

## Rauscharmer linearer Vorverstärker für 50 MHz oder 70 MHz

GÜNTER FRED MANDEL – DL4ZAO

**Obwohl moderne Empfänger und Transceiver bereits von Haus aus sehr empfindlich sind, kann ein rauscharmer Vorverstärker insbesondere bei längeren Speiseleitungen und im Frequenzbereich oberhalb 30 MHz immer noch eine deutlich spürbare Verbesserung bringen – vorausgesetzt, er wurde korrekt dimensioniert, aufgebaut und eingesetzt. Mit den richtigen Bauelementen und dem nötigen Hintergrundwissen ist der Selbstbau eines solchen Verstärkers kein Problem, wie nachstehend gezeigt.**

Für die Beurteilung der Empfindlichkeit eines Empfangssystems ist das Rauschmaß von entscheidender Bedeutung. Es beschreibt, um wie viel sich das Signal-Rausch-Verhältnis am Empfängeranfang in Bezug auf das am Eingang oder an der

Antenne verschlechtert. Die wichtigsten Grundlagen zu diesem Thema sind in [1] zusammengefasst dargestellt.

Übliche KW/50-MHz-Transceiver haben ein Rauschmaß von etwa 10 dB. Für Kurzwellen ist das völlig ausreichend, aber zum

Empfang des 6-m-Bandes ist manchmal eine „Hörhilfe“ in Form eines rauscharmen und großsignalfesten Vorverstärkers (engl. *low noise amplifier*, abgekürzt LNA) wünschenswert.

Idealerweise platziert man diesen so nahe wie möglich an der Antenne, damit sein gutes Rauschmaß nicht um den Betrag der Kabeldämpfung zwischen Antenne und LNA verschlechtert wird. Soll über dieselbe Antenne auch gesendet werden, ist der LNA um eine Sende-Empfangs-Umschaltung zu erweitern.

Bei einem weniger empfindlichen Empfänger bringt jedoch auch ein LNA unmittelbar am Antenneneingang noch eine merkbare Verbesserung, solange die Dämpfung des Antennenkabels nicht höher als etwa 3 dB ist.

An das Großsignalverhalten des Vorverstärkers werden hohe Anforderungen gestellt. Empfindlichkeit sowie geringes Rauschen bei gleichzeitig hoher Intermodulationsfestigkeit sind gefragt.

Vom US-amerikanischen Ingenieur *Harald Friis* stammt die nach ihm benannte Formel zur Berechnung des Rauschfaktors einer Reihenschaltung von Verstärkern und Dämpfungsgliedern. Demnach kann ein rauscharmer Vorverstärker den Rauschfaktor  $F$  einer Verstärkerkette verringern, sofern seine Verstärkung  $G_{LNA}$  (ebenfalls als Faktor einzusetzen) ausreichend hoch ist.



**Bild 1:** Prototyp des Vorverstärkers auf einer doppelseitig kupferkaschierten Leiterplatte; die SMA-Buchsen sind auf der Unterseite bestückt. Fotos: DL4ZAO

Stückliste des Vorverstärkers

Bauteil	Wert	Bezeichnung / Bauform
C1, C3	6...30 pF	SMD-Trimmer, TZB4-Serie
C2	150 pF	1206, Klasse 1, NP0
C4, C6	1 µF	1206, Hicap Keramik
C5, C8, C9	1 nF	1206, Keramik
C7	18 pF	1206, Klasse 1, NP0
IC1	TA78L10F	10-V-Spannungsregler, SOT89
K1, K2	SMA-Buchse*	SMA PCB 90°, kurz
K3	Lötstift +UB	Stiftleiste_1X01
K4	Lötstift GND	Stiftleiste_1X01
L1, L2	480 nH	Luftspule* d = 8 mm, l = 10 mm
L3	10 µH	Neosid SD75, RM 5.08
R1	22 kΩ	1206
R2	0 Ω	Brücke, RM 7.62
R3	56 Ω	1206
R4	1,2 kΩ	1206
T1	BFP196	SOT143R Platine, Material FR4, doppelseitig

\* siehe Text

$$F_{\text{gesamt}} = F_{\text{LNA}} + \frac{F_{\text{Rest}} - 1}{G_{\text{LNA}}}$$

Die Friis-Formel drückt aus, dass das Rauschen der nachfolgenden Stufen jeweils um die Verstärkung *G* der vorhergehenden verringert in den resultierenden Rauschfaktor der Reihenschaltung eingeht. Noch einfacher geht die Berechnung mithilfe des Moduls *NoiseCalc* des Softwarepakets *AppCAD* [4].

Daraus leiten sich folgende wichtige Erkenntnisse für die Praxis ab:

- Das Rauschen der ersten Stufe entscheidet maßgeblich über das Rauschmaß und damit die Empfindlichkeit des Gesamtsystems.
- Schon das Rauschen der zweiten Stufe fällt weniger ins Gewicht, wenn die Verstärkung der ersten Stufe hoch genug ist.
- Das Rauschmaß einer passiven Stufe, z.B. eines Filters oder einer Leitung, entspricht deren Übertragungsdämpfung in Dezibel.
- Eine Leitung vor dem Verstärker verschlechtert das Rauschmaß des Gesamtsystems um den Betrag ihrer Dämpfung.

■ Konzept

Die Hersteller von Kabelfernsehentechnik verwenden aktive Bauelemente, die auch für den Einsatz in VHF/UHF-Empfangsvorverstärkern sehr gut geeignet sind.

Die dichte Kanalbelegung in Kabelfernsehnetzen stellt hohe Ansprüche an die Linearität von Verstärkertransistoren. Vor diesem Hintergrund hat die Halbleiterindustrie eine neue Generation hochlinearer und rauscharmer Transistoren entwickelt. Diese Bauelemente weisen nicht nur hervorragende technische Daten auf, sondern sind gut verfügbar und zudem noch recht preiswert.

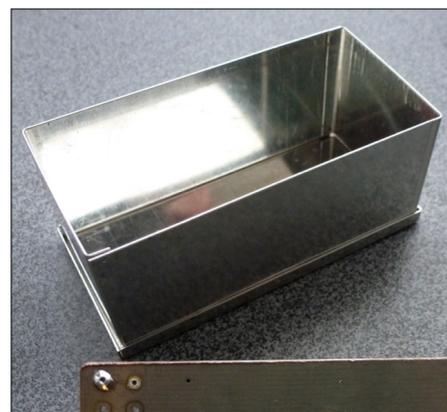


Bild 3: Ein Standard-Weißblechgehäuse [6] ist zum Einbau des Verstärkers geeignet.

Dragoslav Dobricic, YU1AW, hat in umfangreichen Untersuchungen diverse Transistoren in Vorverstärkern verglichen [2]. Der hochlineare, rauscharme Transistor BFP196 von Infineon [3] hat sich dabei als sehr geeignet herauskristallisiert. Dieser

Transistortyp kam bereits in anderen, hier im FUNKAMATEUR vorgestellten Projekten zum Einsatz, wie z. B. in dem 2-m-Vorverstärker von Frank Bosse, DH7FB, und hat sich dort ebenfalls bestens bewährt [5].

Der Verstärker mit dem BFP196 zeigte sich bei der Dreiton-Intermodulationsmessung der Ausführung eines Verstärkers mit dem Gallium-Arsenid-FET MGF1302 in puncto Intermodulationsfestigkeit deutlich überlegen.

Nach YU1AW können durch Variation des LC-Eingangnetzwerks und der Speisedrossel hochlineare Verstärker von KW bis zum 23-cm-Band realisiert werden. Die in Bild 2 vorgestellte praktische Umsetzung dieses Konzepts ist für 50 MHz bzw. 70 MHz ausgelegt, lässt sich aber leicht an andere Frequenzbereiche anpassen. L4 ist als „gedruckte“ Spule ausgeführt, um eine unerwünschte Kopplung zu L1 und L2 zu vermeiden (Bild 5).

Die Stromversorgung ist über den Innenleiter des Koaxialkabels problemlos möglich, wenn man eine geeignete Fernspeiseweiche, wie z.B. die in Bild 4, einsetzt. L3 in Bild 2 dient in diesem Fall zur Auskopplung der Gleichspannung.

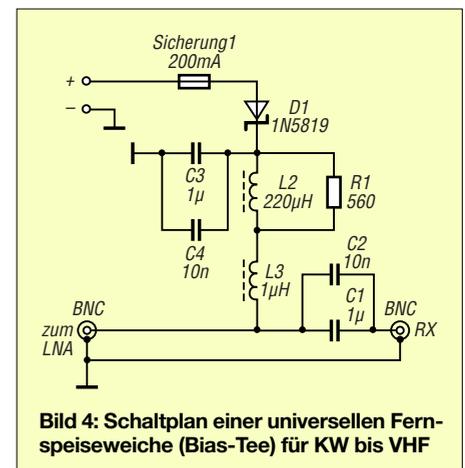


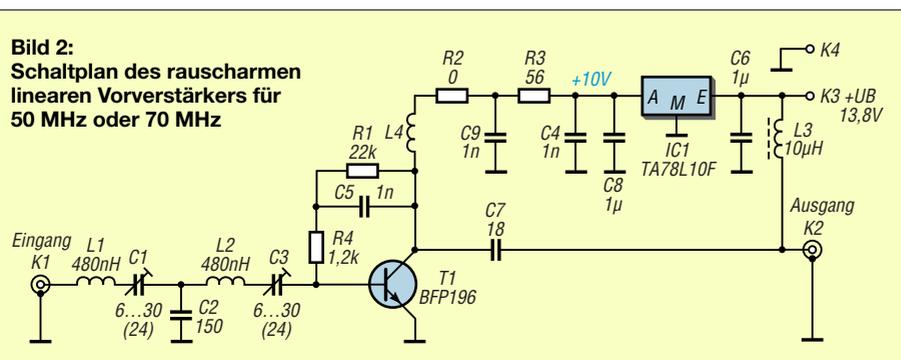
Bild 4: Schaltplan einer universellen Fernspeiseweiche (Bias-Tee) für KW bis VHF

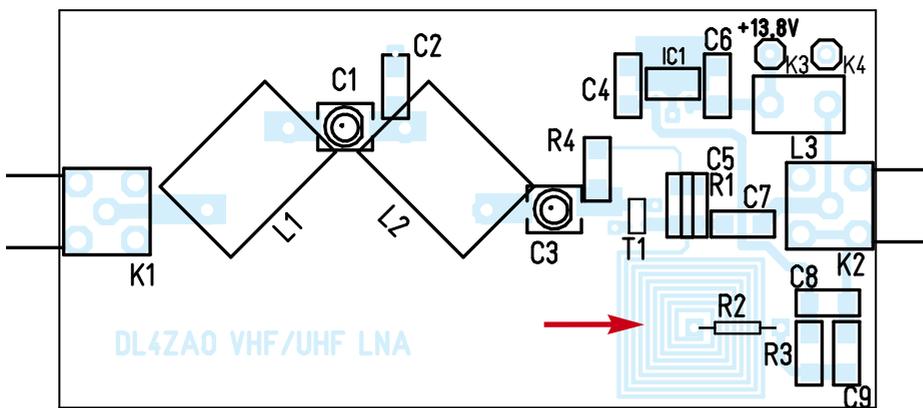
Die mit 6 GHz recht hohe Grenzfrequenz des BFP196 erfordert einen HF-gerechten Aufbau des Verstärkers in SMD-Technik. Andernfalls könnten parasitäre Schwingungen im Gigahertzbereich auftreten. Der Vorverstärker lässt sich sowohl auf 50 MHz als auch auf 70 MHz abgleichen und hat in beiden Fällen ein Rauschmaß von 1,2 dB. Die Verstärkung beträgt 26 dB und die Stromaufnahme 40 mA.

Um den Empfänger nicht zu übersteuern, kann es erforderlich sein, zwischen dessen Eingang und dem LNA ein 6-dB-Dämpfungsglied einzufügen. Das stellt die saubere Anpassung sicher und ergibt noch eine ausreichende Verstärkung von 20 dB.

Das eingangsseitige doppelte LC-Netzwerk dient einerseits zur Rauschanpassung und andererseits zur Vorselektion. Störträger

Bild 2: Schaltplan des rauscharmen linearen Vorverstärkers für 50 MHz oder 70 MHz





**Bild 5: Bestückungsplan der Platine des rauscharmen Vorverstärkers im Maßstab 1,5:1; die Originalabmessungen betragen 72 mm x 35 mm. Im Gegensatz zu den übrigen Bauelementen können die Buchsen sowohl auf der Ober- als auch auf der Unterseite bestückt werden. Die Spule L4 besteht aus einer ringförmigen angeordneten Leiterbahn (Pfeil).**

aus dem KW- und UKW-Rundfunkbereich werden gedämpft.

### ■ Aufbau

Der Verstärker ist auf einer doppelseitig kupferkaschierten Leiterplatte untergebracht (Bild 5). Die Platine passt problemlos in ein Standard-Weißblechgehäuse von [6]. Abgesehen von den beiden Luftspulen, den HF-Buchsen und der HF-Drossel für die Fernspeisung kommen SMD-Bauelemente der relativ einfach zu handhabenden Größe 1206 zum Einsatz.

Die Unterseite der Platine besteht aus einer durchgehenden Kupferfläche auf Massepotenzial. Die SMA-Buchsen für Leiterplattenmontage können wahlweise auf der Ober- oder der Unterseite bestückt werden. An ihrer Stelle lassen sich auch in die Gehäusewand eingesetzte BNC-, N- oder UHF-Buchsen verwenden.

Es ist wichtig, dass die kupferne Massefläche der Leiterplatte ringsum mit dem Weißblechgehäuse verlötet wird, damit eindeutige Potenzialverhältnisse gesichert sind. L1 und L2 sind Luftspulen mit einem Durchmesser von 8 mm und je 10 Windungen

aus 0,7 mm Kupferlackdraht. Als Wickelhilfe ist ein 7-mm-Spiralbohrer geeignet.

Der Abgleich der Spulen erfolgt durch Auseinanderziehen und Zusammendrücken der Wicklung. Es empfiehlt sich, die Induktivität bereits vor dem Einbau zu prüfen. Die Spulen sind um etwa 90° versetzt angeordnet, um die gegenseitige Kopplung zu minimieren.

Beim Kauf des Transistors ist darauf zu achten, man nicht versehentlich den BFP 196W erhält. Dieser hat eine andere Pin-Belegung als der BFP196 und das Platinenlayout müsste dann entsprechend angepasst werden. Die SMD-Bauelemente R1 und C5 werden „Huckepack“ übereinander gelötet, um eine möglichst kurze, streuarmlige Verbindung zum Kollektor des Transistors zu erreichen. Im Bestückungsplan ist das entsprechend angedeutet.

### ■ Abgleich

Der Abgleich des Verstärkers gestaltet sich relativ einfach. C3 beeinflusst überwiegend die Resonanzfrequenz der Eingangsauswahl, C1 mehr das Rauschen und die

Selektion. Mit C3 ist daher bei einem schwachen Eingangssignal auf maximale Empfangslautstärke zu trimmen. Danach stellt man C1 auf die gleiche Kapazität wie C3. Sollte es nicht möglich sein, auf Anhieb ein deutliches Maximum zu finden, ist durch gezieltes Auseinanderziehen bzw. Zusammendrücken der Spulen im Zusammenspiel mit dem Verstellen von C3 ein solches zu suchen.

Der Abgleich des Verstärkers gelingt am besten mit einem Netzwerkanalysator. In Bild 6 und Bild 7 sind die Messergebnisse hinsichtlich Verstärkung und Eingangsreflexion in Abhängigkeit von der Frequenz und mit unterschiedlicher Messbandbreite (10 MHz bzw. 100 MHz) dargestellt. Der Vorverstärker war zuvor auf 50 MHz abgeglichen worden. Bei einem Rauschmaß von  $F = 1,7$  dB beträgt die gemessene Verstärkung  $V = 26,7$  dB.

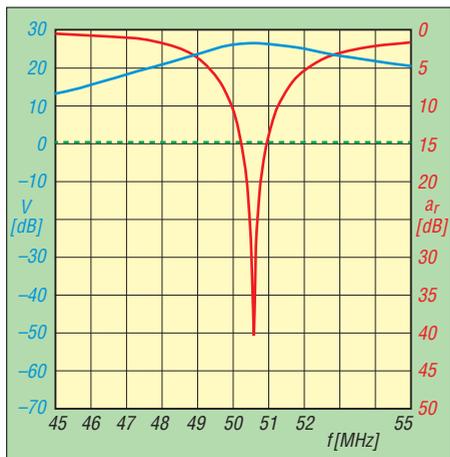
### ■ Fazit

Der beschriebene Vorverstärker ist unkompliziert aufzubauen und liefert respektable Ergebnisse, wenn man die eingangs genannten Einsatzgrundsätze beachtet. Er ist nach entsprechender Anpassung der frequenzbestimmenden Bauteile auch für andere VHF- und UHF-Bänder verwendbar.

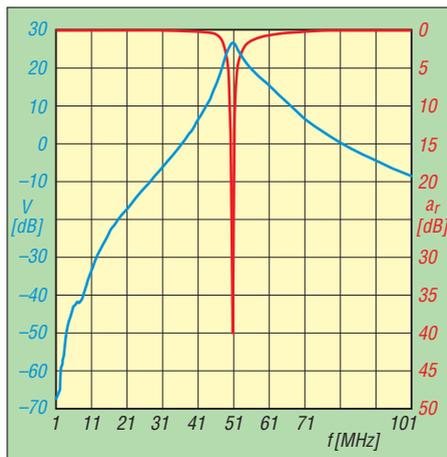
Am Nachbau Interessierte können die Platine unter der Bestellnummer *PLB-31* beim FA-Leserservice erwerben, ebenso den BFP 196 [7]. Die übrigen benötigten Bauelemente sind bei [8], [9] und [10] erhältlich.  
[dl4zao@t-online.de](mailto:dl4zao@t-online.de)

### Literatur und Bezugsquellen

- [1] Hegewald, W., DL2RD: Außer Rauschen nichts zu lauschen? FUNKAMATEUR 50 (2001) H. 1, S. 72–73
- [2] Dobricic, D., YU1AW: Ultra Linear Low Noise VHF and UHF Preamplifiers. [www.qsl.net/yu1aw/Misc/Ultra%20Linear%20Low%20Noise%20VHF%20and%20.pdf](http://www.qsl.net/yu1aw/Misc/Ultra%20Linear%20Low%20Noise%20VHF%20and%20.pdf)
- [3] Infineon: Datenblatt BFP196: [www.infineon.com](http://www.infineon.com) → RF & Wireless Control → RF Transistor → High Linearity Si- and SiGe:C-Transistors for use up to 6 GHz → BFP196
- [4] Agilent Technologies: Programm AppCAD 3.0.2. [www.hp.woodshot.com](http://www.hp.woodshot.com); auch enthalten auf der FA-Jahrgangs-CD 2014
- [5] Bosse, F., DH7FB: VHF-/UHF-Empfangsvorverstärker – altes Thema, neue Wege. FUNKAMATEUR 55 (2006) H. 5, S. 562–566
- [6] Otto Schubert GmbH, 90574 Roßtal, Tel. (0 91 27) 16 86, [www.schubert-gehaeuse.de](http://www.schubert-gehaeuse.de)
- [7] FUNKAMATEUR-Leserservice: Majakowski-king 38, 13156 Berlin, Tel. (030) 44 66 94-72, E-Mail: [shop@funkamateurl.de](mailto:shop@funkamateurl.de); Online-Shop: [www.funkamateurl.de](http://www.funkamateurl.de) → Online-Shop
- [8] Conrad Electronic SE, 92530 Wernberg-Köblitz, Tel. (0 96 04) 40 87 87; [www.conrad.de](http://www.conrad.de)
- [9] Reichelt Elektronik GmbH & Co. KG, 26452 Sande, Tel. (0 44 22) 955-333; [www.reichelt.de](http://www.reichelt.de)
- [10] Bürklin OHG, 82041 Oberhaching, Tel. (0 89) 558 75-110; [www.buerklin.com](http://www.buerklin.com)
- [11] Mandel, G.F., DL4ZAO: Seiten für Radio und Elektronik. [www.dl4zao.de/projekte/index.html](http://www.dl4zao.de/projekte/index.html)



**Bild 6: Frequenzgang von Verstärkung (blau) und Eingangsreflexion (rot) des auf etwa 50 MHz abgeglichenen Verstärkers; grün gestrichelt: Eingangspegel (Referenz)**



**Bild 7: Breitbandige Messung von Verstärkung (blau) und Eingangsreflexion (rot) über einen Frequenzbereich von 1 MHz bis 101 MHz**