Bandpassfilter im Amateurfunk

Theorie · Dimensionierung · Aufbau · Messung · Optimierung
T106-17 & T94-17 · 20-m- und 40-m-Band · 100 W

Amateurfunk · Bandpassfilter · HF-Technik

Agenda

1. **Grundlagen**
   Bandfilter im Amateurfunk – Einsatz und Wirkung
2. **Filterdesign**
   5-poliger & 3-poliger Chebyshev-Bandpass
3. **Ringkerne**
   Amidon T-Serie & FT-Serie – Mixturen & Kennwerte
4. **Materialien**
   Vollständige Stücklisten mit Bezugsquellen
5. **T106-17 / T94-17**
   Konkrete Bauteilwerte & Windungszahlen
6. **Aufbau & Einbau**
   Gehäuse, Anschluss, Antennentuner
7. **Messung**
   NanoVNA – SWR, S21, Durchgangs- und Sperrdämpfung
8. **Ergebnisse**
   Messwerte des fertigen 40-m-Filters
9. **Optimierung**
   Verbesserungsmöglichkeiten & Prioritätenliste

Abschnitt 1

Grundlagen
Bandfilter im Amateurfunk

Einsatzbereiche von Bandpassfiltern

Oberwellenunterdrückung

Am Senderausgang: Dämpft Harmonische (2f, 3f) um > 40 dB. Gesetzlich vorgeschrieben, schützt andere Dienste.

Empfangsschutz (SDR)

Vor dem Empfängereingang: Unterdrückt starke Außerband-Signale (UKW, DAB+, LTE) die den ADC übersteuern.

Multi-Op / Contest

Mehrere Stationen gleichzeitig auf Nachbarbändern. Ohne Filter: gegenseitige Vollblockierung.

Antennenweichen

Grundlage für Diplexer und Multiplexer – mehrere TRX an einer gemeinsamen Antenne.

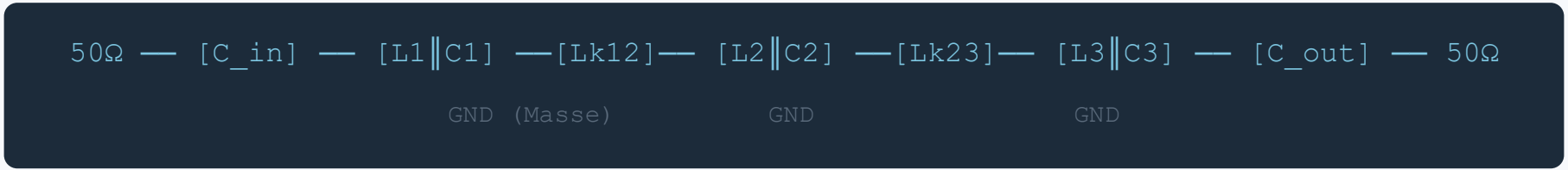
Abschnitt 2

Filterdesign Chebyshev-Bandpassfilter

3-poliger vs. 5-poliger Chebyshev-Filter

Parameter	3-poliger Filter	5-poliger Filter
Sperrdämpfung ±1×BW	25–35 dB	50–65 dB
Sperrdämpfung ±2×BW	35–45 dB	70–85 dB
Einfügedämpfung	< 0,5 dB	< 1,0 dB
Anzahl Resonatoren	3	5
Abgleichaufwand	niedrig	mittel
Kosten (Materialien)	20–35 €	45–75 €
Einsatzgebiet	SDR, Einzelstation	Multi-Op, Contest

Topologie: Induktiv gekoppelte Parallelschwingkreise



L1, L2, L3

Resonatorspulen auf Amidon-Ringkernen – je auf eigenem Kern

C1, C2, C3

Parallelkondensatoren (Festwert + Trimmer) zur Resonanzeinstellung

Lk12, Lk23

Koppelspulen auf separaten Ringkernen – bestimmen die Bandbreite

C_in, C_out

Serien-Koppelkondensatoren für 50-Ω-Anpassung am Ein-/Ausgang

Abschnitt 3

Ringkerne
Amidon T-Serie & FT-Serie

Übersicht Mixturen – Pulvereisen T-Serie

Mixtur	Farbe	µi	Opt. Frequenzbereich	Haupteinsatz
T XX-0			100–300 MHz	
T XX-2			2–30 MHz	
T XX-6			10–50 MHz	
T XX-10			30–100 MHz	
T XX-12			50–200 MHz	
T XX-17			40–180 MHz	

Faustregel: Pulvereisen (T-Serie) für Schwingkreise – Ferrit (FT-Serie) für Breitbandübertrager und Baluns

Ferrit-Ringkerne FT-Serie – Mixturen & Einsatz

Mixtur	Farbe	µi	Schwingkreis	Übertrager	Hinweis
FT XX-43	grau/beige	850	0,01–1 MHz	40–400 MHz	Meistgenutzter Ferrit im AFu. Baluns, HF-Übertrager.
FT XX-61	blau	125	0,2–10 MHz	bis 200 MHz	Antennenbaluns, HF-Übertrager 1–200 MHz.
FT XX-63	grau	40	1–50 MHz	bis 300 MHz	Breitbandübertrager bis 300 MHz, EMV-Filter.
FT XX-68	braun	20	10–200 MHz	bis 300 MHz	Wenig verbreitet. Ähnlich Mix 61.
FT XX-77	dunkelgrau	2000	0,001–1 MHz	0,5–50 MHz	Hohe µi. NF-Übertrager, EMV-Entstörung.

Kerngrößen: FT-23 bis FT-240 · Leistung: QRP bis 500 W je nach Kerngröße

Abschnitt 4

Bauteilwerte T106-17 & T94-17

Kernkenngrößen – T106-17 & T94-17

T106-17 – 20-m-Filter

Außendurchmesser OD	106,0 mm
Innendurchmesser ID	66,0 mm
Höhe H	27,0 mm
AL-Wert (Mix 17)	30 nH/N²
Mixtur / Farbe	blau/gelb
Opt. Frequenzbereich	40–180 MHz
Betriebsfrequenz	14,175 MHz ⚠

T94-17 – 40-m-Filter

Außendurchmesser OD	94,0 mm
Innendurchmesser ID	56,4 mm
Höhe H	25,4 mm
AL-Wert (Mix 17)	28 nH/N²
Mixtur / Farbe	blau/gelb
Opt. Frequenzbereich	40–180 MHz
Betriebsfrequenz	7,100 MHz ⚠

⚠ **Material 17 ist für 40–180 MHz optimiert – 7 und 14 MHz liegen unterhalb des optimalen Bereichs → erhöhte Kernverluste**

Berechnete Bauteilwerte – beide Filter

Bauteil	20-m-Filter T106-17	40-m-Filter T94-17
Windungszahl N	**5 Windungen**	**11 Windungen**
Induktivität L	0,75 µH (5² × 30 nH)	3,39 µH (11² × 28 nH)
Resonanzkapazität C_ges	≈ 168 pF	≈ 148 pF
Festkondensator C1–C3	130 pF (Silberglimmer)	110 pF (Silberglimmer)
Trimmer T1–T3	0–63 pF	0–63 pF
Koppel-C Ck12 = Ck23	3,8 pF (NP0/Silberglimmer)	3,8 pF (NP0/Silberglimmer)
C_in / C_out	Experimentell per NanoVNA	Experimentell per NanoVNA
Koppelkoeffizient k_{12}	22,7 × 10^{-3}	25,9 × 10^{-3}

Benötigte Drahtlängen

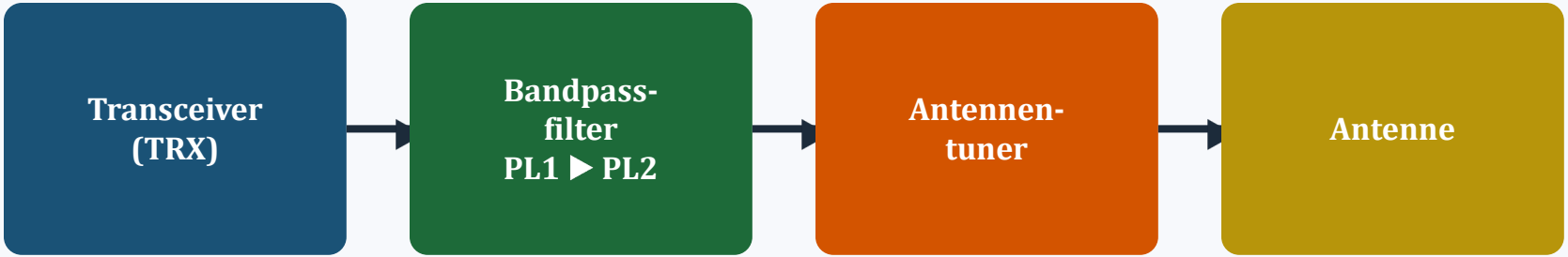
Spule	Kern	Windungen	Abschnitt je Spule	Anzahl	Gesamt
Resonator L1–L3	T106-17	5	110 cm	3	**330 cm**
Koppelspule Lk	T106-17	1	55 cm	2	**110 cm**
Resonator L1–L3	T94-17	11	175 cm	3	**525 cm**
Koppelspule Lk	T94-17	1	50 cm	2	**100 cm**
Gesamtbedarf beide Filter					**≈ 10,7 m**

Empfehlung: Eine 15-m-Rolle CuL AWG 20 (0,81 mm) reicht für beide Filter mit Reserve | Koppelspule (1 Wdg.) braucht ~40 cm wegen des großen Kernumfangs!

Abschnitt 5

Aufbau & Einbau
Gehäuse, Anschluss, Antennentuner

Einschleifreihenfolge in der Station



Korrekte Reihenfolge

Filter IMMER zwischen TRX und Tuner – nicht zwischen Tuner und Antenne. Der Tuner sieht am Eingang stets 50 Ω.

PL1 und PL2

Filter ist symmetrisch und bidirektional. PL1 = TRX-Seite, PL2 = Tuner-Seite. Elektrisch gleichwertig.

Kabelempfehlung

Zwei kurze Koaxialkabel (30–50 cm) mit PL-259-Steckern. Kurze Kabel = weniger Verluste.

Beim Abstimmen

Sendeleistung auf 10–20 W reduzieren beim Tuner-Abstimmvorgang – der Filter dankt es mit einem kühlen Kern.

Abschnitt 6

Messung mit dem NanoVNA
SWR · S21 · Induktivität

SWR-Messung und Abgleich

Anschluss für S11 (SWR-Messung):

```
NanoVNA CH0 ——— Filter PL1 ▶ PL2 ——— 50-Ω-Abschluss (CH1 offen)
```

SWR	S11 (dB)	Reflexion	Bewertung
SWR 1,0	S11 = −∞ dB	Reflexion 0 %	Perfekt
SWR 1,22	S11 = −20 dB	Reflexion 1 %	Sehr gut
SWR 1,50	S11 = −14 dB	Reflexion 4 %	Gut
SWR 1,84	S11 = −10 dB	Reflexion 8 %	Nachbesserung nötig
SWR 1,30	**S11 = −17 dB**	**Reflexion 2 %**	**✓ Euer Ergebnis – im Zielbereich**

**Abgleich: Spulen durch Stauchen / Spreizen auf SWR < 1,3 bringen →
danach Windungen mit HF-Kleber (UHU Endfest) fixieren!**

S21-Messung – Durchgangsdämpfung

```
NanoVNA CH0 ── Filter PL1 ▶▶▶ Filter PL2 ── NanoVNA CH1
```

1

Kalibrierung

CALIBRATE → CH0 direkt mit CH1 verbinden → THRU → DONE (setzt Referenz auf 0 dB)

2

Messbereich

START: 4 MHz / STOP: 12 MHz → zeigt Durchlassband + 80m + 30m gleichzeitig

3

Anzeige

DISPLAY → TRACE 1 → FORMAT → LOGMAG / CHANNEL → CH1 (S21) / SCALE: 10 dB/Div

4

Marker setzen

M1: 7,100 MHz (Mitte) · M2: 7,000 MHz · M3: 7,200 MHz · M4: 3,650 MHz · M5: 10,100 MHz

5

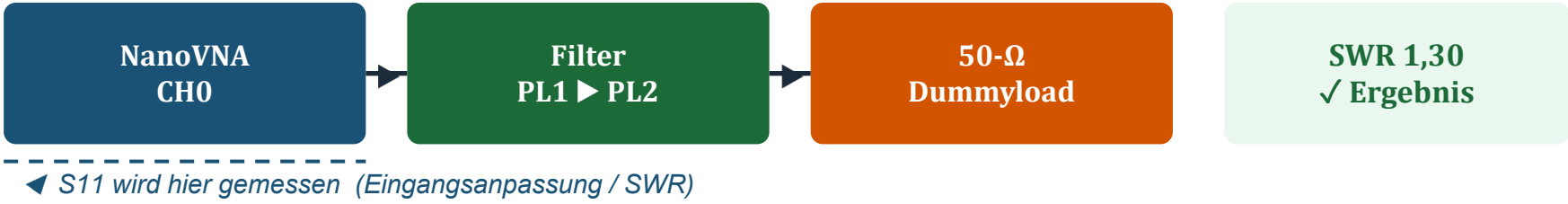
Werte ablesen

M1 = Einfügedämpfung · M4/M5 = Sperrdämpfung · Data Hold (DH-Taste) zum Einfrieren

Korrekte Messmethoden mit dem NanoVNA

Messung 1 – SWR-Abstimmung (S11)

Mit Dummyload am Ausgang ✓



Messung 2 – Durchgangsdämpfung (S21)

Kein Dummyload – CH1 direkt ✓



S21 = Verhältnis CH1 / CH0 → Einfügedämpfung im Durchlassband + Sperrdämpfung bei Nachbarbändern

Einfügedämpfung: 0,06 dB · Sperrdämpfung 40m: −38 dB · Sperrdämpfung 15m: > −30 dB · SWR: 1,30 → Alle Werte korrekt gemessen ✓

Induktivitätsmessung mit dem NanoVNA

Resonanzmethode: Spule + bekannter Kondensator (100 pF) parallel → Resonanzfrequenz messen → L berechnen

Formel: $L\ (\mu H) = 25330 / (f_0_MHz^2 \times C_pF)$

Beispiel: f_0 = 21,8 MHz, C = 100 pF → L = 25330 / (475,24 × 100) = 0,533 µH

Messbereich NanoVNA

START: 1 MHz / STOP: 100 MHz – Resonanzspitze bei ~22 MHz (für 0,535 µH mit 100 pF)

Kalibrierung

Nur CH0: OPEN, SHORT, LOAD – CH1 bleibt frei. FORMAT: LOGMAG zeigt Resonanzspitze als Maximum.

Anschlusslänge

Drähte so kurz wie möglich halten – 5 mm Draht = ca. 0,3–0,5 pF parasitäre Kapazität!

BM4070 Grenzfall

Das BM4070 misst L ab 200 µH. 0,535 µH liegt knapp darunter → NanoVNA-Methode ist zuverlässiger.

Abschnitt 7

Messergebnisse Fertiger 40-m-Filter

Messergebnisse – 40-m-Bandpassfilter (T94-17)

Messpunkt	Frequenz	Messwert	Verlustleistung bei 100 W	Bewertung
Einfügedämpfung (S21)	7,100 MHz	**≈ 0,06 dB**	< 1,4 W	✓✓ **ausgezeichnet**
SWR Bandmitte	7,100 MHz	**1,30**	—	✓ im Zielbereich
Schwankungsbereich S21	7,100 MHz	0,03 – 0,10 dB	—	Normal (NanoVNA-Rauschen)
Sperrdämpfung	3,650 MHz (80m)	noch nicht gemessen	—	→ nächster Schritt

Der 20-m-Filter wurde ebenfalls gemessen:

Messpunkt 20-m-Filter	Frequenz	Messwert	Bewertung
Einfügedämpfung	14,175 MHz	**≈ 0,06 dB**	✓✓ ausgezeichnet
Sperrdämpfung 40m	7,100 MHz	**−38 dB**	✓✓ sehr gut
Sperrdämpfung 15m	21,200 MHz	knapp > −30 dB	✓ gut / ausreichend

Verlustleistung im Filter – Berechnung

```
P_verlust = P_ein × (1 − 10^(S21_dB / 10))     Beispiel S21 = 0,06 dB: P_verlust = 100W
                                                × (1 − 0,986) = 1,4 W
```

S21 (Einfügedämpfung)	Durchgelassene Leistung	Verlustleistung bei 100 W	Wärmeentwicklung
0,06 dB ← Euer Filter!	98,6 W	**< 1,4 W**	kaum spürbar ✓✓
0,5 dB	89,1 W	10,9 W	warm
1,0 dB	79,4 W	20,6 W	deutlich warm
2,0 dB (Material 17 erwartet)	63,1 W	36,9 W	heiß – kritisch
3,0 dB	50,1 W	49,9 W	sehr kritisch ⚠

Euer Filter mit 0,06 dB: Nur 1,4 W Verlust bei 100 W → Kern bleibt kalt – hervorragendes Ergebnis!

Abschnitt 8

Optimierungsmöglichkeiten Prioritätenliste

Optimierungsmöglichkeiten – Prioritätenliste

1	**NanoVNA-Abgleich**	Verbesserung: 0,5–1,5 dB **Kosten: 0 €**
2	**AWG 20 statt AWG 22**	Verbesserung: 0,1–0,3 dB **Kosten: < 5 €**
3	**Silberglimmer-Koppel-C, kurze Beinchen**	Verbesserung: 0,1–0,5 dB **Kosten: < 5 €**
4	**Metallgehäuse mit Trennwänden**	Verbesserung: 5–10 dB Sperrwirkung **Kosten: 10–15 €**
5	**Kernmaterial wechseln (Mix 6 / Mix 2)**	Verbesserung: 1–3 dB Einfügedämpfung **Kosten: 15–25 €**
6	**Auf 5-poligen Filter erweitern**	Verbesserung: 20–30 dB Sperrdämpfung **Kosten: +25–40 €**

Kernmaterial – Wichtigste Optimierung

Mixtur / Farbe	Opt. Bereich	Güte Q	Einfügedämpfung	Empfehlung
T XX-2 (rot)	2–30 MHz	120–180	< 0,5 dB	**Erste Wahl 40 m**
T XX-6 (gelb)	10–50 MHz	150–200	< 0,3 dB	**Erste Wahl 20 m**
T XX-17 (blau/gelb)	40–180 MHz ⚠	50–80	1–3 dB ⚠	Suboptimal f. 7/14 MHz

Gehäuse & Abschirmung:

Aufbau	Sperrdämpfung (typisch)	Bewertung
Offener Aufbau (keine Abschirmung)	15–25 dB	Nicht empfohlen
Metallgehäuse, gemeinsamer Hohlraum	25–35 dB	Für 3-pol ausreichend
Metallgehäuse mit Trennwänden (verlötet)	45–60 dB	Empfohlen ✓

Euer Filter hat bereits 0,06 dB Einfügedämpfung – besser als mit Material 17 erwartet! Der Materialwechsel wäre trotzdem die wirkungsvollste langfristige Verbesserung.

Praktische Tipps aus dem Gespräch

Glimmerkondensatoren

Das "R" auf Silberglimmer-Kondensatoren bedeutet RoHS-konform oder Seriencode – KEINE Polung. Kondensatoren sind symmetrisch und können in beide Richtungen eingebaut werden.

Spulen fixieren

Nach dem Abgleich durch Stauchen: Windungen mit HF-Kleber (UHU Endfest 300) fixieren – 3–4 Punkte gleichmäßig verteilt, sparsam auftragen. Heißkleber und Silikon sind ungeeignet.

NanoVNA Schwankungen

Schwankungen 0,03–0,10 dB bei S21-Messung sind normal (Eigenrauschen ±0,05–0,1 dB). Data Hold (DH-Taste) zum Einfrieren verwenden. Averaging reduziert Schwankungen.

BM4070 LCR-Meter

Misst L ab 200 µH – 0,535 µH liegt darunter. Auf 200-µH-Bereich stellen, ZERO ADJ nutzen. Für HF-Spulen ist die NanoVNA-Resonanzmethode genauer.

Kondensatortypen

Nur Silberglimmer oder NP0/C0G für HF-Filter. X7R und Y5V sind temperaturinstabil und verlustreiche – nicht geeignet! Koppel-C: Anschlussbeinchen < 5 mm halten.

Duty Cycle beachten

FT8/RTTY (100 % Duty Cycle) erzeugt deutlich mehr Wärme als SSB (20–30 %). Beim Abstimmen des Tuners immer auf 10–20 W Leistung reduzieren.

Bandpassfilter im Amateurfunk

T106-17 · T94-17 · 20-m- & 40-m-Band · 100 W · Chebyshev n=3

Zusammenfassung der Ergebnisse

- ✓ Einfügedämpfung: 0,06 dB (< 1,4 W Verlust bei 100 W)
- ✓ SWR Bandmitte: 1,30 – im Zielbereich
- ✓ Sperrdämpfung 40m-Band (20m-Filter): −38 dB
- ✓ Sperrdämpfung 15m-Band (20m-Filter): > −30 dB

Referenzen: ARRL Handbook 2000, Kap. 24 · Amidon Datenbuch · Hayward/Campbell/Larkin: Experimental Methods in RF Design · NanoVNA-Messung