

## Fast ein Kochrezept

# 76-GHz-Transverter mit Wendeverstärker

Philipp Prinz, DL2AM

Eine Wendemechanik ermöglicht es, den Verstärker für Senden und Empfang zu betreiben – durch Drehen um 180°.

**Zur Person**



**Philipp Prinz, DL2AM**  
Jahrgang 1939, Amateurfunkgenehmigung seit 1967  
Ausbildung als technischer Zeichner, Mechanikermeister, Pädagogik für Lehrlings-, dann Refa-Ausbildung, seit 1980 Modultechnik, Herstellung und Vertrieb von Linears bis 2003

Anschrift:  
Riedweg 12  
88299 Leutkirch  
prinz.dl2am@t-online.de  
www.dl2am.de

Bei einem GHz-Treffen erhielt ich von Michael, DB6NT, einen Verstärker in Bond-Technik für 76 GHz, der für eine Wendemechanik vorgesehen war (**Bild 1**). Mein Vorsatz ist eigentlich, nur das zu bauen, was mir selbst in meinem Labor möglich ist. In dem Fall machte ich eine Ausnahme. Denn dieser Verstärker sollte bei 76 GHz 60 mW bringen und eine Kleinleistungsverstärkung von 23 dB bei 10,5 dB Noise haben. Das bedeutete gegenüber meinen beiden schon vorhandenen 76-GHz-Transvertern eine Leistungserhöhung von ca. 21 dB und eine Rauschempfindlichkeit von minimal 10...11 dB (ESB) – eine Versuchung, der ich nicht widerstehen konnte ...

## Materialien und Baugruppen

Und so ging es an die Materialbeschaffung zum Anfertigen dieses Transverters (**Bild 2**). Das Gehäuse Nr. 70H4000 von [1] ist 185 mm breit, 180 mm tief und 65 mm hoch. Die Wendemechanik und die Filter fertigte Hubert [2]. Die Frequenzaufbereitung von 12,648 GHz mit der Bezeichnung MKU-LO-PLL stammt von

DB6NT [3]. Diese kann an 10-MHz-GPS angebunden werden. Der Transverter mit der PCB Nr. 45 von DB6NT bringt 1,1 mW (DSB) und besitzt ein Uni-Gehäuse von DL2AM [4]. Der zugehörige Multiplier  $\times 3$  hat eine Ausgangsleistung von 120 mW bei 37,944 GHz. Der ZF-Verstärker mit der PCB Nr. 26 von DB6NT ist abgesetzt in einem separaten Alu-Gehäuse.

Viele Aufbaudetails dieser Baugruppen wurden bereits beschrieben, sodass ich mich kurz fassen kann.

Mein größtes Problem war das Resonatorfilter. Ich hörte verschiedene Urteile, die nicht gerade vielversprechend klangen. Tatsächlich ermutigten erste Versuche mit diesem von OE9PMJ herunter gerechneten 2-Topf-Filter nicht. Erst als ich vor und nach dem Filter einen WR-12-Isolator anbaute, waren die Ergebnisse reproduzierbar (**Bild 3 und 4**). Bei diesem jetzt verwendeten Filter ist der Durchmesser der Öffnung 5,7 mm, die lichte Höhe 4,3 mm und die Tuning-Elemente haben 1,8 mm Durchmesser zum Abgleichen. Die sogenannte Iris bzw. Koppelbohrung zwischen den beiden Resonator-kammern ist sehr von der Durchlassbandbreite abhängig. Schon ein paar Mikrometer Vergrößerung verändern diese nennenswert.

Ich besorgte mir eine 40 mm lange Konusreibahle von 1 auf 1,5 mm, um die Bohrung zu optimieren. Sie hat jetzt 1,23 mm Durchmesser. Die Durchgangsdämpfung bei 76,032 GHz ist 3,4 dB. Der LO ist um 36 dB und das USB (unteres Seitenband!) um 37 dB abgesenkt (**Bild 5, 6 und 7**). Zu beachten ist, dass beim Reindrehen der Tuning-Elemente die Frequenz höher wird und schon beim Verdrehen um ein halbes Grad die Frequenz danebenliegt. Das Filter kann man leicht abgleichen, wenn man mit einem



Bild 1: Der 76-GHz-Transverter mit Wendeverstärker



Bild 2: Aus diesen Teilen besteht hauptsächlich der Transverter

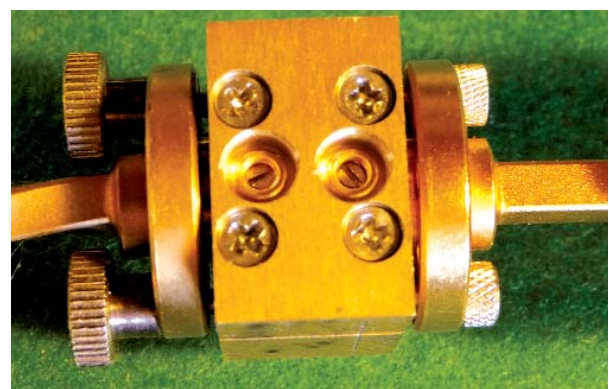


Bild 3: High-Q-Filter für 76 GHz von OE9PMJ

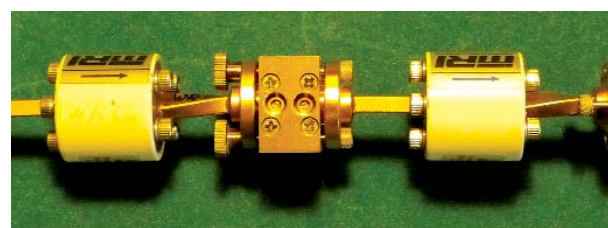


Bild 4: Messanordnung mit Isolatoren WR 12



CW-Sender die LO-Ansteuerung bei 12,672 GHz vornimmt und dabei die Ausgangsleistung misst. Das ist das OSB (obere Seitenband) 76 GHz, und hier kann auf Maximum abgeglichen werden. Danach wird der LO mit 12,648 GHz angesteuert, und dies wäre dann die unterdrückte LO-Frequenz. Bei 12,624 GHz wäre dies bei 76 GHz das USB.

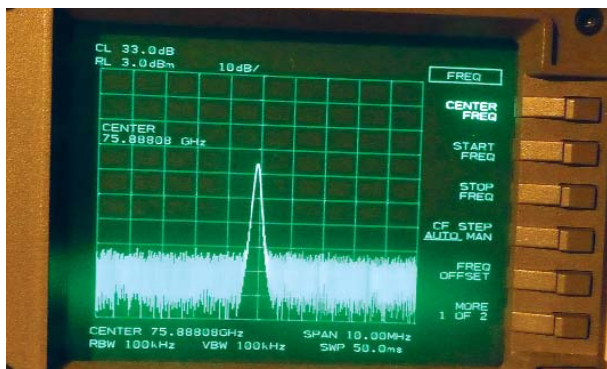


Bild 5: Spektrogramm LO 75,888 GHz

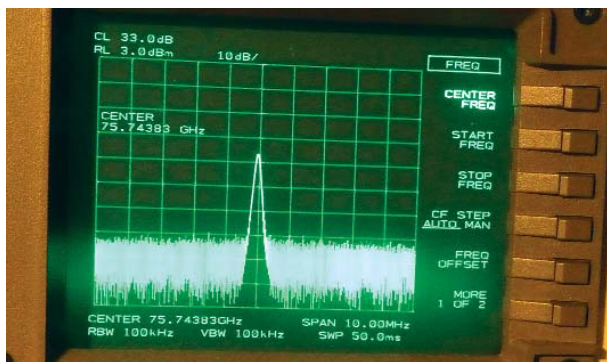


Bild 6: Spektrogramm USB 75,7438 GHz

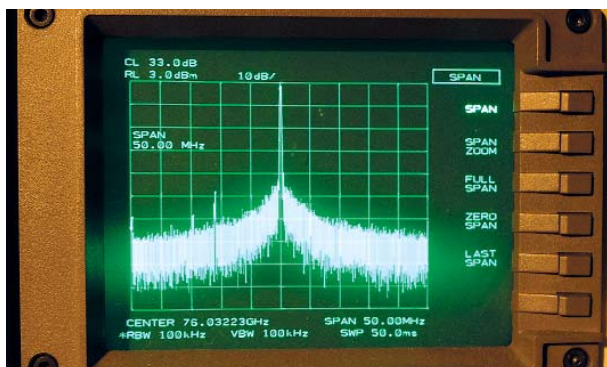


Bild 7: Spektrogramm OSB 76,0322 GHz



Bild 8: Befestigungsschiene mit Wendeverstärker

Das Erwärmen und Abkühlen mit Kältespray bewirkte eine Änderung von ca. 0,5 dB der Durchgangsdämpfung. Als die Iris noch 1 mm Durchmesser hatte, führte eine Änderung der Temperatur des Filters zu einer wesentlich größeren Änderung. Wenn ich diesen Wendeverstärker ohne Filter betrieben hätte, wäre die Ausgangsleistung im OSB ca. 24 mW gewesen (60 mW vom Verstärker / 2 = 30 mW – 6 mW vom LO = 24 mW).

## Weitere Arbeiten

Ich wollte ein mechanisch separat zu montierendes Modul (Bild 8). Die zwei 30 mm langen Stücke und das eine Stück 103,8-mm-HL WR 12 mit Flanschen, die nach dem Montieren verlötet werden, müssen zentrisch abgedreht werden, um eine axiale Anordnung der HL zu bekommen (Bild 9). Das Uni-Gehäuse schraubte ich an die Rückwand und bohrte die beiden Öffnungen zum Abgleich des 38- und des 76-GHz-Signals gleich durch diese (Bild 10 und 11). Die Befestigungsschiene für die Wendemechanik ist ein Aluprofil mit der Länge von der lichten Breite des Gehäuses. Nun konnte alles zu einem Modul zusammenschraubt werden, das ich ins Gehäuse legte. Wenn Abstandhalter von 30 mm Höhe vom Boden des Gehäuses beidseitig eingelegt werden, kann die Bohrung für die Befestigungsschiene am Außenprofil ausgemessen und gebohrt werden. Bei diesen 30 mm kann sich die Wendemechanik noch gut in dem 60 mm hohen Gehäuse-Innenmaß drehen.

Es ist vorteilhaft, nur eine Senkschraube zum Befestigen der Schiene auf jeder Seite zu benutzen, so ergibt sich ein kleiner Spielraum beim Einpassen dieses Moduls. Die HL-Rückwanddurchführung für das Anbringen eines Parabolspiegels wurde auch von micro-mechanik gefertigt. Jetzt kann der HL WR 12 für den Ausgang angefertigt, eingemessen und eingebaut werden. Bei mir war dieser 103,8 mm lang.

Damit ist ein wesentlicher Teil des Vorhabens geschafft. Ich möchte noch auf [5] hinweisen, wo ein ähnlicher Transverter beschrieben ist.

## Optik und Details

Die Frontansicht lässt sich beliebig gestalten. Zur Anzeige der Endstellungen des Wendeverstärkers verwende ich zwei Mikro-Tastschalter, die mit einem Hebel von der Achse der Wendemechanik aus betätigt werden. Diese Taster steuern zwei LEDs und ein Relais an, das beim

Drehen des Verstärkers dessen Versorgungsspannung abschaltet. Die Versorgungsspannung für den Multiplier wird gemäß [6] (6/07) gewonnen, wobei bei Empfang aus 5 V ca. 3,6 V entstehen. Dies ergibt den besten Rauschabstand. Beim Senden kann die Spannung bis 6,1 V betragen, ist aber für maximale Mischleistung des Transverters zu optimieren bei gleichzeitiger Veränderung der Eingangsleistung des 144-MHz-Sendesignals. Dieser Test sollte vorher mit dem Transverter allein erfolgen. Bild 12 zeigt seine Leistungsfähigkeit. Man sieht, dass bei höherer Ansteuerung die Diode MA4E1318 erst „munter“ wird.

## Erste Tests

Die Wendemechanik sollte man erst bewegen, nachdem das montierte Gehäuse mit Druckluft ausgeblasen wurde, um alle Schmutzteile von der Wendemechanik fernzuhalten. Nach mehreren Drehungen löste sich bei mir die mittlere Bundschraube, was zu einem größeren Spielraum zwischen Wendepatte und Verstärker führte. Mit einem extra gefertigten Spezialsteckschlüssel drehte ich die Schraube heraus, ohne die HL-Flansche abschrauben zu müssen. Hier bewährte sich die Modulbauweise sehr. Ich legte nach dem Gewinde vor den Drehansatz der Bundschraube einen Kupferdrahting mit 0,3 mm Durchmesser und drehte die Schraube ein, bis leichtes Spiel der Wendepatte vorhanden war.

Diese Anordnung ist noch nicht die beste Lösung; vielleicht wäre eine Wellscheibe, die einen gleichmäßigen Andruck ermöglicht, optimal.

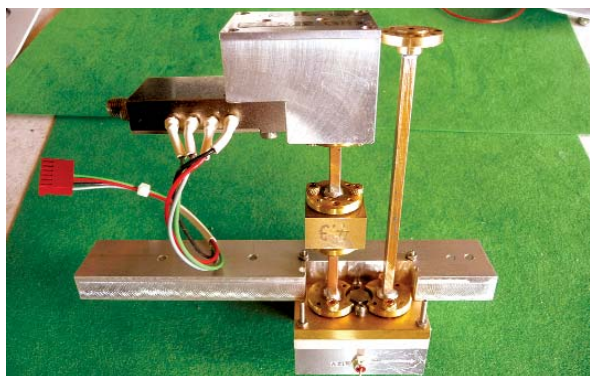
Leichtes Auseinander- und Zusammen-drücken der Wendemechanik und leichtes Versetzen des HLs ändert die Ausgangsleistung kaum. Das zeigt, dass das System sehr stabil ist.

Diese Wendemechanik scheint verlustärmer als ein HL-Schalter, da durch hier der

## Literatur

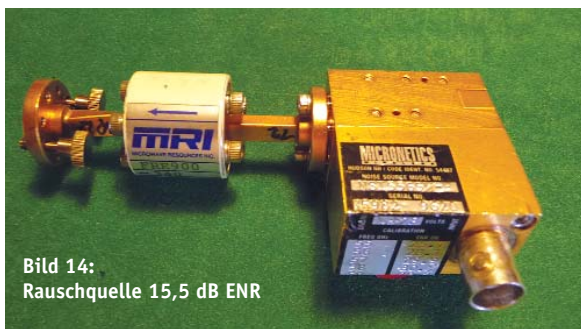
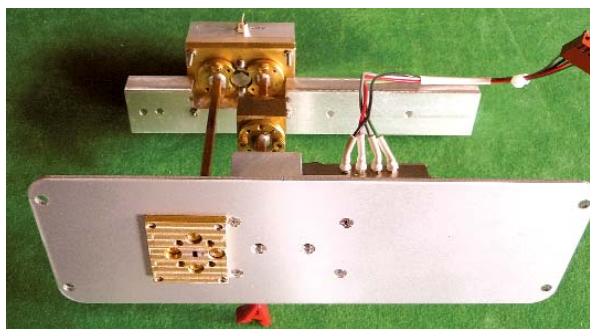
- [1] Bürklin: [www.buerklin.com](http://www.buerklin.com)
- [2] Hubert Krause, [www.micro-mechanik.de](http://www.micro-mechanik.de)
- [3] Kuhne electronic: [www.db6nt.de](http://www.db6nt.de)
- [4] Webseite des Autors: [www.dl2am.de](http://www.dl2am.de)
- [5] Jürgen Dahms, DCØDA: „Transverter für 47 GHz“, DUBUS 2/06
- [6] Philipp Prinz, DL2AM: „Transverter für 76 GHz“, CQ DL 10/05, 2/06, 6/07, 5/08
- [7] Roland Becker, DK4RC: Wendeverstärker für 76 GHz, 32. Tagungsband Dorsten 2009





**Bild 9 (links):**  
Befestigungsschiene, Rückwand und Filter von unten

**Bild 11 (rechts):**  
76-GHz-Transverter mit Wendemechanik von der Rückseite gesehen



**Bild 14:**  
Rauschquelle 15,5 dB ENR

**Bild 10 (links):**  
Rückwand des Gehäuses mit HL-Durchführung zur Spiegelbefestigung und Öffnungen für Transverter-Abgleich von der Unterseite gesehen

HL sehr kurz ist. Seine Dämpfung bei 76 GHz und 1 m Länge beträgt 6 dB.

### Die Inbetriebnahme

Statt des Parabolspiegels schraubte ich einen Anritsu-Leistungsmesser mit HL WR 12 an. **Bild 13** zeigt den Leistungsverlauf. Im Vergleich zum Spektrum ist die Sättigung des Mischers ganz schön fortgeschritten.

Nun schraubte ich den Mischer vom Analyzer HP8563E an den Ausgang und schaute mir das OSB sowie die Unterdrückung des LO-Signals und des USBs an. Das sah ganz gut aus, auch im Vergleich mit den drei Spektrogrammen. Eine Messung zeigte, dass die Rauschempfindlichkeit bei 11 dB (USB) liegt – **Bild 14**. Das Filter kann jetzt nochmals nachgeglichen werden, wenn die nötigen Messmittel zur Verfügung stehen. Wenn beide Tuning-Elemente von diesem nur auf maximalen Output abgeglichen werden, sind auch LO- und USB-Unterdrückung ganz gut bei einer Dämpfung des OSBs von ca. 3,5 dB.

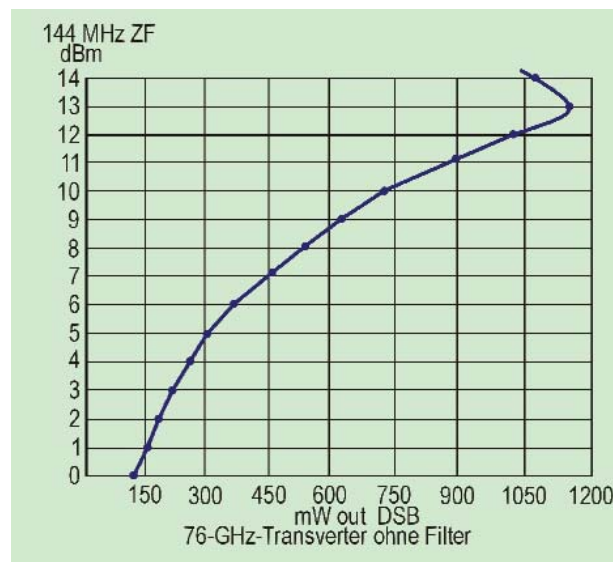
### Messen auf hohen Frequenzen

Das Ermitteln der Ausgangsleistung eines durch Vervielfachung erzeugten CW-Signals mit einem Thermomesskopf ist so eine Sache, besonders wenn USB, LO und OSB als Summe gemessen werden. Bei der Zumischung von 144 MHz ZF auf 76,106 GHz entstehen in der Nähe Mischprodukte, die zu Fehlmessungen führen. Wenn z.B. bei 76 GHz das OSB über einen WR 12 gemessen wird, er-

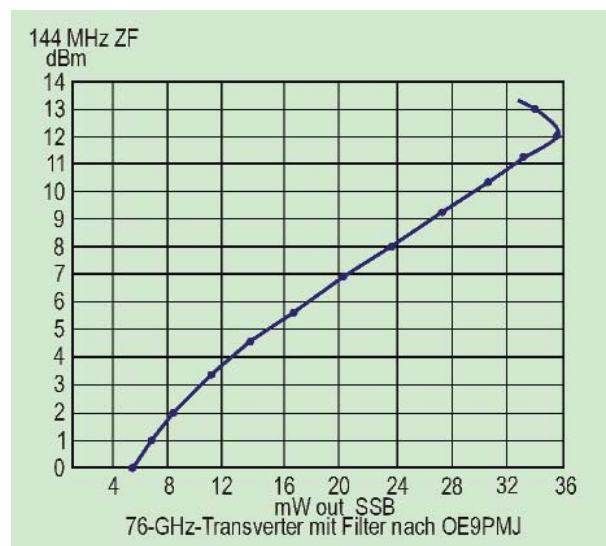
scheint am Leistungsmesser die gesamte thermische Leistungsanzeige von 48 bis über 100 GHz. Ein HL wirkt quasi als Hochpass!

Die Anzeige des Anritsu-Leistungsmesser mit Thermokopf wurde mit der dBm-Anzeige des Analyzers HP8563E mit Breitbandmischer ohne Anpassungsabstimmung verglichen. Die Messwerte stimmten nach dem Kalibrieren genau überein. Diese Vergleichsmessung bzw. Kalibrierung ist aber nur mit einem sauberen CW-Signal ohne Nebenträger möglich und mit Isolator für diese Frequenz. Bei 76 GHz sollte die Verdopplung von einem sehr sauberen 40-GHz-Signal ausgehen, was mit dem Multiplier CMA-382400 der Fall ist. Noch besser ist es, wenn ein 76-GHz-Bandpassfilter nach OE9PMJ verwendet wird.

Ich gehe davon aus, dass mein Anritsu-Leistungsmesser stimmt, da ich vier Messköpfe dafür habe, sodass eine gegenseitige Kontrolle möglich ist. Wenn ich z.B. bei 76 GHz die Seitenbänder und den LO mit dem Thermo-Leistungsmesser messen möchte, ist das Ergebnis eine Zufallsmessung und daher ungenau. USB, LO und OSB sowie andere Mischprodukte über der HL-Cutoff-Frequenz, die es zweifelsfrei bei solchen Mischsignalen gibt, summieren sich beim thermischen Leistungsmesser. Mit meinem kalibrierten Analyzer ist die Anzeige niedriger, weil die zusätzlichen Mischprodukte nicht enthalten sind. Daher kann ich damit die Signalstärken genau ermitteln, besonders bei 1 dB/div.



**Bild 12: Diagramm der Transverterleistung mit Diode MA4E1318**



**Bild 13: Diagramm der Transverterleistung mit Wendeverstärker**