

In dieser kleinen Gedankensammlung sammel ich einige Erkenntnisse und Diskussionsergebnisse über Quarzfilter. Letztlich beruht alles auf eigenen Experimenten und auf Diskussionen mit Eric und Horst dj6ev und seinen Veröffentlichungen über Quarzfilter. Diese Sammlung richtet sich an Bastler aus Leidenschaft ;-).

## Wie ändert sich bei Ladderfiltern die Filtermitte, wenn die Bandbreite verändert wird?

Bei einem idealen Ladderfilter mit senkrechten Flanken würde sich nur die obere Flanke bewegen. Die Änderung der Mittenfrequenz sei mit  $\Delta f_m$ , die der Bandbreite mit  $\Delta BBr$  bezeichnet. Dann gilt in diesem Idealfall der einfache Zusammenhang:

$$\Delta f_m = \Delta BBr / 2.$$

→ Siehe Bild 3.

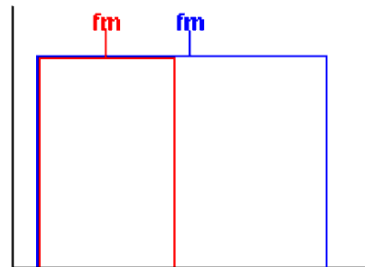


Bild 3

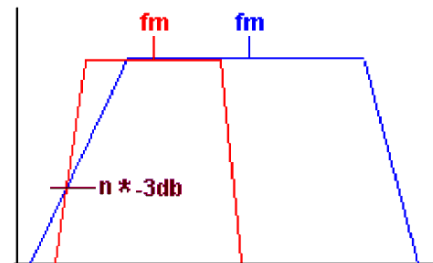


Bild 4

In der Realität liegt natürlich ein Filter mit endlichen Flankenschrägen vor, bei dem durch den Dämpfungspol oberhalb der Filterfrequenz die obere Flanke etwas steiler verläuft als die untere (Bild4). Durch eine

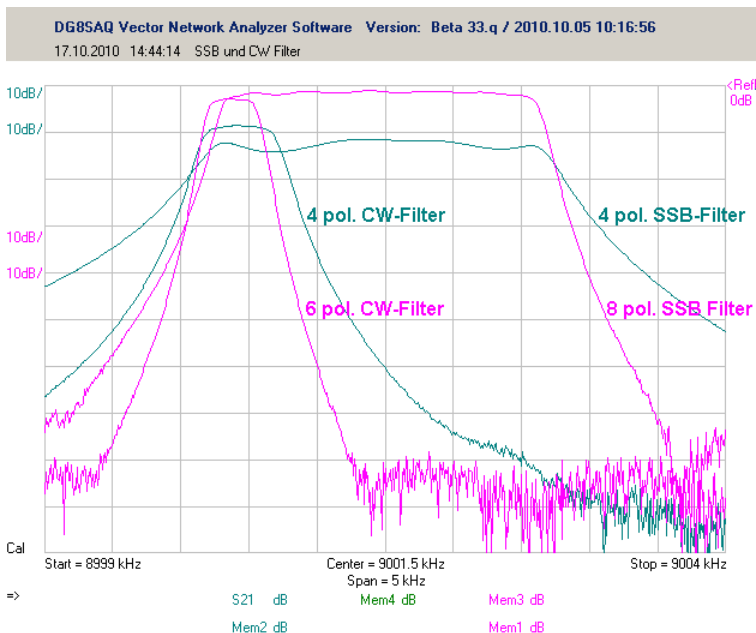
Verringerung der Bandbreite bleibt nun die untere Flanke nicht etwa unverändert stehen, sondern wird ebenfalls steiler. Zusätzlich "dreht" sie sich um einen Punkt, der frequenzmäßig die Serienresonanz der Quarze darstellt und um den Betrag  $n * -3db$  unterhalb des Filter-Tops liegt, wobei "n" ist die Zahl der Quarze im Filter ist. Das heißt, dass in Wirklichkeit sich nicht nur die obere Flanke in der Frequenz nach unten bewegt, sondern ebenfalls die untere Flanke. Das ergibt immer eine Verschiebung der Mittenfrequenz um mehr als  $\Delta BBr / 2$ . Ein guter Anhaltswert für eine Überschlagsrechnung ist:

$$\Delta f_m \approx \sim 0.6 * \Delta BBr. \quad (\text{Siehe auch das untere Bild auf Seite 47 im QF-Papier})$$

Auch dieser Zusammenhang ist unabhängig vom Quarztyp, egal, ob HC6U, HC18U, HC49U oder HC49US (Low-Profile). Entscheidend ist nur die Form der Filterkurve (Asymmetrie und Flankensteilheit).

→ Man kann die Größe der Verschiebung von  $f_m$  natürlich auch ganz bequem und genau mit dem Dishal-Programm ermitteln, das ja automatisch die Mittenfrequenz für eine gegebene Filterbandbreite anzeigt.

(von Horst dj6ev geschrieben)



Diese von Horst geschriebene Erklärung über die Verschiebung der Filtermitte möchte ich durch eigene Messungen verdeutlichen. Im nebenstehenden Bild sind vier 9 MHz Filter dargestellt, die ich vor längerer Zeit für meinen QRP-Transceiver HOB0 gebaut hatte. Sehr deutlich ist zu erkennen, dass die linke Flanke fest bleibt - unabhängig von der Polzahl und der Filterbreite. Hintergrund zu den Filtern: Die grünen Filterkurven gehören zu den Originalfiltern aus meinem Monobandtransceiver HOB0 von QRPprojekt. Da mir die Filterwirkung nicht gut genug war, hatte ich mir einen 8-poligen-SSB Filter und einen 6-poligen CW Filter entwickelt und war im Hörtest sehr glücklich darüber. Der akustische Unterschied war sehr deutlich zu hören. Aus dieser Entwicklungszeit stammt das nebenstehende Diagramm.

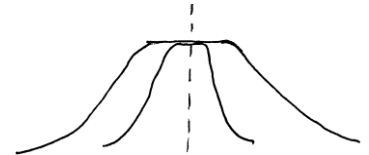
Als Ergänzung hier noch die Quarzersatzdaten des selbst entwickelten 6-pol-CW-Filters. Die Quarze wurden von mir besonders selektiert nach gleichem  $f$  und  $L$  und hohem  $Q$ . Normalerweise ist die Güte von Quarzen mit dieser

#	f / Hz	Q	L / H	C / F	R / Ohm	CO / F	figure of merit
37	9000032,35	195555	0,036608668	8,54217E-15	10,59	2,79824E-12	0,00316
38	9000018,91	249660	0,03661339	8,54109E-15	8,29	2,73877E-12	0,00459
41	9000020,32	250877	0,035997639	8,68719E-15	8,11	2,75655E-12	0,00579
45	9000024,68	202780	0,037188231	8,40906E-15	10,37	2,95800E-12	0,0152
46	9000020,72	345311	0,036572868	8,55055E-15	5,99	2,72513E-12	0,00478
47	9000021,63	212863	0,036785639	8,50109E-15	9,77	2,73180E-12	0,00471

Frequenz deutlich kleiner. Während der Selektion habe ich damals bei einigen Quarzen eine Güte von kleiner 30000 gemessen, die somit unbrauchbar für Quarzfilter waren.

**Kann man Ladderfilter bauen, die eine konstante Mittenfrequenz haben?**

Wie schon vorher ausgeführt ist es nicht möglich mit identischen Quarzen Filter zu bauen, die eine konstante Filtermitte haben – unabhängig von der Filterbreite. Die Bauform der Quarze spielt keine Rolle. Das nebenstehende Bild ist also mit normalen Ladderfiltern nicht zu erreichen.

**Welche Probleme können auftreten, wenn man einen TRX bauen möchte, bei dem der BFO nicht individuell eingestellt werden kann?**

Wenn alle Quarzfilter im Empfänger die gleiche linke Flanke haben, kann der BFO für alle Filter gleich eingestellt werden. Wenn man dann aber LSB und USB tauscht, treten Probleme auf, da nun der BFO nur noch für einen Filter stimmt und nicht mehr für die anderen. Hier würde nur ein nachträglicher Einbau einer getrennten BFO-Einstellung für jedes Filter und für LSB und USB helfen. Mit einem digital einstellbarem BFO könntet ihr euch sogar ein Passband-Tuning realisieren.

Selbst wenn man Quarzfilter mit konstanter Filtermitte bauen würde, dürften sie sich trotzdem der Empfänger in der Praxis nicht gut anhören, da die Lage der Quarzfilter gegenüber dem BFO nie optimal sein kann. Dieser Frust lässt sich wie oben beschrieben leicht vermeiden.

Weiterhin würde ich auf getrennte Quarzfilter für den RX-Zweig und den TRX-Zweig verzichten, damit ein späteres Abstimmen des TRX erleichtert wird. Bei gemeinsamen Filtern lassen sich die Filterkurven auch messtechnisch leichter verifizieren.

**Wie kann man trotzdem Quarzfilter mit konstanter Mittenfrequenz und unterschiedlichen Bandbreiten bauen?**

Vor einiger Zeit hatte ich zu dieser Problemstellung eine Lösung für einen 4-poligen Quarzfilter mit einer Mittenfrequenz von etwa 9 MHz berechnet.

Die Verschiebung der Mittenfrequenz lässt sich sehr leicht mit der Formel von Horst bestimmen:

$$\Delta f_{\text{Mitte}} = 0.6 \cdot \Delta \text{Bandbreite}$$

Ihr könnt leicht nachrechnen, dass die Mittenfrequenz bei einem 2.1 kHz SSB-Filter rund 360 Hz niedriger liegt, als bei einem 2.7 kHz Filter. Wenn also beide Filter die gleiche Mittenfrequenz haben sollen, müssen die Quarze von dem schmaleren Filter eine um 360 Hz höhere Serienresonanz aufweisen.

Für die CW-Filter kann die Verschiebung der Mittenfrequenz entsprechend berechnet werden:

Wenn man für CW eine Filterbreite von 200 Hz, 400 Hz und 900 Hz Filter wählt, ist die Filtermitte vom schmalsten CW-Filter um 120 Hz nach unten verschoben. Gegenüber dem mittleren Filter ist beim breitesten Filter die Mittenfrequenz um 300 Hz nach oben verschoben. Für eine gleiche Filtermitte, müssen Quarze mit unterschiedlichen Serienresonanzen gewählt werden. Die Lösung dieses Problems ist eine geeignete Wahl der Quarze:

- 4 Quarze mit  $f_{s\_Mitte}$
- 4 Quarze mit  $f_s - 300 \text{ Hz}$
- 4 Quarze mit  $f_s + 120 \text{ Hz}$

Ihr müsst also nur beim Selektieren der Quarze je nach zu erzielender Filterbreite auf eine unterschiedlichen Serienresonanz achten. Die größere Dämpfung beim schmalsten CW-Filter lässt sich ausgleichen, indem am Eingang des Quarzfilters zur Anpassung kein Widerstand, sondern ein kleiner Übertrager verwendet wird. Zur Anpassung von Quarzfiltern würde ich sowieso immer kleine Doppellochkerne vorsehen.

**Welche Zwischenfrequenz soll ich wählen?**

Wenn ein Einfachsuper gebaut werden soll, spricht alles für eine niedrige Zwischenfrequenz von 4,91 MHz. Eine ZF von 9 MHz ist nur historisch bedingt und hat überwiegend nur Nachteile gegenüber 4,91 MHz.

Begründung:

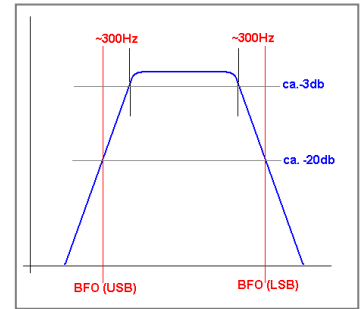
- Als Bastler kann man die 4,91 MHz-Quarze quasi an jeder Ecke für sehr kleines Geld in größeren Mengen kaufen. Die 9 MHz Quarze sind nur sehr schwer zu bekommen und überwiegend sehr teuer.
- 4,91 MHz Quarze haben im Mittel eine höhere Güte und ein kleineres  $R_L$  als Quarze mit einer größeren Serienresonanz. Dies wirkt sich günstig auf die Form der Filterkurve und die Durchgangsdämpfung aus.

Diese beiden Gründe sprechen nach unserer Einschätzung schon alleine eindeutig für eine ZF von 4,91 MHz. Die Firma Elecraft hat bei ihrem K2 auch diese ZF gewählt. Aufgrund der leichten Verfügbarkeit können bei dieser Frequenz auch leichter eigene Experimente durchgeführt werden.

### Wie wird der BFO optimal eingestellt

Im SSB-Modus hört sich für mich das Signal am besten an, wenn der BFO etwa 300 Hz unterhalb bzw. oberhalb der 6 dB Filtergrenze liegt. Als ich meinen ersten Transceiver gebaut hatte, wurde mir geraten den -20dB-Punkt zu finden, wie im nebenstehenden Bild abgebildet. Diese -20dB Regel trifft in der Regel aber nur für 6-8 polige Quarzfilter meist zu.

(Das Bild habe ich aus einer Email von Horst entnommen.)



### Ein kleiner Hinweis zu Ladderfiltern

Beim Butterworth-Filter erhält man meist bessere Werte für die Form der Durchlasskurve, wenn man bei der Wahl des Übersetzungsverhältnisses des Anpassübertragers einen leicht höheren Wert für die Impedanz wählt. Die Sperrdämpfung wird besser und die Durchgangsdämpfung nur vernachlässigbar verschlechtert.

Als Anpassübertrager sind die Doppellochkerne BN43-2402 zu empfehlen, da sie nur eine geringe Einfügedämpfung und fast kein Streufeld aufweisen. Dies wirkt sich direkt positiv auf die Sperrdämpfung aus. Ringkerne sind in allen diesen Punkten viel schlechter.