

Windom- und Stromsummen-Antennen und deren Erweiterung zur Allband-Antenne

©2006-2011 by DG0KW

Die am meisten verbreitete Variante dieses nach ihrem Erfinder L.G. Windom, W8GZ, benannten Antennentyps ist die um 1970 von Kurt Fritzel, DJ2XH, entwickelte FD4 mit einer Länge von 41,5 Meter. Diese Antenne kann auf 3,5/7/14/18,1/24,9/28 MHz verwendet werden. Seit dieser Zeit hat es immer wieder Versuche gegeben, diese Antenne auf das 21 MHz und das 10,1 MHz-Band zu erweitern. Hier wird nun eine wirklich praktikierbare Lösung beschrieben. Die Antenne kann damit ohne Eingriff in den Speisepunkt, um die fehlenden Bänder ergänzt, zur Allband-Antenne werden.

Bei Experimenten und Messungen an Stromsummen-Antennen, die zur Erstellung des Programms zur Stromsummen-Antennen-Berechnung [2] führten, bemerkte ich das abhängig von der Konstruktion der Antenne, ein bis zwei Frequenzbänder nicht brauchbar sind. In der Literatur wird nun vorgeschlagen, nach [1] das erste mal 1972 von F.Spillner (DJ2KY), eine zweite Windom-Antenne im Speisepunkt parallel zu schalten. Diese Windom ist im 30m- und im 15m-Band (4,69m + 9,38m = 14,07m), eine kleinere Version nur im 15m-Band (2,45m + 4,35m = 6,8m) resonant. Nach der Parallelschaltung der beiden Antennen verschlechterte sich das Stehwellenverhältnis (SWV, SWR) im 40m-Band auf 3 bis 4 und im 10m-Band auf 2 bis 3. Beide Bänder hatten vorher ein SWV von 1,3 oder besser. Bei der kleinen Version der Zweitwindom trat dieser Effekt im 20m-Band auf. Ein größerer Abstand und eine um 90° versetzte Richtung der Zweitwindom brachte keine nennenswerte Besserung. Die Messungen an der Doppel-Windom wurden direkt am Speisepunkt durchgeführt. Das etwas günstigere SWV in der Literatur im 40m-Band von 1,6 bis 3 ist wahrscheinlich auf die „verbessernde“ Wirkung eines, bei den Messungen verwendeten, längeren Antennenkabels zurück zu führen. Die Untersuchung der Doppel-Windom in einer Antennensimulation am PC erbrachte ähnliche Ergebnisse. Der 9,38m-Draht wirkt wahrscheinlich für sich noch als Viertelwellenstrahler im 40m-Band. Auch am PC war keine Lösung des Problems zu finden, was sehr bedenklich ist. Es musste also eine prinzipiell andere Lösung gefunden werden.

Vorher aber noch einige Sätze zum Verständnis der Windom-Antenne.

- **Kurzbeschreibung der Wirkungsweise der Windom-Antenne**

Ein auf der Grundwelle resonanter, in der Mitte gespeister Dipol, weist eine niederohmige Impedanz von etwa 50 Ω bis 80 Ω im Speisepunkt auf. Der Speisepunkt befindet sich im Strommaximum. Wird der Speisepunkt in die Richtung zum Ende des Antennendrahtes verschoben, so erhöht sich die Impedanz. Im Extremfall, am Ende des Antennendrahtes im Spannungsmaximum, kann diese einige tausend Ohm betragen. Dort gespeiste Antennen sind als endgespeister Dipol oder als endgespeiste Langdrahtantennen bekannt. Soll die Antenne für möglichst viele Frequenzbänder genutzt werden, so muss ein Speisepunkt zwischen der Mitte und dem Ende des Antennendrahtes gefunden werden, in dem auf allen Frequenzen ein möglichst hoher Antennenstrom fließt. Bei diesem Antennentyp liegt der Abstand des Speisepunktes vom Ende bei etwa einem Drittel der Antennenlänge (**Abb.1**).

Begünstigt wird die Wirksamkeit der 41 bis 42m langen Antenne durch die Resonanzfrequenzen. Diese liegen von 3 bis 50 MHz in, oder wenigstens in der Nähe, alle bekannten Amateurfunk-Bänder.

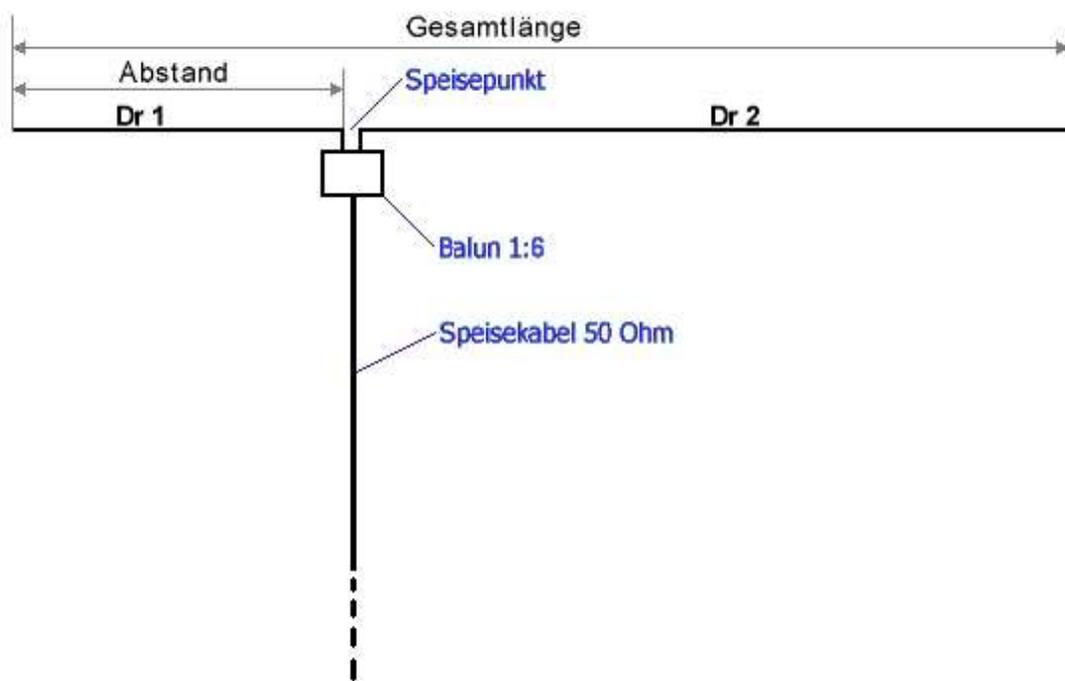


Abb.1: Ansicht einer symmetrisch gespeisten Windom-Antenne

In der **Tabelle 1** sind die wichtigsten neu ermittelten Maße der Windom-Antennen dargestellt.

Tabelle 1: Abmaße von Windom-Antennen bei $Z = 300 \Omega$ und unisolierten Drähten

Antenne Typ	Draht \varnothing Dr 1, Dr 2 [mm]	Gesamtlänge (Dr 1+Dr 2) [m]				in 10 m Höhe	Abstand Länge Dr 1 in 10 m Höhe [m]	Resonanz f_r [MHz]	SWV bestes, bei [MHz]			
		VF 0,97	0,95	0,93	0,91							
10-80 m „FD4“	3	41,94	41,73	41,51	41,30	41,62	13,80	14,200	14,30			
	2					41,63				13,81	14,200	14,28
10-40 m „FD3“	3	20,81	20,60	20,39	20,18	20,49	6,74	14,200	14,28			
	2					20,50				6,74	14,200	14,27
	1,4					20,51				6,75	14,200	14,27
10-160 m	3	83,90	83,68	83,47	83,26	83,58	27,82	14,250	14,26			

Bei einem Neubau einer solchen Antenne sollten Drahtlängen, die unter dem Verkürzungsfaktor $VF = 0,97$ stehen, verwendet werden. Diese Drähte können dann durch Kürzen auf Resonanz abgestimmt werden. Auf seiner tiefsten Resonanzfrequenz verhält sich die Antenne wie ein Dipol, auf den höheren Bändern wie eine Langdrahtantenne, auch erkennbar im Richtdiagramm. Eine umfangreiche Beschreibung der Wirkungsweise der Antenne ist in [1] zu finden.

- **Unterschiede zwischen einer Windom- und einer Stromsummen-Antenne**

Auch eine Windom-Antenne ist eine Stromsummenantenne und umgekehrt. K.H.Hille, DL1VU, schreibt dazu in [1]: „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.“

Bei der klassischen Windom wurde durch Versuche ab 1925 ein Speisepunkt gefunden, bei dem alle brauchbaren Bänder die gleiche Impedanz aufweisen. Dieser liegt um die 300 Ω . Aber zwei Bänder werden im Stromminimum gespeist und sind deshalb kaum brauchbar (z.B.: 21 u. 10,1 MHz). Dieser Speisepunkt ist in **Abb.2** bei 13,76 m mit dem roten Pfeil gekennzeichnet. Deutlich sind an dem Punkt die beiden Kurven im Minimum zu erkennen.

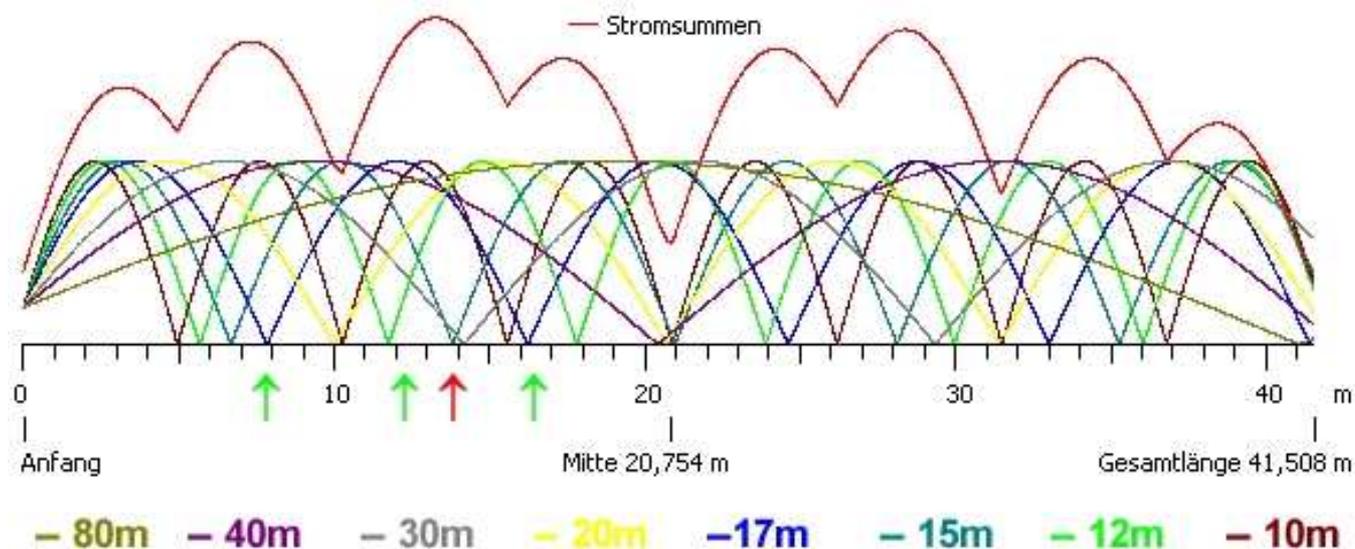


Abb.2: Stromkurven von acht Bändern auf einem 41,5-m-Strahler

Im Unterschied zur klassischen Windom-Antenne kann eine mit dem Programm zur Stromsummen-Antennen-Berechnung [2] berechnete Antenne auf fast allen Bädern angepasst werden. Es bleibt maximal ein Band mit schlechter Anpassung übrig. Die Impedanzen der Bänder teilen sich aber in zwei Gruppen auf. Die eine Gruppe um die 200 Ω und die andere Gruppe um die 400 Ω . Die Ausgangs-Impedanz des Balun, oder die Impedanz der Flachbandleitung zur Speisung der Antenne, wird zwischen diese beiden Gruppen auf die Durchschnitts-Summe der brauchbaren Bänder gelegt (ca. 300 Ω). Das SWV bleibt dabei meistens unter $s=2$. Diese Restwelligkeit lässt sich bereits mit einem einfachen handabgestimmten Antennenkoppler oder dem in vielen Tranceivern integrierten Antennentuner beseitigen. In die Details der Berechnungsergebnisse ist unter 'Anzeigen' einzusehen. Die möglichen Speisepunkte bei 7,4 m, bei 13,3 m und bei 17,35 m sind in **Abb.2** mit einem grünen Pfeil gekennzeichnet. Die Antenne, deren Kurven in **Abb.2** dargestellt sind, wurde für 14,22 MHz mit 4 Halbwellen bei einem VF von 0,935 einmal als klassische Windom und einmal auf maximale Stromsumme mit dem Programm [2] berechnet.

• Lösungswege

So schön das nun hinzugekommene Band auch sein mag, es fehlt immer noch ein Band. Schauen wir uns an, warum das so ist:

Ursachenforschung

Bei einer resonanten Antenne handelt es sich vereinfacht elektrisch um einen (offenen) Schwingkreis, bestehend aus einer Induktivität (Spule) und einer Kapazität (Kondensator). Nimmt man zwei Schwingkreise, beide auf verschiedene Frequenzen abgestimmt und schaltet diese elektrisch zusammen, so bleibt von den beiden Resonanzfrequenzen nicht mehr viel übrig. Versucht man nun den einen Schwingkreis abzustimmen, so verstimmt man damit auch den anderen Schwingkreis. Genau dieses geschieht bei dem direkten Zusammenschalten von Antennen im Speisepunkt.

Belast man jeden Schwingkreis für sich und legt diese nebeneinander, so beeinflussen sie sich gegenseitig kaum. Wird in den einen Schwingkreis ein Hochfrequenzstrom mit der Frequenz des anderen Schwingkreises eingespeist, so lässt sich in dem anderen Schwingkreis die Hochfrequenz, je nach

Abstand der Spulen zu einander, mehr oder weniger stark nachweisen. Dabei gibt es einen optimalen Abstand. Und genau dieses funktioniert auch bei Dipol- und Windom-Antennen. Da dort beide Komponenten des elektromagnetischen Feldes an der Kopplung zwischen zwei Antennen beteiligt sind, spricht man von Strahlungskopplung und das Strahlungsgekoppelte Element heißt in der angelsächsischen Literatur *open sleeve element*.

Die durchweg positiven Erfahrungen mit strahlungsgekoppelten Dipolen an mehreren Multiband-Dipol-Antennen [3][4] veranlassten mich nun diese auch bei Windom- und Stromsummen-Antennen anzuwenden.

Lösung 1: strahlungsgekoppelte Dipole

Aus der Berechnung einer Antenne mit dem Berechnungsprogramm [2] ist schon zu erkennen, ob eines der Bänder nicht optimal angepasst werden kann. Meistens handelt es sich dabei bei einer klassischen Windom-Antenne um das 15m- und das 30m-Band und bei einer Stromsummen-Antenne oftmals um das 17m-Band. Für dieses Band kann über das Menü '*Berechnen / strahlungsgekoppelter Dipol*' noch ein Zusatzdipol berechnet werden. Dabei wird die Drahtlänge des Strahlers sowie dessen Abstand zur Windom- oder Stromsummen-Antenne als Erreger-Dipol berechnet.

Bei der Berechnung und der Realisierung sind folgende Punkte zu beachten:

- Die (tiefste) Resonanzfrequenz des Erreger-Dipol muss kleiner als die des Zusatz-Dipol sein.
- Der Erreger-Dipol muss auf der Frequenz des Zusatz-Dipol eine möglichst hochohmige Impedanz aufweisen.
- Der Zusatz-Dipol muss sich mittig und symmetrisch zum Speisepunkt befinden.
- Der Zusatz-Dipol muss immer kürzer als der Erreger-Dipol sein und darf das Ende der Antenne nicht überragen.
- Die Eingaben zur Drahtisolierung und zur Berechnung des VF werden zur Berechnung mit übernommen.
- Es kann nur ein zusätzlicher Dipol ausreichend genau berechnet werden. Sollen zwei oder mehr strahlungsgekoppelte Dipole hinzu gefügt werden, so reichen die Abstandsberechnungen nur als grober Anhaltspunkt. Eigene Experimente sind dann notwendig.

Der prinzipielle Aufbau dieser Antenne ist in **Abb.3** dargestellt. Die Strahlungskopplung bringt keine Verluste mit sich. Das Gegenteil ist der Fall. Da an der Abstrahlung nicht nur der Zusatzdipol, sondern auch teilweise noch der Rest der Antenne beteiligt ist, kommt ein Gewinn in der Größenordnung von 0,5 dB gegen über einem normalen Dipol zustande.

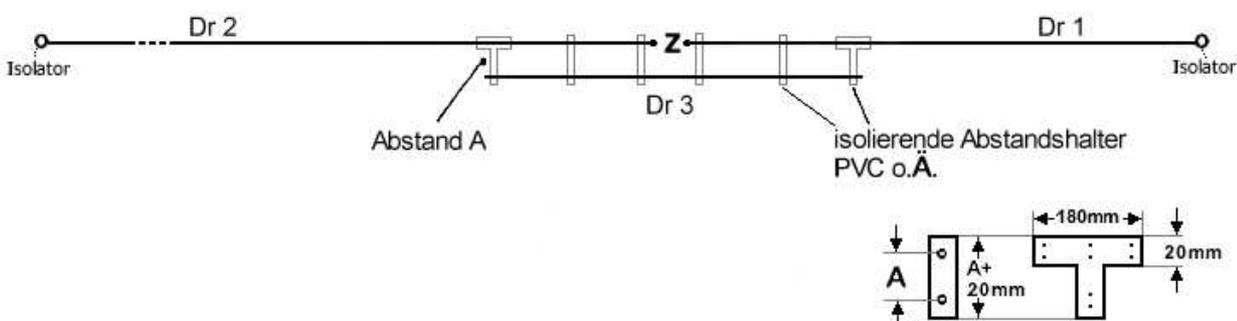


Abb.3: Windom-Antenne mit strahlungsgekoppelten Dipol

In der **Tabelle 2** sind einige berechnete und erprobte Maße aufgeführt. Dabei sind nur die Zusatzdipole für das 15m- und das 30m-Band für die „FD 4“ sinnvoll.

Für die „FD 3“ sind die Zusatzdipole für das 17m-, 15m- und das 12m-Band brauchbar, der 30m-Band-Dipol ist für diese Antenne zu lang.

Tabelle 2: Strahlungsgekoppelte Zusatzdipole bei $Z = 300 \Omega$ und unisolierten Drähten

Band / f_r [MHz]	Drähte \emptyset	Zusatzdipol-Länge Dr 3 [m]				In 10 m Höhe	Abstand A [mm]
		VF					
		0,97	0,95	0,93	0,91		
30 m / 10,130	a	14,36	14,07	13,77	13,48	13,33	376
	b					13,35	360
	c					13,36	349
17 m / 18,120	a	8,03	7,86	7,70	7,53	7,71	288
	b					7,72	276
	c					7,73	267
15 m / 21,200	a	6,86	6,72	6,58	6,44	6,46	268
	b					6,47	257
	c					6,48	249
12 m / 24,940	a	5,83	5,71	5,59	5,47	5,53	249
	b					5,53	238
	c					5,54	231

Drähte \emptyset : Erreger-Dipol [mm] / Zusatzdipol [mm]: a = 3 / 3 b = 3 / 2 c = 3 / 1,4

Der berechnete Draht (Dr 3) wird in dem ermittelten Abstand A mit isolierenden Abstandshaltern an der Antenne befestigt und ist elektrisch nicht mit der Antenne verbunden. Der kürzere erste Draht (Dr 1) beinhaltet die Länge bis zum Speisepunkt und der zweite Draht (Dr 2) vervollständigt die Antenne auf Resonanzlänge.

Bewährt hat sich die Befestigung des zusätzlichen Dipol an den Enden mit Abstandshaltern in T-Form (**Abb.4**) aus glasklarem Acryl („Plexiglas“) oder PVC. Die Antennendrähte werden jeweils durch zwei Bohrungen geführte, UV- beständige Kabelbinder, daran befestigt. Der obere mittlere Kabelbinder kann sicherheitshalber eine Ausführung aus Metall sein.

Der Abstandshalter wird so an dem Antennendraht befestigt, das wenn die Antenne gespannt wird, sich auch der Zusatz-Dipol spannt. Das sollte vorher am Boden getestet werden.

Bei der Verwendung von neuen verdrillten Antennenlitzen, die vorher noch nicht gespannt wurden, kann es in den ersten Tagen zu einem unschönen Effekt kommen. Mit der Dehnung des Drahtes verringert sich auch die Anzahl der Drillschläge pro Meter. Damit ist es möglich, dass der Antennendraht gerade an der Stelle, an der sich der Abstandshalter befindet, sich um seine Achse dreht. Es reicht dann eine Windböe und der Abstandshalter vollführt mit dem Zusatzstrahler eine Drehung um den Antennendraht. Dabei wird der Zusatzstrahler um den anderen Antennendraht gewickelt und seine Wirkung geht verloren. Die Erfahrung hat gezeigt, hat man diesen Fehler erst einmal wieder behoben, so tritt der Effekt nicht wieder auf.

Um dem aber vorzubeugen sollten der senkrechte Teil der Abstandshalter in T-Form etwa 20 bis 30mm länger bemessen werden. Am unteren Ende werden die Abstandshalter mit einer Bohrung für ein Gewicht versehen. Als Gewicht eignen sich kurze M8 oder M10 Schrauben mit einer oder auch zwei Muttern. Auch Bleigewichte aus dem Anglerbedarf (bis 30 Gramm) wurden schon verwendet. Auf die Funktion der Antenne haben die Gewichte keinen messbaren Einfluss.



Abb.4:
Ein Beispiel für einen
Abstandshalter in T-Form.

Die Abstandshalter zwischen dem T-förmigen Abstandshalter und der Anschlussdose können, auch wegen der geringeren Windlast, nur aus Angelsehne oder einem Perlonfaden bestehen. Eine solche Antenne ist im Detail in **Abb.5** dargestellt. Weitere Beispiele zur mechanischen Realisierung sind unter **[3][4]** zu finden.



Abb. 5:
Eine Antenne mit einem
strahlungsgekoppelten
Dipol für das 17 m-Band
im Detail

Der gleiche T-Abstandshalter, wenn möglich eine etwas stabilere Ausführung von minimal 250 mm Höhe, kann an der Rückseite der Antennendose befestigt, auch noch als Zugentlastung für das Koaxkabel dienen. Das Koaxkabel hängt mit seinem ganzen Gewicht sonst nur an dem Stecker und wird dadurch langsam heraus gerissen. Ein Beispiel dazu ist in **Abb.6** zu sehen. Bei der gezeigten Antennendose

handelt es sich um das original Balungehäuse einer „FD 4“, in dem sich aber ein 1:6-Balun von DG0SA mit integrierter Mantelwellensperre auf getrennten Ferritkernen befindet [5].



Abb.6:
Antennendose (Balun-
Gehäuse) mit einem T-
Abstandshalter zur
Zugentlastung des
Koaxkabels

Dem Koaxkabel ist auch noch einige Beachtung zu schenken. Aus oben genannten Gründen sollten nur leichte Kabeltypen wie das Aircell5, H155 oder maximal das Aircell7 verwendet werden. Der Kabeltyp RG58 ist nur bei kurzen Kabellängen und kleinen Sendeleistungen angebracht. Um eine unerwünschte Wirkung des Koaxkabels als Viertelwellentransformator auf einem der gewünschten Bänder gleich auszuschließen, kann mit dem Programm zur Koaxkablängen-Berechnung [6] eine günstige Kabellänge für alle Bänder berechnet werden. Einen guten Kompromiss stellt für eine Antenne von 10m bis 80m eine Kabellänge von rund $42,2m \cdot V_k$ des Kabels dar. Das ergibt zum Beispiel bei dem Kabeltyp *Aircell 5* ($V_k = 0,82$) eine Kabellänge von 34,6m. Diese Kabellänge kommt dem Umstand entgegen dass das Koaxkabel vom Antennenanschluss möglichst weit gerade nach unten führen soll. Erst dann sollte das Kabel ins Haus zum um TRx führen. Das vermeidet nachträgliche Einstrahlung der HF in das Kabel und damit Mantelwellen. Die Dämpfung des Kabels auf Kurzwelle ist bei der Länge trotzdem noch gering.

Es besteht auch die Möglichkeit mehrere Zusatzdipole räumlich versetzt um die Hauptantenne herum anzuordnen. Dabei reichen die Abstandsberechnungen nur als grober Anhaltspunkt. Eigene Experimente sind dann wegen möglicher gegenseitiger Beeinflussung der Dipole notwendig.

Die **Abb.7** zeigt eine elektrisch noch gut beherrschbare, mechanisch aber aufwendigere Möglichkeit, in **Abb.8** ist es umgekehrt.

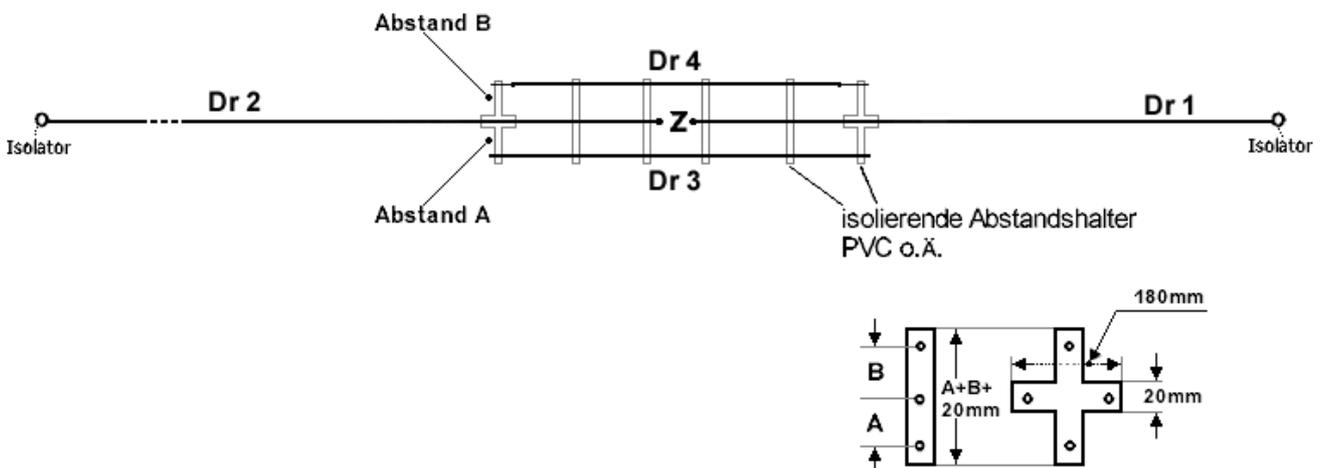


Abb.7: Windom-Antenne mit zwei optimal strahlungsgekoppelten Dipolen

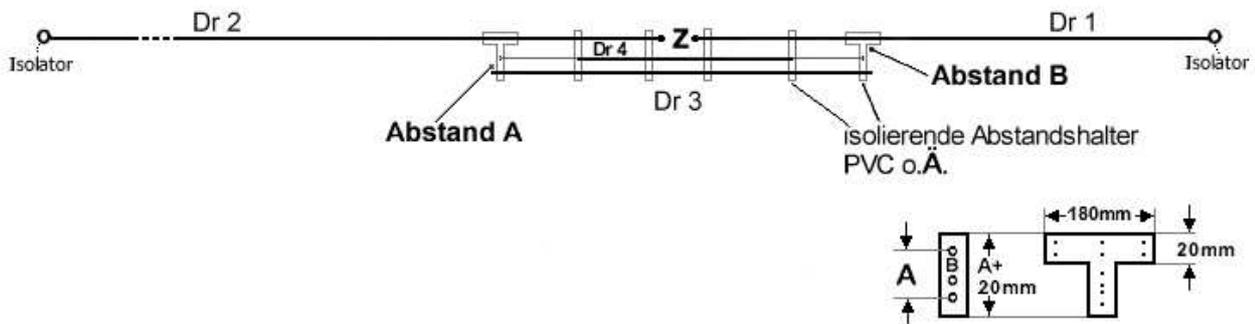


Abb.8: Windom-Antenne mit zwei strahlungsgekoppelten Dipolen. Diese Variante ist mechanisch einfacher zu realisieren.

Die **Tabelle 3** zeigt die dazu benötigten erprobten Maße für das 15m- und das 30m-Band.

Tabelle 3: Zwei Zusatzdipole bei $Z = 300 \Omega$ und unisolierten Drähten

Band	f_r [MHz]	Draht			Abstand		Bild
		Nr.	\varnothing [mm]	Länge bei $VF = 0,97$ [m]	A [mm]	B [mm]	
30m	10,13	Dr 3	1,4	14,36	385		7
					390		8
15m	21,2	Dr 4	1,4	6,86		280	7
						320	8

Diese Lösung besteht aber nicht nur für Windom und Stromsummenantennen, auch jeder andere Dipol lässt sich mit strahlungsgekoppelten Dipolen auf andere Bänder erweitern.

Die **Abb.9** zeigt die Kurve des gemessenen Stehwellenverhältnis (SWR) einer um einen strahlungsgekoppelten Dipol für das 17m-Band erweiterten Stromsummen-Antenne von 1,5 MHz bis 30 MHz. Diese Antenne arbeitet auf allen Kurzwellenbändern sowie auf den 6m-Band. Ein 6:1-Balun passt die Impedanz am Speisepunkt der Antenne an das 50 Ω -Koaxkabel (Aircell 7) mit einer Länge von 35m an. Die Antenne befindet sich in 10 Meter Höhe und der Zusatzdipol bei 18,1 MHz ist zum Zeitpunkt der Aufzeichnung der Kurve noch nicht optimal abgestimmt.

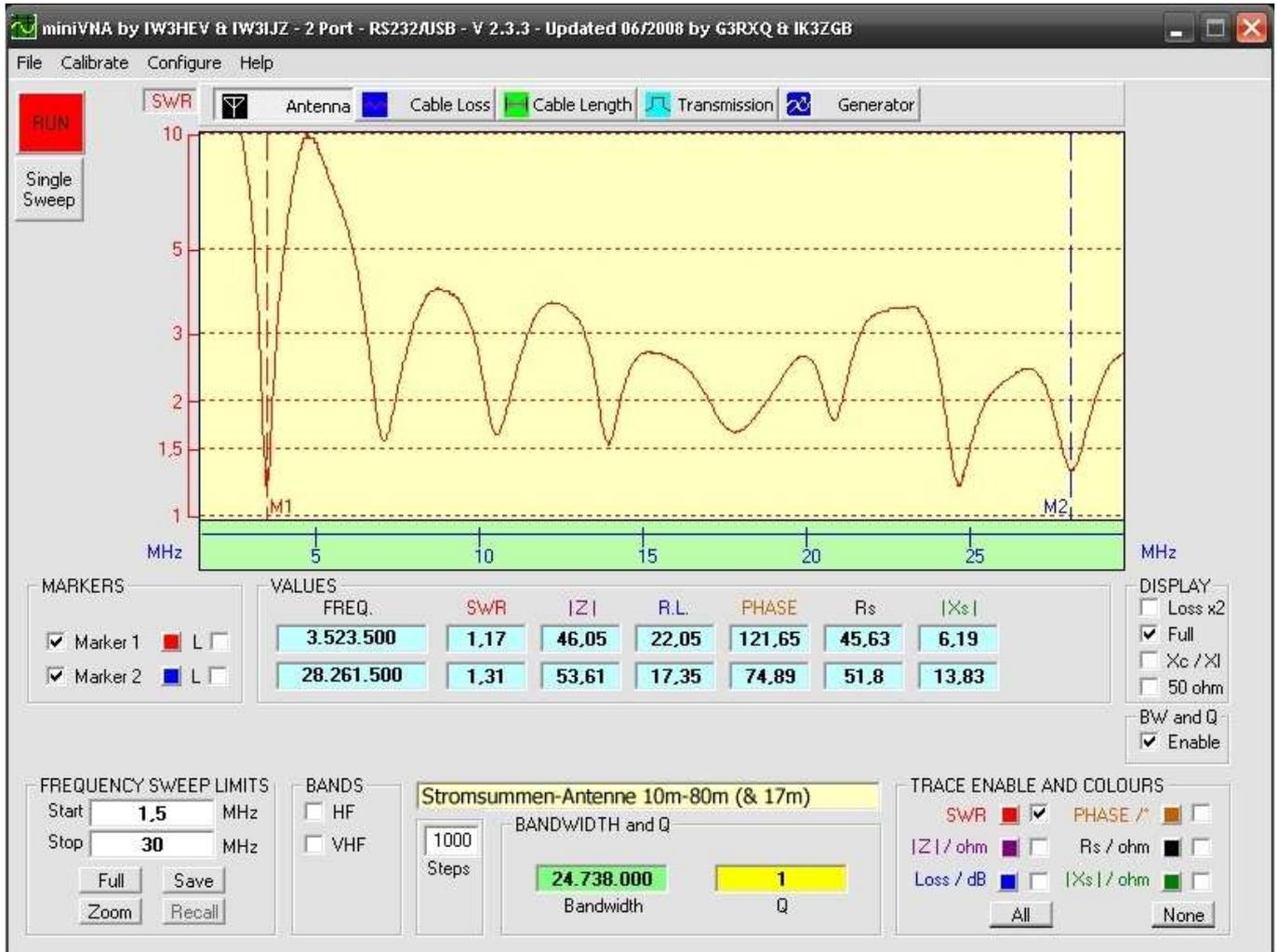


Abb.9: gemessenes SWV einer Stromsummenantenne mit strahlungsgekoppelten 17m-Band-Dipol von 1,5 bis 30 MHz.

Lösung 2: strahlungsgekoppelte zweite Windom-Antenne

Diese Lösung wird für Betreiber einer Doppel-Windom die einfachste Lösung für den Umbau der Antenne sein. Dazu sind die beiden Anschlüsse der zweiten Windom (4,69m + 9,38m = 14,07m) am Balun zu lösen und miteinander zu verbinden. Diese Windom wird dann in dem berechneten Abstand unter die große Windom („FD4“ o.ä.) gehängt, wobei der scheinbare Speisepunkt der kleineren Windom sich genau unter dem der großen Windom befinden muss. Dabei müssen die beiden langen Seiten der Antennen in die gleiche Richtung zeigen. Der Balun und das von dort nach unten führende Koaxkabel sollten ein paar Zentimeter Abstand zur zweiten Windom haben. Die Windom ist an dieser Stelle, im Gegensatz zum Dipol, für Hochfrequenz nicht „kalt“. Wer versucht hat die Probleme der Doppel-Windom durch Verändern der Drahtlängen zu beheben, wird nun fast wieder auf die ursprünglichen Maße kommen.

Da aber das 10,1 MHz-Band nicht harmonisch zu den anderen Bändern liegt, muss bei dieser Lösung ein Kompromiss eingegangen werden. Legt man besonderen Wert auf das 10,1 MHz-Band, so ist bei einer Resonanzfrequenz von 10,13 MHz eine Drahtlänge von 14,36 m notwendig. Ist das 21 MHz-Band von größerem Interesse oder wird die 160m-Band-Windom verwendet, so reicht eine Drahtlänge von 13,94 m für eine Resonanzfrequenz von 21,2 MHz (2 Halbwellen). Den Kompromiss stellt die bekannte Zweitwindom mit einer Länge von 14,07 m dar, die bei 21 MHz (2 Halbwellen) berechnet wurde. Dabei bleibt das SWV im 10,1 MHz-Band maximal um 2 und darunter. Alles bei einem Verkürzungsfaktor von 0,97 und unisolierten Draht berechnet. Die Vorgaben im Berechnungsprogramm [2] sind dabei: 21,0 MHz / 2 Halbwellen / VF=0,97 / Bänder [MHz] 10 u. 21 / • CW-Band / • gleiche Impedanzen.

Der scheinbare Speisepunkt liegt bei etwa einem Drittel der Drahtlänge. Der Abstand der beiden Antennen zueinander wird genau wie bei dem Zusatz-Dipol berechnet. Es hat sich die Berechnung des Abstandes für das in der Frequenz höher liegende Band bewährt. Da die Zweitwindom aber nicht symmetrisch zum Speisepunkt der großen Windom angeordnet wird, ist die Kopplung zwischen beiden Antennen geringer. Der Abstand muss um den Faktor Af gegenüber dem berechneten Wert verringert werden. Dieser Faktor wird mit der Näherung

$$A_f \approx \sin \left(\frac{IB_{[m]}}{IC_{[m]}} * 90^\circ \right)$$

berechnet. Dabei ist IB die Länge der kurzen Seite und IC die Länge der langen Seite der Zweitwindom in Meter. Da sich der scheinbare Speisepunkt der Zweitwindom bei einem Drittel der Gesamtlänge befindet, ergibt obige Näherung Af = 0,707. Mehrere Kontrollmessungen ergaben aber einen Faktor von Af = 0,75. Der Abstand A zwischen den beiden Windom-Antennen wurde dann mit diesem Wert berechnet.

$$A_{[mm]} = AD_{[mm]} * A_f = AD_{[mm]} * 0,75$$

Dabei ist AD der mit [2] berechnete Abstand eines Zusatz-Dipol in Millimeter. Der prinzipielle Aufbau dieser Antenne ist in **Abb.10** dargestellt und einige Maße sind in der **Tabelle 4** zusammengefasst.

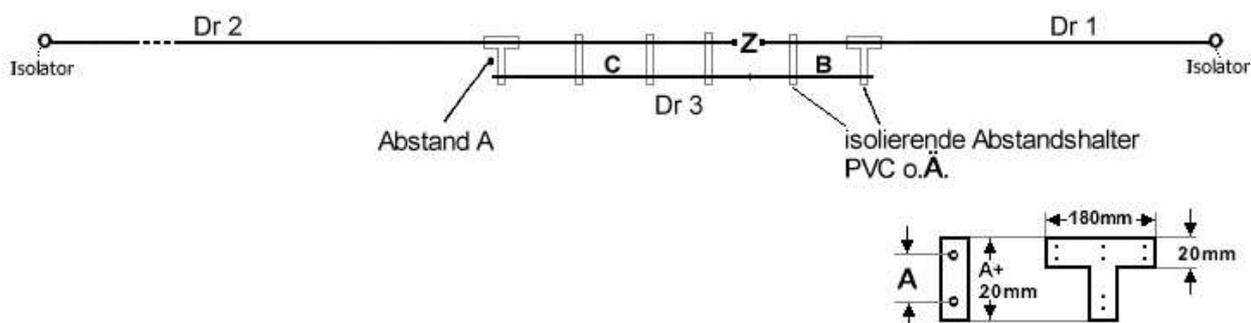


Abb.10: Windom-Antenne mit strahlungsgekoppelter zweiter Windom

Tabelle 4: Strahlungsgekoppelte Zweitwindom bei Z = 300 Ω und unisolierten Drähten

Vorzugs-Band	fr [MHz]	Draht Dr 3[m] bei VF = 0,97				Abstand A [mm]
		Ø	ges. Länge	Länge B	Länge C	
15 m u. 30 m	21,00	c	14,07	4,70	9,37	188
15 m	21,20	c	13,94	4,66	9,28	187
30 m	10,13	b	14,36	4,79	9,57	270 o. 193

Drahtstärken: siehe unter Tabelle 2

Die besten Erfahrungen wurden mit dem Kompromiss bei fr = 21,0 MHz gemacht. Die **Abb.11** und die **Abb.12** zeigen die simulierten SWR-Kurven einer solchen Antenne. In der Praxis verlaufen die Kurven meist noch flacher und damit günstiger.

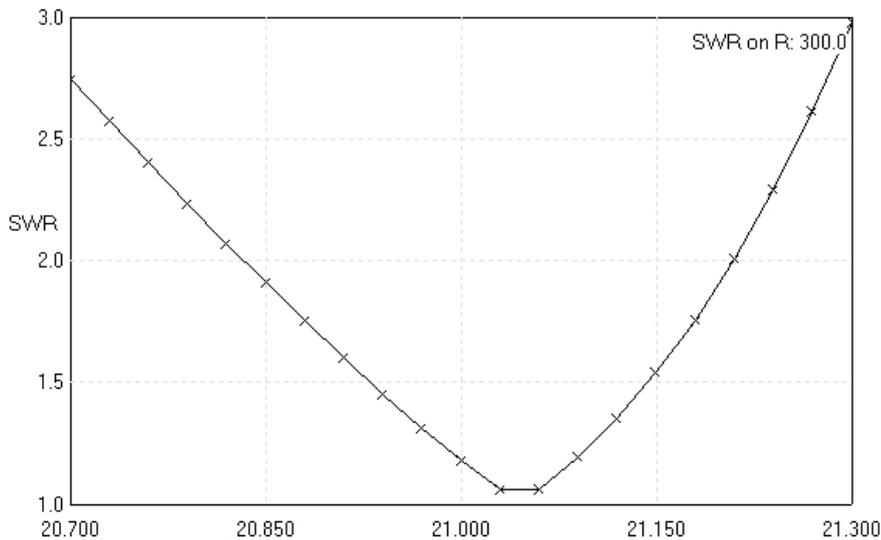


Abb.11:
Das Stehwellen-Verhältnis (SWR) einer Antenne im 15m-Band mit einer Zweitwindom für 15m u. 30m

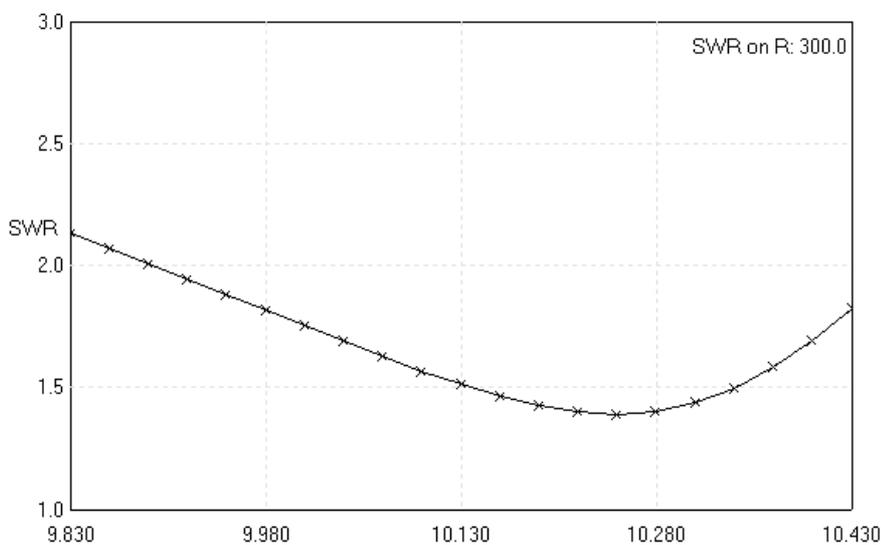


Abb.12:
Das Stehwellen-Verhältnis (SWR) einer Antenne im 30m-Band mit einer Zweitwindom für 15m u. 30m

Mit einer Zweitwindom erschließt sich das 30m-Band auch für die „FD 3“ oder ähnliche Antennen. Der scheinbare Speisepunkt der Zweitwindom lässt sich aber nicht beliebig auf dem Antennendraht verschieben. Die Impedanz im Speisepunkt darf nicht wesentlich höher ausfallen wie die Impedanz der erregenden Antenne. Ein Zusatzdipol als „endgespeister Dipol“ funktioniert nicht.

In der **Abb.13** ist die nach der Fertigstellung gemessene SWV-Kurve einer klassischen Windom mit einer strahlungsgekoppelten Zweitwindom dargestellt. Diese Antenne wurde für 16m Höhe berechnet, wie berechnet auf den Millimeter genau erstellt und in 16m Höhe zwischen zwei Häusern aufgebaut. Es bestand keine Möglichkeit diese Antenne nachträglich abzustimmen, da es sich hierbei um zwei verschiedene Hauseigentümer handelte. Die Antenne erreichte aber zur Freude aller Beteiligten ihre berechneten Werte. Dieses wurde wahrscheinlich durch den Umstand begünstigt, dass diese Antenne sehr hoch und frei aufgehängt werden konnte. Unbekannte Umgebungseinflüsse wirkten sich nur geringfügig aus. Es sollte aber immer die Möglichkeit zum Abstimmen der Antenne auf Resonanz vorgesehen werden.

Die in den Tabellen aufgeführten Maße sind alle für unisolierten, also blanken Antennendraht bemessen. Mit dem Berechnungsprogramm [2] ist ein Umrechnen auf Drähte mit diversen Isolierungen möglich. Ab der Programmversion 1.1.1 [2] ist die Berechnung einer strahlungsgekoppelten zweiten Windom auch direkt möglich.

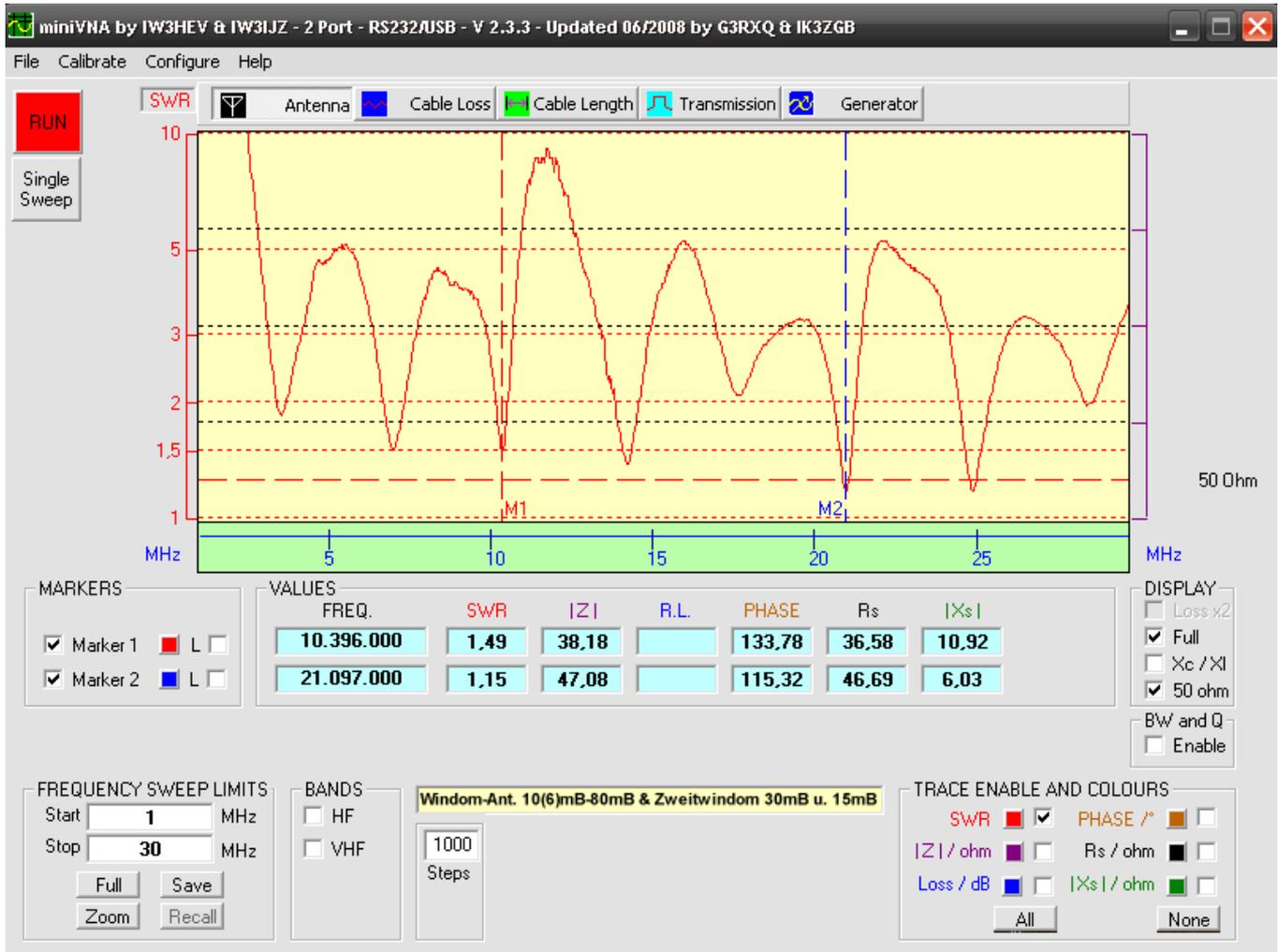


Abb.13: gemessenes SWV einer Windom-Antenne („FD4“) von 1,5 bis 30 MHz mit einer strahlungsgekoppelter Zweitwindom für das 30- und das 15m-Band, berechnet für 21 MHz bei zwei Halbwellen.

Abstimmen der Antenne

Die in den Tabellen aufgeführten und mit dem Berechnungsprogramm [2] berechneten Maße sind Durchschnittswerte. Dabei können die Bodenverhältnisse und die Umgebung der Antenne (Bebauung, Bewuchs usw.) nicht berücksichtigt werden.

Nach der Fertigstellung der Windom-Antenne wird diese an ihren Standort getestet und die Resonanzfrequenzen oder die Frequenzen mit dem besten SWV ermittelt. Stimmen diese durch die Umgebung der Antenne nicht mit der Berechnung überein, so muss die Antenne in der Länge abgestimmt werden. Dadurch werden aber die Resonanzen aller Bänder verändert. Bewährt hat sich deshalb das Abstimmen der Antenne auf eine Frequenz in einem mittleren Band (z.B. 14,2 MHz). Alle anderen Resonanzfrequenzen ergeben sich dann von selbst. Leider stimmen die Resonanzfrequenzen nicht immer mit der Frequenz mit dem besten SWV überein. In der **Tabelle 1** wird deshalb noch zusätzlich die Frequenz mit dem besten SWV aufgeführt.

Ist die Antenne nicht ausreichend hoch aufgehängt, so verringern sich die Impedanzen der Antenne auf allen Bändern, die Resonanzfrequenzen der unteren Bänder verschieben sich zu tieferen Frequenzen und die der höheren Bänder zu höheren Frequenzen. Da kann es durchaus von Vorteil sein, die Antenne nicht mit dem üblichen 1:6-Balun, sondern mit einem 1:4-Balun an das 50Ω-Koaxkabel anzupassen. Das SWV wird in dem Fall auf allen Bändern günstiger und die Frequenz mit dem besten SWV liegt dichter an der Resonanzfrequenz (probieren). Eventuelle Zusatzdipole o.ä. müssen dann aber für $Z = 200 \Omega$ berechnet werden.

Abgestimmt wird dieser Antennentyp durch das Kürzen der Antennendrähte auf beiden Seiten in dem Verhältnis der Längen der langen Seite zu der kurzen Seite. Bei einer Windom also im Verhältnis 2:1. Wird am kurzen Ende um 1 cm gekürzt, so muss am langen Ende, damit der Speisepunkt bei einem Drittel der Antennenlänge bleibt, um 2 cm gekürzt werden. Dieses trifft natürlich auch bei einer Zweitwindom zu. Um diesen Vorgang abzukürzen ist im Berechnungsprogramm [2] über das Menü **‘Berechnen / 4. Pruning / Optimieren’** ein Berechnungs-Fenster zu öffnen. Dort werden die Antennenlänge und eine der gemessenen Resonanzfrequenzen sowie die gewünschte Resonanzfrequenz eingetragen. Dann wird die Länge berechnet, um deren Größe die Antennenlänge verändert werden muss. Das Ergebnis der Berechnung zeigt die Größenordnung und die Richtung der nötigen Längenänderung an. Diese Änderung der Antennenlänge sollte aber, wenn möglich, in kleineren Schritten vorgenommen werden. Denn es gibt nichts Schlimmeres als ein zu kurzer Antennendraht.

Auch ein strahlungsgekoppelter Zusatz-Dipol zur Stromsummenantenne muss in der Länge und im Abstand an die Umgebungsbedingungen angepasst werden. Dieses sollte aber als Letztes erfolgen. Sind oberhalb und unterhalb der Resonanzfrequenz des Zusatz-Dipol je ein Stehwellenminimum vorhanden, so ist der Abstand zwischen Stromsummenantenne und dem Zusatz-Dipol zu gering. Ist nur ein Minimum vorhanden, aber das SWV noch nicht gut genug, so ist der Abstand zu groß (siehe **Abb.9**). Liegt dieses eine Minimum aber auf der falschen Frequenz, so ist die Länge des Zusatz-Dipol entsprechend zu ändern. Ein Zusatz-Dipol hat auch noch eine andere positive Wirkung. Die Resonanzfrequenzen der oberen Bänder werden um einige KHz tiefer gezogen und liegen damit günstiger in den jeweiligen Bändern.

Erweiterung einer „FD 4“ auf das 160m-Band

Der in [3] beschriebene 160m-Band-Zusatz kann eine Windom-Antenne (10-80m) bei nur etwas weniger als 5 m Längenzunahme auf das 160m-Band erweitern. Dabei handelt es sich um eine Spule von 240 μ H (Rohrmuffe DN 75/ 65 Wdg./ 1,0-1,18mm CuL-Draht) und einen daran angeschlossenen maximal 5m langen Draht (Dr 6). Der dort aufgeführte zweite Draht (Dr 7) wird bei einer Windom nicht benötigt. Der zweite Anschluss der Spule wird mit dem Ende der langen Seite der Windom verbunden. Durch Kürzen des Drahtes (Dr 6) wird die Antenne auf bestes SWV bei etwa 1,85 MHz abgestimmt. Der Bereich, in dem auf dem 160m-Band ohne Antennenanpassgerät gearbeitet werden kann, ist aber mit einigen zehn KHz nicht sehr breit.

Dieser Zusatz hat aber noch eine andere positive Wirkung auf die Windom-Antenne. Die Induktivität der Spule legt sich elektrisch parallel zur Eigeninduktivität der Antenne und zieht dadurch die Resonanzfrequenzen der unteren Bänder (80m, 40m) höher. Die Eigenkapazität des Drahtes (Dr 6), sie liegt in Reihe geschaltet mit der Eigenkapazität der Spule, ziehen dagegen die Resonanzfrequenzen der oberen Bänder (10m-20m) auf tiefere Frequenzen. Damit liegen alle Resonanzen der Antenne günstiger zu den Frequenzbändern. Schon aus diesem Grund lohnt sich der Aufbau des 160m-Zusatz. Die gleichen Ergebnisse werden natürlich auch, bei etwas größerer Bandbreite im 160m-Band, unter Verwendung der in Tabelle 1 aufgeführten 10-160m-Windom erreicht. Dafür ist allerdings Platz für die Antennenlänge von über 80m nötig.

In der **Abb.14** ist die SWR-Kurve der Antenne von **Abb.9** zu sehen, jetzt mit einem 160m-Band-Zusatz versehen und der strahlungsgekoppelte Zusatzdipol für das 17m-Band ist abgestimmt. Wegen der für das 160m-Band doch sehr geringen Antennenhöhe ergibt sich am Speisepunkt eine Impedanz von um 20 Ω (SWR: 2,9) bei 1,85 MHz. Mit einem Antennentuner ist eine Anpassung auf 1:1,1 aber ohne Probleme möglich.

Erweiterung einer „FD 3“ auf das 80m-Band

Die platzsparende Erweiterung dieser Antenne auf das 80m-Band erfolgt auf die gleiche Weise wie die oben beschriebene 160m-Band-Erweiterung. Aber natürlich mit abweichenden Daten. Die Spule wird mit einer Induktivität von 120uH (Rohrmuffe DN 50/ 62 Wdg./ 1,0-1,1mm CuL-Draht) gefertigt und der Draht Dr6 hat nur eine Länge von maximal 2,5m. Durch das Kürzen des Drahtes wird der Zusatz auf die persönliche Vorzugsfrequenz im 80m-Band abgestimmt.

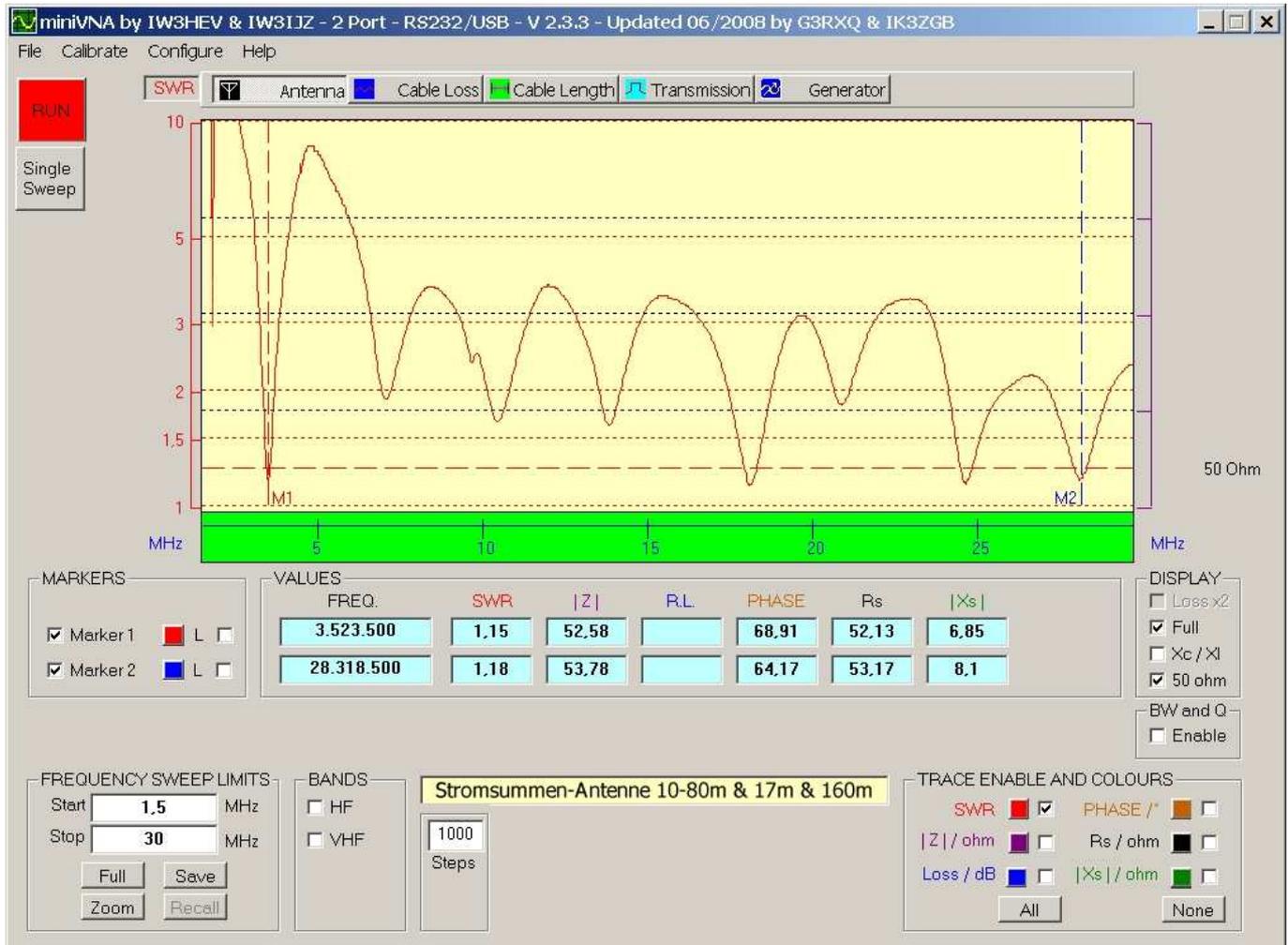


Abb.14: gemessenes SWV einer Stromsummenantenne von 1,5 bis 30 MHz mit strahlungsgekoppelten 17m-Band-Dipol und 160m-Band-Erweiterung.

Hinweis

Bei den Bezeichnungen „FD 4“ und „FD 3“ handelt es sich nicht um die kommerziell hergestellten Antennen mit dieser Bezeichnung, sondern um ein Synonym für die klassische Windom-Antenne von um die 40m Länge (10m- bis 80m-Band) und um die 20m Länge (10m- bis 40m-Band). Natürlich kann auch jede kommerziell hergestellte Windom-Antenne mit einem Zusatzstrahler zur Allbandantenne erweitert werden. Aber bitte den Hersteller fragen ob das Zusatzgewicht u.Ä. bei der Antenne zu Problemen führen kann.

- **Vorurteil: „Oberwellenschleuder“**

Natürlich besteht bei einer echten Allbandantenne die Gefahr der Abstrahlung von Oberwellen, die vom Sender bei unsachgemäßer Bedienung erzeugt werden. Moderne Transceiver sind aber schon seit Jahrzehnten mit Tiefpass- oder Bandpass-Filter am Antennenausgang ausgerüstet, welche die erste Oberwelle schon minimal um 40 – 60 dB unterdrücken. Dadurch besteht dieses Problem nur noch in den Köpfen als Vorurteil aus vergangenen Zeiten. Auch ist aus diesem Grund die Speisung der Antenne mit einem modernen Koaxkabel einer Flachbandleitung („Hühnerleiter“) vorzuziehen.

Zu erwähnen ist dazu noch, dass ein normaler 80m-Band-Dipol auch im 30m-, 17m-, 12m-Band und höher eine niederohmige Impedanz aufweist. Damit kann der Dipol diese Oberwellen auch ungehindert abstrahlen.

- **Fazit**

Dieser seit Jahrzehnten weitverbreiteter Antennentyp wird durch die Ausstattung mit einem strahlungsgekoppelten Zusatzstrahler auf eine qualitativ höhere Stufe gehoben. Die Antenne, hauptsächlich nur aus Draht bestehend und einfach zwischen zwei Aufhängepunkten gespannt, ermöglicht es mit geringem Aufwand auf allen Bändern QRV zu sein.

Bedanken möchte ich mich hiermit bei den Mitgliedern der Klubstation DL0HST (V03) für die Unterstützung beim Antennenbau und das Tolerieren meiner umfangreichen und zeitaufwendigen Messungen.

K. Warsow

dg0kw@fh-stralsund.de

Literaturangaben

[1] Hille, K.H., DL1VU: Windom- und Stromsummen-Antennen. 1. Auflage, Theuberger Verlag GmbH, Berlin 2000

[2] Warsow, K., DG0KW: Stromsummen-Antennen-Berechnung (ab V1.1.0),
www.dl0hst.de/software.htm

[3] Warsow, K., DG0KW: Multiband-Dipol „DO-Antenne“ von DG0KW,
www.dl0hst.de/do_antenne.htm

[4] Hegewald, W., DL2RD: KW-Antennen für den Einstieg, Dreiband-Dipol ohne Sperrkreise.
FUNKAMATEUR 58 (2009) H.4 S.412-413 / H.5 S.528

[5] Wippermann, W., DG0SA: Balun 1:6, www.wolfgang-wippermann.de/, siehe unter Balune: 50/300

[6] Warsow, K., DG0KW: Kabellängen-Berechnung, www.dl0hst.de/software.htm