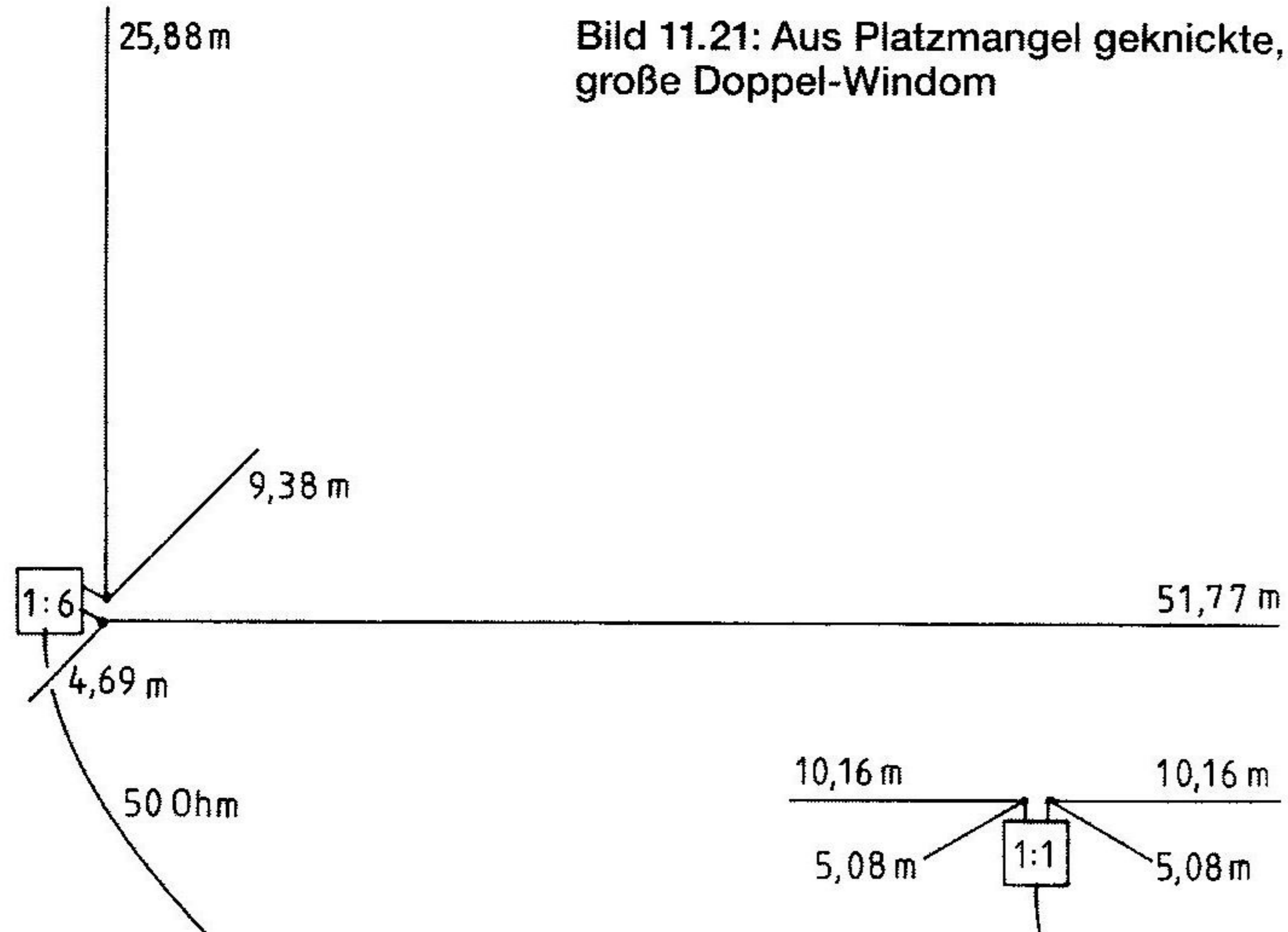


Bild 11.21: Aus Platzmangel geknickte, große Doppel-Windom

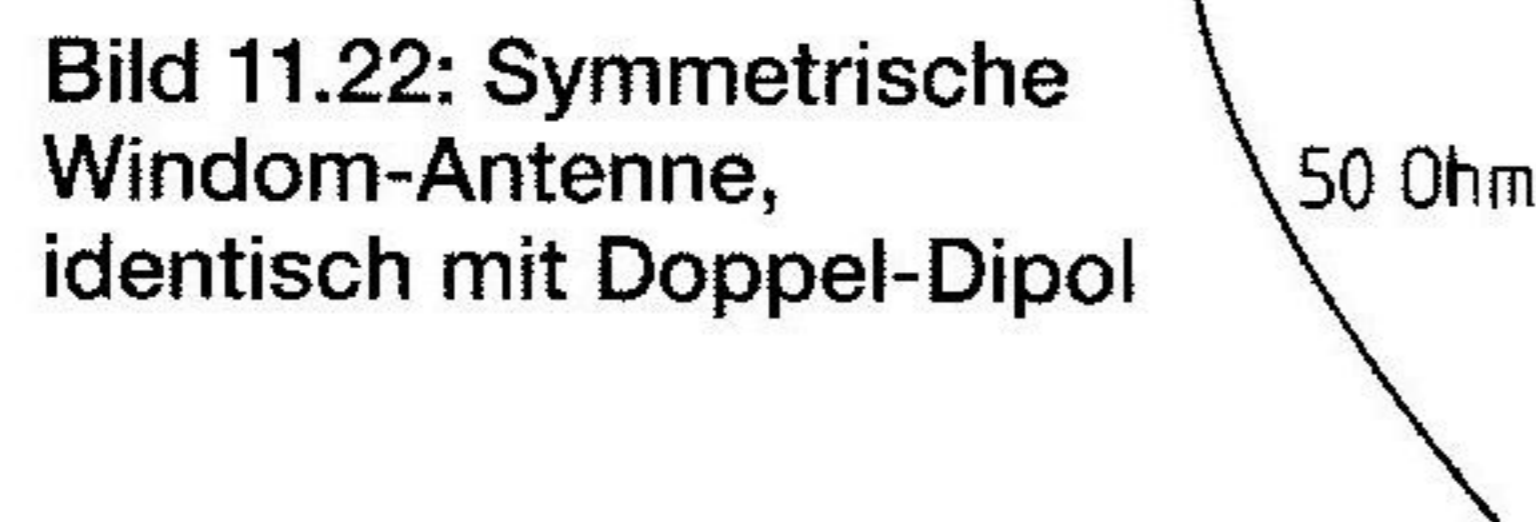


Bild 11.22: Symmetrische Windom-Antenne, identisch mit Doppel-Dipol

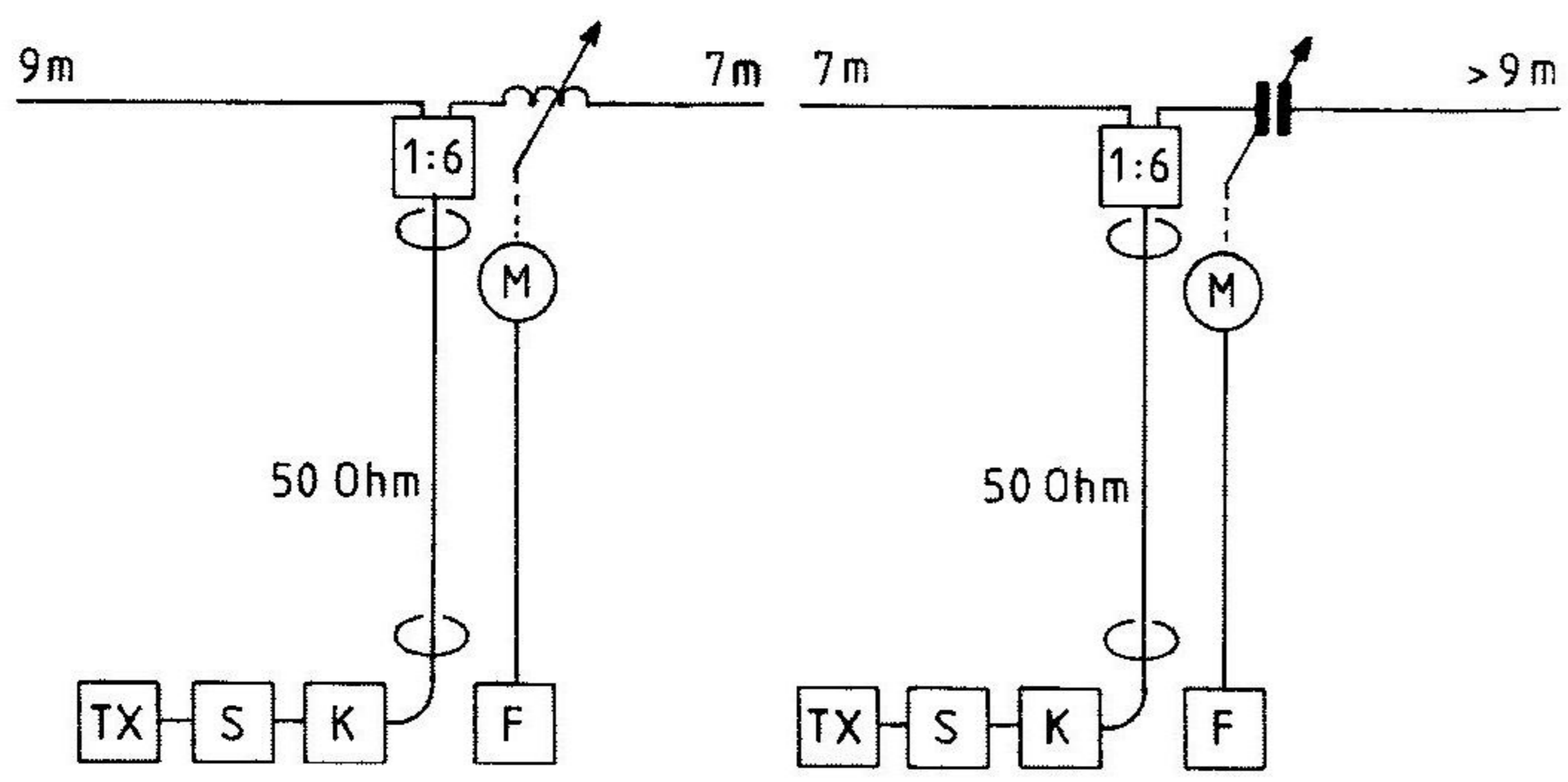


Bild 11.23: Fern-L-abgestimmte Windom-Antenne von DL1DA

Bild 11.24: Fern-C-abgestimmte Windom-Antenne

Am Ende der doppelten Windom-Antennen wird eine Antenne vorgestellt, deren Strahler nach dem Drittel-Prinzip geteilt ist, und die dennoch absolut symmetrisch ist (Bild 11.22). Die Maße sind 5,08 m + 10,16 m = 15,24 m. Diese Anordnung ist gleich zweimal vorhanden, sie wirkt deswegen in erster Linie als Dipol und braucht deswegen einen Balun 1:1. Die Antenne ist auf 7/10,1/14/21 MHz resonant, kann aber auch auf anderen Bändern eingesetzt werden, wobei auf dem Koaxialkabel größere Welligkeiten auftreten. Mit Bandkabel oder Hühnerleiter gespeist ist sie eine sehr gute Allbandantenne [30].

Eine Weiterentwicklung bildet die abstimmbare Windom-Antenne von Kurt Schips, DL1DA [33]. Die Äste der Antenne sind frei wählbar, wobei ihre Gesamtlänge nicht kürzer als $0,2 \lambda$ des niedrigsten Betriebsbandes sein sollte. Bei der praktisch erprobten Antenne sind die Äste 9 m und 7 m lang (Bild 11.23). Auch hier ist das Rezept zur Teilung des Strahlers: $1/3 + 2/3 = 1$ recht willkommen, weil eine Speisung im Strombauch vermieden werden soll. In einem Ast ist eine fernbediente, von einem Motor gesteuerte Induktivität (ca. 10 μH) eingeschleift. Das speisende 50- Ω -Koaxialkabel ist etwa 1 m von Anfang und Ende entfernt mit je einem Ferritring überschoben, die beide eine Ausbreitung der nicht erwünschten Mantelwelle verhindern. Dieser Tip kann nur empfohlen werden. Zur Bedienung wird unter Umgehung des Antennenkopplers mit kleiner Leistung das SWR gemessen und die fernbediente Spule langsam durchgedreht, bis das SWR einen Dip macht, d.h. plötzlich in die Tiefe geht. Darauf wird der Koppler eingeschleift und auf minimales SWR abgestimmt. Welligkeiten unter $s = 4$ können auf dem Kabel toleriert werden.

Eine Spule ist immer ein verlustbringendes Objekt. Deshalb kann sie durch einen fernbedienten, abstimmbaren Drehkondensator ersetzt werden, der praktisch verlustfrei ist (Bild 11.24). Dieser sollte schon 350 pF haben, um auf dem 3,5-MHz-Band Wirkung zu zeigen. Der Ast mit der veränderlichen Kapazität sollte recht lang gemacht werden. Stehen nur 9 m und 7 m zur Verfügung, so findet das C im 9-m-Ast seinen besten Platz. Wir können natürlich auch diesen Ast mit einer Endkapazität (Blechscheibe, Drahtstern o.ä.) versehen, was die Wirkung der Antenne und der Kapazitäts-Abstimmung verbessert. Die Bedienung erfolgt genauso wie oben.

12. Der Weg zur Stromsummen-Antenne

Die Idee zur Stromsummen-Antenne ist mir auf den ersten beiden meiner sieben DX-Fahrten durch den Pazifik gekommen. Ich hatte immer genügend Draht bei mir, um Langdrahtantennen bis zu 160 m Länge aufzuhängen, die mit ihrer Achse stets nach Europa zeigten, um dort ein brauchbares Signal zu erbringen. Meistens konnte ich den Antennendraht in Zielrichtung abfallen lassen, damit die Antenne möglichst flach strahlte. Die Basis des Antennensystems war ein 2 x 20-m-Dipol, den ich bei Rudy, VK2AOT, gekauft hatte. An das eine Ende hängte ich in Richtung Europa noch einen 42-m-Draht, so daß der unsymmetrisch gespeiste Dipol rund 85 m lang war.

Der Strom auf dem 7-MHz-Band ist in Bild 12.1 dargestellt. Wenn wir die Antenne gedanklich in der Mitte auftrennen, ergibt sich links ein Ganzwellendipol, rechts eine Langdrahtantenne von einer Wellenlänge. Der Ganzwellendipol strahlt quer zum Strahler, der Langdraht längs zum Strahler. Das verträgt sich nicht gut. Bild 12.2 erläutert diese Kalamität: Das linke der drei Diagramme gehört zum Ganzwellendipol, einem guten Querstrahler mit einem Gewinn von 1,9 dBd. Das mittlere Diagramm gehört zur Langdraht von 1λ Länge. Es ist wie ein Kleeblatt aufgezipfelt, hat aber schon erste Anzeichen zur Längsstrahlung. Das rechte Diagramm ist vektoriell aus den beiden ursprünglichen zusammengesetzt. Es ist das Abstrahldiagramm der Antenne von Bild 12.1. Die beiden großen Keulen wollen schon nach vorn; aber insgesamt ist die Antenne ein Querstrahler geblieben und entspricht nicht unseren Wünschen.

Um dies grundlegend zu wandeln, müssen wir nur den Zapfpunkt verändern. Wir legen ihn bei der hier vorliegenden Antenne etwa 10 m vom Ende entfernt. Damit bildet sich die natürliche Stromverteilung einer Langdrahtantenne, wie es Bild 12.3 darstellt. Wir speisen im Strombauch. Damit vermeiden wir die Phasenumkehr im Speisepunkt von Bild 12.1 und die ungünstige Querstrahlung. Übrigens können wir in jedem der vier Strombäuche einspeisen, ohne das Diagramm zu verändern. Das dazugehörige Diagramm ersehen wir in Bild 12.4. Wir blicken auf einen Schnitt durch die beiden fleischigen Kegel längs der Achse der Langdrahtantenne. Die Vorwärtskeulen strahlen in Zielrichtung. Der Gewinn dieser Antenne ist mit 2 dBd nicht zu verachten, be-

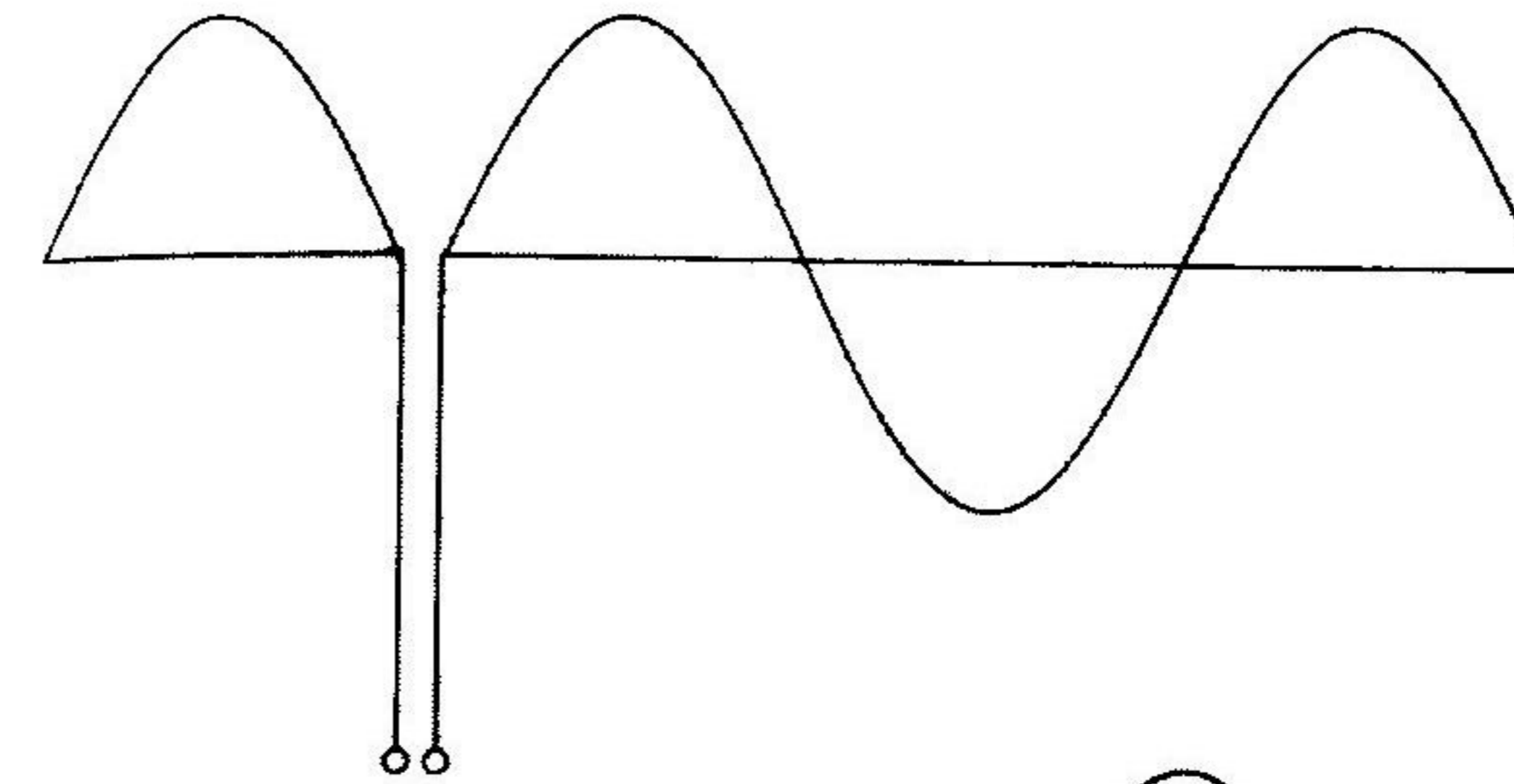


Bild 12.1: Zwei λ lange Drahtantenne, links zwei Halbwellen des Ganzwellendipols, rechts zwei Halbwellen eines Ganzwellen-Langdrahtes

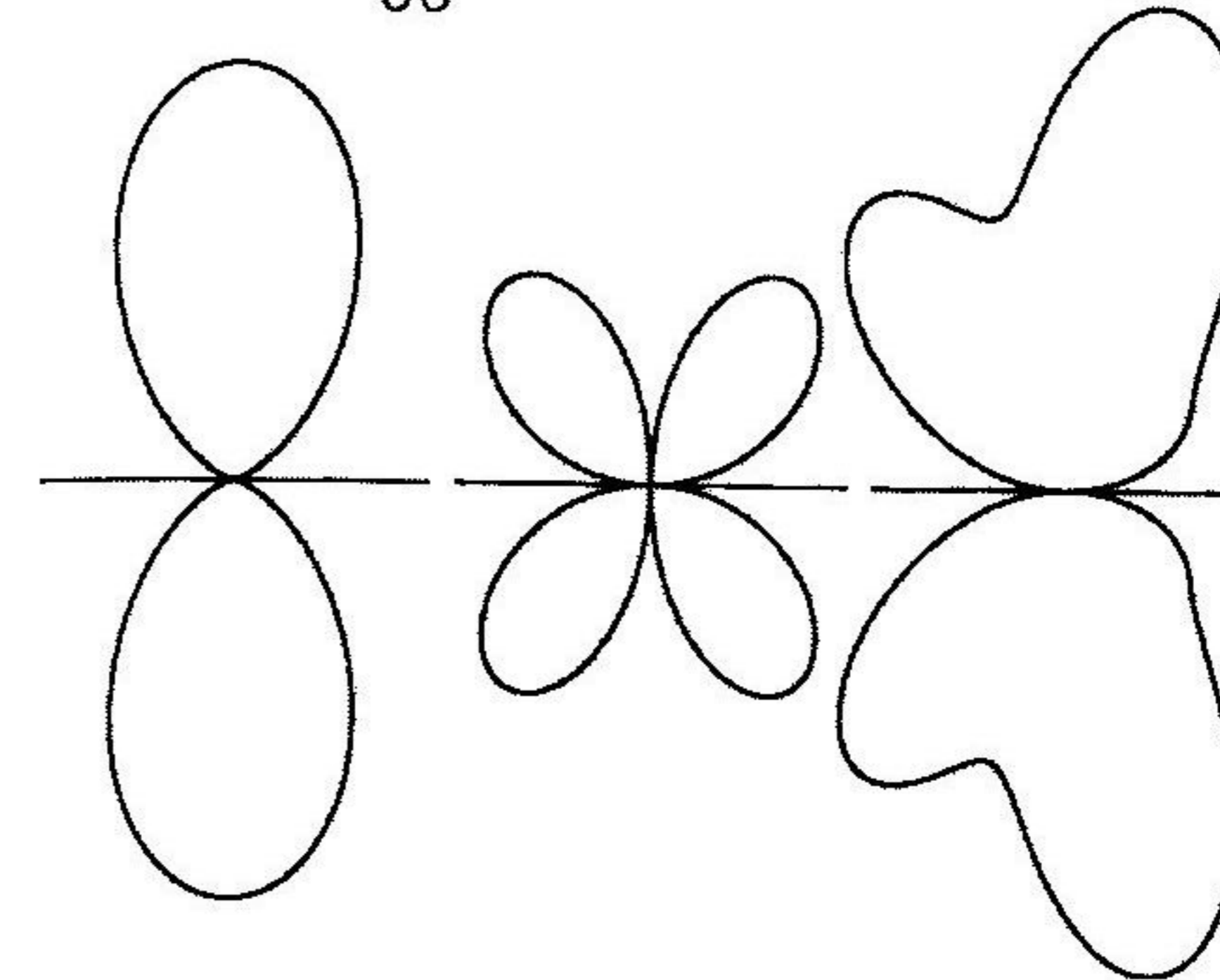


Bild 12.2: Strahlungsdiagramme des Ganzwellendipols (links), des Ganzwellen-Langdrahtes (Mitte) und der Kombination beider Strahler (rechts)

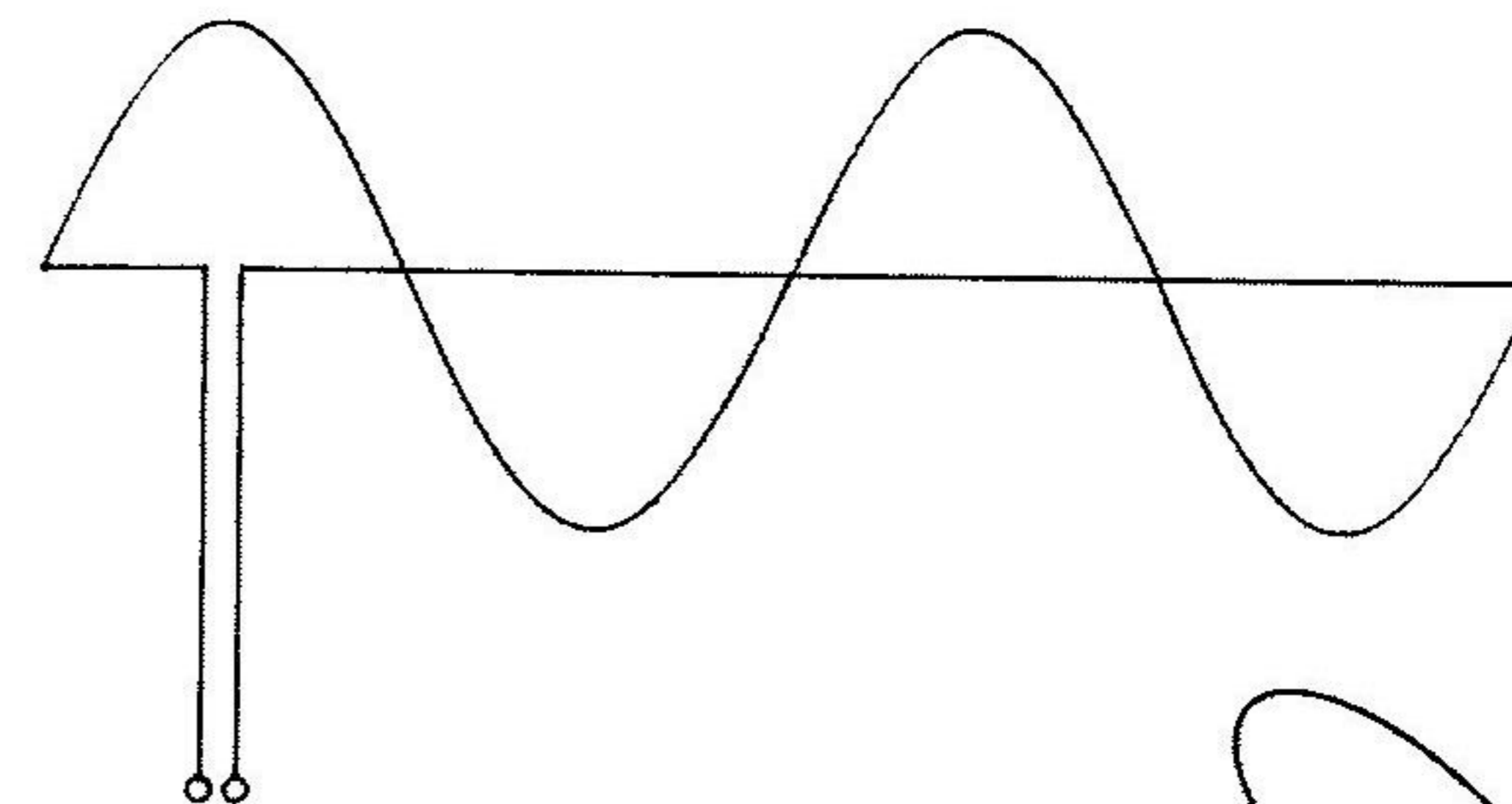
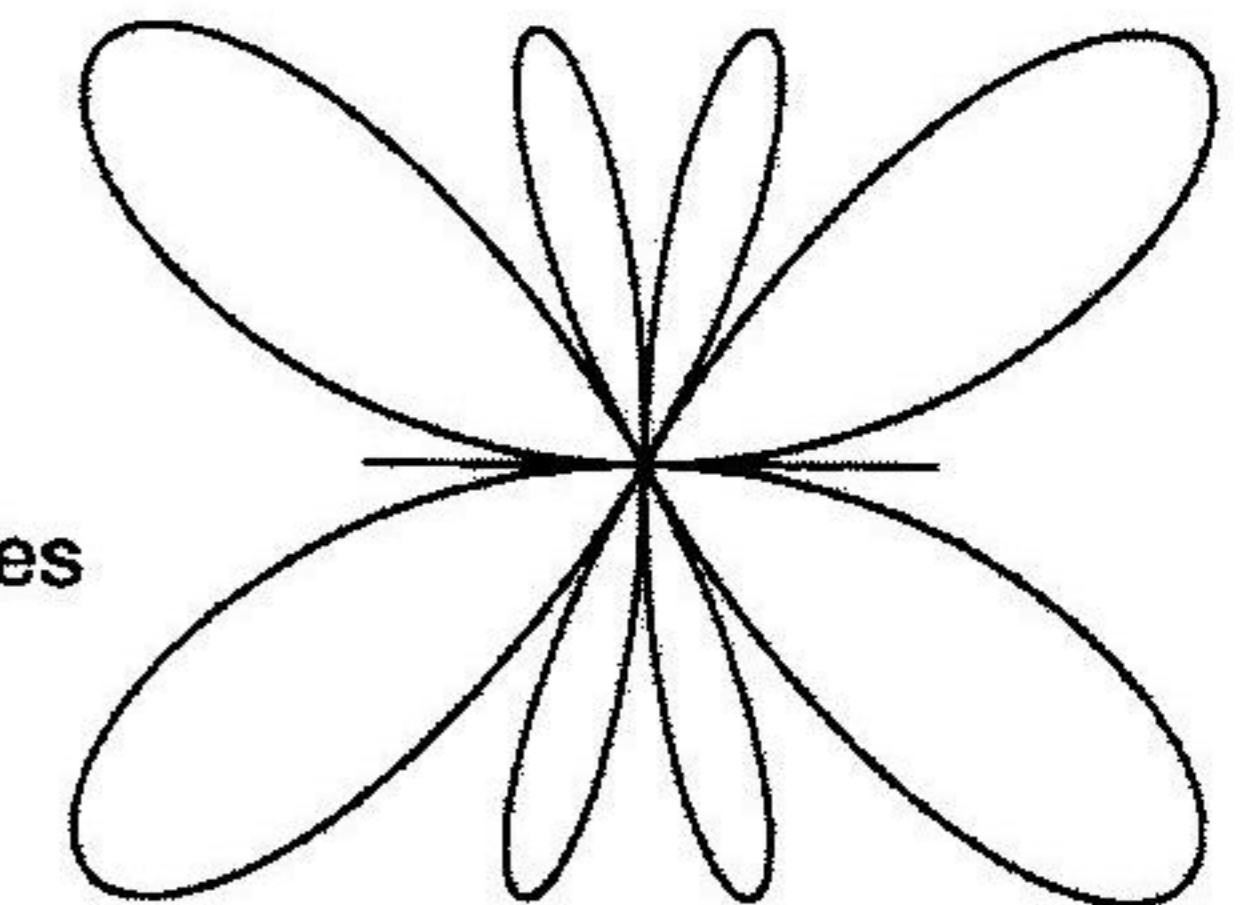


Bild 12.3: Der Strahler wird im Strombauch gespeist. »Natürliche Stromverteilung«

Bild 12.4: Strahlungsdiagramm des 2- λ -Strahlers bei natürlicher Stromverteilung durch Speisung im Strombauch.



sonders weil er auf dem langen 7-MHz-Band erzielt wird. Wir können durch schräges Abspannen in Zielrichtung die Flachstrahlung verstärken und so den Gewinn noch erhöhen.

Das Ergebnis unserer Überlegungen ist eindeutig und einfach: Die Speisung des Strahlers im Strom-Minimum führt zu Phasenumkehr und unerwünschter Querstrahlung. Die Speisung sollte unbedingt im Maximum des Stromes oder in seiner Nähe erfolgen, um Längsstrahlung zu bewirken. Die Stromsummen-Antenne richtet sich nach dieser Regel und ist deswegen ein wirkungsvoller Längsstrahler für alle Bänder.

Eine gute Allbandantenne sollte möglichst kurz sein, nicht viel länger als 40 m. Eine Berechnung nach der von oben bekannten Formel:

$$L = (n - 0,05) \cdot 150 / f \quad [\text{m}]$$

L = Länge in Meter, n = Anzahl der Halbwellen, f = Frequenz in MHz beruht auf dem Verkürzungsfaktor $v = 1 - 0,05 = 0,95$. Dieser gilt für erdnahe Antennen. Für hoch und sehr hoch aufgehängte Antennen ist $v = 0,96 \dots 0,97$ anzusetzen. In einem etwa 40 m langen Draht können wir unterbringen:

Frequenz	Zahl der Halbwellen
3,5 MHz	1
7 MHz	2
10,1 MHz	3
14 MHz	4
18,1 MHz	5
21 MHz	6
24,9 MHz	7
28 MHz	8

Eine genaue Berechnung mit obiger Formel und dem Verkürzungsfaktor $v = 0,95$ ergibt die Werte von Bild 12.5. Die kürzeste Antenne ist die einer Halbwelle der Frequenz 3,5 MHz mit 40,71 m. Am längsten sind die acht Halbwellen der Frequenz 28 MHz. Die WARC-Frequenzen 18,068 MHz (5 Halbwellen) und 24,89 MHz (7 Halbwellen) passen gut in die Längen der klassischen Bänder hinein. Leider erfordern die drei Halbwellen des 10,1-MHz-Bandes eine Länge von 43,81 m und springen weit aus der allgemeinen Gruppe heraus. Nehmen wir

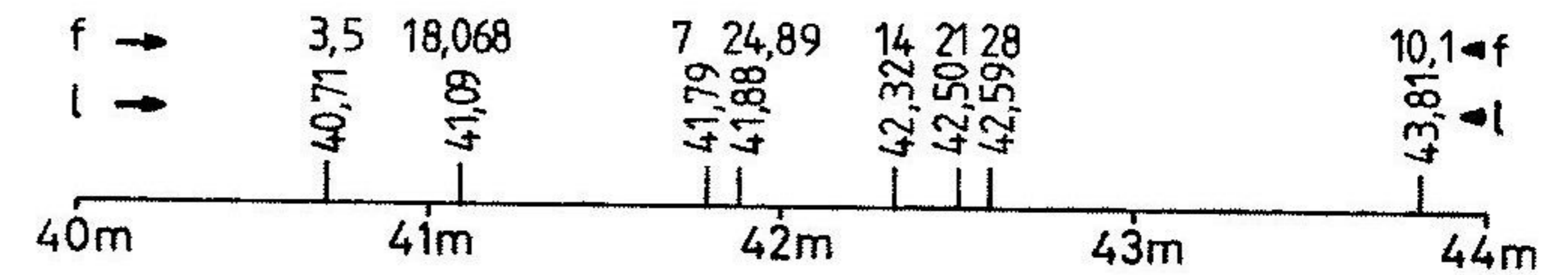


Bild 12.5: Strahlerlänge in Meter für 3,5 bis 28 MHz. $v = 0,95$

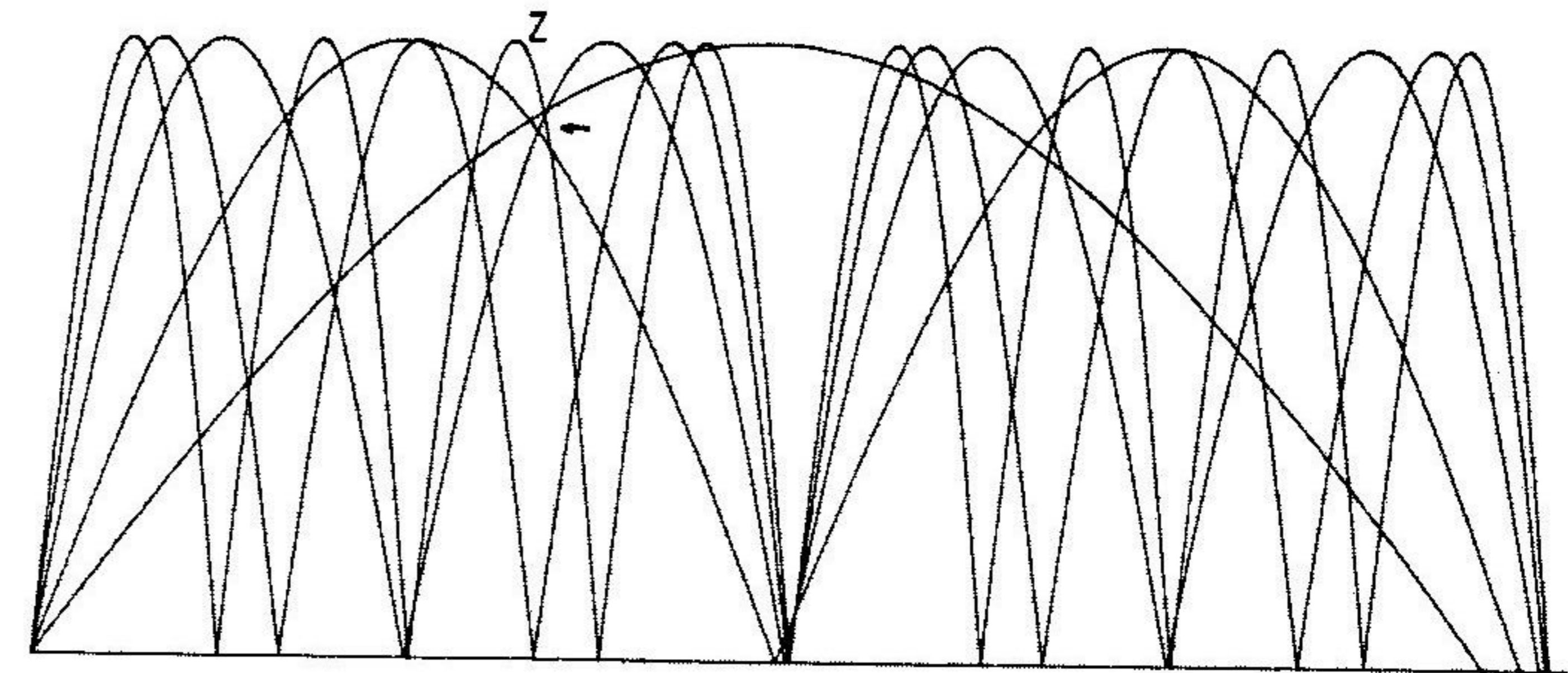


Bild 12.6: Ströme auf einem 40-m-Strahler für die klassischen Bänder 3,5/7/14/21/28 MHz

die 14-MHz-Länge von 42,32 m als Mittelwert, dann ist diese Antenne für vier Bänder zu lang und für drei Bänder zu kurz. Für die 14-MHz-Länge spricht auch, daß dieses Band weitaus am häufigsten vor allen anderen Bändern genutzt wird. Wir sind also mit einer Antennenlänge von 42,32 m gut beraten.

Wenn wir auf den klassischen Bändern die 42,32-m-Antenne erregen, verläuft der Strom in dem Leiter, wie es Bild 12.6 zeigt. Dort sind die Beträge der sinusförmigen Ströme dargestellt. Alle negativen Abschnitte sind nach oben geklappt. Die Frequenz 3,5 MHz bildet einen schönen Halbwellen-Bogen und 28 MHz hat acht schmale Sinus-Halbwellen. Ganz rechts sehen wir sehr deutlich, daß die resonante Antennenlänge mit steigender Frequenz länger wird. Bei etwa einem Drittel der Antennenlänge sehen wir einen Kreuzungspunkt Z der Stromkurven (3,5/7/14/28 MHz). Dies ist der Zapfpunkt fast aller Mehrband-Window-Antennen. Leider spielt die 21-MHz-Stromkurve nicht mit, die dort ungefähr ein Stromminimum hat. Darin liegt bekanntlich die Schwierigkeit sämtlicher Mehrband-Window's.

Die Stromkurven der WARC-Bänder sind auf Bild 12.7 zu sehen. Ihr Verhältnis ist leider nicht harmonisch, was uns sofort ins Auge fällt. Es gibt aber doch Kreuzungspunkte Z bei etwa einem Viertel der Länge und in der Mitte des Leiters. Wir könnten hierher den Zapfpunkt Z legen und die Antenne speisen. Die Mitte wäre für alle drei Bänder vorteilhaft, weil dort die Stromstärken nahe ihrem Maximum sind und deshalb die Speisungs-Impedanz niederohmig ist. Damit ist die Antenne ein Dreiband-Dipol geworden. Leider gilt dies nur für die drei WARC-Bänder, für die ein Dipol von $2 \times 21,9$ m eine ausgezeichnete Antenne abgibt (Bild 12.8). Um die Strahlung im wesentlichen von links nach rechts gehen zu lassen, ist der linke Zapfpunkt Z gut geeignet. Die Impedanz am Zapfpunkt ist nur wenig höher als für den soeben genannten Dipol. Die $7\text{ m} + 37\text{ m}$ lange Antenne steht dem Dipol nicht nach (Bild 12.9). So einfach ist es, wir haben hier bereits die ersten Stromsummenantennen vor uns. Sie sind uns ohne Mühe in den Schoß gefallen.

Bei der Entwicklung der Mehrband-Windom-Antenne hat man eifrig nach einem Zapfpunkt gesucht, an dem die Impedanz für alle Bänder möglichst gleich groß ist. Man fand diesen Zapfpunkt und konnte den Speisewiderstand von etwa $300\ \Omega$ mit einem Balun 1:6 und 50- Ω -Koaxialkabel versorgen. Leider spielte schon anfangs das 21-MHz-Band nicht mit, und auch die WARC-Bänder schnitten dabei schlecht ab. Das Problem wurde mit der Doppel-Windom gelöst. Die Nachteile waren die doppelte Drahtantenne, der gewichtige Balun und das schwere Koaxkabel. Für die Entwicklung der Stromsummen-Antenne ergeben sich folgende Aufgaben, die zu lösen sind: 1. Abstrahlung möglichst in eine Vorzugsrichtung, 2. Antenne ein einziger Draht, 3. Unempfindliche niederohmige Stromspeisung, 4. Vermeidung des schweren Baluns, 5. Ersatz des schweren Koaxkabels durch verlustarmes Bandkabel. Die Antenne soll also ein Leichtgewicht mit guter, zuverlässiger Wirksamkeit sein.

Die Lösung des Problems erfolgt über eine niederohmige Einspeisung, die für alle Bänder möglichst günstig sein soll. Die Welligkeit auf dem Kabel spielt bei der Speisung mit Bandkabel oder offener Zweidrahtleitung kaum eine Rolle mehr. Die Suche nach einem Speisepunkt beginnt jetzt abermals, doch nicht unter dem Zwang zum minimalen SWR, sondern unter dem Gesichtspunkt niedriger Impedanz für *alle* Bänder. Dabei helfen nur statistische Methoden, die mit

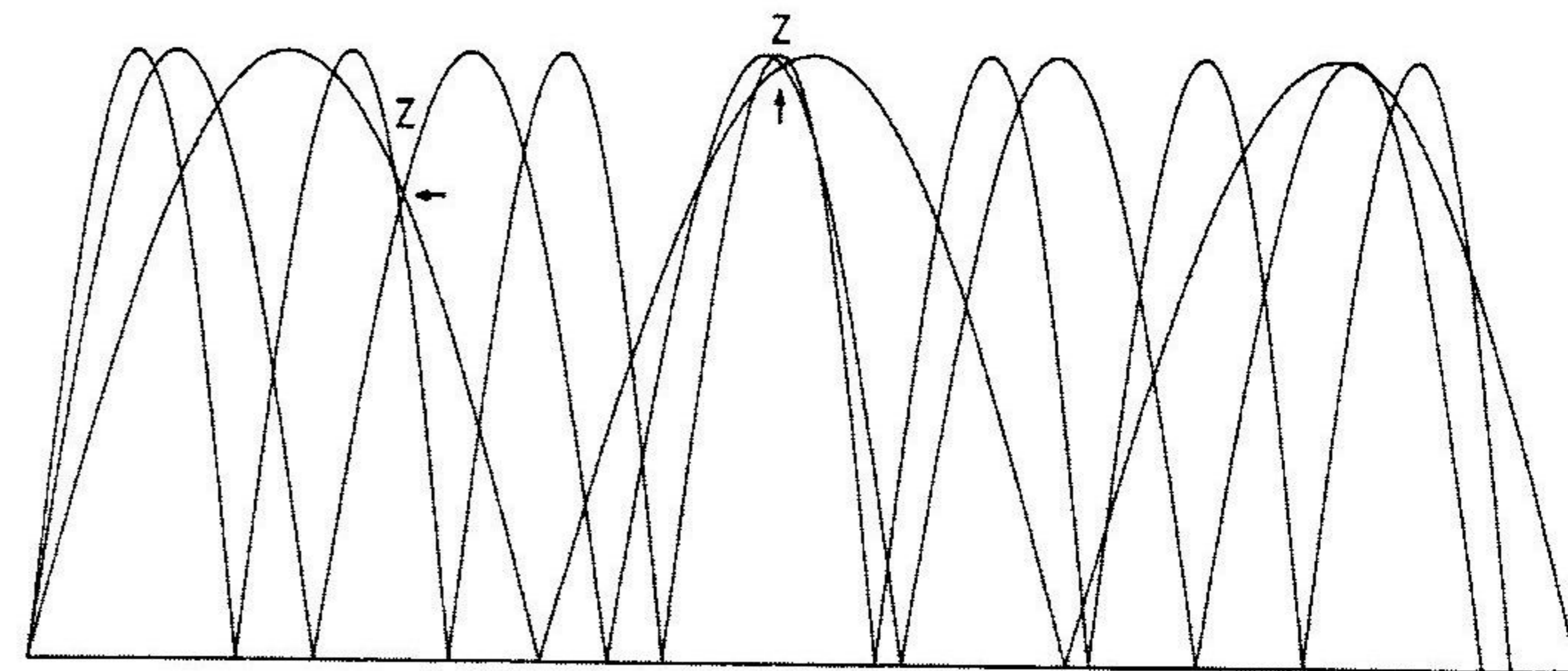


Bild 12.7: Ströme der WARC-Bänder 10,1/18,068/24,89 MHz

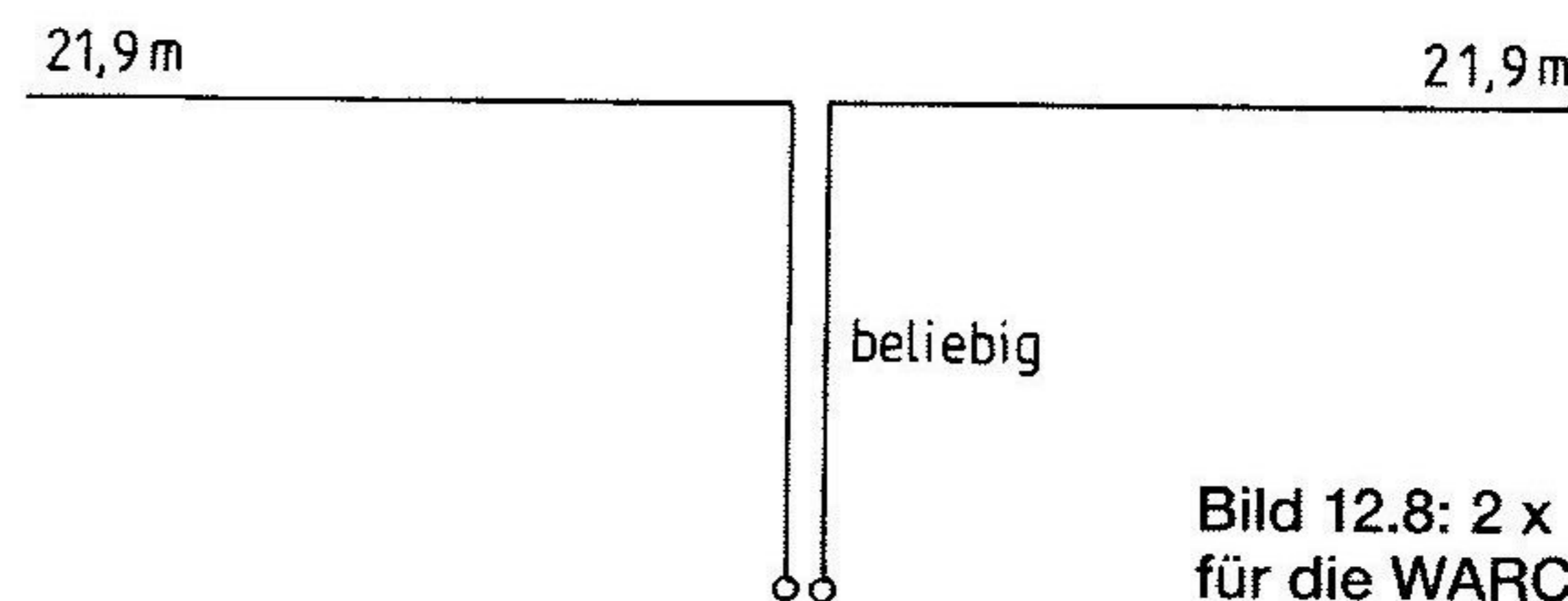


Bild 12.8: 2 x 21,9-m-Dipol für die WARC-Bänder

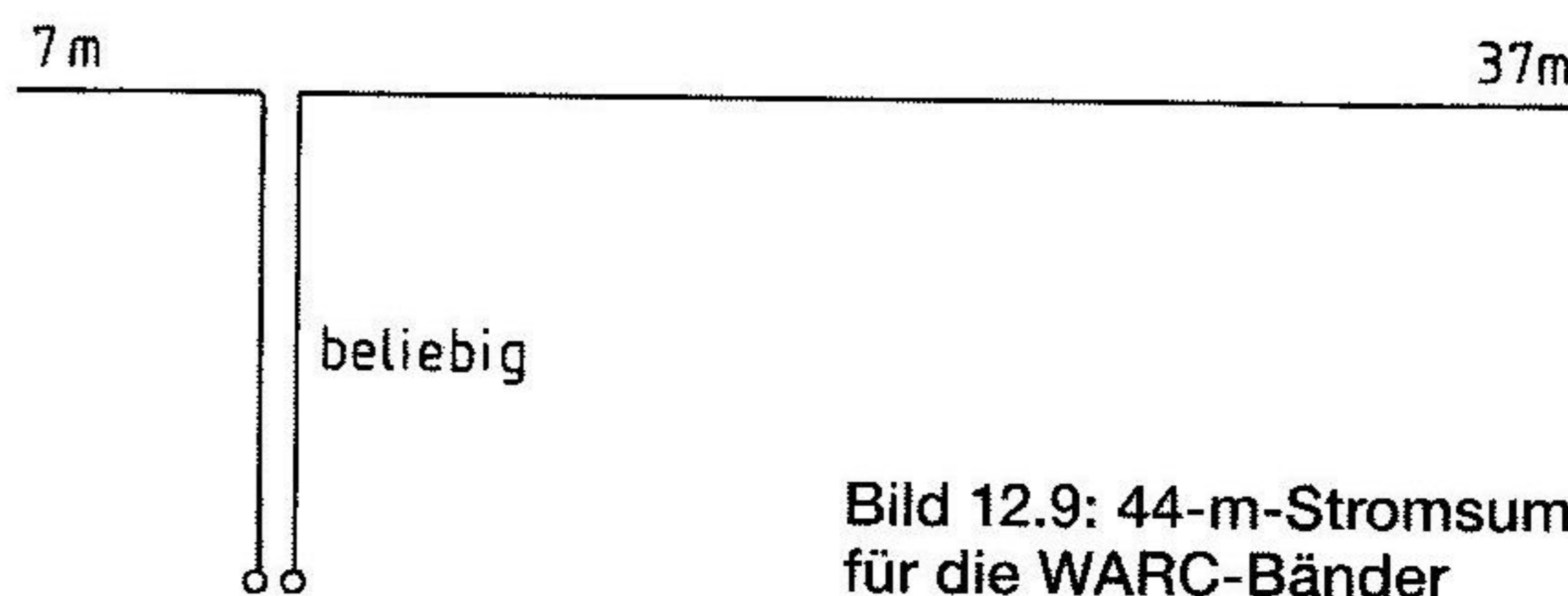


Bild 12.9: 44-m-Stromsummenantenne für die WARC-Bänder

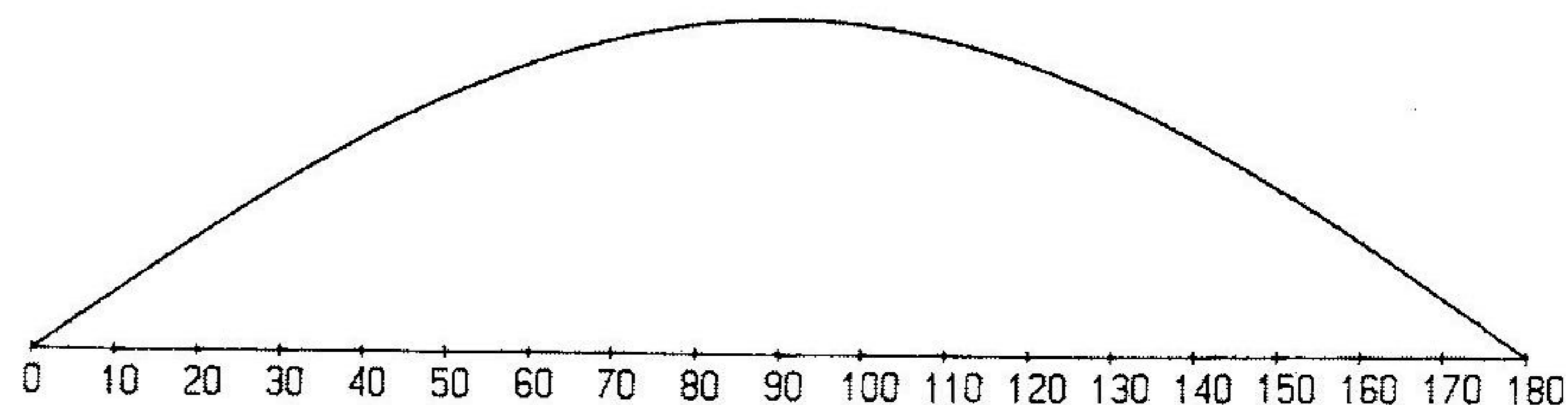


Bild 12.10: Strom bei 3,5 MHz auf einer Halbwellenantenne von 180°

dem Computer leicht zu bewältigen sind. Das Grundprinzip ist äußerst einfach: Suche nach dem stärksten Strom, dann findest Du die niedrigste Impedanz! Dazu betrachten wir Bild 12.10: die Sinuskurve einer Halbwellenantenne, die auf 3,5 MHz erregt wird. Zur Vereinfachung ist hier die Verkürzung der beiden äußeren Viertelwellen-Abschnitte nicht dargestellt. Eine ganze Welle hat 360° . Der Halbwellendipol ist 180° lang. Bild 12.11 stellt den Stromverlauf der selben Antenne auf 7 MHz dar. Der Leiter trägt jetzt zwei Halbwellen. Weil uns die Phase nicht interessiert, ist der Betrag der Sinusfunktion gezeichnet: Alles ist positiv und nach oben geklappt.

Würden wir diese Antenne gleichzeitig mit 3,5 MHz und mit 7 MHz erregen, so müßten sich beide Ströme addieren. Dies sehen wir in Bild 12.12: Die Halbwelle von 3,5 MHz trägt die beiden Halbwellen von 7 MHz gewissermaßen Huckepack. Die obere Kurve stellt die Summe der beiden Ströme dar, sie ist die Kurve der Stromsumme. Wollen wir diese Antenne auf beiden Frequenzen in niedriger Impedanz speisen, so liegt der Zapfpunkt in der Nähe des Maximums der Stromsumme, mit dem Buchstaben Z für Zapfpunkt bezeichnet. Wegen der Symmetrie der Antenne gibt es zwei Zapfpunkte. Bei der Speisung in Z ist die Impedanz sowohl für 3,5 MHz als auch für 7 MHz niedrig; es wird aber auf keiner Frequenz im Strommaximum gespeist. Das Strommaximum läge für 3,5 MHz bei 90° und für 7 MHz bei 45° und 135° . Der Speisepunkt liegt jedoch im Maximum der Stromsumme, und dies ist bei 53° .

Wir setzen diese Methode der Summierung der Ströme fort und bilden die Stromsumme der klassischen KW-Bänder 3,5/7/14/21/28 MHz. Um alles aufs Papier zu bringen, zeichnen wir die Ströme nur noch halb so hoch wie vorher und bekommen so Bild 12.13. Deutlich erkennen wir unten die Halbwelle von 3,5 MHz. Darauf baut sich 7 MHz mit zwei Buckeln, 14 MHz mit 4 Buckeln auf. Darüber liegen die Ströme von 21 MHz mit 6 Buckeln, von denen der zweite und fünfte eingekerbt sind, weil sich die Kerbe der 14 MHz nach oben fortpflanzt. Ganz oben summieren sich die 28 MHz dazu und erbringen 8 Buckel und vier Nebenbuckel. Alle Stromsummenkurven sind schön symmetrisch um die Antennenmitte angeordnet, weil wir den Verkürzungsfaktor nicht in die Rechnung hineingenommen haben. Speisepunkte sind die Maxima der obersten Stromsummenkurve Z1/Z2/Z3/Z4; aber auch an den kleineren Maxima können wir einspeisen. Wir

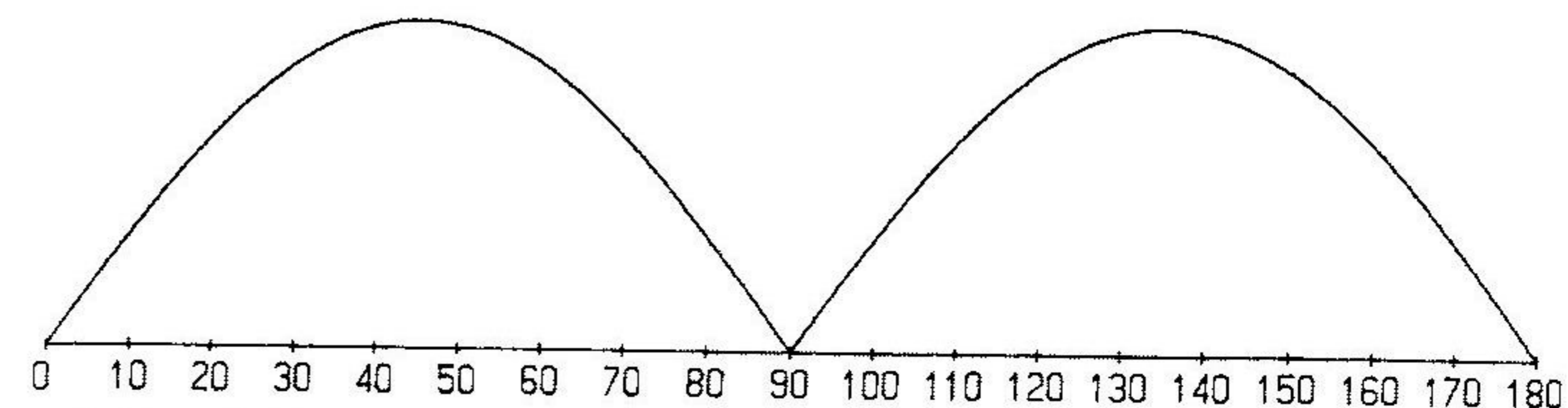


Bild 12.11: Der selbe Strahler durch 7 MHz erregt

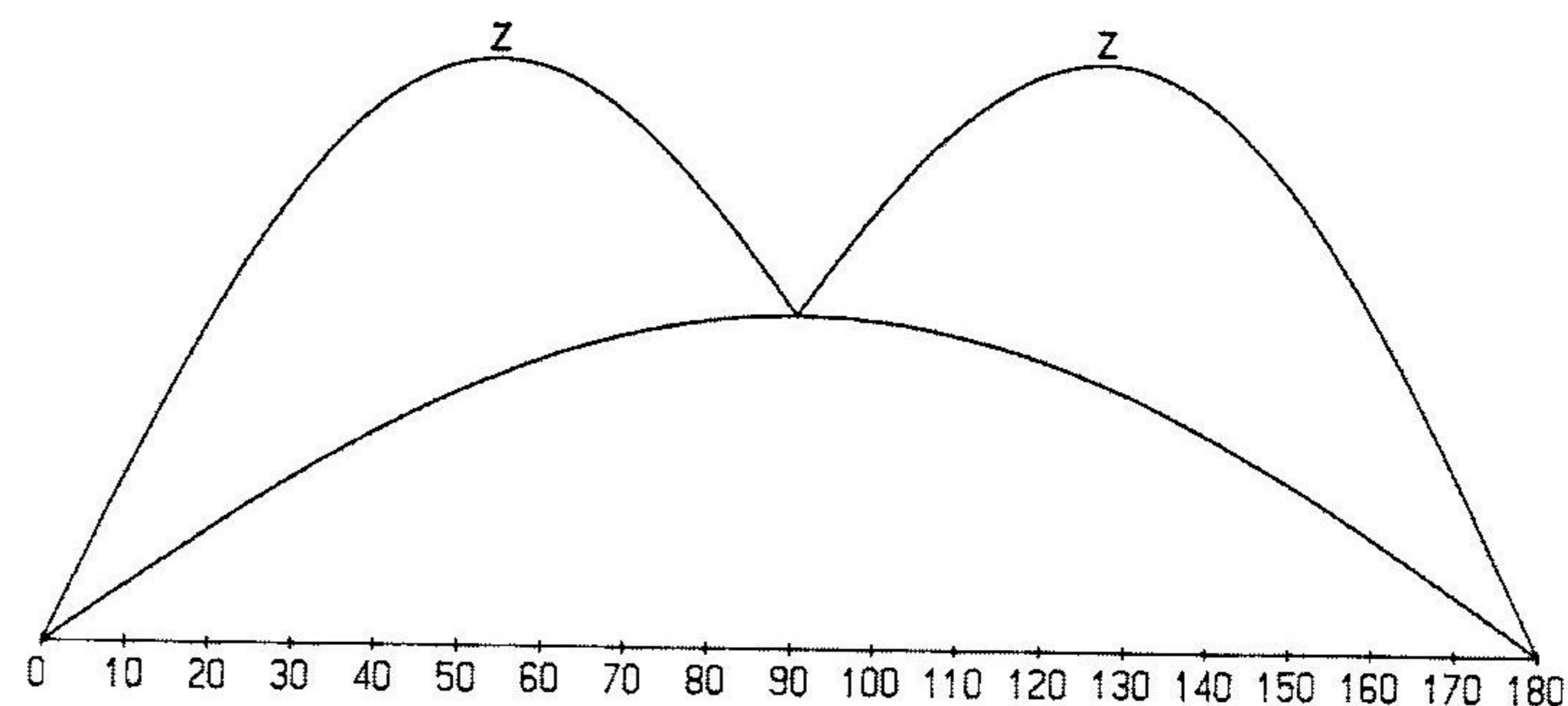


Bild 12.12: Unten: Strom von 3,5 MHz, oben: Der Strom von 7 MHz überlagert den 3,5-MHz-Strom. Die obere Kurve stellt die Stromsumme dar.

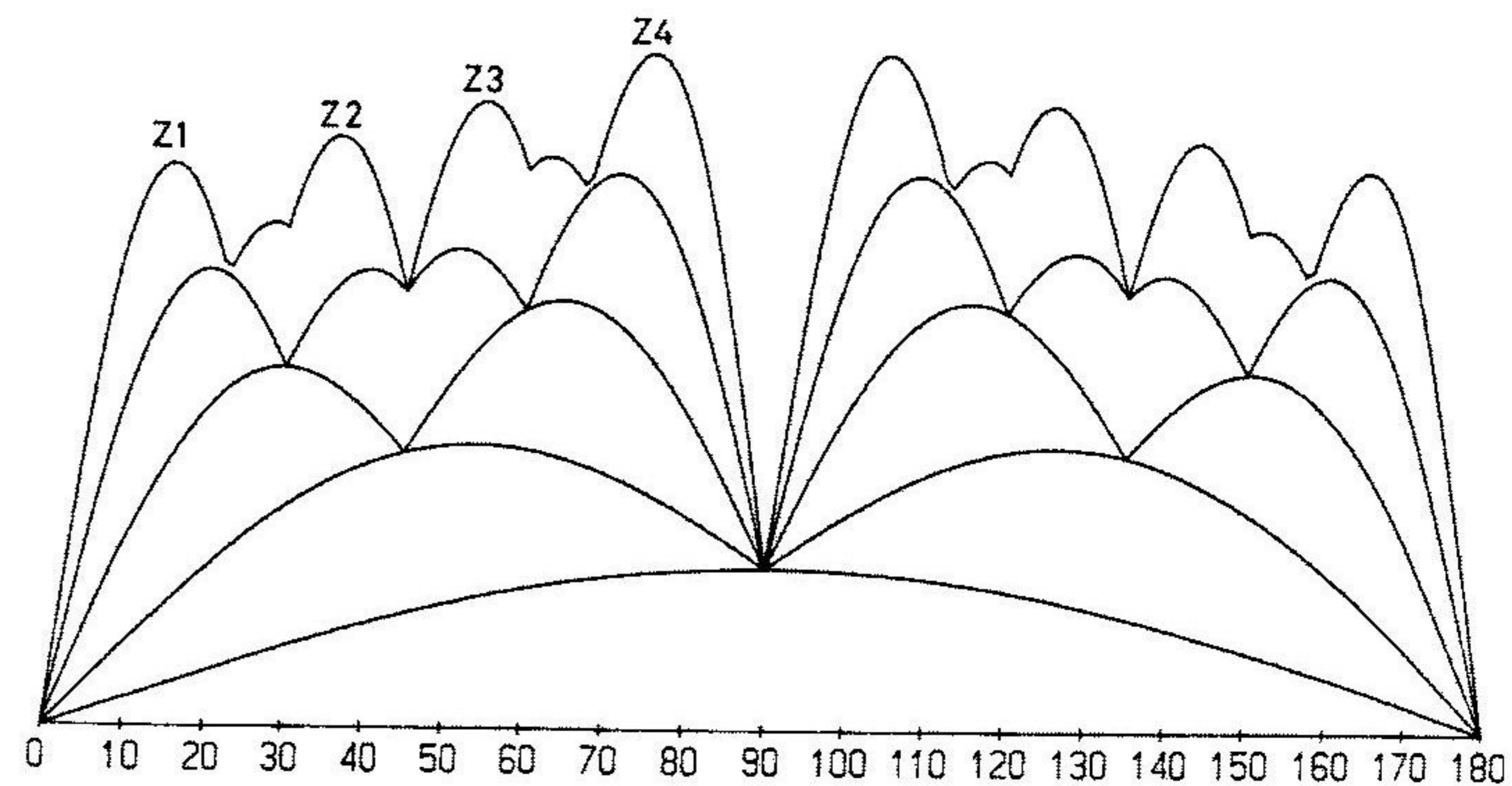


Bild 12.13: Durch Überlagerung der Ströme entstandenes Stromsummengebirge mit den Zapfpunkten Z1, Z2, Z3, Z4

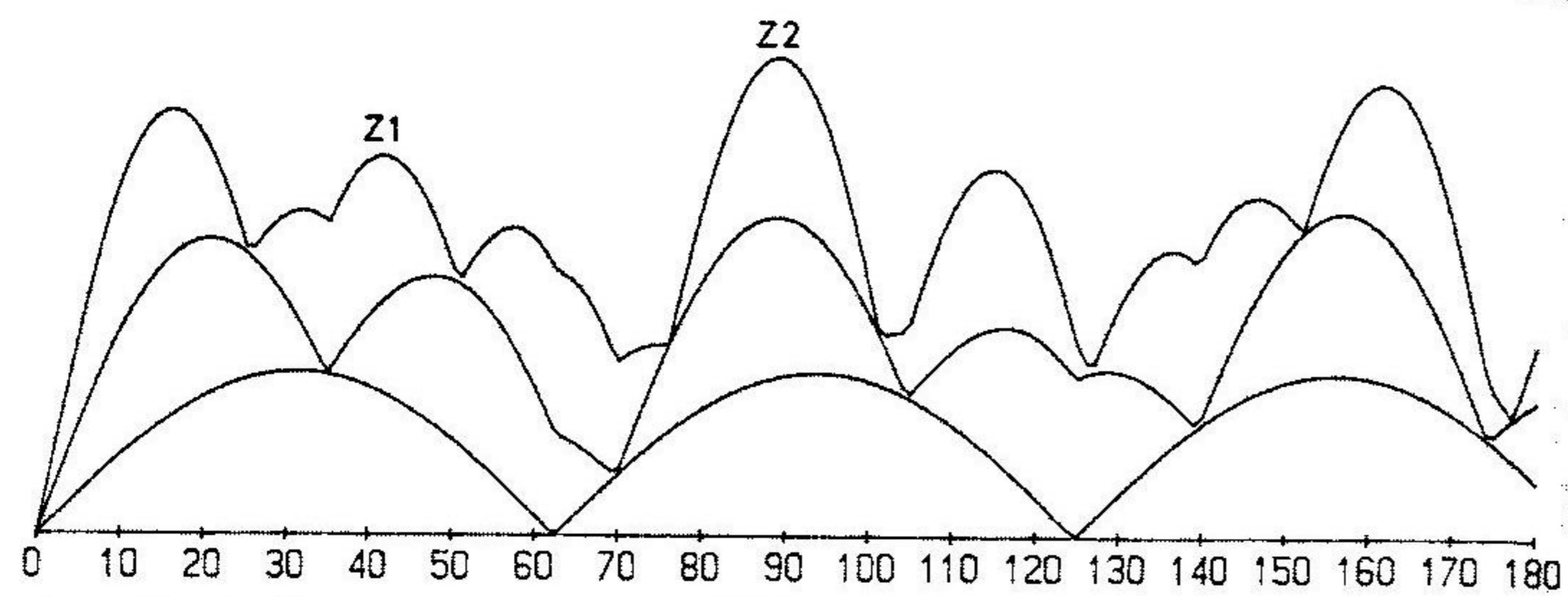


Bild 12.14: Stromsummen der WARC-Bänder. Die geeigneten Zapfpunkte Z1 und Z2 führen zu den Antennen von Bild 12.8 und 12.9

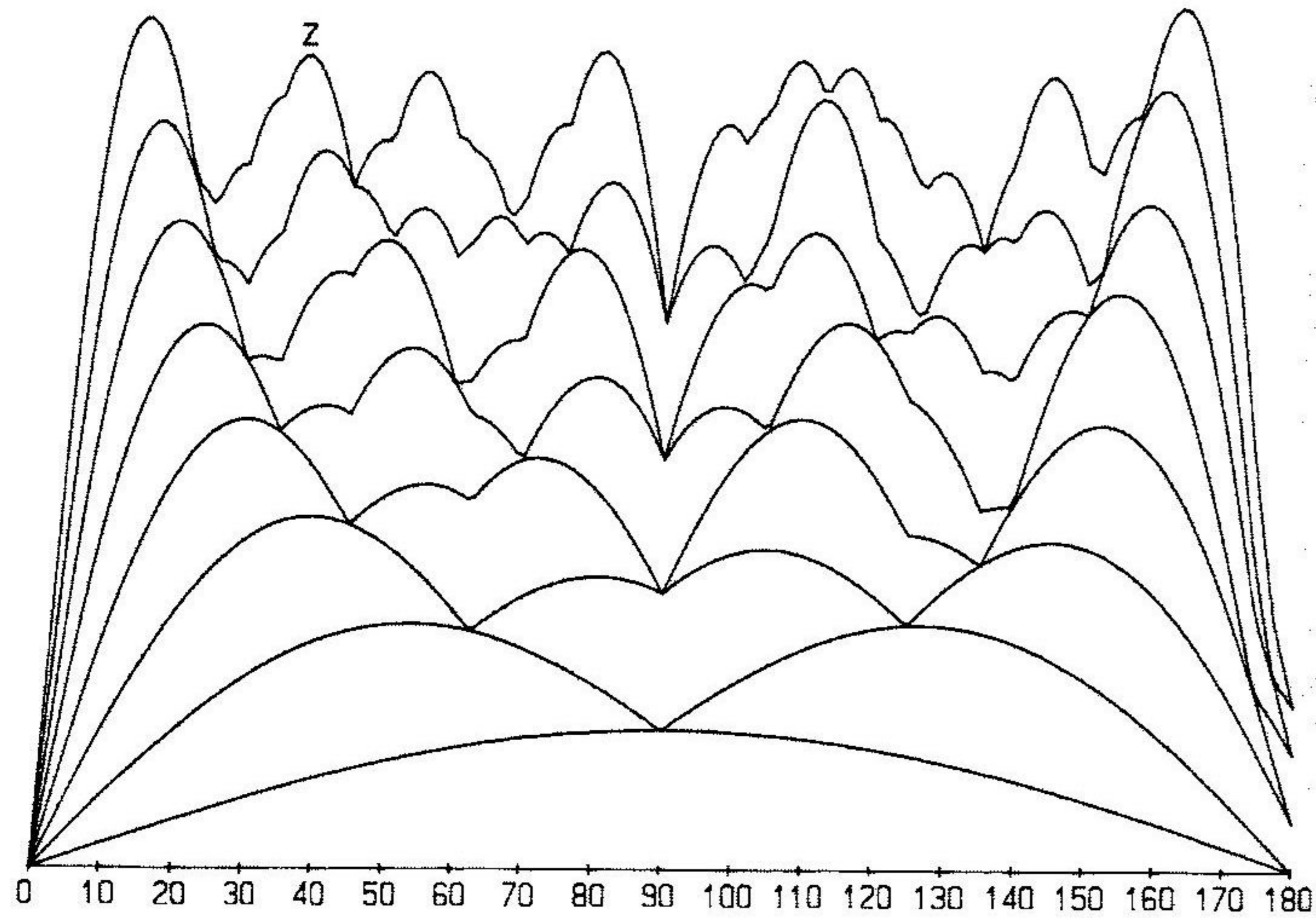


Bild 12.15: Stromsummen für eine Allband-CW-Antenne 3,5/7/10,1/14/18,068/24,89/28 MHz. Ein geeigneter Zapfpunkt ist Z

haben freie Wahl; doch empfiehlt es sich, beim Ausschuchen des Zapfpunktes auf die Ströme der einzelnen Bänder zu achten, um keines zu benachteiligen.

Auf Bild 12.14 sind die Stromsummenkurven einer Drahtantenne für die WARC-Bänder 10,1/18,068/24,89 MHz zu sehen. Grundlegend ist die 10,1-MHz-Kurve mit ihren drei Buckeln. Darüber liegt die Kur-

ve der Ströme 10,1 und 18,068 MHz mit 5 Buckeln und einem Nebenbuckel. Oben liegt die Stromsummenkurve für alle drei Bänder. Die Zapfpunkte Z1 und Z2 entsprechen den oben bereits genannten WARC-Antennen: 7 m + 37 m sowie 21,9 m + 21,9 m. Bei 180° erblicken wir deutlich die Folgen der nicht harmonischen Frequenzen. Die praktische Erfahrung zwingt uns, die Antenne mit 43,81 m etwas länger zu machen, die damit für 10,1 MHz ideal lang wird, für die höheren Bänder zu lang, was in der Praxis überhaupt nichts ausmacht.

Das Bild 12.15 demonstriert den Aufbau der Stromsummenkurve für die Frequenzen 3,5/7/10,1/14/18,068/21/24,89/28 MHz. Es gleicht einem imposanten Hochgebirge, dessen höchster Horizont die Stromsumme aller acht Bänder bildet. Durch die disharmonischen WARC-Bänder ist die schöne Symmetrie von Bild 12.13 verlorengegangen. Für den Anschluß der Bandleitung stehen uns mehr als acht Maxima zur Verfügung. Recht günstig ist der Zapfpunkt Z. Der Zapfpunkt links davon ist nicht günstig, weil die Frequenzen 3,5 und 7 MHz mit nur

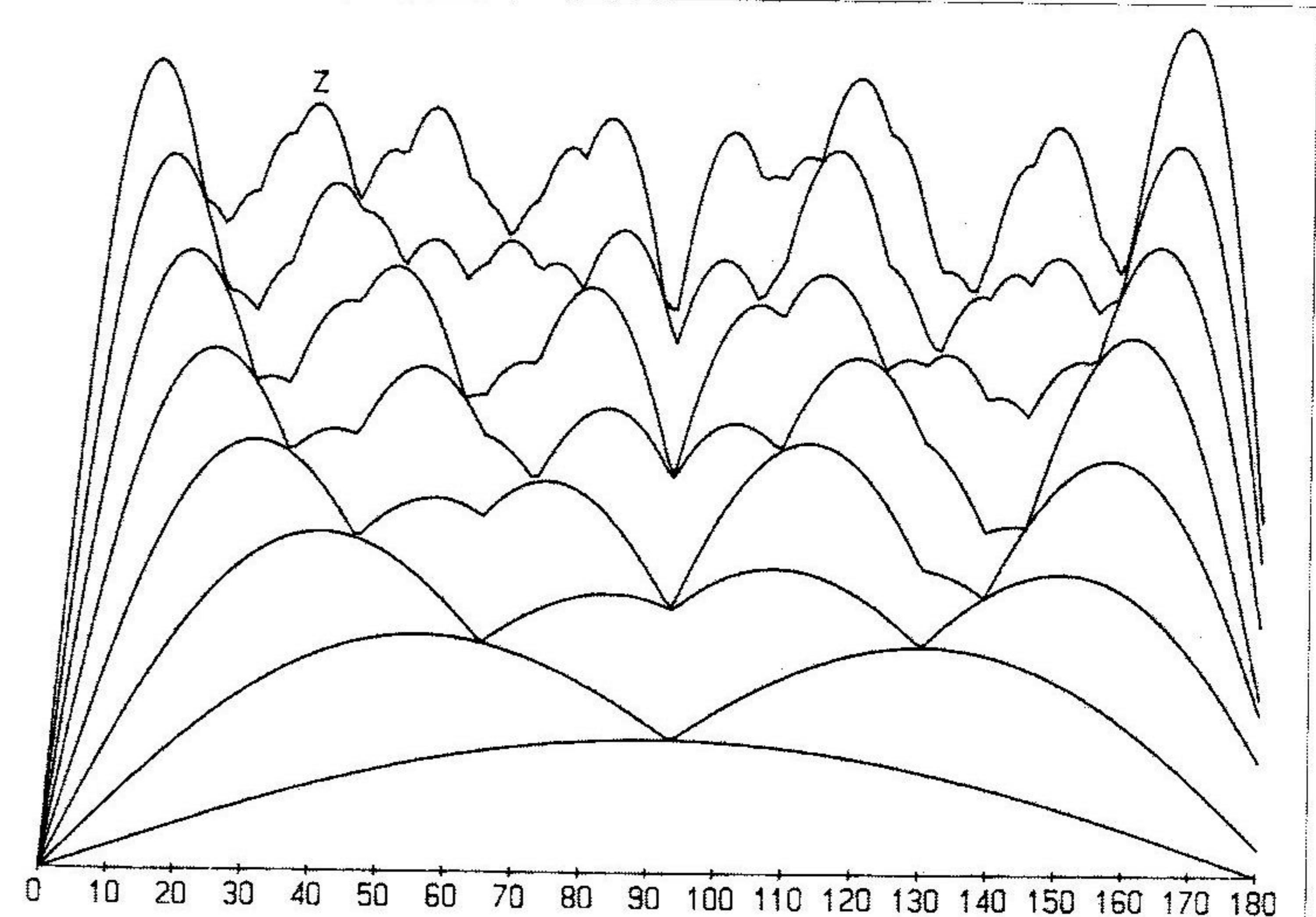
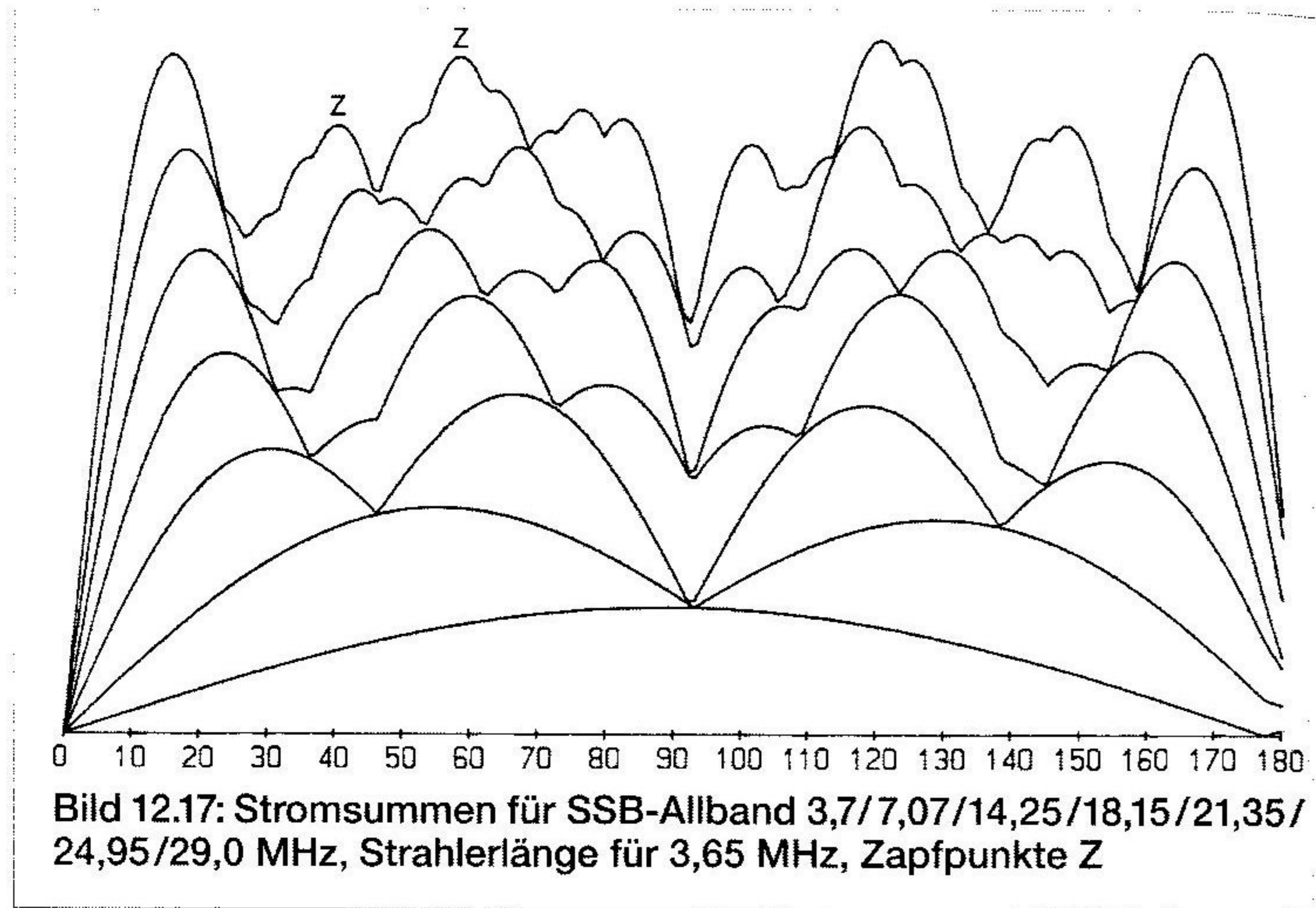


Bild 12.16: Stromsummen für die Bandmitten 3,65/7,05/10,125/14,175/18,118/21,225/24,94/28,85 MHz. Die Strahlerlänge ist für 3,65 MHz bemessen.



geringem Strom eingespeist würden. Bei 180° sehen wir, daß die Enden der Stromsummenkurven nicht mehr die x-Achse erreichen: Die Antenne ist zu kurz, was durch die 10,1 MHz hervorgerufen wird. Wir können, wie oben schon gesagt, die 14-MHz-Länge von 42,32 m verwenden oder sogar auf 43,81 m gehen.

Für die Freunde sämtlicher Betriebsarten ist auf Bild 12.16 die Entstehung der Stromsummen der Bandmitten 3,65/7,05/10,125/14,175/18,118/21,225/24,94/28,85 MHz sichtbar. Die Länge des Strahlers wurde für 3,65 MHz bemessen und mit 180° dargestellt. Auch hier ist das zweite Maximum Z der Stromsumme als Zapfpunkt zu empfehlen. Bei 180° sehen wir: Der Strahler ist etwas zu kurz, was durch Verlängerung auf $185^\circ = 42,20$ m verbessert werden kann.

Last not least ist der Aufbau der Stromsumme für die reinen Telefoniefrequenzen auf Bild 12.17 gezeigt. Das Frequenz-Spektrum umfaßt: 3,7/7,07/14,25/18,15/21,35/24,95/29,0 MHz und enthält nicht 10,1 MHz. Der Strahler wurde für 3,65 MHz bemessen, ist für 3,7 MHz zu lang und für alle anderen Bänder zu kurz. Empfehlenswert sind das zweite oder das dritte Maximum der Stromsummenkurve zum Anschluß des Bandkabels. Es macht nichts aus, wenn das zweite Maximum nicht das höchste Maximum ist.

13. Die Berechnung der Stromsummen-Antenne

Um die Analyse zu erleichtern, halten wir uns streng an die Tatsachen. Bild 13.1 zeigt den Verlauf des Sinusstromes auf einer Stromsummen-Antenne. Die Frequenz ist so gewählt, daß der Strahler 3 Wellenlängen lang ist. Ganz oben sehen wir die gesamte Länge L des Strahlers. Ganz unten ist L aufgespalten in die Länge links vom Speisepunkt: L_{AL} und in die Länge rechts vom Speisepunkt: L_{AR} . Am Anfang und am Ende des Strahlers liegen Viertelwellenabschnitte, die wegen des Endeffekts um den Faktor v verkürzt sind, sie sind v mal $1/4$ Wellenlänge lang. Vom Speisepunkt aus erstrecken sich die Abschnitte p nach links und q nach rechts. Auf p und auf q gibt es keinen Endeffekt und keine Verkürzung. Die Abschnitte p und q berechnen sich auf einfache Weise wie folgt:

$$p = L_{AL} - v \cdot L_{DA}/4. \text{ Wir multiplizieren mit } 2 \cdot \pi / L_{DA}$$

$$p = 2 \cdot \pi \cdot (L_{AL}/L_{DA} - v/4)$$

$$q = L_{AR} - v \cdot L_{DA}/4. \text{ Wir multiplizieren mit } 2 \cdot \pi / L_{DA}$$

$$q = 2 \cdot \pi \cdot (L_{AR}/L_{DA} - v/4)$$

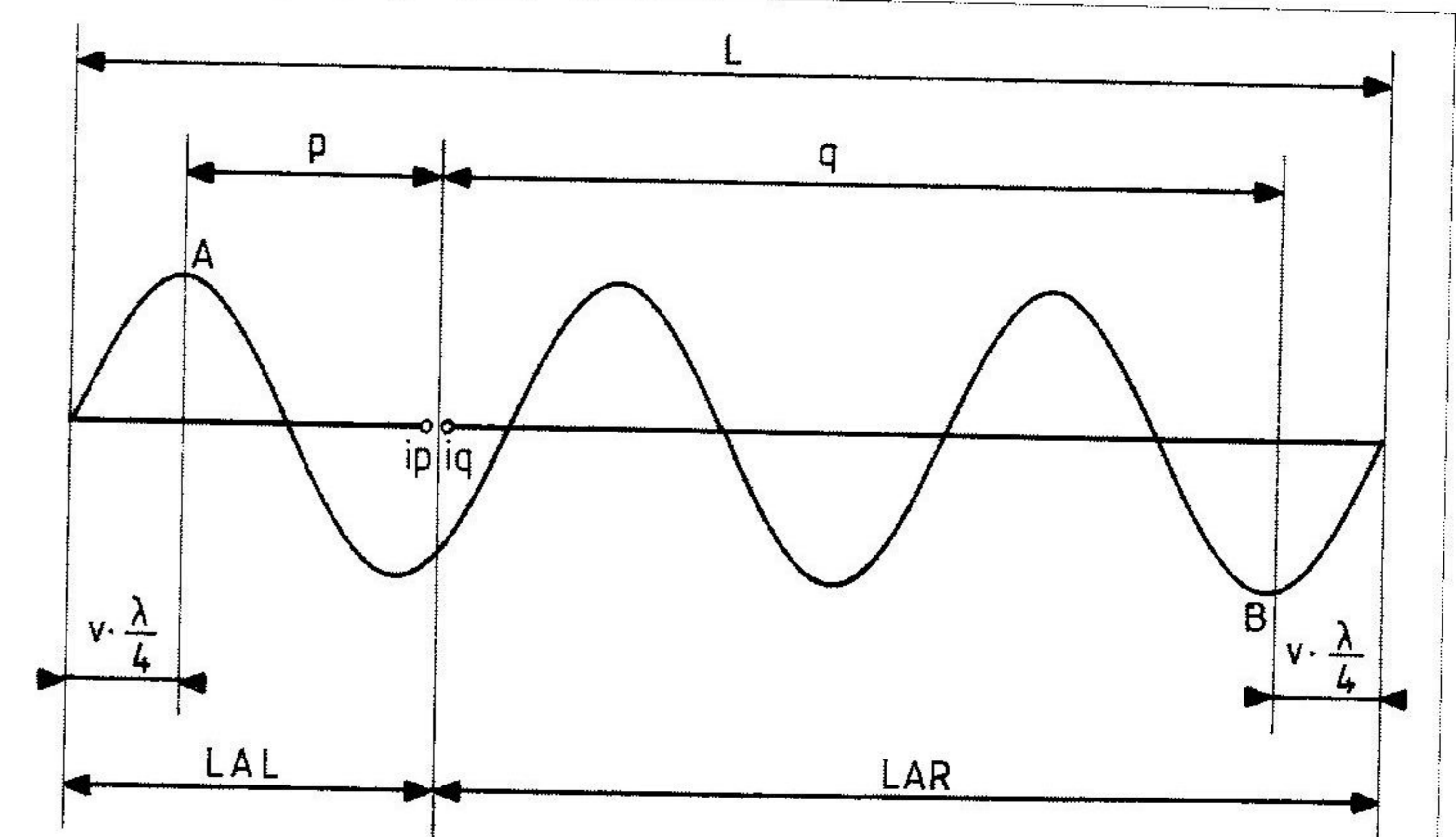
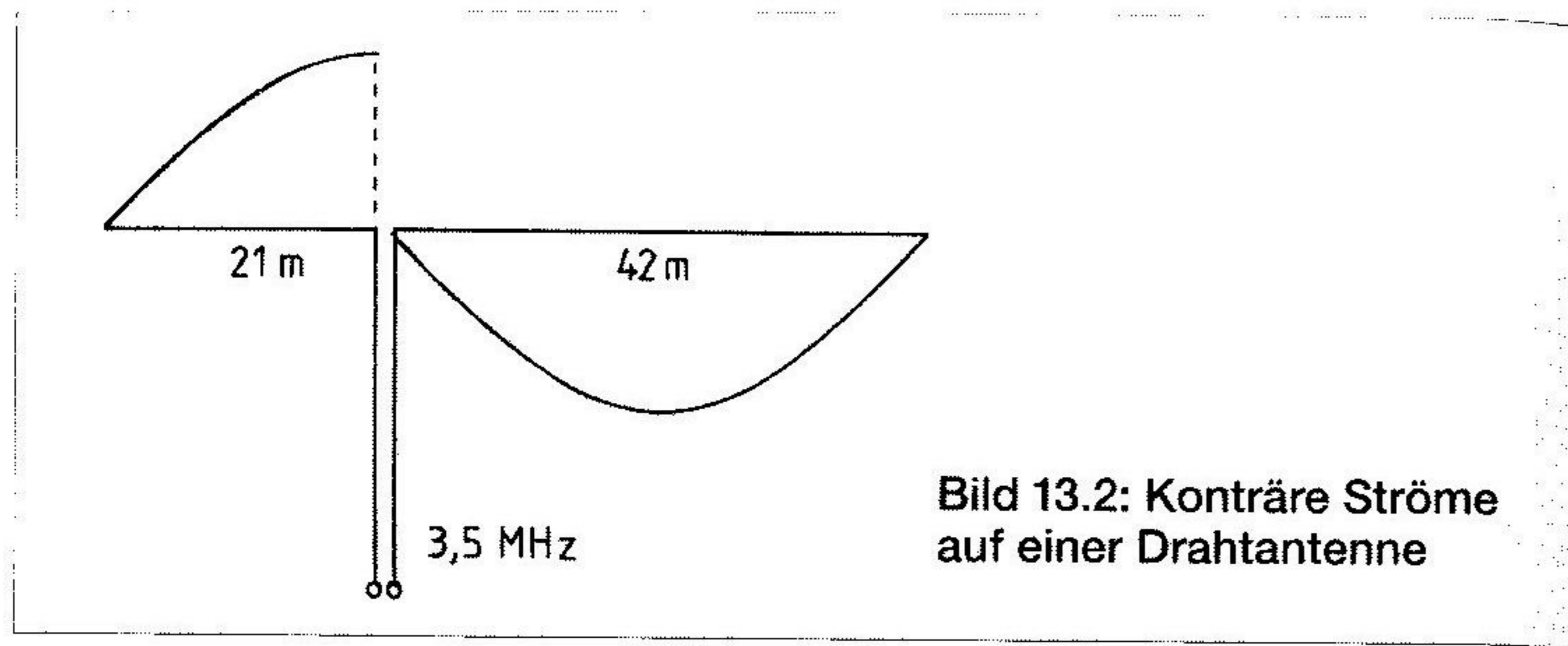


Bild 13.1: Die elektrischen Verhältnisse auf einer Stromsummenantenne



Antenne funktioniert durchaus, wie ich in Nauru als C21NI festgestellt habe. Bild 13.2 zeigt die merkwürdige Stromverteilung. Bei der Auslegung einer Stromsummen-Antenne streben wir aber danach, an beiden Klemmen des Speisepunktes möglichst gleiche Ströme zu haben, was wir durch Änderung der Strahler-Länge und der Lage des Speisepunktes bewirken können.

Dabei ist $\pi = 3,141\dots$, $L_{DA} = \lambda$, die Wellenlänge. Die Stromstärke am Speisepunkt, für den Abschnitt p ist i_p , für den Abschnitt q ist sie i_q . Auf dem Bild sind dies die senkrecht nach unten gehenden Strecken zwischen Speisepunkt und Sinuskurve. Sie sind hier beide gleich, können aber bei anderen Strahlerlängen durchaus verschieden sein. Im Abschnitt p beginnt für unsere Überlegungen der Strom in voller Stärke bei A. Die Stromkurve bis zum Speisepunkt ist eine Cosinuskurve, die bekanntlich im Maximum beginnt. Im Abschnitt q beginnt die Stromkurve bei B im Maximum, führt nach links zum Speisepunkt. Auch sie verläuft nach dem Cosinus. Uns interessiert nur die Stärke des Stromes, nicht seine Richtung und seine Phase. Deshalb nehmen wir nur den Betrag des Stromes, der immer positiv und durch die senkrechten Striche \parallel gekennzeichnet ist. Die Ströme am Speisepunkt sind also: $i_p = |\cos p|$; $i_q = |\cos q|$. Wir entnehmen p und q von oben und erhalten:

$$i_p = |\cos (2 \cdot \pi \cdot (L_{AL}/L_{DA} - v/4))|$$

$$i_q = |\cos (2 \cdot \pi \cdot (L_{AR}/L_{DA} - v/4))|$$

Dazu ein Beispiel: $L = 42 \text{ m}$, $L_{AL} = 5 \text{ m}$, $L_{AR} = 42 \text{ m} - 5 \text{ m} = 37 \text{ m}$, $L_{DA} = 10 \text{ m}$, $v = 0,98$. Dann ist $L_{AL}/L_{DA} = 5 \text{ m} / 10 \text{ m} = 0,5$. $v/4 = 0,98/4 = 0,245$. Eingesetzt: $i_p = |\cos (2 \cdot 3,141\dots \cdot (0,5 - 0,245))|$. $i_p = |\cos (1,6022\dots)|$; $i_p = 0,0314$. Auf gleiche Weise bekommen wir für $i_q = 0,9603$. Auf eine Bezeichnung der Ströme i_p , i_q können wir verzichten; aber bei geeignet eingestellter Leistung des Senders können dies durchaus Ampere sein. Das soeben durchgerechnete Beispiel zeigt keine gute Antenne; denn der linke Strom ist sehr klein $i_p = 0,0314$, der rechte Strom dagegen recht groß: $i_q = 0,9603$. Doch auch solch eine

14. Programme für Stromsummen-Antennen

Um eigene Initiativen zu unterstützen, werden an dieser Stelle einige hilfreiche Programme in der Programmiersprache BASIC (GW-Basic, Basica) aufgeführt. Die Programme sind im Quellcode wiedergegeben. Das erste Programm WINDOM02.BAS berechnet den günstigsten Abstand dreier Meßpunkte auf der Eindraht-Speiseleitung einer Windom-Antenne. Nach dem Start mit »RUN« wird der Abstand der Meßpunkte in Grad eingegeben. Das Programm berechnet darauf die Summe der drei Stromdifferenzen und stellt diese am Bildschirm dar. Wir können uns überzeugen, daß 120° das Optimum bildet, aber auch sehen, wie wenig günstig andere Abstände sind. Nachfolgend sind das Programm (Bild 14.1) und ein Ausdruck der Ergebnisse (Bild 14.2) zu sehen.

```

10 '-----
20 '
30 '   Der günstigste Abstand dreier Meßpunkte auf der Speiseleitung einer
40 '   Windomantenne, wenn darauf die Anpassung zu messen ist.
50 '
60 '-----
70 'File: Windom02.bas           Autor: Karl H. Hille           23. März 2000
80 PI = 3.141592654# : RAD = PI / 180 : CLS
90 INPUT"Geben Sie den Abstand der Meßgeräte in Grad ein!";DD
100 FOR XX = 0 TO 180 STEP 10
110 X = XX * RAD           : D = DD * RAD
120 IA = SIN ( X ) + 1 : IB = SIN ( X + D ) + 1 : IC = SIN ( X + D + D ) + 1
130 DAB = ABS ( IA - IB )
140 DAC = ABS ( IA - IC )
150 DBC = ABS ( IB - IC )
160 SUDI = DAB + DAC + DBC
170 PRINT USING"X = ###.#° Summe der drei Stromdifferenzen = #.####";XX,SUDI
180 NEXT XX
190 END

```

Bild 14.1

```

Geben Sie den Abstand der Meßgeräte in Grad ein!? 120
X = 0.0° Summe der drei Stromdifferenzen = 3.4641
X = 10.0° Summe der drei Stromdifferenzen = 3.4115
X = 20.0° Summe der drei Stromdifferenzen = 3.2552
X = 30.0° Summe der drei Stromdifferenzen = 3.0000
X = 40.0° Summe der drei Stromdifferenzen = 3.2552
X = 50.0° Summe der drei Stromdifferenzen = 3.4115
X = 60.0° Summe der drei Stromdifferenzen = 3.4641
X = 70.0° Summe der drei Stromdifferenzen = 3.4115
X = 80.0° Summe der drei Stromdifferenzen = 3.2552
X = 90.0° Summe der drei Stromdifferenzen = 3.0000
X = 100.0° Summe der drei Stromdifferenzen = 3.2552
X = 110.0° Summe der drei Stromdifferenzen = 3.4115
X = 120.0° Summe der drei Stromdifferenzen = 3.4641
X = 130.0° Summe der drei Stromdifferenzen = 3.4115
X = 140.0° Summe der drei Stromdifferenzen = 3.2552
X = 150.0° Summe der drei Stromdifferenzen = 3.0000
X = 160.0° Summe der drei Stromdifferenzen = 3.2552
X = 170.0° Summe der drei Stromdifferenzen = 3.4115
X = 180.0° Summe der drei Stromdifferenzen = 3.4641
Ok

```

Bild 14.2

Um symmetrisch gespeiste Windom-Antennen für zwei Frequenzen zu konstruieren, dient das Programm KGV-ANT3.BAS. Zunächst werden die zwei Betriebs-Frequenzen eingegeben. Darauf geben wir die gerade noch tolerierte Längenabweichung der Antennenlängen ein. Meist kommen wir mit 1 m zurecht. Geben wir sehr kleine, mögliche Längenabweichungen ein z.B. 0,1 m, so rechnet das Programm so lange, bis es eine sehr lange Antenne findet, die diese Bedingung erfüllt. Wir können im Quellcode sogar für jede Frequenz ihren betreffenden Verkürzungsfaktor v eingeben. Das Programm nimmt im Urzustand für beide Frequenzen $v = 0,95$ an. Das Programm berechnet lediglich die Länge des Strahlers. Der Zapfpunkt wird mit dem dritten Programm bestimmt. Es folgt hier das Programm (Bild 14.3) und der Ausdruck eines Ergebnisses (Bild 14.4).

```

10 '-----
20 '
30 '   Konstruktion von FD-Antennen für zwei Frequenzen
40 '   Prinzip: Das kleinste gemeinsame Vielfache der Halbwellen. Die äußeren
50 '   Viertelwellen sind auf 95 % verkürzt
60 '
70 '-----
80 'File: KGV-ANT3.bas           Autor: Karl H. Hille           23. März 2000
90 CLS
100 PRINT "Geben Sie die erste, niedrigere Frequenz in MHz ein!"
110 INPUT F1
120 PRINT "Geben Sie die zweite, höhere Frequenz in MHz ein!"
130 INPUT F2
140 PRINT "Geben Sie die Genauigkeit der Differenz in den Antennenlängen in
150 '   Metern ein! z.B. 10 m, 5 m, 2 m, 1 m, 0,5 m oder ähnlich!"
150 INPUT Z
160 LDAH1 = 150/F1           : LDAH2 = 150/F2
170 VERK1 = LDAH1 * .95     : VERK2 = LDAH2 * .95
180 FOR I = 1 TO 200
190   ML1 = VERK1 + (I-1) * LDAH1
200   FOR J = 1 TO 200
210     ML2 = VERK2 + (J-1) * LDAH2
220     D = ABS(ML1-ML2)
230     IF D <= Z THEN 240 ELSE 400
240 PRINT""
250 PRINT""
260 PRINT"Die höchste Differenz der Längen wurde mit Z =";Z;"m gewählt."
270 PRINT"Zahl der Halbwellen bei F1 =";F1;"MHz ist i =";I
280 PRINT"Zahl der Halbwellen bei F2 =";F2;"MHz ist j =";J
290 ML1 = INT(ML1*100+.5)/100
300 D = INT(D*100+.5)/100           : ML2 = INT(ML2*100+.5)/100
310 L = (ML1+ML2)/2 : L = INT(L*100+.5)/100
320 D1=L-ML1 : D1=INT(D1*100+.5)/100 : D2=L-ML2 : D2=INT(D2*100+.5)/100
330 PRINT"Antennenlänge für F1 in Metern =";ML1;"m"
340 PRINT"Antennenlänge für F2 in Metern =";ML2;"m"
350 PRINT"Differenz der Längen zw. L1 u. L2 =";D;"m"
360 PRINT"*****Durchschnittliche Länge als Baulänge L =";L;"m*****"
370 PRINT"Die Baulänge weicht für F1 um D ab = ";D1;"m"
380 PRINT"Die Baulänge weicht für F2 um D ab = ";D2;"m"
390 END
400 NEXT J
410 NEXT I
420 END

```

Bild 14.3

```

Geben Sie die erste, niedrigere Frequenz in MHz ein!
? 18.068
Geben Sie die zweite, höhere Frequenz in MHz ein!
? 24.890
Geben Sie die Genauigkeit der Differenz in den Antennenlängen in
Metern ein! z.B. 10 m, 5 m, 2 m, 1 m, 0,5 m oder ähnlich!
? .5

```

```

Die höchste Differenz der Längen wurde mit Z = .5 m gewählt.
Zahl der Halbwellen bei F1 = 18.068 MHz ist i = 8
Zahl der Halbwellen bei F2 = 24.89 MHz ist j = 11
Antennenlänge für F1 in Metern = 66 m
Antennenlänge für F2 in Metern = 65.99 m
Differenz der Längen zw. L1 u. L2 = .01 m
*****Durchschnittliche Länge als Baulänge L = 65.99 m*****
Die Baulänge weicht für F1 um D ab = -.01 m
Die Baulänge weicht für F2 um D ab = 0 m
Ok

```

Bild 14.4

Die Bestimmung des Speisepunktes einer Zwei-Frequenz-Whom-Antenne erfolgt durch das Programm ZAPFPNK4.BAS. Wir geben nur die zwei Frequenzen in MHz ein und erhalten den ersten Zapfpunkt in Metern vom Strahlerende aus gemessen. Zapfp ist der Zapfpunkt in Grad. A ist der Sinusstrom der niederen Frequenz in den ersten Viertelwellen, D ist die Stromdifferenz beider Frequenzen im Zapfpunkt und L ist der Abstand des Zapfpunktes von einem Strahlerende in Metern. Je nachdem, wo wir das REM (') in den Zeilen 280 –

```

10 '=====  

20 '  

30 '           Speisepunkte von FD-Antennen für zwei Frequenzen  

40 '           Die äußeren Viertelwellen sind auf 95 % verkürzt  

50 '  

60 '=====  

70 'File: ZAPFPNK4.bas           Autor: Karl H. Hille           24. Feb. 2000  

80 CLS  

90 PRINT "Geben Sie die erste, niedrigere Frequenz in MHz ein!"  

100 INPUT F1  

110 PRINT "Geben Sie die zweite, höhere Frequenz in MHz ein!"  

120 INPUT F2  

130 Z = F2 / F1 : RAD = 3.141592654# / 180  

140 V = .95  

150 REM Die ersten Viertelwellen am Strahleranfang sind auf 95% verkürzt!  

160 FOR X = 1 TO 180 STEP .1  

170   S1 = SIN (X*RAD/V) : S2 = SIN (X*RAD*Z/V)  

180   S3 = SIN (X*RAD)   : S4 = SIN (X*RAD*Z)  

190   IF X <= 90 THEN A = S1  

200   IF X <= 90 THEN L = 5*X*V / (6*F1)  

205   IF X > 90 THEN L = 5*(90*V+X-90) / (6*F1)  

210   IF X*Z <= 90 THEN B = S2  

220   IF X*Z > 90 THEN B = S4  

230   IF X > 90 THEN A = S3  

250   D = ABS(A-B)  

260   IF D <= .01 THEN 270 ELSE 300  

270   BEEP : X = INT(X*10+.5)/10  

280 PRINT USING"F1 ##.# F2 ##.# Zapfp ##.# A #.#### D #.#### L ##.#m";F1  

    ,F2,X,A,D,L  

290 'LPRINT USING"F1 ##.# F2 ##.# Zapfp ##.# A #.#### D #.#### L ##.#m";  

    F1,F2,X,A,D,L  

300 NEXT X  

310 END

```

Bild 14.5

```

Geben Sie die erste, niedrigere Frequenz in MHz ein!
? 14
Geben Sie die zweite, höhere Frequenz in MHz ein!
? 21

```

F1	F2	Zapfp	A	D	L
14.0	21.0	1.0	0.0184	0.0092	0.06m
14.0	21.0	69.7	0.9582	0.0098	3.94m
14.0	21.0	69.8	0.9587	0.0086	3.95m
14.0	21.0	69.9	0.9592	0.0074	3.95m
14.0	21.0	70.0	0.9597	0.0062	3.96m
14.0	21.0	70.1	0.9602	0.0050	3.96m
14.0	21.0	70.2	0.9608	0.0038	3.97m
14.0	21.0	70.3	0.9613	0.0026	3.98m
14.0	21.0	70.4	0.9618	0.0014	3.98m
14.0	21.0	70.5	0.9623	0.0002	3.99m
14.0	21.0	70.6	0.9628	0.0010	3.99m
14.0	21.0	70.7	0.9633	0.0022	4.00m
14.0	21.0	70.8	0.9638	0.0035	4.00m
14.0	21.0	70.9	0.9642	0.0047	4.01m
14.0	21.0	71.0	0.9647	0.0059	4.01m
14.0	21.0	71.1	0.9652	0.0071	4.02m
14.0	21.0	71.2	0.9657	0.0084	4.03m
14.0	21.0	71.3	0.9662	0.0096	4.03m

Bild 14.6

290 setzen, erscheint die Ergebnisliste am Bildschirm oder wird ausgedruckt oder beides. Wieder folgt das Programm (Bild 14.5) und ein Ausdruck (Bild 14.6). Im Ausdruck des Ergebnisses suchen wir in der Spalte D (Differenz beider Ströme) das Minimum, das hier 0,0002 beträgt. Damit liegt der günstigste Zapfpunkt bei 70,5° der niedrigen Frequenz, hier: 14 MHz. Die Länge vom Antennenanfang zum Zapfpunkt ist L = 3,99 m. Ein Aufrunden auf 4 m kann keinen Schaden anrichten.

Das Programm STROMSU1.BAS (Bild 14.7) ermittelt die Ströme der einzelnen Frequenzen auf einer Stromsummen-Antenne. Es zeigt nur die Ströme, die größer als 50% des höchst möglichen Stromes sind, womit eine niedrige Impedanz gekoppelt ist.

Der erste Ergebnisausdruck (Bild 14.8) zeigt uns eine 42 m lange Stromsummenantenne, die auf den klassischen Bändern erregt wird. Die Ströme sind als waagerechte Balken dargestellt. Um nun einen Speisepunkt zu finden, in dem auf jedem Band der Strom größer als 50% des maximalen Stromes ist, brauchen wir nur eine senkrechte Linie zu ziehen, die alle Balken schneidet. Das ist bei 8,1 m, bei 12,5 m und bei 17 m der Fall. Der zweite Ergebnisausdruck (Bild 14.9) betrifft eine 28,5 m lange Stromsummenantenne für die WARC-Bänder. Hier gibt es zahlreiche, mögliche Speisepunkte, die wiederum durch Senkrechte zu finden sind, die alle drei Balken schneiden: 2,5 m; 6,9 m; 9,4 m. Die Speisepunkte 19,1 m; 21,6 m; 26 m sind lediglich die obigen Punkte, die vom anderen Ende aus gerechnet worden sind.

```

10 '-----
20 '
30 ' Die Ströme der einzelnen Frequenzen auf dem Strahler einer Stromsummen-
40 ' antenne und die Darstellung am Bildschirm, Vollsicht für Strahler bis
50 ' zu 62 m, darüber hinaus bis 200 m, abgebildet nur die ersten 62 m
60 '
70 '-----
80 'File : STROMSU1.BAS      Autor: Karl H. Hille      1. Mai 2000
90 'PI = 3.141592654#      : CLS      : SCREEN 2
100 'INPUT "Geben Sie die Länge der Antenne in Meter ein!";L
110 'INPUT "Geben Sie den Verkürzungsfaktor ( 0 bis 1 ) ein!";VV
120 'INPUT"Geben Sie die Frequenzen ein! Wenn zu Ende, bitte 0 eingeben!";F
130 'IF F = 0 THEN 340
140 'A = A - 2
150 'IP = 0 : IQ = 0 : II = 0
160 '      FOR LAL = 0 TO L STEP .1
170 '          LDA = 300 / F
180 '          LAR = L - LAL
190 'REM LAMBDA = LDA, RECHTE LAENGE = LAR, LINKE LAENGE = LAL
200 '          P = ( LAL / LDA - VV / 4 ) * 2 * PI
210 '          Q = ( LAR / LDA - VV / 4 ) * 2 * PI
220 '          REM STROMSTÄRKE AN DER LINKEN KLEMME = IP
230 '          IP = ABS ( COS ( P ) )
240 '          REM STROMSTÄRKE AN DER RECHTEN KLEMME = IQ
250 '          IQ = ABS ( COS ( Q ) )
260 '          REM GEOM. MITTEL BEIDER STRÖME = II
270 '          II = SQR ( IP * IQ )
280 '          IF II > .5 THEN 290 ELSE 320
290 '          X = INT(LAL * 10)
300 '          Y = 130 + A
310 '          PSET (X,Y)
320 '      NEXT LAL
330 '      GOTO 120
340 'LINE (0,150)-(0,130)
350 'LINE(10,140)-(10,130) : LINE (20,140)-(20,130) : LINE (30,140)-(30,130)
360 'LINE(40,140)-(40,130) : LINE(50,145)-(50,130) : LINE(60,140)-(60,130)
370 'LINE(70,140)-(70,130) : LINE(80,140)-(80,130) : LINE(90,140)-(90,130)
380 'LINE(100,150)-(100,130) : LINE(110,140)-(110,130) : LINE(120,140)-(120,13)
390 'LINE(130,140)-(130,130) : LINE(140,140)-(140,130) : LINE(150,145)-(150,13)
400 'LINE(160,140)-(160,130) : LINE(170,140)-(170,130) : LINE(180,140)-(180,13)
410 'LINE(190,140)-(190,130) : LINE(200,150)-(200,130) : LINE(210,140)-(210,13)
420 'LINE(220,140)-(220,130) : LINE(230,140)-(230,130) : LINE(240,140)-(240,13)
430 'LINE(250,145)-(250,130) : LINE(260,140)-(260,130) : LINE(270,140)-(270,13)
440 'LINE(280,140)-(280,130) : LINE(290,140)-(290,130) : LINE(300,150)-(300,13)
450 'LINE(310,140)-(310,130) : LINE(320,140)-(320,130) : LINE(330,140)-(330,13)
460 'LINE(340,140)-(340,130) : LINE(350,145)-(350,130) : LINE(360,140)-(360,13)
470 'LINE(370,140)-(370,130) : LINE(380,140)-(380,130) : LINE(390,140)-(390,13)
480 'LINE(400,150)-(400,130) : LINE(410,140)-(410,130) : LINE(420,140)-(420,13)
490 'LINE(430,140)-(430,130) : LINE(440,140)-(440,130) : LINE(450,145)-(450,13)
500 'LINE(460,140)-(460,130) : LINE(470,140)-(470,130) : LINE(480,140)-(480,13)
510 'LINE(490,140)-(490,130) : LINE(500,150)-(500,130) : LINE(510,140)-(510,13)
520 'LINE(520,140)-(520,130) : LINE(530,140)-(530,130) : LINE(540,140)-(540,13)
530 'LINE(550,145)-(550,130) : LINE(560,140)-(560,130) : LINE(570,140)-(570,13)
540 'LINE(580,140)-(580,130) : LINE(590,140)-(590,130) : LINE(600,150)-(600,13)
550 'LINE(610,140)-(610,130) : LINE(620,140)-(620,130)
560 'LOCATE 20,1 : PRINT"0" : LOCATE 20,68 : PRINT"Meter"
570 'LOCATE 20,12 : PRINT"10" : LOCATE 20,25 : PRINT"20" : LOCATE 20,38 : PRINT"3
580 'LOCATE 20,50 : PRINT"40" : LOCATE 20,63 : PRINT"50" : LOCATE 20,75 : PRINT"6
590 'END

```

Bild 14.7

```

Geben Sie die Länge der Antenne in Meter ein!? 42
Geben Sie den Verkürzungsfaktor ( 0 bis 1 ) ein!? .96
Geben Sie die Frequenzen ein! Wenn zu Ende, bitte 0 eingeben!? 3.5
Geben Sie die Frequenzen ein! Wenn zu Ende, bitte 0 eingeben!? 7
Geben Sie die Frequenzen ein! Wenn zu Ende, bitte 0 eingeben!? 14
Geben Sie die Frequenzen ein! Wenn zu Ende, bitte 0 eingeben!? 21
Geben Sie die Frequenzen ein! Wenn zu Ende, bitte 0 eingeben!? 28
Geben Sie die Frequenzen ein! Wenn zu Ende, bitte 0 eingeben!? 0

```

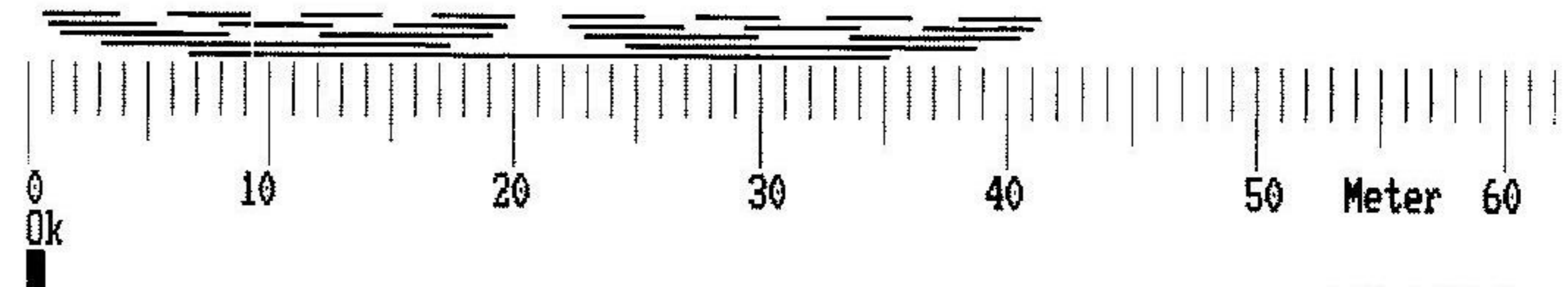


Bild 14.8

```

Geben Sie die Länge der Antenne in Meter ein!? 28.5
Geben Sie den Verkürzungsfaktor ( 0 bis 1 ) ein!? .96
Geben Sie die Frequenzen ein! Wenn zu Ende, bitte 0 eingeben!? 10.1
Geben Sie die Frequenzen ein! Wenn zu Ende, bitte 0 eingeben!? 18.1
Geben Sie die Frequenzen ein! Wenn zu Ende, bitte 0 eingeben!? 24.9
Geben Sie die Frequenzen ein! Wenn zu Ende, bitte 0 eingeben!? 0

```

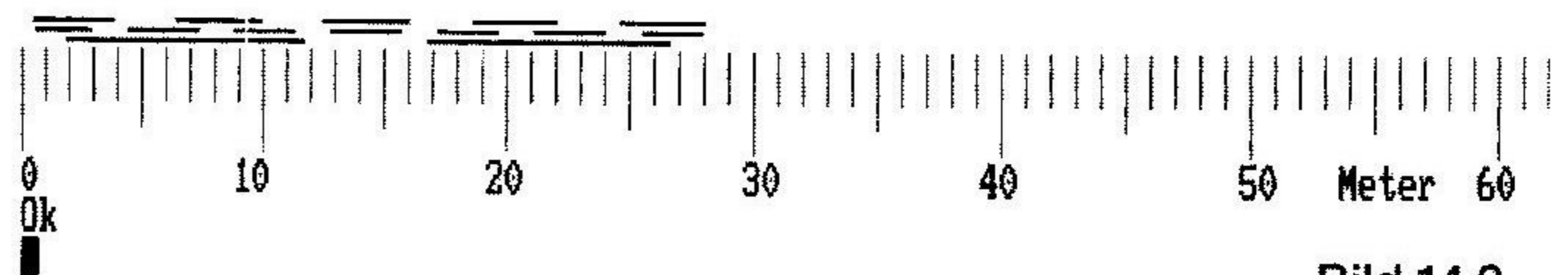


Bild 14.9

Das Programm STROMSU2.BAS (Bild 14.10) stellt die Stromsumme der eingegebenen Frequenzen in Form einer Kurve auf dem Bildschirm dar.

Das erste Ergebnis am Bildschirm (Bild 14.11) stellt die Stromsumme der klassischen Bänder 3,5/7/14/21/28 MHz auf einer 42 m lan-

gen Antenne dar. Wo ein Maximum zu sehen ist, kann eingespeist werden. Das ist bei 3,2 m, bei 8,1 m, bei 12,5 m und bei 17,3 m der Fall. Wenn wir uns mit dem Programm STROMSU1.BAS rückversichern, erkennen wir, daß der Speisepunkt bei 3,2 m das 3,5-MHz-Band nicht erfaßt. Deshalb ist auch das Maximum ziemlich niedrig. Die Verschie-

```

10 -----
20
30 Die Stromsumme am Speisepunkt von Stromsummenantennen sowie
40 die Darstellung am Bildschirm, maximale Länge der Antenne
50 ist 60 m
60 -----
70
80 File : STROMSU2.BAS Autor: Karl H. Hille 12. Apr. 2000
90 CLS : PI = 3.141592654#
100 INPUT "Wieviele Frequenzen werden eingegeben";K : DIM V(K)
110 PRINT : PRINT "Geben Sie jetzt die Frequenzen in MHz ein!"
120 FOR I = 1 TO K
130 INPUT V(I)
140 NEXT I
150 INPUT "Geben Sie die Länge der Antenne in Meter ein!";L
160 INPUT "Geben Sie den Verkürzungsfaktor ( 0 bis 1 ) ein!";VV
170 IP = 0 : IQ = 0 : II = 0 : CLS : SCREEN 2
180 FOR LAL = 0 TO L STEP .01
190 FOR I = 1 TO K
200 F = V(I)
210 LDA = 300 / F
220 LAR = L - LAL
230 REM LAMBDA = LDA, RECHTE LAENGE = LAR, LINKE LAENGE = LAL
240 REM Stromstärke a.d. linken Klemme = IP; a.d.rechten Klemme = IQ
250 REM Geometrisches Mittel beider Ströme IP und IQ = II
260 P = ( LAL / LDA - VV / 4 ) * 2 * PI
270 Q = ( LAR / LDA - VV / 4 ) * 2 * PI
280 IP = ABS ( COS ( P ) )
290 IQ = ABS ( COS ( Q ) )
300 II = SQR ( IP * IQ )
310 IS = IS + II
320 NEXT I
330 X = INT(LAL * 10)
340 Y = - INT ( IS * 100 / K ) + 130
350 PSET (X,Y)
360 DRAW C$
370 X = IS : IS = 0
380 NEXT LAL
390 LINE ( 0,130 ) - ( L * 10, 130 ) : LINE ( 0,150 ) - ( 0,130 )
400 LINE ( 10,140 ) - ( 10,130 ) : LINE ( 20,140 ) - ( 20,130 ) : LINE ( 30,140 ) - ( 30,130 )
410 LINE ( 40,140 ) - ( 40,130 ) : LINE ( 50,145 ) - ( 50,130 ) : LINE ( 60,140 ) - ( 60,130 )
420 LINE ( 70,140 ) - ( 70,130 ) : LINE ( 80,140 ) - ( 80,130 ) : LINE ( 90,140 ) - ( 90,130 )
430 LINE ( 100,150 ) - ( 100,130 ) : LINE ( 110,140 ) - ( 110,130 ) : LINE ( 120,140 ) - ( 120,13 )
440 LINE ( 130,140 ) - ( 130,130 ) : LINE ( 140,140 ) - ( 140,130 ) : LINE ( 150,145 ) - ( 150,13 )
450 LINE ( 160,140 ) - ( 160,130 ) : LINE ( 170,140 ) - ( 170,130 ) : LINE ( 180,140 ) - ( 180,13 )
460 LINE ( 190,140 ) - ( 190,130 ) : LINE ( 200,150 ) - ( 200,130 ) : LINE ( 210,140 ) - ( 210,13 )
470 LINE ( 220,140 ) - ( 220,130 ) : LINE ( 230,140 ) - ( 230,130 ) : LINE ( 240,140 ) - ( 240,13 )
480 LINE ( 250,145 ) - ( 250,130 ) : LINE ( 260,140 ) - ( 260,130 ) : LINE ( 270,140 ) - ( 270,13 )
490 LINE ( 280,140 ) - ( 280,130 ) : LINE ( 290,140 ) - ( 290,130 ) : LINE ( 300,150 ) - ( 300,13 )
500 LINE ( 310,140 ) - ( 310,130 ) : LINE ( 320,140 ) - ( 320,130 ) : LINE ( 330,140 ) - ( 330,13 )
510 LINE ( 340,140 ) - ( 340,130 ) : LINE ( 350,145 ) - ( 350,130 ) : LINE ( 360,140 ) - ( 360,13 )
520 LINE ( 370,140 ) - ( 370,130 ) : LINE ( 380,140 ) - ( 380,130 ) : LINE ( 390,140 ) - ( 390,13 )
530 LINE ( 400,150 ) - ( 400,130 ) : LINE ( 410,140 ) - ( 410,130 ) : LINE ( 420,140 ) - ( 420,13 )
540 LINE ( 430,140 ) - ( 430,130 ) : LINE ( 440,140 ) - ( 440,130 ) : LINE ( 450,145 ) - ( 450,13 )
550 LINE ( 460,140 ) - ( 460,130 ) : LINE ( 470,140 ) - ( 470,130 ) : LINE ( 480,140 ) - ( 480,13 )
560 LINE ( 490,140 ) - ( 490,130 ) : LINE ( 500,150 ) - ( 500,130 ) : LINE ( 510,140 ) - ( 510,13 )
570 LINE ( 520,140 ) - ( 520,130 ) : LINE ( 530,140 ) - ( 530,130 ) : LINE ( 540,140 ) - ( 540,13 )
580 LINE ( 550,145 ) - ( 550,130 ) : LINE ( 560,140 ) - ( 560,130 ) : LINE ( 570,140 ) - ( 570,13 )
590 LINE ( 580,140 ) - ( 580,130 ) : LINE ( 590,140 ) - ( 590,130 ) : LINE ( 600,150 ) - ( 600,13 )
600 LOCATE 20,1 : PRINT "0" : LOCATE 20,68 : PRINT "Meter"
610 LOCATE 20,12 : PRINT "10" : LOCATE 20,25 : PRINT "20" : LOCATE 20,38 : PRINT "3
620 LOCATE 20,50 : PRINT "40" : LOCATE 20,63 : PRINT "50" : LOCATE 20,75 : PRINT "6
630 LOCATE 22,1 : PRINT "L=";L;"m"
640 END

```

Bild 14.10

bung von 17 m auf 17,3 m ist durch den Einfluß des ansteigenden 3,5-MHz-Stromes zu erklären. Daher ist 17 m der bessere Speisepunkt. Es ergibt sich also: Die bildliche Darstellung der Stromsumme durch Programm STROMSU2.BAS zeigt uns die verschiedenen Maxima, von

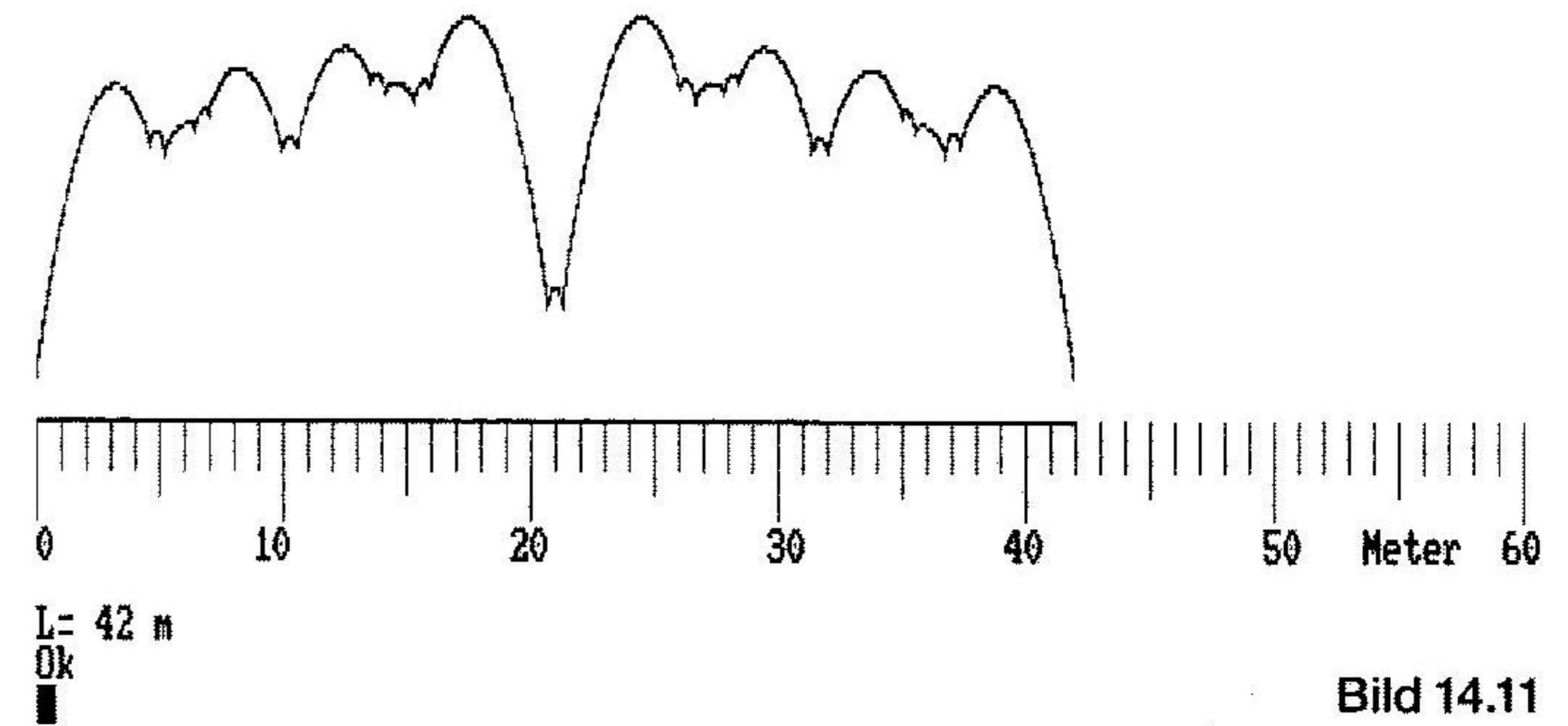


Bild 14.11

denen wir das beste wählen können. Die Balkendarstellung durch Programm STROMSU1.BAS klärt die Ströme der einzelnen Bänder und läßt uns den Speisepunkt genauer bestimmen.

Das zweite Ergebnis (Bild 14.12) am Bildschirm zeigt uns die Stromsumme der WARC-Bänder 10,1/18,1/24,9 MHz auf einer 28,5 m langen Antenne. Die Maxima liegen bei 2,5 m; 7,5 m und 9 m. Sie weichen von der Berechnung mit dem Programm STROMSU1.BAS etwas ab. Auch hier gibt uns STROMSU2.BAS die bildliche Sicht, dagegen STROMSU1.BAS die genauen Werte der einzelnen Ströme. Damit haben wir auch die Möglichkeit, kleine Verschiebungen zu Gunsten eines Bandes vorzunehmen, womit natürlich die anderen Bänder benachteiligt werden müssen.

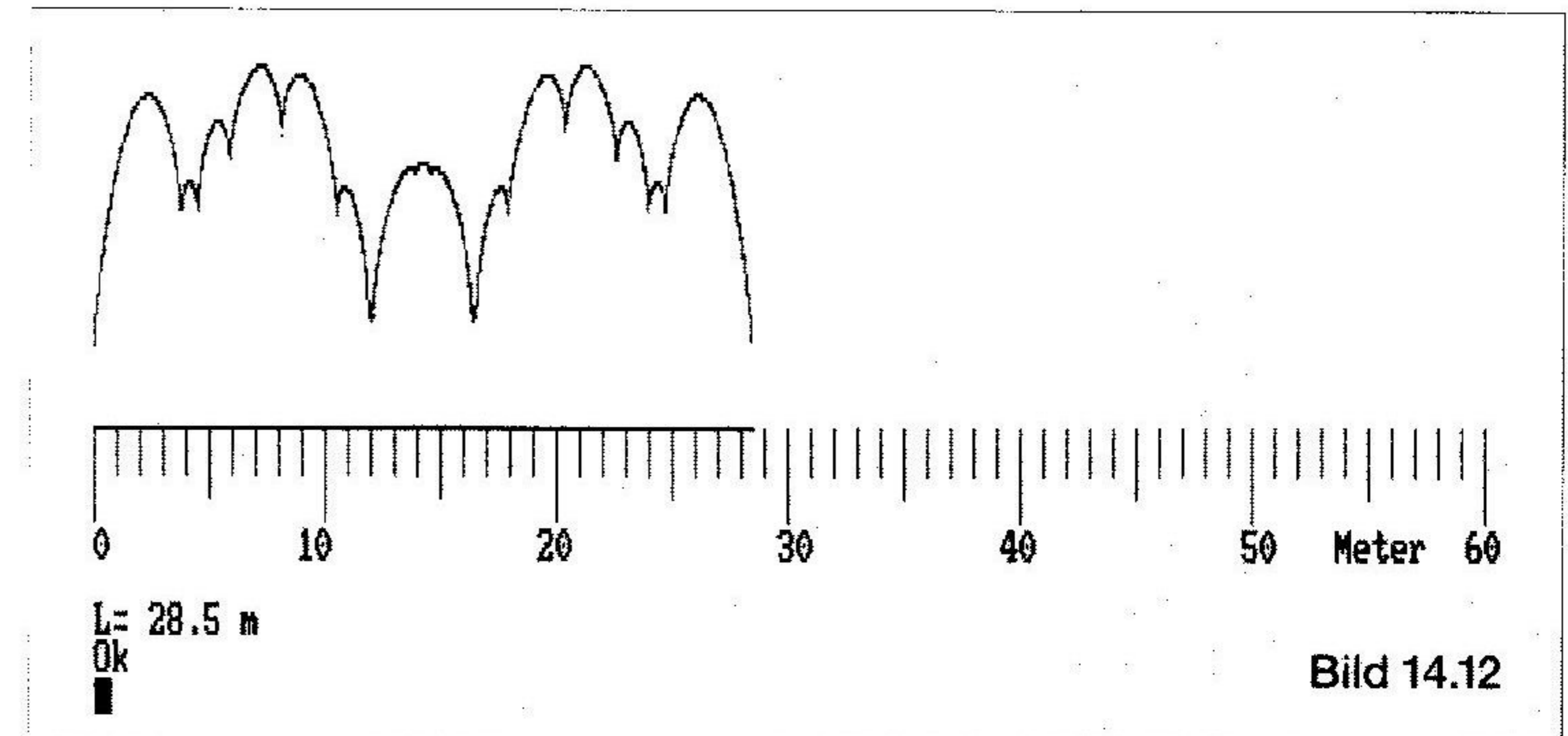


Bild 14.12

```

10 '-----
20 '      Die Stromsumme am Speisepunkt von Stromsummenantennen sowie
30 '      die Trennung in ansteigenden und absteigenden Strom zur
40 '      Ermittlung der Maxima der Stromsumme als Speisepunkt
50 '-----
60 '
70 'FILE : STROMSU3.BAS          Autor : Karl H. Hille          25. Apr.2000
80 CLS : PI = 3.141592654#
90 INPUT"Wieviele Frequenzen werden eingegeben?";K : PRINT""
100 DIM V (K)
110 PRINT"Geben Sie jetzt die Frequenzen in MHz ein!" : PRINT""
120   FOR I = 1 TO K
130     INPUT V(I)
140   NEXT I
150 PRINT":INPUT"Geben Sie die Länge der Antenne in Meter ein!";L : PRINT""
160 INPUT"Geben Sie den Verkürzungsfaktor ( 0 bis 1 ) ein!";VV : PRINT""
170 INPUT"Geben Sie d. linke Grenze d. Stromsummenberechnung (in m) ein!";GL
180 PRINT""
190 INPUT"Geben Sie d. re. Grenze der Stromsummenberechnung (in m) ein!";GR
200 PRINT""
210 INPUT"Geben Sie das Inkrement (die Schrittweite) (in m) ein!";INK
220 '
230 PRINT"L i n k s wird die Stromsumme gedruckt, solange sie steigt."
240 PRINT"R e c h t s wird die Stromsumme gedruckt, solange sie fällt,"
250 PRINT"außerdem piept es!";PRINT":PRINT""
260 PRINT" Meter      Stromsumme      Meter      Stromsumme"
270   FOR LAL = GL TO GR STEP INK
280     FOR I = 1 TO K
290       F = V(I)
300       LDA = 300 / F
310       LAR = L - LAL
320 REM F = FREQUENZ, LDA = LAMBDA, LAL = LINKE LÄNGE, LAR = RECHTE LÄNGE
330 REM Stromstärke a.d. linken Klemme = IP, a.d. rechten Klemme = IR
340 REM Geometrisches Mittel beider Ströme = II
350       P = ( LAL / LDA - VV / 4 ) * 2 * PI
360       Q = ( LAR / LDA - VV / 4 ) * 2 * PI
370       IP = ABS ( COS ( P ) )
380       IQ = ABS ( COS ( Q ) )
390       II = SQR ( IP * IQ )
400       IS = IS + II
410     NEXT I
420   IF IS > X THEN GOTO 430 ELSE BEEP : GOTO 440
430   PRINT USING "###.### m   ###.#####";LAL;IS : GOTO 450
440   PRINT USING "          ###.### m   ###.###"
#";LAL;IS
450       X = IS
460       RESTORE
470       IS = 0
480     NEXT LAL
490 GOTO 170
500 END

```

Bild 14.13

Um die Maxima der Stromsumme mit beliebiger Genauigkeit zu berechnen, dient Programm STROMSU3.BAS (Bild 14.13). Dazu gehört eine eigene Technik der Dateneingabe, die hier gezeigt wird (Bild 14.14).

Wir sehen oben die Eingabe der Daten. Um das Programm nicht endlos laufen zu lassen, werden zwei Grenzen um den gesuchten Speisepunkt gezogen, hier die untere Grenze mit 2 m vom Antennenende und 3 m vom Antennenende. Die Schrittweite ist mit 0,01 m = 1 cm hinreichend klein. In der linken Spalte wird die Stromsumme gedruckt, solange sie ansteigt. In der rechten Spalte wird die Strom-

Wieviele Frequenzen werden eingegeben?? 3

Geben Sie jetzt die Frequenzen in MHz ein!

? 10.1

? 18.1

? 24.9

Geben Sie die Länge der Antenne in Meter ein!? 28.5

Geben Sie den Verkürzungsfaktor (0 bis 1) ein!? .96

Geben Sie d. linke Grenze d. Stromsummenberechnung (in m) ein!? 2

Geben Sie d. re. Grenze der Stromsummenberechnung (in m) ein!? 3

Geben Sie das Inkrement (die Schrittweite) (in m) ein!? .01

2.280 m	2.164884		
2.290 m	2.165393		
2.300 m	2.165850		
2.310 m	2.166252		
2.320 m	2.166601		
2.330 m	2.166895		
2.340 m	2.167136		
2.350 m	2.167323		
2.360 m	2.167456		
2.370 m	2.167536		
2.380 m	2.167561		
		2.390 m	2.167532
		2.400 m	2.167449
		2.410 m	2.167312
		2.420 m	2.167121
		2.430 m	2.166875
		2.440 m	2.166576
		2.450 m	2.166221
		2.460 m	2.165812
		2.470 m	2.165349

Break in 440

Ok

Bild 14.14

summe gedruckt, solange sie fällt. Also muß die letzte Zahl der linken Spalte das Maximum angeben. Der gesuchte Speisepunkt liegt bei 2,38 m, denn dort ist die Stromsumme mit 2,167561 am größten. Das Programm STROMSU2.BAS ergab für den Speisepunkt nur etwa 2,5 m. Die 12 cm Unterschied spielen aber in der Praxis keine große Rolle.

Das Programm STROMSU4.BAS (Bild 14.15) berechnet uns die Ströme einer einzigen Frequenz, wenn die Länge der Antenne und der Speisepunkt bereits bekannt sind. Damit können die Werte der vorherigen Programme verifiziert und eventuell korrigiert werden. Als Bei-

```

10 '-----
20 '
30 ' Berechnung der Ströme an beiden Seiten der Speisestelle einer Strom-
40 ' summenantenne, des Durchschnitts der Ströme und der Differenz der
50 ' Ströme für e i n e Frequenz
60 '-----
70 '
80 '
90 ' File : Stromsu4.BAS      Autor: Karl H. Hille      24. Apr. 2000
100 '
110 REM Einzelströme von Stromsummenantennen
120 CLS
130 PI = 3.141592654#      : RAD = PI / 180      : K = 2 * PI
140 PRINT "Geben Sie die Länge L in Metern ein!"
150 INPUT L
160 PRINT "Geben Sie die Frequenz F in MHz ein!"
170 INPUT F
180 PRINT "Eingeben: Abstd.in Metern v. linken Ende bis z. Speisestelle!"
190 INPUT LLM
200 PRINT "Geben Sie den Verkürzungsfaktor ein, z.B. 0,95!"
210 INPUT V
220 PRINT""
230 REM LLM = Länge Links Meter = linker Abschnitt der Antenne
240 REM LRM = Länge Rechts Meter = rechter Abschnitt der Antenne
250 REM LDA = Lambda. LLL = Länge Links in Lambda. LRL = Länge rechts in Lambda
260 REM IL = Strom Links am Speisepunkt. IR = Strom Rechts am Speisepunkt
270 REM IM = arithmetisches Mittel der Ströme IL und IR
280 REM DI = Differenz des rechten und des linken Stromes am Speisepunkt
290 LRM = L - LLM
300 LDA = 300 / F
310 IF L < LDA*V/2 THEN 320 ELSE 340
320 PRINT"Die Antenne ist kürzer als Lda/2. Das geht nur mit Einschränkung!"
330 END
340 LLL = LLM / LDA
350 LRL = LRM / LDA
360 IL = ABS ( COS ( K * ( LLL - V / 4 ) ) )
370 IR = ABS ( COS ( K * ( LRL - V / 4 ) ) )
380 IM = SQR (IL*IR) : DI = ABS(ABS(IL) - ABS(IR))
390 IL = INT(IL*1000 + .5) / 1000
400 IR = INT(IR*1000 + .5) / 1000
410 IM = INT(IM*1000 + .5) / 1000
420 DI = INT(DI*1000 + .5) / 1000
430 PRINT""
440 'PRINT USING "L###.## LLM###.## LRM###.## F##.### V .## IL .### IR .### IM
.### DI #.###";L,LLM,LRM,F,V,IL,IR,IM,DI
450 PRINT"Länge des Strahlers in Metern      L=";L;"m"
460 PRINT"Frequenz im MHz                    f=";F;"MHz"
470 PRINT"Länge links vom Speisepunkt in Metern LLM=";LLM;"m"
480 PRINT"Länge rechts vom Speisepunkt in Metern LRM=";LRM;"m"
490 PRINT"Verkürzungsfaktor                  V=";V
500 PRINT"Strom links vom Speisepunkt        IL=";IL
510 PRINT"Strom rechts vom Speisepunkt       IR=";IR
520 PRINT"Geometrisches Mittel der Ströme   IM=";IM
530 PRINT"Differenz der beiden Ströme       DI=";DI
540 END

```

Bild 14.15

spiel ist die 28,5 m lange Stromsummen-Antenne für die WARC-Bänder gewählt worden. Wir sehen die Ergebnisse für die drei einzelnen Bänder 10,1/18,1/24,9 MHz ausgedruckt.

Die Ergebnisse 1 (Bild 14.16) und 2 (Bild 14.17) sprechen für sich selbst. Die Differenzen der beiden Ströme links und rechts vom Speisepunkt liegen unter 0,5 und sind damit gut zu brauchen. Am kleinsten ist diese Strom-Differenz bei 24,9 MHz.

```

Geben Sie die Länge L in Metern ein!
? 28.5
Geben Sie die Frequenz F in MHz ein!
? 10.1
Eingeben: Abstd.in Metern v. linken Ende bis z. Speisestelle!
? 2.38
Geben Sie den Verkürzungsfaktor ein, z.B. 0,95!
? .96

```

```

Länge des Strahlers in Metern      L= 28.5 m
Frequenz im MHz                    f= 10.1 MHz
Länge links vom Speisepunkt in Metern LLM= 2.38 m
Länge rechts vom Speisepunkt in Metern LRM= 26.12 m
Verkürzungsfaktor                  V= .96
Strom links vom Speisepunkt        IL= .536
Strom rechts vom Speisepunkt       IR= .64
Geometrisches Mittel der Ströme   IM= .586
Differenz der beiden Ströme       DI= .104
Ok

```

```

Geben Sie die Länge L in Metern ein!
? 28.5
Geben Sie die Frequenz F in MHz ein!
? 18.1
Eingeben: Abstd.in Metern v. linken Ende bis z. Speisestelle!
? 2.38
Geben Sie den Verkürzungsfaktor ein, z.B. 0,95!
? .96

```

```

Länge des Strahlers in Metern      L= 28.5 m
Frequenz im MHz                    f= 18.1 MHz
Länge links vom Speisepunkt in Metern LLM= 2.38 m
Länge rechts vom Speisepunkt in Metern LRM= 26.12 m
Verkürzungsfaktor                  V= .96
Strom links vom Speisepunkt        IL= .822
Strom rechts vom Speisepunkt       IR= .514
Geometrisches Mittel der Ströme   IM= .65
Differenz der beiden Ströme       DI= .308
Ok

```

Bild 14.16

```

Geben Sie die Länge L in Metern ein!
? 28.5
Geben Sie die Frequenz F in MHz ein!
? 24.9
Eingeben: Abstd.in Metern v. linken Ende bis z. Speisestelle!
? 2.38
Geben Sie den Verkürzungsfaktor ein, z.B. 0,95!
? .96

```

```

Länge des Strahlers in Metern      L= 28.5 m
Frequenz im MHz                    f= 24.9 MHz
Länge links vom Speisepunkt in Metern LLM= 2.38 m
Länge rechts vom Speisepunkt in Metern LRM= 26.12 m
Verkürzungsfaktor                  V= .96
Strom links vom Speisepunkt        IL= .965
Strom rechts vom Speisepunkt       IR= .899
Geometrisches Mittel der Ströme   IM= .931
Differenz der beiden Ströme       DI= .065
Ok

```

Bild 14.17

15. Stromsummen-Antenne in Baukastenform

Auf meinen letzten vier (von sieben) Reisen durch den Pazifik hatte ich stets eine Stromsummen-Antenne dabei. Die grundlegende Antenne war für das Hauptband 14 MHz ausgelegt und 42,3 m lang. Sie wurde stets nach Europa gerichtet. An günstig gelegenen Orten wurde die Antenne so weit wie möglich verlängert. Dazu hatte ich zwei Verlängerungen zu je 42,8 m und zwei Verlängerungen zu je 21,4 m dabei. Die Hauptantenne wurde in 8,0 m Abstand von einem Ende mit 450- Ω -Bandkabel gespeist (Wireman). Das Bandkabel konnte bis auf 40 m verlängert werden (Bild 15.1). Alle Strahler waren aus 1,6-mm-Bronzelitze, ein hochfestes US-Fabrikat (US-Army). Jedes Antennenende war mit einem Stabisolator aus Bakelite und entweder mit versilbertem Stecker oder versilberter Buchse ausgerüstet. Bei Stellungswechsel von einer Südseeinsel zur nächsten wurde zu allererst die 42,3-m-Hauptantenne hochgezogen, und der DX-Betrieb konnte beginnen. Erst am nächsten Tag wurde die Antenne verlängert und zur Langdrahtantenne ausgebaut. Dazu wurden die Isolatoren mit Draht verbunden und Buchse mit Stecker zusammengesteckt.

Das Baukastensystem gestattet folgende abgerundete Antennenlängen: 42 m/63 m/84 m/105 m/126 m/147 m/168 m, die bis zur vollen Länge auch tatsächlich erfolgreich angewandt worden sind. Die Verlängerungen sind etwas länger als die Hauptantenne, um die Gesamtlänge für die hohen Frequenzen günstiger zu gestalten. Die niedrigen Frequenzen verhalten sich in ihrer Anwendung recht gutartig; aber auch die hohen Frequenzen haben in Langdrahtantennen niemals Probleme bereitet, weil sie im Langdraht durch Abstrahlung weitgehend aufgebraucht werden und kaum mehr zurück reflektiert werden.

Die Speisung des 450- Ω -Bandkabels ist auf verschiedene Weise möglich. Gut bewährt haben sich symmetrische Antennenkoppler, die vom 50- Ω -Koaxkabel auf symmetrischen Ausgang umsetzen. In den ersten Jahren verwendete ich den oben vorgestellten Transmatch und dahinter einen Balun 1:4, später einen Balun 1:6. Beim Einspeisen von 500 Watt bekam ein industriell gefertigter Balun 1:6 einen Schluß, weil der lackisolierte Dynamodraht die Spannung nicht aushielt. Nach diesem Vorfall wickelte ich mehrere Baluns 1:1 mit teflonisolierter,

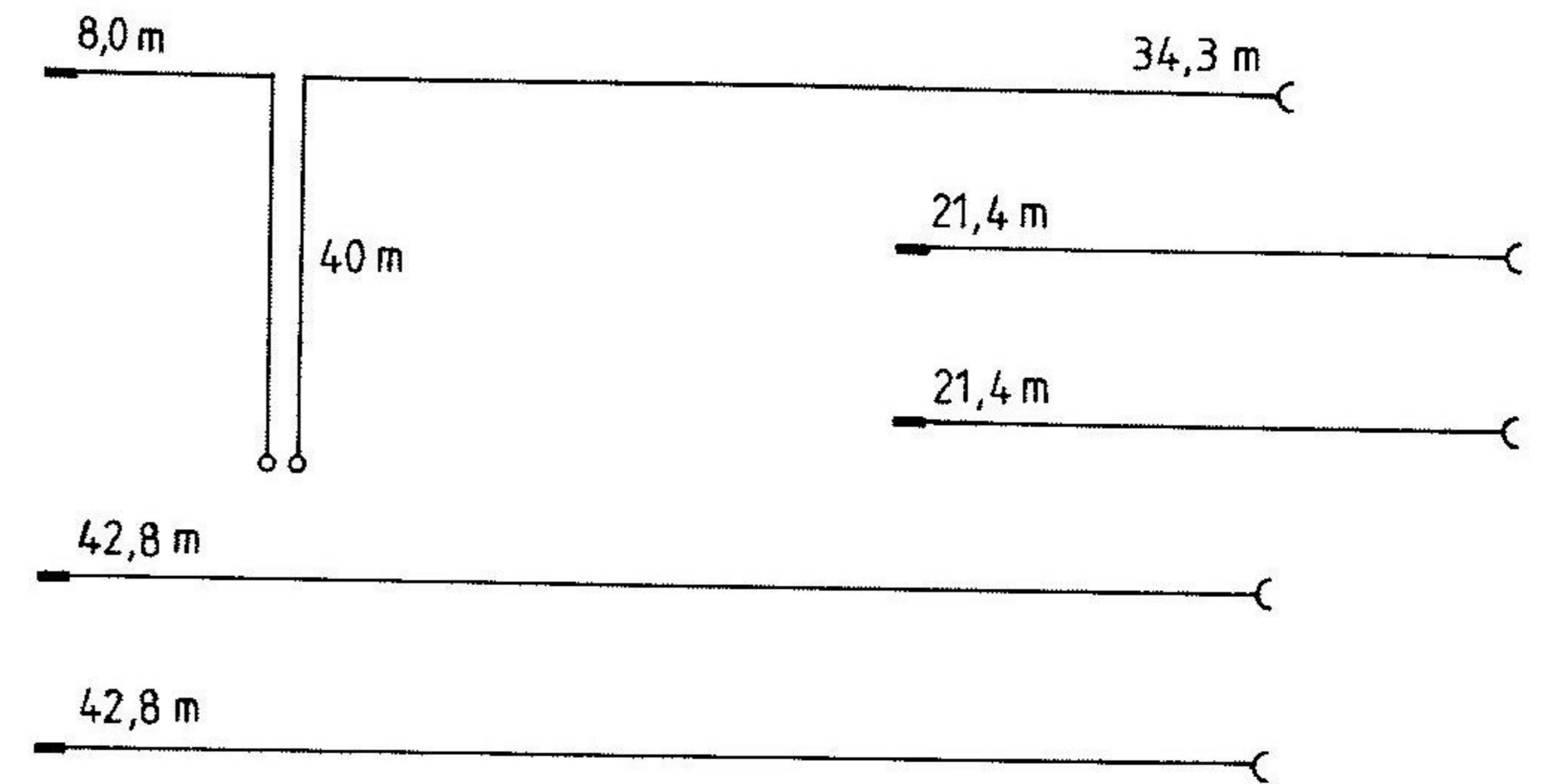


Bild 15.1: Erweiterbare Stromsummenantenne in Baukastenform

versilberter Litze, 19 x 0,2 mm. Diese Baluns haben bis heute jede Beanspruchung ausgehalten, so daß ich die Kombination: spannungsfester Balun 1:1 und Transmatch nur empfehlen kann.

16. Die Stromsloper-Antenne

Es gibt Sonderfälle, die das Aufstellen einer Stromsummen-Antenne nicht zulassen. Meistens ist zu wenig Platz vorhanden. Um auch dort eine Antenne zu errichten, die im Maximum des Stromes oder doch wenigstens in dessen Nähe gespeist wird, wurde die Idee der Stromsummen-Antenne auf solche eindrähtigen Antennen angewandt. Wie Bild 16.1 demonstriert, werden Stromsloper-Antennen stets gegen eine niedrige Impedanz erregt. Sie sind also die Umkehrung der Fuchs-Antenne, die im Spannungsbauch gespeist wird. Am besten, aber nicht immer verfügbar, ist die Erregung gegen die Erde oder ein vergrabenes oder wenigstens erdnahe Radialsystem (a). Dabei kann der Strahler als L-Antenne geknickt sein (b), wobei das Verhältnis des horizontalen Teiles zum vertikalen Teil etwa 1:1 sein sollte, um beste Ergebnisse zu bringen. Die schräge Verspannung (c) gab dieser Antenne den Namen. Die Stromsloper-Antenne kann auch sehr gut von der Höhe in die Tiefe gehen (d). Wichtig ist dabei die niedrige Gegenimpedanz, die aus der Parallelschaltung von Metallmast und der Metallmasse der Richtantenne besteht. Holzmasten und Bäume bieten diese niedrige Gegenimpedanz nicht, sie sind deshalb auch nicht dazu geeignet. Eine

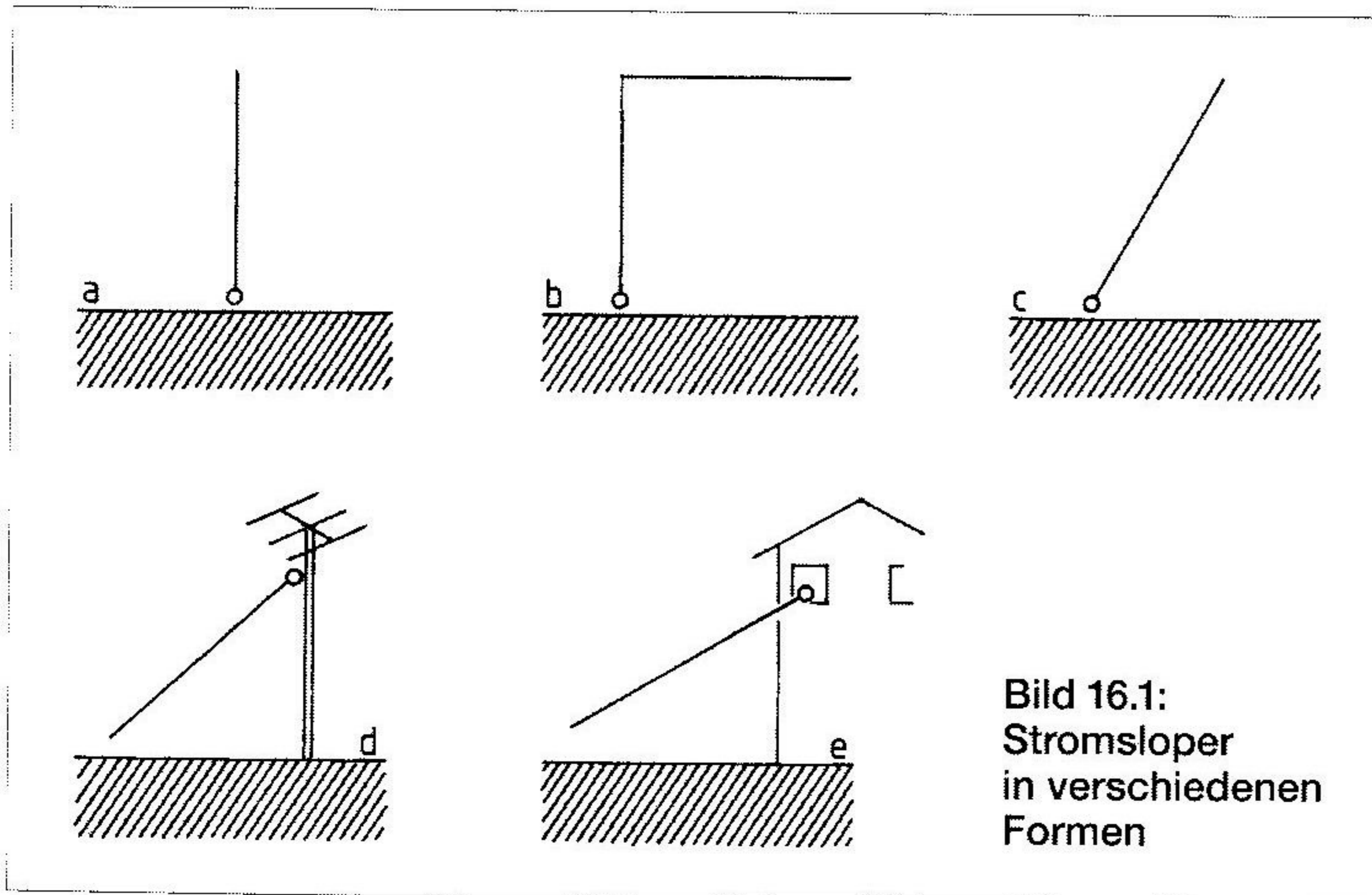


Bild 16.2: Abstimmbares Radial

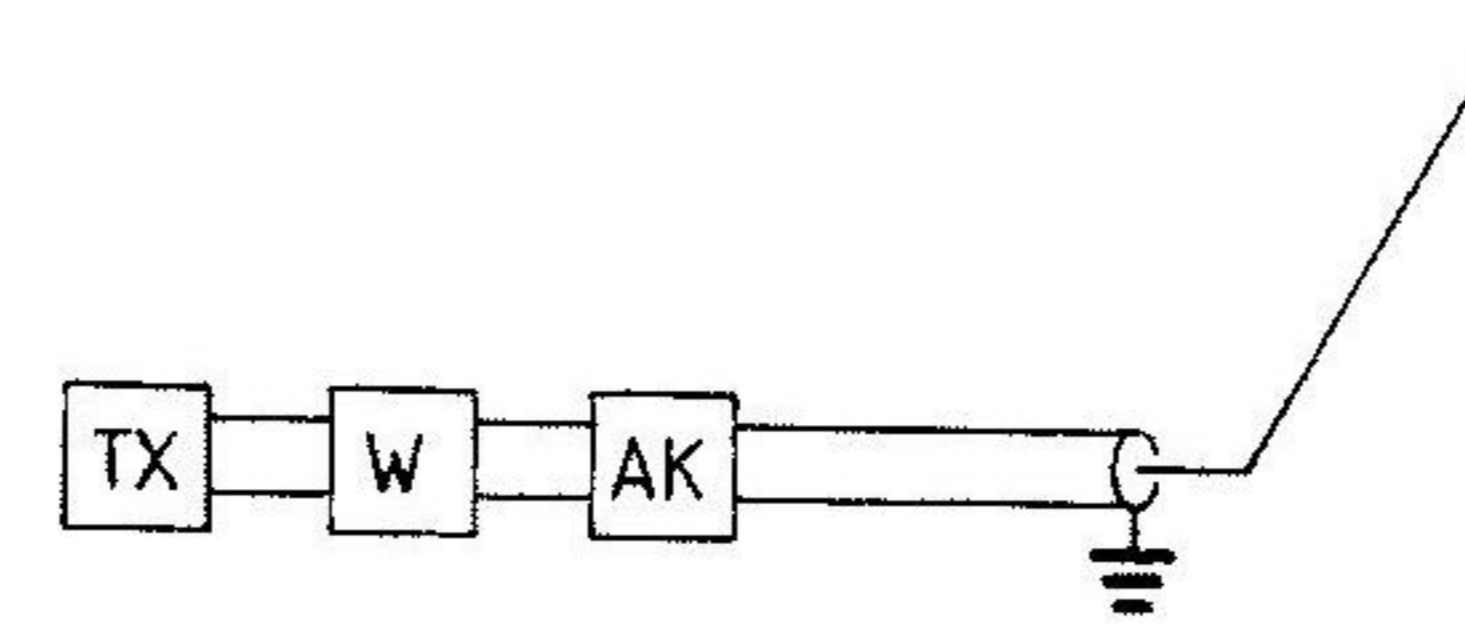
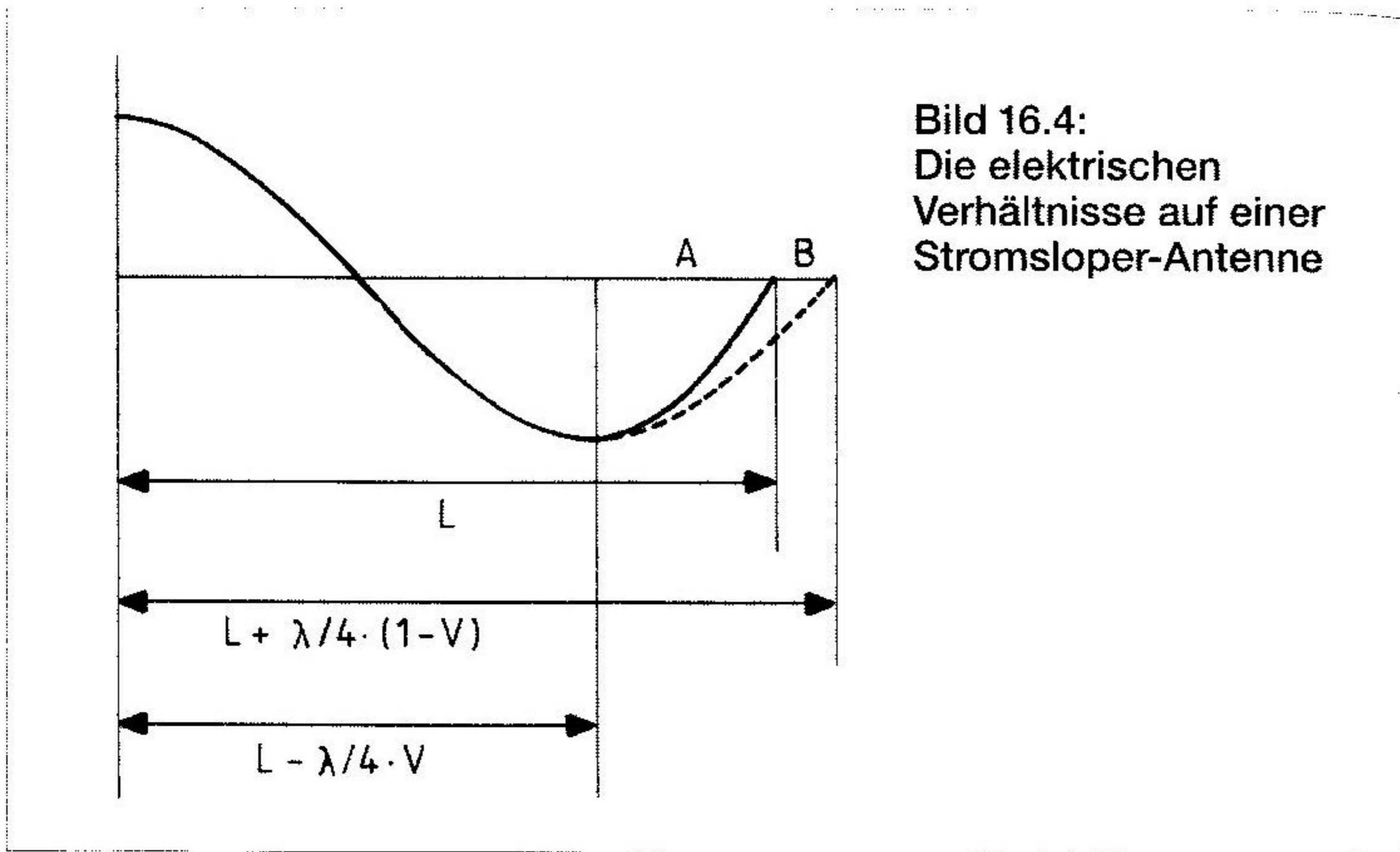


Bild 16.3: Speisung eines Stromslopers mit Koaxialkabel

Hilfsmaßnahme ist es, den Holzmast mit einem Blitzableiterdraht zu versehen und diesen als Gegengewicht zu verwenden. Aber auch dann kann der Holzmast mit einem Metallmast nicht konkurrieren. Eine Stromsloper-Antenne kann auch von der Station aus weggespannt werden (e). In diesem Fall liegt das Problem in einem wirkungsvollen, niederohmigen Gegengewicht. Dies kann die Wasserleitung, das Rohrsystem der Warmwasserheizung, ein Draht, der eine Viertelwelle der niedrigsten Arbeitsfrequenz lang ist, ein mit Serienschwingkreis abgestimmtes Radial (Bild 16.2), ein Metallbett, der Stahlrahmen eines Klaviers oder etwas ähnliches sein. Empfehlenswert ist die Parallelschaltung mehrerer solcher Gegengewichte. Wirkungsvoll, aber nicht erlaubt, ist es, den Schutzleiter der Elektroinstallation oder das Telefonkabel als Gegengewicht zu gebrauchen.

Wie die Stromsloper-Antenne aufgehängt wird, ist für die Wirkungsweise völlig gleichgültig. Sie kann horizontal, vertikal, gestreckt, geknickt oder gebogen montiert werden. Dies ändert zwar die Abstrahlcharakteristik, aber nicht das Prinzip dieser Antenne. Die Speisung der Stromsloper-Antenne erfolgt am besten unmittelbar am Ende des Strahlers über einen Antennenkoppler, wie z.B. der oben beschriebene Transmatch oder ein T-Glied. Die Antenne kann auch über ein Koaxialkabel gespeist werden (Bild 16.3). Es ist jedoch ein möglichst hochwertiges Kabel zu verwenden, um auch bei den zu erwartenden höheren Welligkeiten die Verluste niedrig zu halten. Ausschlaggebend ist dabei nicht mehr die Welligkeit auf dem Kabel, sondern die Welligkeit zwischen Antennenkoppler und Transceiver, die bei einiger Sorgfalt immer auf $s = 1$ zu bringen sein wird.



Um die Wirkungsweise des Stromslopers klar zu verstehen, betrachten wir Bild 16.4. Der Strahler wird links in einem Strommaximum gespeist und ist rechts frei aufgehängt. Die Länge des Strahlers ist L , hier $3/4 \lambda$. Rechts sehen wir die Verkürzung durch den Endeffekt. Die Strecken $A + B$ ergeben zusammen eine Viertelwelle. A ist die um den Verkürzungsfaktor v verkleinerte Viertelwelle. $A = v \cdot \lambda / 4$; B ist der durch die Verkürzung wegfallende Rest. $B = \lambda / 4 - A$; $B = \lambda / 4 - v \cdot \lambda / 4$. Daraus ergibt sich: $B = \lambda / 4 \cdot (1 - v)$. Die Gesamtlänge des unverkürzten Strahlers ist daher: $L_{ges} = L + \lambda / 4 \cdot (1 - v)$. Der Strom auf dem unverkürzten Strahler ist ein Sinusstrom, der uns bei der Berechnung und Optimierung der Stromsloper-Antenne dienlich ist.

17. Programme zur Stromsloper-Antenne

Nach den bei den Stromsummenantennen erwähnten Grundsätzen sind auch für die Stromsloper-Antennen Programme zur Dimensionierung entwickelt worden. Wir gehen dabei von einer gegebenen Länge des Strahlers aus.

Das Programm STRODRAL.BAS (Bild 17.1) stellt für jede einzelne

```

10 '-----
20 '
30 'Die Ströme der einzelnen Frequenzen auf einer an einem Ende stromgespeiste
40 'Langdrahtantenne und die Darstellung am Bildschirm, Vollsicht für Strahler
50 '                               bis zu 62 m Länge
60 '
70 '-----
80 'File : STRODRAL.BAS           Autor: Karl H. Hille           21. Mai 2000
90 'PI = 3.141592654#           : CLS           : SCREEN 2
100 'INPUT"Geben Sie die Länge der Antenne in Meter ein!";L
110 'INPUT"Geben Sie den Verkürzungsfaktor ( 0 bis 1 ) ein!";VV
120 'INPUT"Geben Sie die Frequenzen ein! Wenn zu Ende, bitte 0 eingeben!";F
130 'IF F = 0 THEN 280
140 'A = A - 2
150 'IP = 0
160 '
170 '           FOR LAL = 0 TO L STEP .1
180 '               LDA = 300 / F
190 '               REM LAMBDA = LDA, LINKE LAENGE = LAL
200 '               P = ( LAL / LDA - VV / 4 ) * 2 * PI
210 '               REM STROMSTÄRKE AN DER LINKEN KLEMME = IP
220 '               IP = ABS ( COS ( P ) )
230 '               IF IP > .5 THEN 230 ELSE 260
240 '               X = INT(LAL * 10)
250 '               Y = 130 + A
260 '               PSET (X,Y)
270 '           NEXT LAL
280 'GOTO 120
290 'LINE (0,150)-(0,130)
300 'LINE (10,140 )-(10,130 ) : LINE (20,140)-(20,130) : LINE (30,140)-(30,130)
310 'LINE (40,140 )-(40,130) : LINE (50,145)-(50,130) : LINE (60,140)-(60,130)
320 'LINE (70,140 )-(70,130) : LINE (80,140)-(80,130) : LINE (90,140)-(90,130)
330 'LINE (100,150 )-(100,130) : LINE (110,140)-(110,130) : LINE (120,140)-(120,13)
340 'LINE (130,140 )-(130,130) : LINE (140,140)-(140,130) : LINE (150,145)-(150,13)
350 'LINE (160,140 )-(160,130) : LINE (170,140)-(170,130) : LINE (180,140)-(180,13)
360 'LINE (190,140 )-(190,130) : LINE (200,150)-(200,130) : LINE (210,140)-(210,13)
370 'LINE (220,140 )-(220,130) : LINE (230,140)-(230,130) : LINE (240,140)-(240,13)
380 'LINE (250,145 )-(250,130) : LINE (260,140)-(260,130) : LINE (270,140)-(270,13)
390 'LINE (280,140 )-(280,130) : LINE (290,140)-(290,130) : LINE (300,150)-(300,13)
400 'LINE (310,140 )-(310,130) : LINE (320,140)-(320,130) : LINE (330,140)-(330,13)
410 'LINE (340,140 )-(340,130) : LINE (350,145)-(350,130) : LINE (360,140)-(360,13)
420 'LINE (370,140 )-(370,130) : LINE (380,140)-(380,130) : LINE (390,140)-(390,13)
430 'LINE (400,150 )-(400,130) : LINE (410,140)-(410,130) : LINE (420,140)-(420,13)
440 'LINE (430,140 )-(430,130) : LINE (440,140)-(440,130) : LINE (450,145)-(450,13)
450 'LINE (460,140 )-(460,130) : LINE (470,140)-(470,130) : LINE (480,140)-(480,13)
460 'LINE (490,140 )-(490,130) : LINE (500,150)-(500,130) : LINE (510,140)-(510,13)
470 'LINE (520,140 )-(520,130) : LINE (530,140)-(530,130) : LINE (540,140)-(540,13)
480 'LINE (550,145 )-(550,130) : LINE (560,140)-(560,130) : LINE (570,140)-(570,13)
490 'LINE (580,140 )-(580,130) : LINE (590,140)-(590,130) : LINE (600,150)-(600,13)
500 'LOCATE 20,1 : PRINT"0" : LOCATE 20,68 : PRINT"Meter"
510 'LOCATE 20,12 : PRINT"10" : LOCATE 20,25 : PRINT"20" : LOCATE 20,38 : PRINT"30"
520 'LOCATE 20,50 : PRINT"40" : LOCATE 20,63 : PRINT"50" : LOCATE 20,75 : PRINT"60"
530 'END

```

Bild 17.1

```

Geben Sie die Länge der Antenne in Meter ein!? 25.7
Geben Sie den Verkürzungsfaktor ( 0 bis 1 ) ein!? .96
Geben Sie die Frequenzen ein! Wenn zu Ende, bitte 0 eingeben!? 3.5
Geben Sie die Frequenzen ein! Wenn zu Ende, bitte 0 eingeben!? 7
Geben Sie die Frequenzen ein! Wenn zu Ende, bitte 0 eingeben!? 14
Geben Sie die Frequenzen ein! Wenn zu Ende, bitte 0 eingeben!? 21
Geben Sie die Frequenzen ein! Wenn zu Ende, bitte 0 eingeben!? 28
Geben Sie die Frequenzen ein! Wenn zu Ende, bitte 0 eingeben!? 0

```

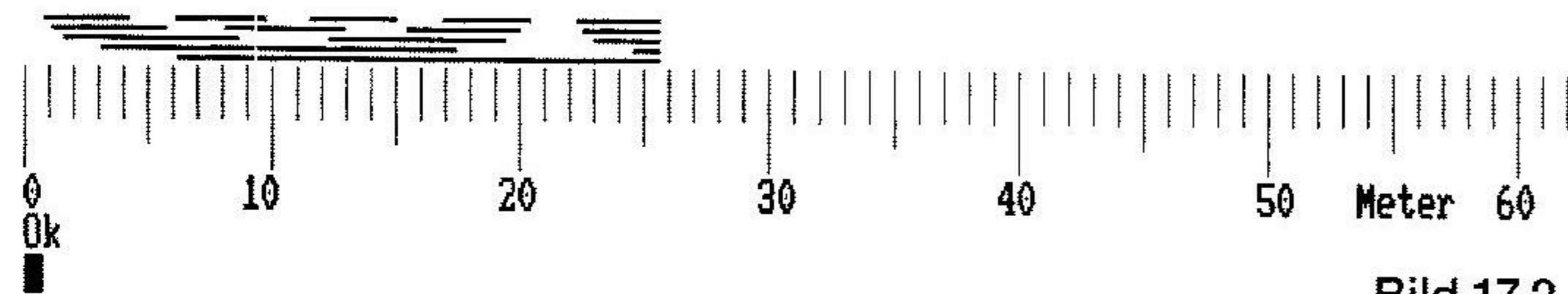


Bild 17.2

Frequenz die Stromstärke auf dem Strahler in Form eines Balkens dar, aber nur, wenn der Strom mehr als 50% des Maximums hat. Damit ergibt sich eine Übersicht über alle Ströme, aus der wir ersehen können, ob die Länge des Strahlers günstig ist oder nicht. Dazu dient uns das Beispiel einer 25,7 m langen Stromsloper-Antenne (Bild 17.2). Der 25,7-m-Strahler soll die klassischen Bänder 3,5/7/14/21/28 MHz ab-

```

Geben Sie die Länge der Antenne in Meter ein!? 21
Geben Sie den Verkürzungsfaktor ( 0 bis 1 ) ein!? .96
Geben Sie die Frequenzen ein! Wenn zu Ende, bitte 0 eingeben!? 10.1
Geben Sie die Frequenzen ein! Wenn zu Ende, bitte 0 eingeben!? 18.1
Geben Sie die Frequenzen ein! Wenn zu Ende, bitte 0 eingeben!? 24.9
Geben Sie die Frequenzen ein! Wenn zu Ende, bitte 0 eingeben!? 0

```

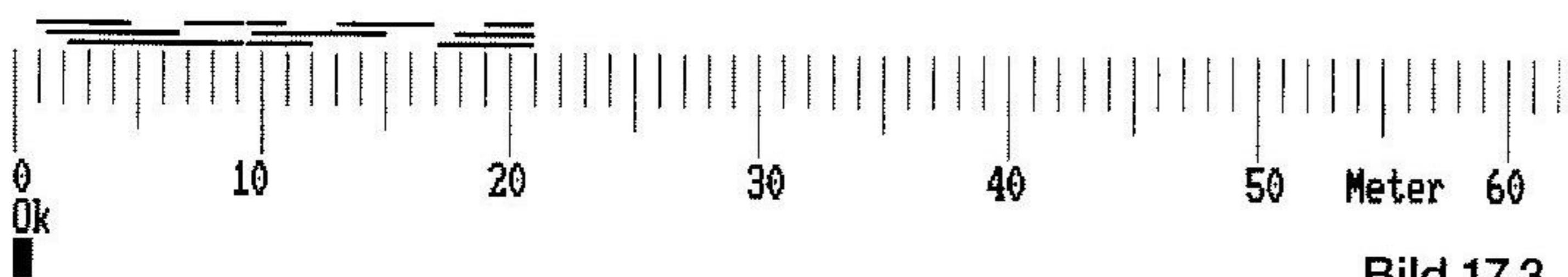


Bild 17.3

strahlen. Rechts liegt das eingespeiste Ende des linearen Strahlers. Wir sehen, daß alle Frequenzen einen Strom von > 50% des maximalen Stromes ergeben. Damit ist die Länge des Stromslopers günstig gewählt. Wer meint, noch eine bessere Länge zu finden, kann dies mit 25,6 m / 25,8 m / 25,9 m versuchen und jedesmal den Bildschirm kontrollieren. Eine andere, gute Länge wäre nach dem Ausdruck noch $l = 17$ m, weil diese auch sämtliche Balken senkrecht schneidet.

In Bild 17.3 ist der Stromsloper 21 m lang. Rechts liegt der Speisepunkt. Dort ergeben alle WARC-Frequenzen mehr als 50% des Strom-Maximums. Die Länge des Strahlers ist gut gewählt worden.

Das Programm STRODRA2.BAS (Bild 17.4) druckt die Stromstärke für eine einzige Frequenz aus. Damit können wir beurteilen, wie günstig die Antenne bei einer diskreten Frequenz abschneidet.

Als Beispiel (Bild 17.5) ist ein Stromsloper für die drei WARC-Bänder 10,1/18,1/24,9 MHz gewählt worden, der 21 m lang ist. Die Ergebnisse sind außerordentlich günstig; denn die abgehenden Ströme sind 0,979/0,986/1,0 also ganz nahe dem möglichen Strom-Maximum. Diese Antenne kann also an ihrem Ende stets mit hohem Strom sehr niederohmig gespeist werden, und das auf allen drei Bändern.

```

10 '-----
20 '
30 ' Berechnung des Stromes an der linken Seite der Speisestelle einer
40 ' Stromdrahtantenne für eine einzige Frequenz
50 '
60 '-----
70 '
80 ' File : Strodra2.BAS          Autor: Karl H. Hille          24. Apr. 2000
90 '
100 CLS
110 PI = 3.141592654#           : RAD = PI / 180           : K = 2 * PI
120 PRINT "Geben Sie die Länge L in Metern ein!"
130 INPUT L
140 PRINT "Geben Sie die Frequenz F in MHz ein!"
150 INPUT F
160 PRINT "Geben Sie den Verkürzungsfaktor V ein, z.B. 0,95!"
170 INPUT V
180 PRINT""
190 REM LDA = Lambda. I = Strom im Speisepunkt
200 LDA = 300 / F : LL = L / LDA
210 I = ABS ( SIN ( K * ( LL + .25 * ( 1 - V ) ) ) )
220 I = INT(I*1000 + .5) / 1000
230 PRINT""
240 'PRINT USING "L###.## F###.### V .## I .### ";L,F,V,I
250 PRINT"Länge des Strahlers in Metern          L =";L;"m"
260 PRINT"Frequenz im MHz                        f =";F;"MHz"
270 PRINT"Verkürzungsfaktor                    V =";V
280 PRINT"Strom im Speisepunkt                  I =";I
290 END

```

Bild 17.4

Geben Sie die Länge L in Metern ein!
 ? 21
 Geben Sie die Frequenz F in MHz ein!
 ? 10.1
 Geben Sie den Verkürzungsfaktor V ein, z.B. 0,95!
 ? .96

Länge des Strahlers in Metern L = 21 m
 Frequenz im MHz f = 10.1 MHz
 Verkürzungsfaktor V = .96
 Strom im Speisepunkt I = .979
 Ok

Geben Sie die Länge L in Metern ein!
 ? 21
 Geben Sie die Frequenz F in MHz ein!
 ? 18.1
 Geben Sie den Verkürzungsfaktor V ein, z.B. 0,95!
 ? .96

Länge des Strahlers in Metern L = 21 m
 Frequenz im MHz f = 18.1 MHz
 Verkürzungsfaktor V = .96
 Strom im Speisepunkt I = .986
 Ok

Geben Sie die Länge L in Metern ein!
 ? 21
 Geben Sie die Frequenz F in MHz ein!
 ? 24.9
 Geben Sie den Verkürzungsfaktor V ein, z.B. 0,95!
 ? .96

Länge des Strahlers in Metern L = 21 m
 Frequenz im MHz f = 24.9 MHz
 Verkürzungsfaktor V = .96
 Strom im Speisepunkt I = 1
 Ok

Bild 17.5

Quellen und Literatur

- [1] V. D. und E. B. Landon, W8VN, »Capacity Coupling to Operate the Antenna at its Fundamental«, QST, Juni 1923, Seite 22
- [2] H. M. Williams, W9BXQ, »The Hertz Antenna at 20 and 40 Meters«, QST, Juli 1925, Seite 24
- [3] R. S. Kruse, »Feeding the Antenna«, QST, Juli 1926, Seite 11
- [4] W. L. Everitt and J. F. Byrne, »Single-Wire Transmission Lines for Short-Wave Antennas«, Proceedings of the Institute of Radio Engineers, Band 17, Nr. 10, Oktober 1929, Seiten 1840 ff.
- [5] L. G. Windom, W8GZ/W8ZG, »Notes on Etheral Adornments«, QST, September 1929, Seiten 19 ff
- [6] K. H. Hille, DL1VU, »Der Dipol in Theorie und Praxis«, 2. Aufl., Theuberger Verlag GmbH, Berlin 1998, Seiten 47 ff
- [7] R. Kollak, H. Wehde, »DASD Kurzwellen-Antennen«, Weidmannsche Verlagsbuchhandlung, Berlin 1938, Seiten 82 ff
- [8] Dr. J. Fuchs, Fr. J. Fasching, »Signalbuch für den Kurzwellenverkehr«, Verlag Fr. J. Fasching, Wien, Ausgabe 1941, Seite 120
- [9] »Antennas and Antenna Systems«, War Department Technical Manual TM 11-314, Washington D.C. 1943, Seiten 80 ff
- [10] Helmut Bürkle, »Handbuch für den Kurzwellenamateur«, Weidmannsche Verlagsbuchhandlung, Berlin 1950, Seiten 131 ff
- [11] Gustav Blaeser, DL1GX, »Die Windom-Antenne«, Das DL-QTC, DARC-Verlag, Januar 1952, Seiten 9 ff
- [12] »The ARRL Antenna Book«, ARRL, Newington, CT 06111, 1970
- [13] »Radio Handbook«, W. I. Orr, W6SAI, 20. Aufl. 1975, Verlag Editors and Engineers, Indianapolis, IND 46268, Seite 27.6
- [14] »Rothammels Antennenbuch«, Bearbeiter Al. Krischke, Verlag Franck-Kosmos, Stuttgart, 11. Auflage, 1995, ISBN 3-440-07018-2, Seiten 176 ff
- [15] »The ARRL Antenna Book«, ARRL, Newington, CT 06111, 1997, ISBN 0-87259-613-3, Seite 7 – 20
- [16] Meinke/Gundlach, »Taschenbuch der HF-Technik«, Springer-Verlag, 2. Aufl., Berlin 1962, Seite 216
- [17] Stöcker, »Taschenbuch mathematischer Formeln und moderner Verfahren«, Verlag Harri Deutsch, Frankfurt a. M., 3. Aufl. 1995, Seite 264

- [18] Gerd Janzen, »Kurze Antennen«, Franck-Verlag, Stuttgart 1986, Seite 20
- [19] S. Issakowitsch-Kosta, »Anpassung von Speiseleitungen an Kurzwellen-Sendeantennen« in Elektrische Nachrichten Technik (ENT), Band 10, Heft 1, 1933
- [20] August Hundt, »Short Wave Radiation Phenomena«, McGraw-Hill Book Company Inc., New York, N. Y., 1952, Band I, Seiten 466 ff
- [21] G. S. Ajsenberg, »Kurzwellenantennen«, Fachbuchverlag Leipzig, 1954, Seite 118
- [22] R. R. Schellenbach, »A new Antenna Twist – The Windom J-L«, QST, Jan 1984, Seiten 37 ff
- [23] R. R. Schellenbach, »The Windom J-L revisited, QST, May 1985, Seiten 46 ff
- [24] G. Schwarzbeck, »Eine ideale Zweibandantenne«, QRV, 10/1950, Seiten 364 ff
- [25] F. Spillner, »Die FD4-Windomantenne«, QRV, 0/1971, Seiten 13 ff
- [26] R. B. Grove, »A Wider Windom«, 73 Magazine, Sept. 1980
- [27] A. Klüß, »Kurzwellen-Drahtantennen für Funkamateure«, Verlag für Technik und Handwerk, Baden-Baden, 1995, Seiten 76 ff
- [28] T. Sorbie, »The FD4-Windom«, Antenna Handbook, G-QRP-Club, 1992, Seiten 90 ff
- [29] E. T. Red, »Kurzwellen-Drahtantennen selbst gebaut«, Beam-Verlag, Marburg, 1986, Seiten 34 ff
- [30] D. A. Benham, GW3ZFY, »3 Bands Antenna«, Antenna Handbook, G-QRP-Club, 1992, Seite 88
- [31] G. Janzen, DF6SJ, »Monopolantennen und Vertikalantennen«, Selbstverlag, Kempten, 1999
- [32] H. Scholle, DJ7SH, und R. Steins, DL1BBC, »Eine Doppel-Windom-Antenne für acht Bänder«, CQ-DL, 9/83, Seiten 427 ff
- [33] K. Schips, DL1DA, »Eine universale Unterdachantenne«, CQ-DL 10/92, S. 612 ff
- [34] L.B.Cebik, W4RNL, aus dem Internet



**AMATEURFUNK
TECHNIK & ANTENNEN
DIGEST**
REPRINT AUSGEWÄHLTER BEITRÄGE
DER JAHRGÄNGE

The Best of FUNKAMATEUR
155 der interessantesten
technischen Beiträge
aus den FUNKAMATEUR-
Jahrgängen 1980-92
in einem Buch!
Festeinband, 416 Seiten
24,5 x 18 cm, 59,40 DM
Sonderpreis für FUNKAMATEUR-Abonnenten
nur 49,00 DM (Bitte Abo-Nr. angeben)
Versand: 5 DM bei V-Scheck und Lastschrift;
11,50 DM bei Nachnahmeversand.
Bestellungen: FA-Leserservice, Berliner Str. 69
13189 Berlin, Fax (030) 44 66 94 69

**Optionale CD mit
Platinenlayouts
(.TIF) 15 DM**

Bandverstärker-Modul

Der Direktmischempfänger als Anfängerobjekt

KW-Allbandantenne mit ungestimmter Speiseleitung

Der Direktmischempfänger als Anfängerobjekt

Antennen-Meßtechnik

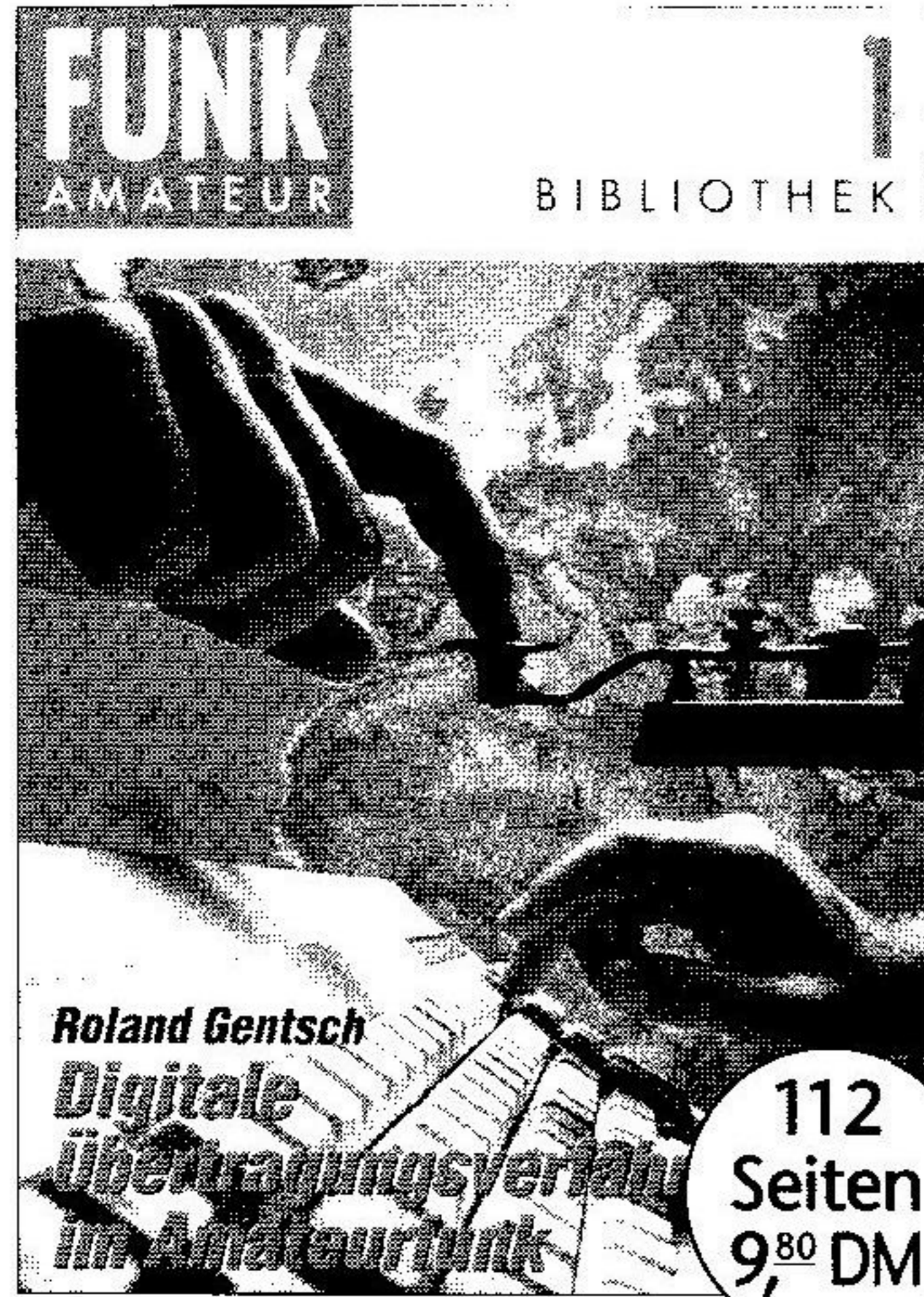
Antennen-Meßtechnik

Ausbreitung

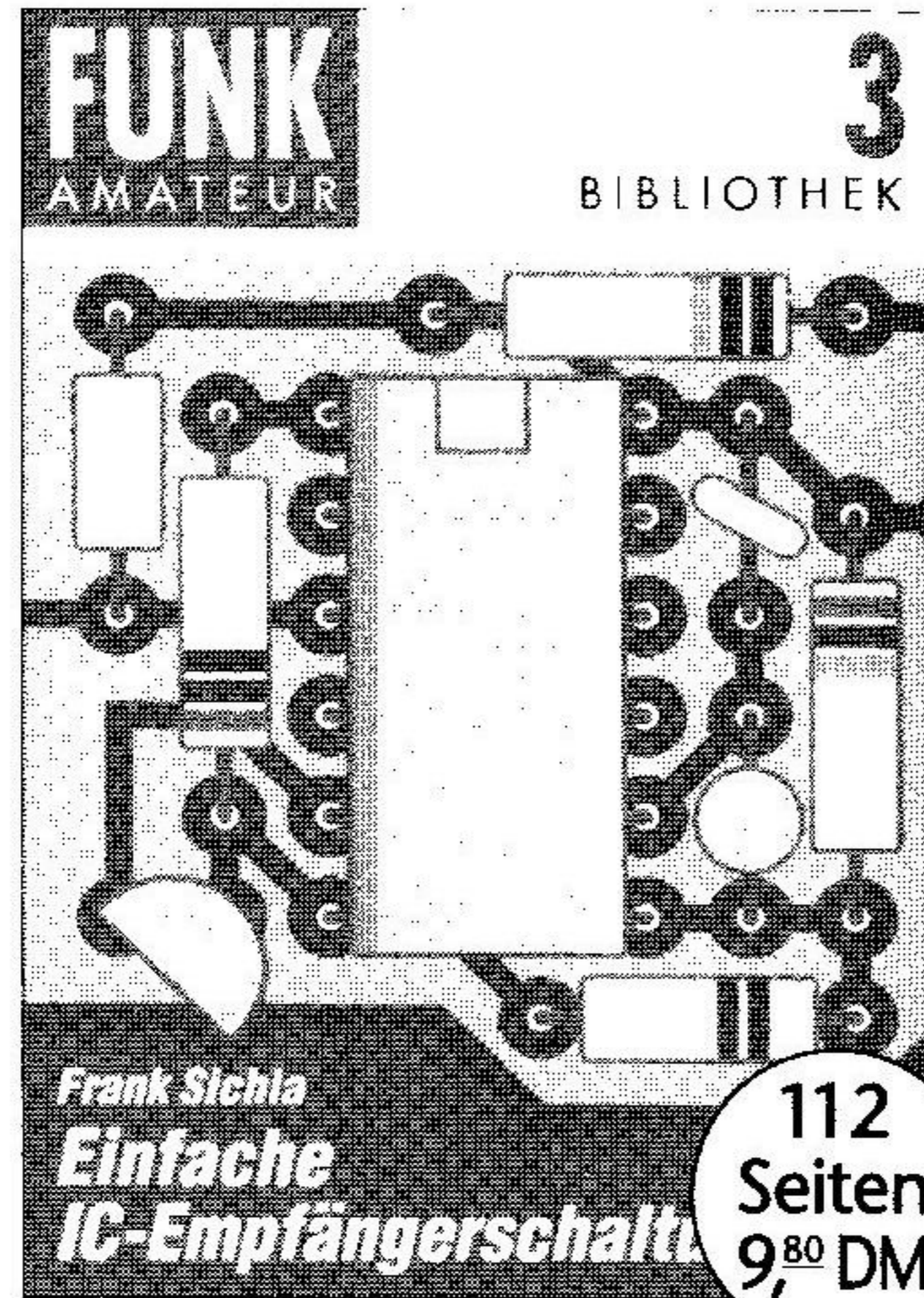
www.funkamateurl.de

Weitere Titel dieser Reihe bestellbar unter www.funkamateur.de.

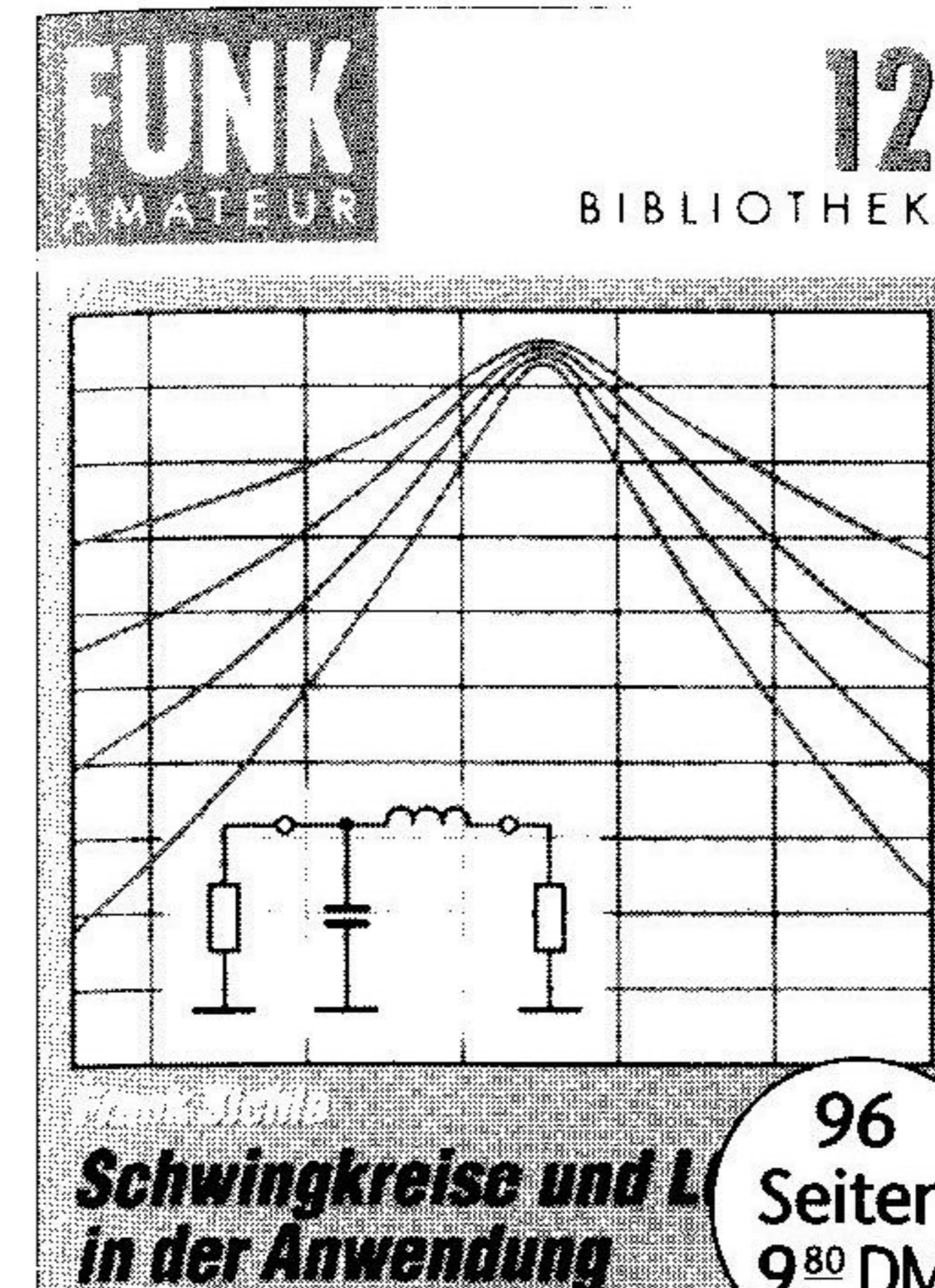
Weitere Titel dieser Reihe bestellbar unter www.funkamateur.de.



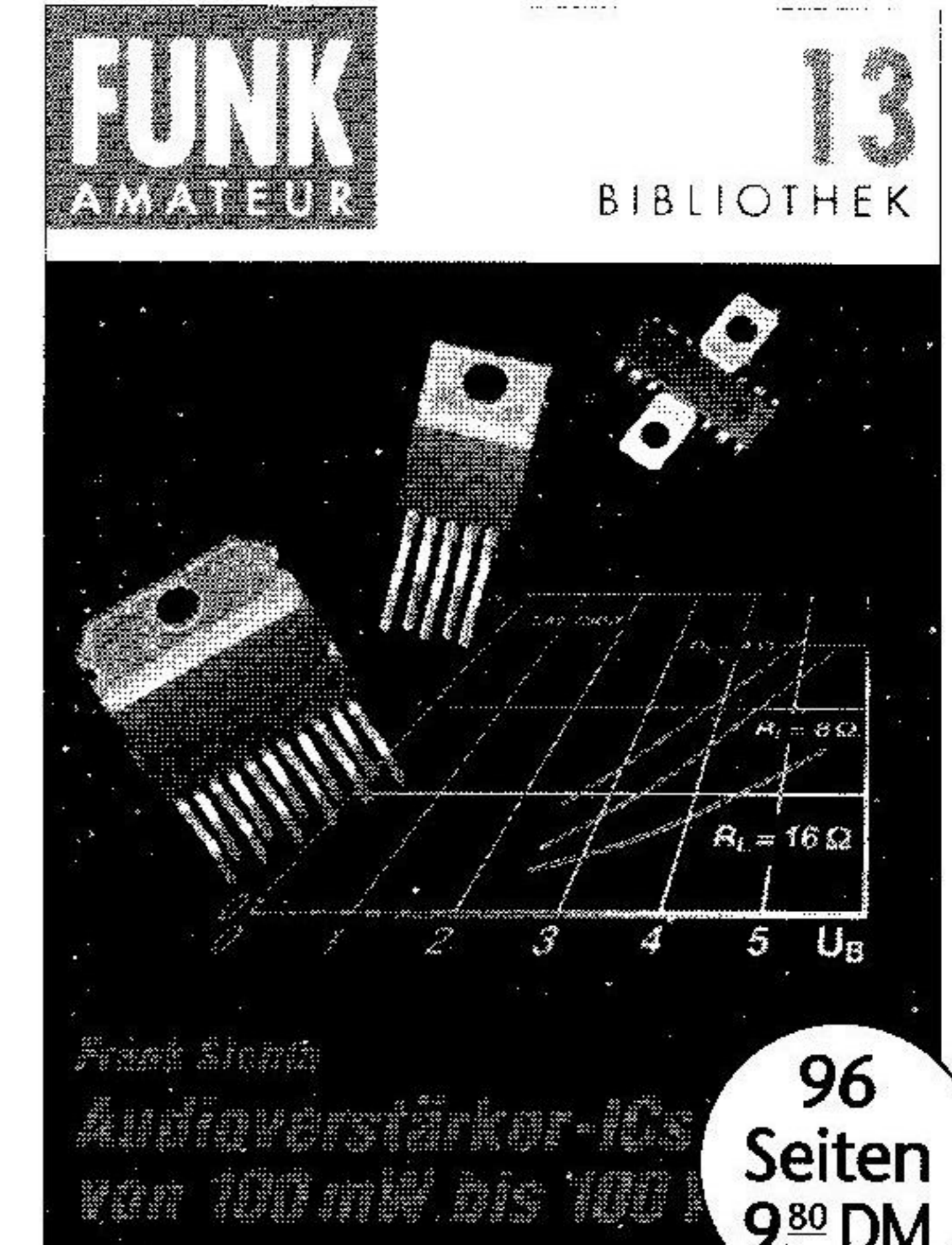
Digitale Übertragungsverfahren im Amateurfunk, R. Gentsch, DL6DGU, E. Barthels, DL2DUL



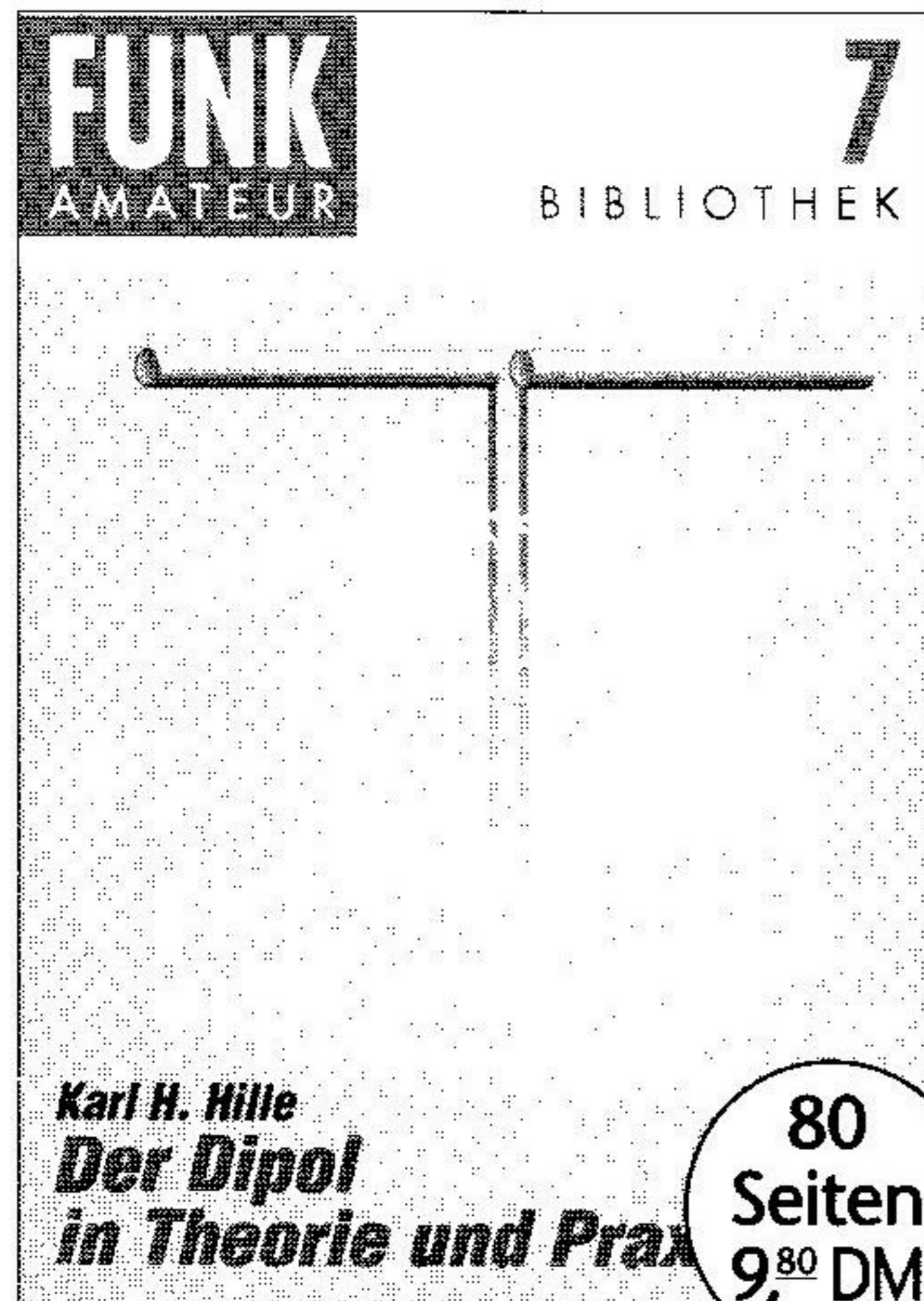
Einfache IC-Empfängerschaltungen, 2. erw. Aufl. F. Sichla, DL7VSF



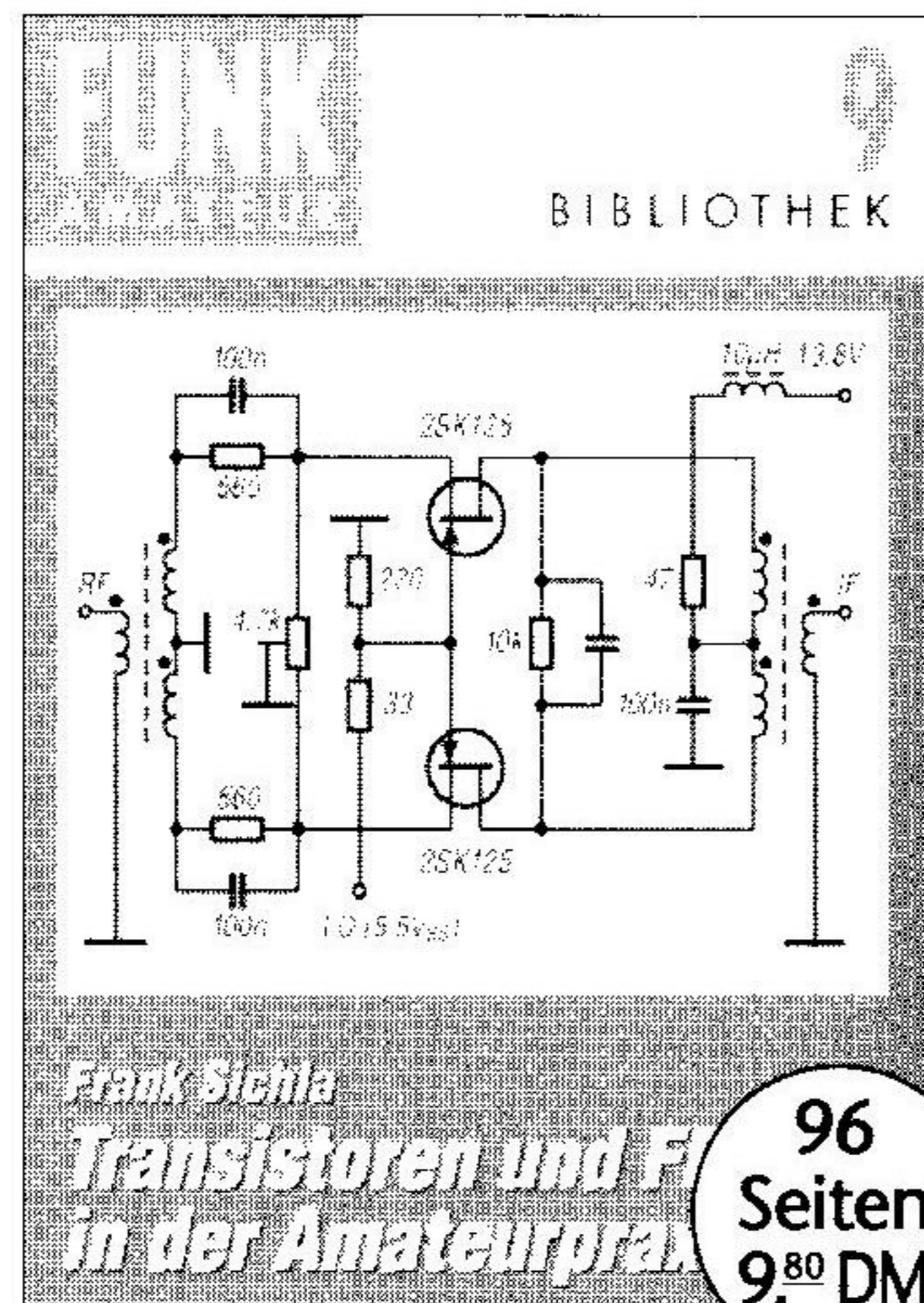
Schwingkreise und LC-Filter in der Anwendung, F. Sichla, DL7VSF, 12,0 x 17,5 cm



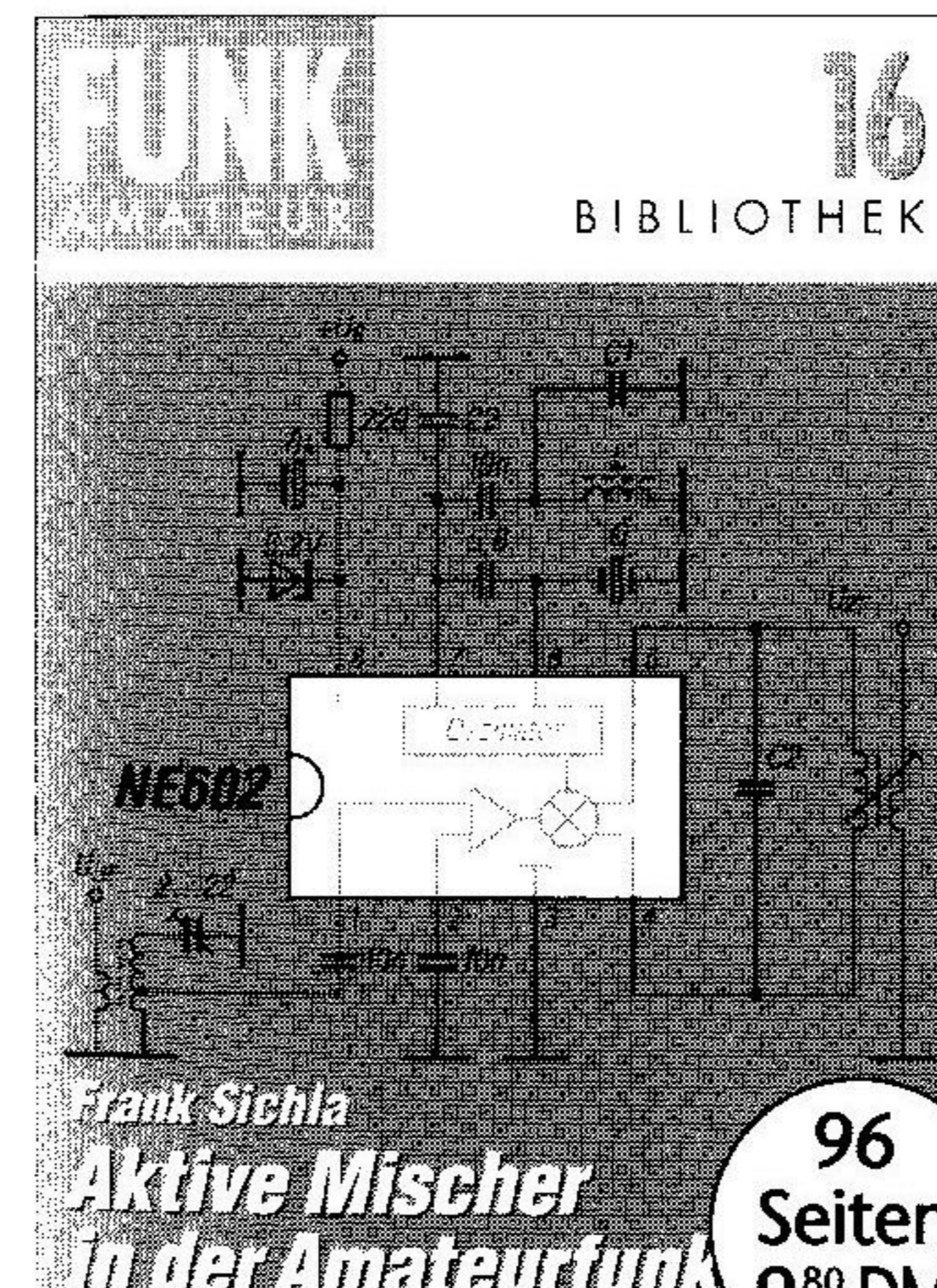
Audioverstärker-ICs von 100 mW bis 100 W, F. Sichla, DL7VSF, 12,0 x 17,5 cm



Der Dipol in Theorie und Praxis, K. H. Hille, DL1VU, 12,0 x 17,5 cm



Transistoren und FETs in der Amateurpraxis, F. Sichla, DL7VSF, 12,0 x 17,5 cm



Aktive Mischer in der Amateurfunkpraxis, F. Sichla, DL7VSF, 12,0 x 17,5 cm



Englisch für den Amateurfunk, Colin R. Hall, GM4JPZ (ex DJØZF), 12,0 x 17,5 cm