

QRP-Wattmeter für den KW-Bereich

MARTIN STEYER – DK7ZB

Gerade im Bereich geringer HF-Leistungen sind die hier ja häufiger als in anderen Bereichen anzutreffenden Selbstbauer an möglichst genauen Messungen sehr interessiert. Das beschriebene einfache und leicht nachzubauende Gerät geht durch die Kombination mit einem adäquat belastbaren Abschlußwiderstand einigen Problemen aus dem Wege.

Daß ein Wattmeter für kleine Leistungen in vielen Fällen nützlich sein kann, steht wohl außer Frage. Kommerziell angeboten werden hauptsächlich Durchgangswattmeter. Sie eignen sich für den Selbstbau weniger gut, weil Eichung und Symmetrierung problematisch sind. Zudem muß ein Stromwandler aufgebaut werden, wenn die Anzeige frequenzunabhängig erfolgen soll. Vorteil dabei ist, daß solche Geräte auch als SWR-Meßbrücken verwendbar sind. Einem gravierenden Nachteil derartiger Meßanordnungen wird jedoch meist zu wenig Beachtung geschenkt: Die Wattanzeige stimmt nur dann, wenn das SWR 1,0 ist. Bereits bei geringer Fehlanpassung werden falsche Spannungen ausgewertet. Bei näherer Betrachtung ist ein Abschlußwattmeter als „Dummy-Load“ eine preiswerte und einfache Alternative:

■ Konzept

Aus zwölf Metalloxid-Schichtwiderständen wird ein mit 24 W belastbarer Abschlußwiderstand von 50 Ω aufgebaut. Die von ihm umgesetzte Leistung ist dem Quadrat der an ihm liegenden HF-Spannung proportional. Die HF-Spannung wird mit einer einfachen Gleichrichterschaltung in eine Gleichspannung umgewandelt und mit einem empfindlichen Meßinstrument gemessen, das wegen dieses quadratischen Zusammenhangs (und des Einflusses der Diodenschwellspannung) eine spezielle Skala erhalten muß. Der Bauteileaufwand ist also minimal. Mit den Bereichen 2 W sowie 20 W hat man einen genügend großen Spielraum für die zu messenden Leistungen; eine Erweiterung auf 200 W ist einfach möglich.

Ursprünglich sollte die obere Grenze für Vollausschlag bei 10 W liegen. Durchrechnen ergibt allerdings, daß wegen der quadratischen Abhängigkeit von Spannung und Leistung bei Erweiterung auf 20 W eine günstigere Skaleneinteilung möglich ist. Dazu kommt ein erweiterter Einsatzbereich.

Um einen problemlosen Nachbau auch für Anfänger zu erreichen, habe ich eine Platine verwendet, die alle Bauteile außer Umschalter und Koaxialbuchse enthält. Dadurch läßt sich die Baugruppe direkt an der Rückseite des Meßinstruments festschrauben; weitere Haltepunkte entfallen. Die Schrauben dienen gleichzeitig der Stromzuführung zum Meßwerk. Die Belastbarkeit der Widerstände ist hoch genug, um auch längere Abgleicharbeiten durchführen zu können.

Der Abgleich für beide Bereiche bereitet keine Probleme, wenn man eine regelbare Spannungsquelle (Labornetzgerät) und ein Digitalvoltmeter zur Verfügung hat, das jedoch gehört wohl zur Minimalausstattung jeder Station.

Die Genauigkeit ist besser als $\pm 5\%$ und wird eher durch das Drehspulmeßwerk und dessen Eigenschaften als durch die Einfachheit der Schaltung begrenzt. Bis 30 MHz liegt das SWR des durch einfaches Parallelschalten gebildeten 50-Ω-Belastungswiderstandes unter 1,2. Für nicht ganz so genaue Messungen läßt sich das Wattmeter sogar noch auf 2 m einsetzen, im Bereich 20 W muß man dann allerdings mit einem geringfügig größeren Meßfehler rechnen.

Da sich dieses Gerät als ausgesprochenes Anfänger-Selbstbauprojekt eignet, soll den

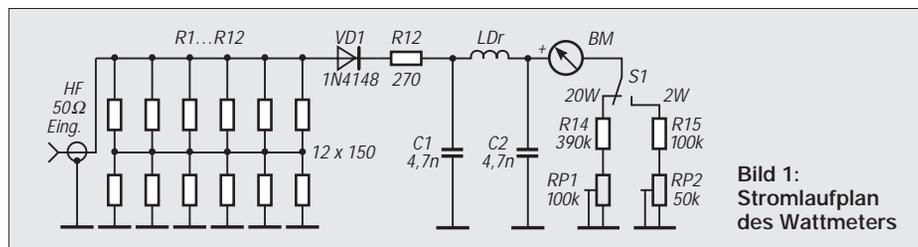


Bild 1: Stromlaufplan des Wattmeters

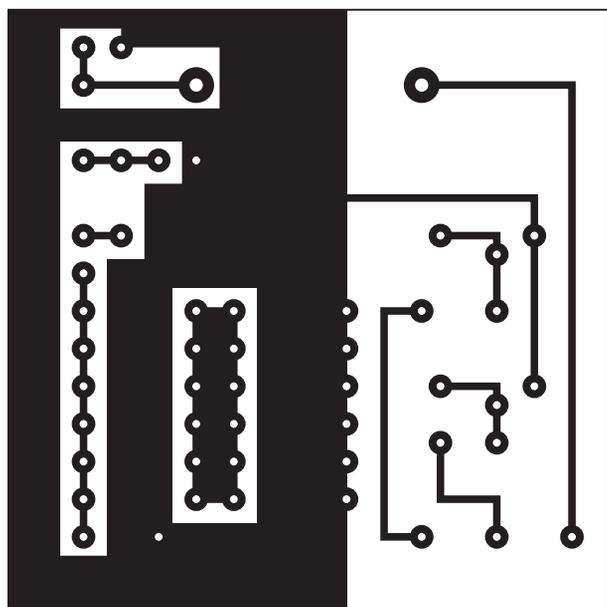
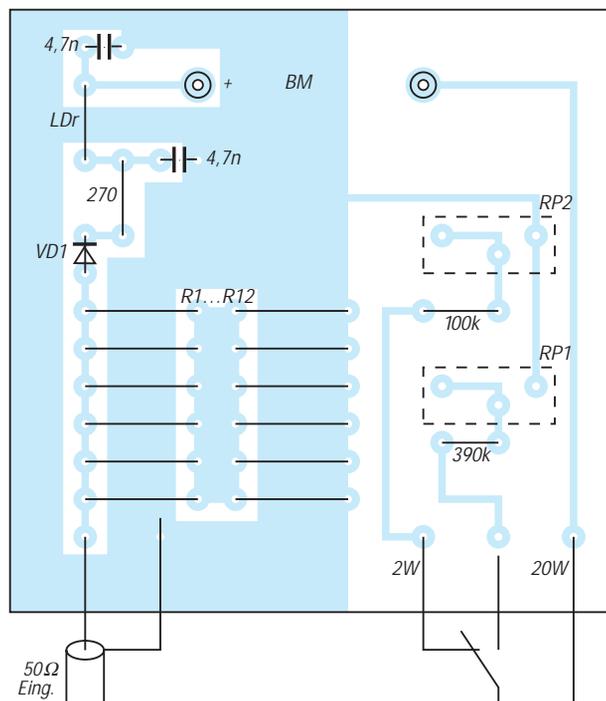
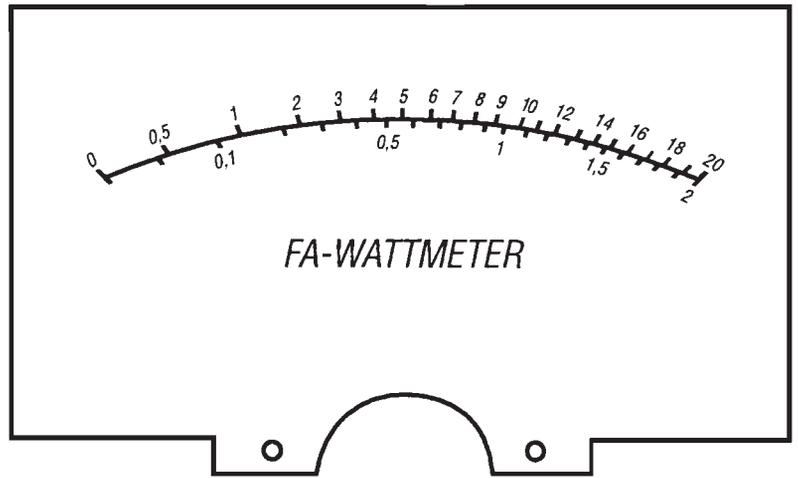
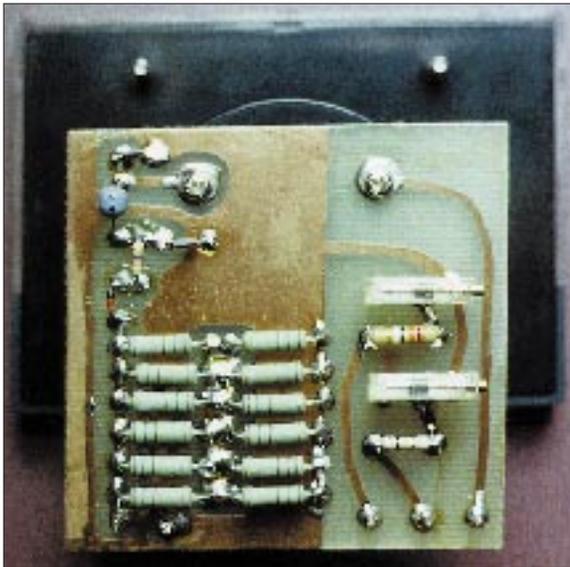


Bild 2: Layout der Platine im Format 80 mm x 80 mm

Bild 3: Bestückungsplan für das Wattmeter. Die Bestückung erfolgt auf der Leiterseite!





◀ Bild 4: Ansicht einer bestückten Leiterplatte

Bild 5: Skala für das Meßwerk im Maßstab 1:1

Einzelheiten beim Aufbau und Abgleich etwas mehr Raum gegeben werden.

Theorie

Der Stromlaufplan (Bild 1) macht das Prinzip der Schaltung leicht deutlich: Am 50-Ω-Lastwiderstand R1, gebildet aus Serien- und Parallelschaltung von zwölf 150-Ω-Widerständen, liegt die Spannung der HF-Quelle. VD1 richtet sie gleich und lädt C1 auf den Wert der entsprechenden Spitzenspannung auf. Sie wird gemessen und ist die Information für die aufgenommene Leistung.

Dabei müssen wir die altbekannte Formel $P = U_s^2 / 2 R$ umformen. Damit ergibt sich für $U = \sqrt{P \cdot 2 R}$. Der Faktor 2 kommt dadurch zustande, daß wir ja die Spitzenspannung messen, die bekannte Formel $P = U_{eff}^2 / R$ aber für den Effektivwert der Spannung gilt. U errechnet sich für eine Sinusspannung jedoch aus $U_s = U_{eff} \cdot \sqrt{2}$.

Wegen der Einfachheit der Meßanordnung und verschiedener weiterer Faktoren, wie z.B. der Dioden-Schwellspannung, weicht die tatsächliche Anzeige vom errechneten Idealwert etwas ab.

Weil wir unsere Skala ohnehin mit Hilfe von Gleichspannung eichen, spielt das letztlich kaum eine Rolle. Allerdings begrenzt die einfache Schaltung den untersten einigermaßen genauen Meßwert auf etwa 100 mW. Die induktionsarmen Metalloxidschicht-Widerstände (2 % Toleranz) bilden einen sehr guten 50-Ω-Abschluß.

Um den frequenzabhängigen Blindwiderstand der parallel liegenden Gleichrichterschaltung aus VD1 und C1 zu verringern, wird dazu ein 270-Ω-Widerstand in Reihe geschaltet. Mit Hilfe von zwei Trimpotentiometern läßt sich der jeweilige Meßbereich eichen, mit dem Schalter S1 schaltet man auf 2 oder 20 W um.

Eine Beispielrechnung soll zeigen, wie die Skala geeicht werden kann. Einem Skalenendwert (100 % Ausschlag) von 20 W entspricht eine Spitzenspannung an R1 von 44,7 V. Die Tabelle faßt die Zusammenhänge von Anzeige und Leistung für den 20-W-Bereich zusammen. Sie macht auch den nichtlinearen Zusammenhang zwischen Leistung und Skaleneinteilung deutlich. Entsprechend sieht die Skala für den niedrigeren Meßbereich aus, wegen des hier schon stärker zu Buche schlagenden Einflusses der Diode allerdings etwas verschoben.

Halbe Spannung entspricht einem Viertel der Leistung. Das ist der Grund, warum der Punkt für 5 W in der Skalenmitte liegt. Bei Benutzung eines Meßinstruments mit 100 µA Endausschlag können wir die Zahlenwerte auf der Original-Skala unmittelbar

bar mit den errechneten Prozentwerten für die jeweilige Leistung gleichsetzen.

Praktischer Aufbau

Die Leiterplatte mit den wenigen Bauteilen wird, wie bereits erwähnt, einfach auf die Anschlüsse an der Rückseite des Meßinstruments geschraubt. Damit beschränkt sich die Verdrahtung auf die Verbindung zwischen Koaxialbuchse und Meß-Leiterplatte und den Anschluß des einpoligen Umschalters für die zwei Leistungsstellungen 2 W/20 W.

Eichen der Skala

Skala [%]	Leistung [W]	Skala [%]	Leistung [W]
100	20	59	7
95	18	55	6
89	16	50	5
84	14	45	4
77	12	39	3
71	10	32	2
67	9	22	1
63	8	16	0,5

Zur besseren Einstellbarkeit für die beiden Meßbereiche habe ich zwei Wendepotentiometer eingesetzt. Sie kosten im Vergleich zu einfachen Trimpotentiometern zwar ein paar Pfennige mehr; ein Reproduzieren der Skaleneichung ist jedoch wesentlich erleichtert, und die Langzeitstabilität liegt damit erheblich höher.

Bild 2 zeigt das Layout der einseitig geätzten Platine, Bild 3 den zugehörigen Bestückungsplan. Dabei ist zu beachten,



Bild 6: Das fertige ORP-Wattmeter

Widerstände für das 10-dB-Leistungsdämpfungsglied

R1	R2	R3
40 × 3,9 kΩ/2 W,	2 × 330 Ω/2 W,	4 × 390 Ω, 2 W
+ 1 × 8,2 kΩ/2 W + 3 × 390 Ω/2 W parallel		
parallel	parallel	

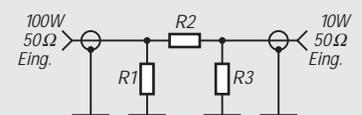


Bild 7: Stromlaufplan für ein 10-dB-Leistungsdämpfungsglied

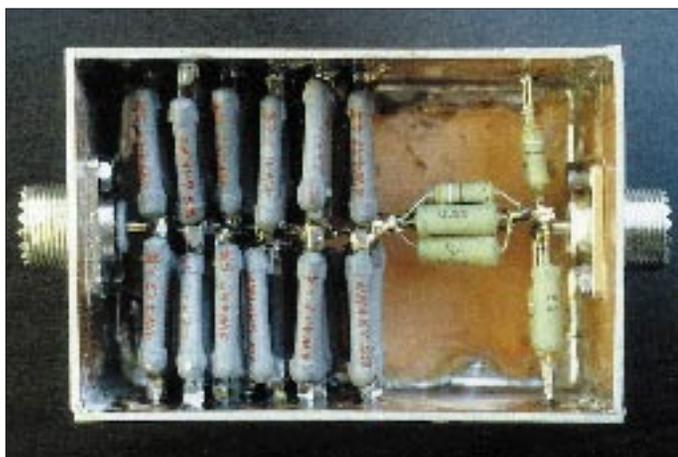


Bild 8:
Aufbau des Leistungs-dämpfungsgliedes

Fotos: Autor

daß alle Bauteile auf der Leiterseite (!) verlötet werden. Nur so ist ein zuverlässiger Kontakt über die Anschlüsse des Meßinstruments möglich. Das Foto (Bild 4) zeigt ein Muster.

Um den Nachbau bzw. die Eichung leichter reproduzierbar zu machen, kann die in Bild 5 wiedergegebene Skale ausgeschnitten oder fotokopiert werden. Nach vorsichtigem Abnehmen des Klarsichtdeckels des Meßinstruments wird sie auf die vorhandene Skale aufgeklebt, sofern man sich keine eigene anfertigen will.

Für solche einfachen Bauprojekte stelle ich mir Gehäuse aus Epoxydplattenmaterial „nach Maß“ selbst her; die einzelnen Gehäuseflächen werden innen verlötet, dazu kommt ein U-förmiger Deckel, aus Aluminium- oder Weißblech gebogen und mit schwarzer selbstklebender Plastikfolie überzogen.

Selbstverständlich kann man es anders konstruieren oder ein fertiges kaufen. Die Frontplatte habe ich mit Abreibebuchstaben beschriftet, so daß das fertige Gerät (Bild 6) ein professionelles Aussehen erhält.

Eichung

Zur Eichung legt man aus einem einstellbaren Netzteil eine Gleichspannung an die Eingangsbuchse. Bei 21,5 V wird auf die 5-W-Marke des größeren Meßbereichs eingestellt, das ist genau die Skalenmitte. Entsprechend erfolgt der Abgleich im klei-

neren Meßbereich bei 6,36 V auf 0,5 W. Damit stimmt die gesamte Skale.

Erweiterung auf 100 W

Der Funkamateurl möchte in vielen Fällen gern noch höhere Leistungen bis etwa 100 W messen. Allerdings lägen bei 100 W HF auch 100 V an Widerständen und Diode, was zumindest die Gleichrichterschaltung überfordern würde. Anschließen der Gleichrichterschaltung an eine Widerstandanzapfung brächte bei der Messung geringer Leistungen Nachteile.

Baut man sich dagegen ein Leistungs-Dämpfungsglied mit 10 dB Abschwächung, läßt es sich (nur bei Bedarf) einfach vorschalten. Bei einem Preis von 0,20 DM je Stück sind die 50 dafür einzusetzenden

2-W-Widerstände durchaus bezahlbar. Zusätzlich läßt sich das Dämpfungsglied auch separat für andere Zwecke nutzen. Bild 7 zeigt den Stromlaufplan des Pi-Gliedes. Es kann für einige Minuten 100 W aufnehmen, kurzzeitig (max. 15 s) ist es mit 200 W belastbar. Abgelesen wird dann im 20-W-Bereich.

Rechnerisch ergeben sich bei jeweils 50 Ω für Ein- und Ausgang folgende Widerstände: $R_1 = R_3 = 96,3 \Omega$, $R_2 = 71,1 \Omega$. Diese Werte erhält man mit weniger als 2 % Fehler mit 2-W-Metalloxidschichtwiderständen durch Parallelschaltung (die ist wegen der hohen umgesetzten Leistung von 90 W sowieso notwendig) verschiedener Werte (s. Tabelle).

Aufgebaut wird das Dämpfungsglied mit zwei zusätzlichen Koaxialbuchsen in einem kleinen Gehäuse. Die Eingangswiderstände werden von der Mitte aus möglichst eng nach beiden Seiten als „Igel“ mit der Gehäusewand (Leiterplattenmaterial oder Weißblech) verlötet.

Der Aufbau ist insgesamt freitragend, durch die Parallelschaltung jedoch völlig stabil.

Bild 8 zeigt, wie das aussehen kann. Allerdings ist ein genaues Messen nur im Kurzwellenbereich bis 50 MHz möglich, im 144-MHz-Band steigt der Fehler erheblich. Für überschlägige Messungen eignet sich die Anordnung aber auch dafür immer noch.

Tip: Drahtbandagenteknik

Vor allem beim Antennenbau steht man häufig vor dem Problem, eine Drahtschleife oder zwei parallele isolierte Drähte mechanisch stabil und dauerhaft miteinander zu verbinden. Für kurze Zeit und bei normalen Temperaturen gelingt das provisorisch auch recht gut mit Plastik-Isolierband, das schraubenförmig über eine größere Länge um beide Drähte gewickelt wird.

Eine langzeitstabile Methode, die sich nicht nur bei einigen Dipolen über viele Jahre klaglos bewährt hat, sind entsprechend der Skizze hergestellte Drahtwickel (-bandagen). Sie bestehen aus plastikisoliertem Kupfervolldraht von je nach Anwendung etwa 0,5 bis 0,8 mm Durchmesser (des Drahtes selbst). Das Ganze empfiehlt sich allerdings nur bei isolierten Antennen- oder Abspanndrähten, weil blanker Draht oder

blanke Litze zu glatt ist und die Bandage abrutschen könnte.

Nun legt man zuerst das Ende des Drahtes für die Bandage in die „Rille“ zwischen den beiden zu verbindenden Antennendrähten, läßt es so lang, daß nach Fertigstellung der Bandage noch etwas übersteht und wickelt anschließend straff (!) Windung an Windung über die beiden Hauptdrähte und den Hilfsdraht zurück, bis die Länge der „Wicklung“ ein Mehrfaches ihrer Breite erreicht hat. Das gelingt durchaus ohne Hilfe eines Helfers. Abschließend zieht man das innere Stück des Hilfsdrahtes noch einmal zurück, verdrillt beide Hilfsdrähte und schneidet die überflüssige Länge ab.

Wer bei einer Schlaufe ganz sichergehen will, kann deren offenes Ende noch einmal zurückbiegen (der scharfe Knick ist ja schon zugentlastet) und über die innere Bandage noch eine äußere legen. **TO**

Bauteile	
BM1	Einbaumeßinstrument 100 µA, Größe PM3 (86 mm × 65 mm)
C1, C2	4,7 nF, Keramik 100 V
LDr1	10 Wdg.; 0,2-mm-CuL; auf eine Ferritperle (oder Drossel 100 µH)
R1...R12	Metalloxid-Schichtwiderstände 150 Ω/2 W
R13	270 Ω, 1/4 W
R14	390 kΩ, 1/4 W
R15	100 kΩ, 1/4 W
RP1	100 kΩ, Spindeltrimmer
RP2	50 kΩ, Spindeltrimmer
VD1	Si-Diode 1 N 4148
S1	Kippumschalter, einpolig

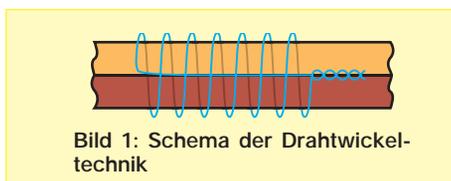


Bild 1: Schema der Drahtwickel-technik

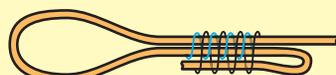


Bild 2: Bei einer Schlaufe kann man noch auf Nummer sicher gehen.