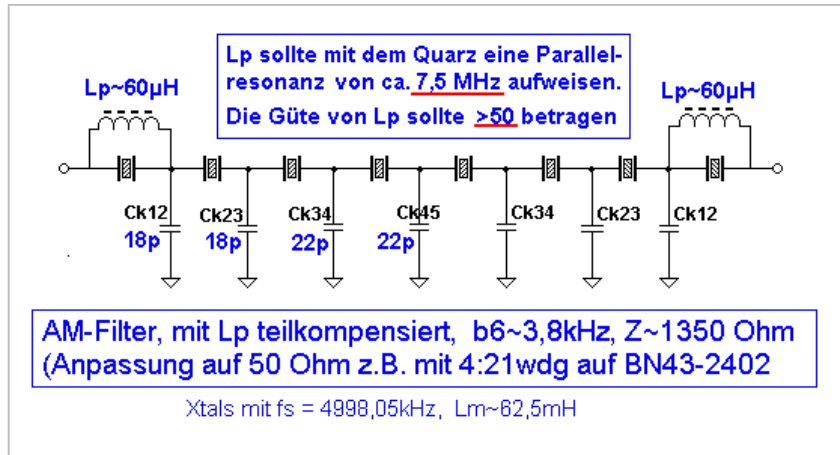


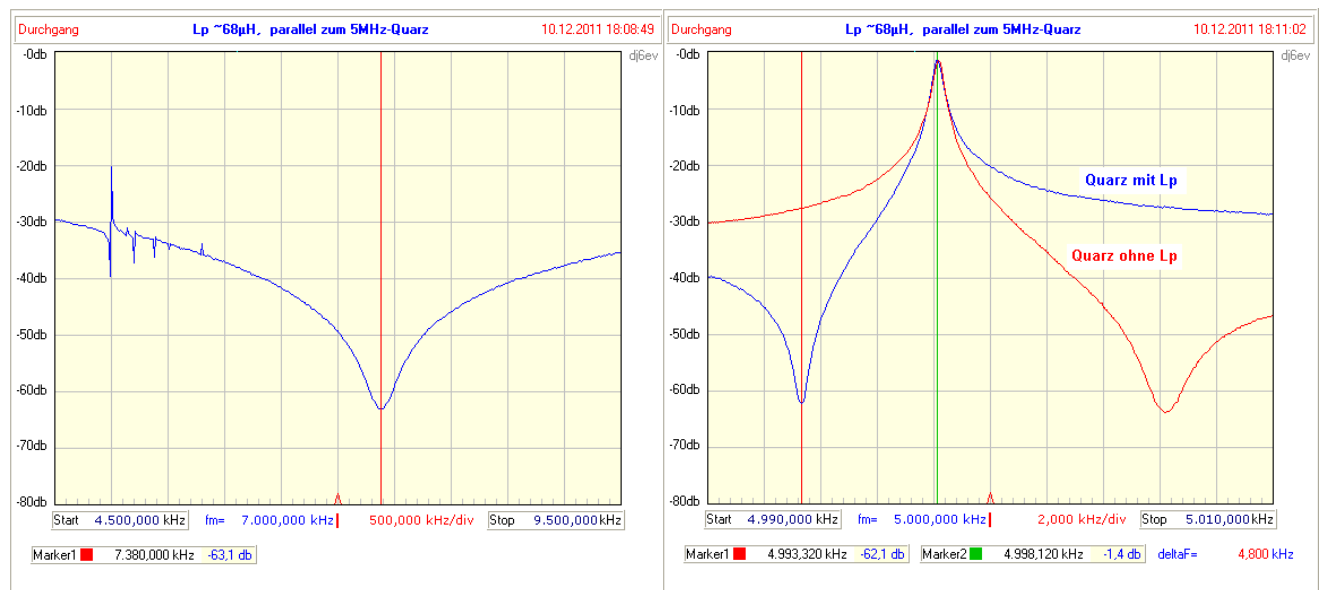
Versuchsaufbau: AM-Ladderfilter mit 8St. 5MHz-Quarzen und Lp-Teilkompensation

Ich hab's doch nicht lassen können und mit meinen 5MHz-Quarzen (Qu ~145k) das simulierte teilkompensierte AM-Filter praktisch aufgebaut. War für mich auch wieder eine Herausforderung, da man solche Filter nur sehr grob berechnen kann und dann in die Simulation muss (RFSim99 reicht dafür auch aus). Die mit Hilfe der Simulation ermittelte Topologie wurde einfach übernommen, siehe Abbildung. Der von mir als



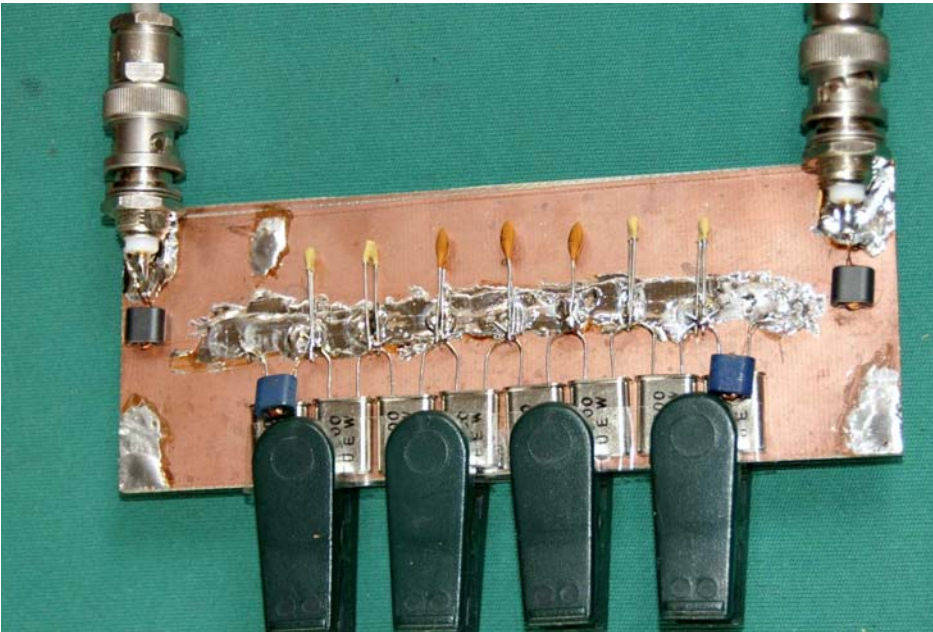
etwas kritisch angesehene Punkt, nämlich eine ausreichende Güte der Kompensationsinduktivitäten mit immerhin mindestens 60µH bei 5MHz wurde hier durch Ferrit-Doppellochkerne des Materials 61 (BN61-2402) realisiert. (Zu kleine Güten ergeben in der Simulation eine stärkere "Dachschräge" der Durchlasskurve an der höherfrequenten Ecke). Wie du weiter unten siehst, reichte die Güte hier offensichtlich aus (Qu~45-50).

Bei der Dimensionierung von Lp ist der in der Schaltung angegebene Wert von 60µH nur ein Richtwert, weil weder die Eigenkapazität von Lp noch das effektive Cp genau genug bekannt sind. Daher hatte ich ja vorgeschlagen, die Gesamt-Parallelresonanz von Lp an einem Quarz zu messen – der Richtwert des "oberen" Notches sollte hier bei ca. 7,5MHz liegen. Wichtig ist, dass der untere Dämpfungspol einerseits nahe genug an der unteren Filterflanke, andererseits nicht zu nahe liegt (sonst zu große Verformung des Kurventops). Die beiden Bilder mit den NWT-Messungen für die beiden Dämpfungspole zeigen hoffentlich, worauf's ankommt.



Ich habe bei meinen Lp's Induktivitäten von 68µH und 70µH mit dem AADE LC-Meter gemessen und einfach so gelassen. Man sollte im Zweifelsfall Lp lieber etwas größer machen, damit der untere Dämpfungspol nicht zu nahe an die Serienresonanz des Quarzes rückt. Ansonsten habe ich die Dimensionierung wie im Schaltbild 1:1 übernommen.

Obwohl ich schon Dutzende von Filtern gebaut habe, bin ich immer wieder sehr gespannt, wie das Ergebnis aussieht. Die folgenden Bilder mit den dann mit dem NWT gemessenen Kurven zeigen, dass Simulation und Messung wieder einmal erstaunlich gut beieinanderliegen. Die 6db-Bandbreite ist mit 4kHz etwas größer (+5%), was mich aber bei dem Aufbau mit den doch recht kleinen Standard-Kapazitäten nicht wundert. Die Dämpfung liegt mit knapp 1,5db (incl. Trafos) im erwarteten Bereich. Interessant ist auch der Verlauf der Welligkeit, der recht gut mit der Simulation übereinstimmt.

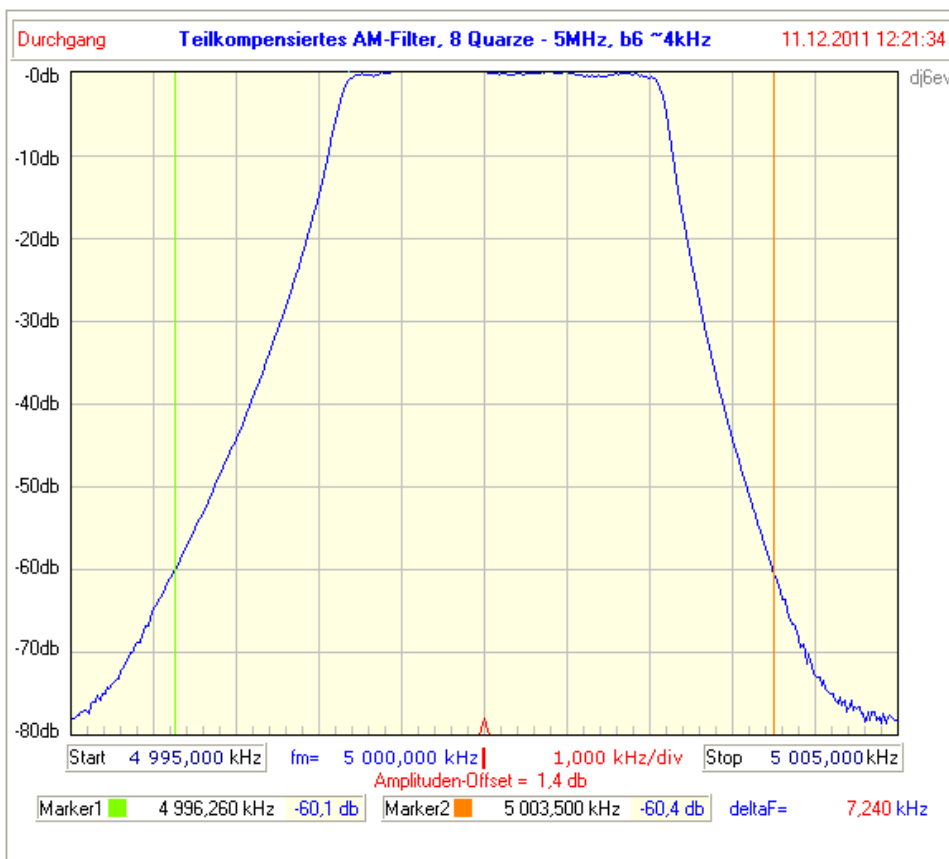


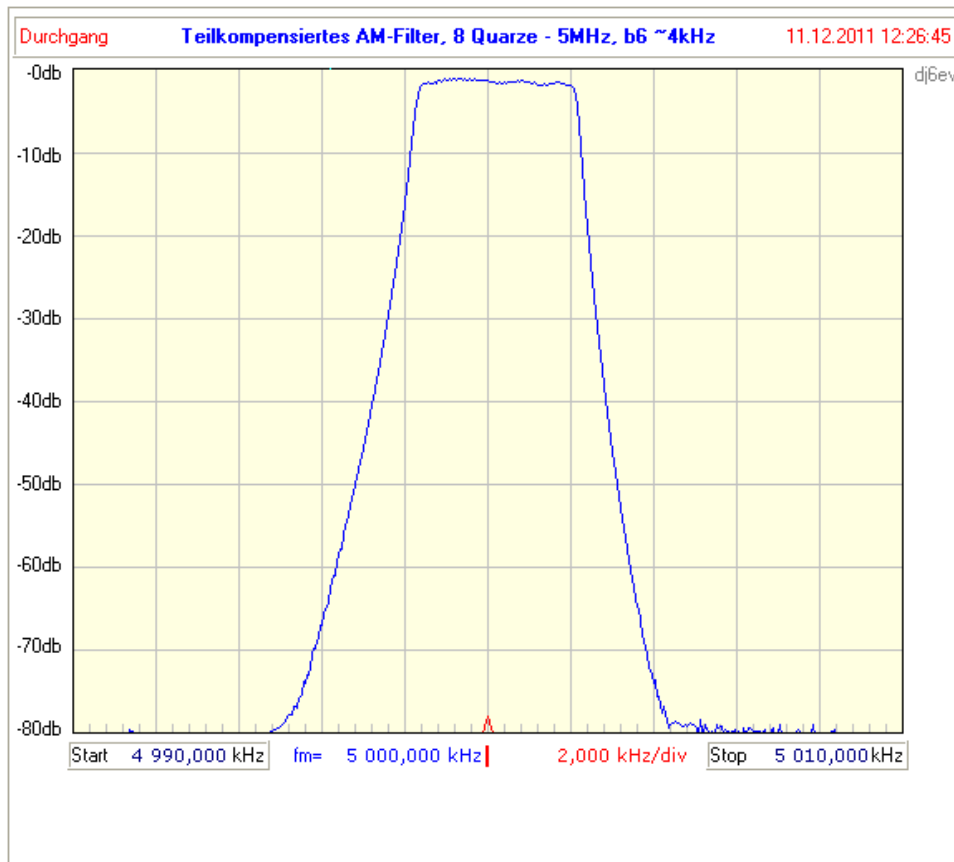
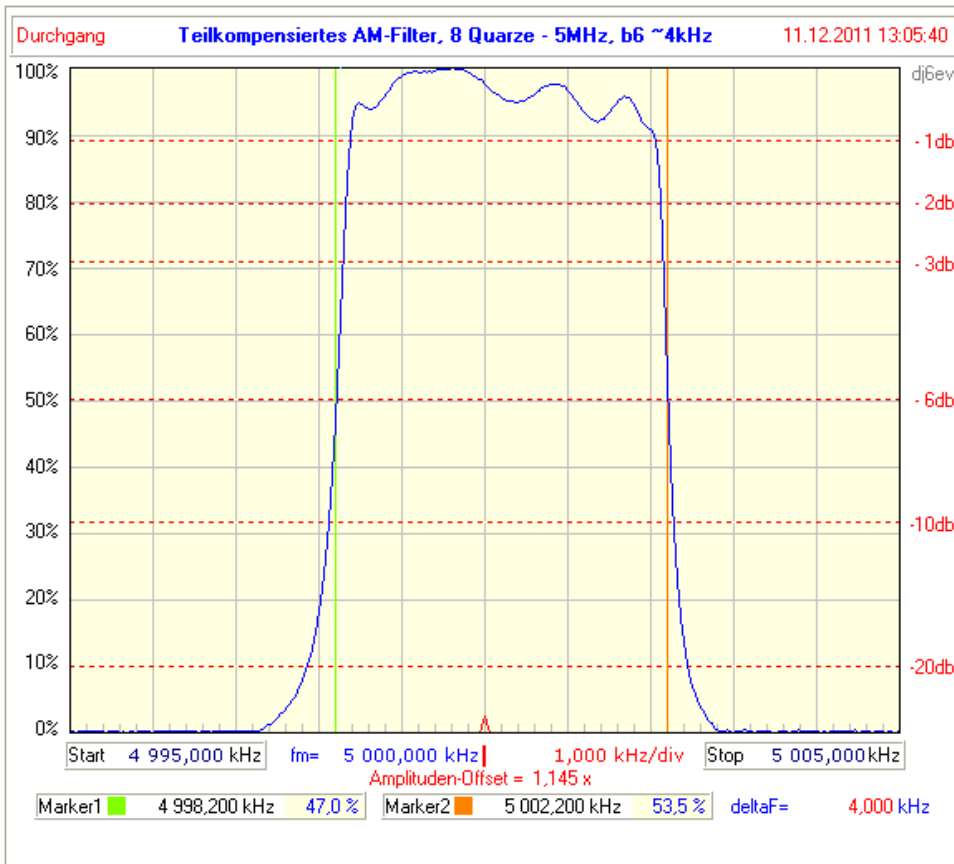
Das 5MHz AM-Filter im üblichen Aufbau mit der "Wäscheklammernmethode"

Die Messwerte des praktischen Aufbaus zeigen meine immer wieder gemachte Erfahrung, dass solche Filter sehr gut mit den Erwartungen übereinstimmen. Notwendig sind natürlich dafür sorgfältige Messungen und auch Abschätzung der "Dreckeffekte" wie Streukapazitäten und -Induktivitäten (Layout).

Ich denke, dass sich das Ergebnis sehen lassen kann. Du wirst feststellen, dass solche Filter (selbst hier das durch die Teilkompensation etwas komplexere) sehr leicht aufzubauen sind. Mit etwas mehr Erfahrung bekommt man auch so einen "Riecher", an welchen Schraubchen man noch drehen kann/muss. Folgend noch die Bilder der Messungen mit dem NWT, mit Amplituden-Offset für die Dämpfung und ohne.

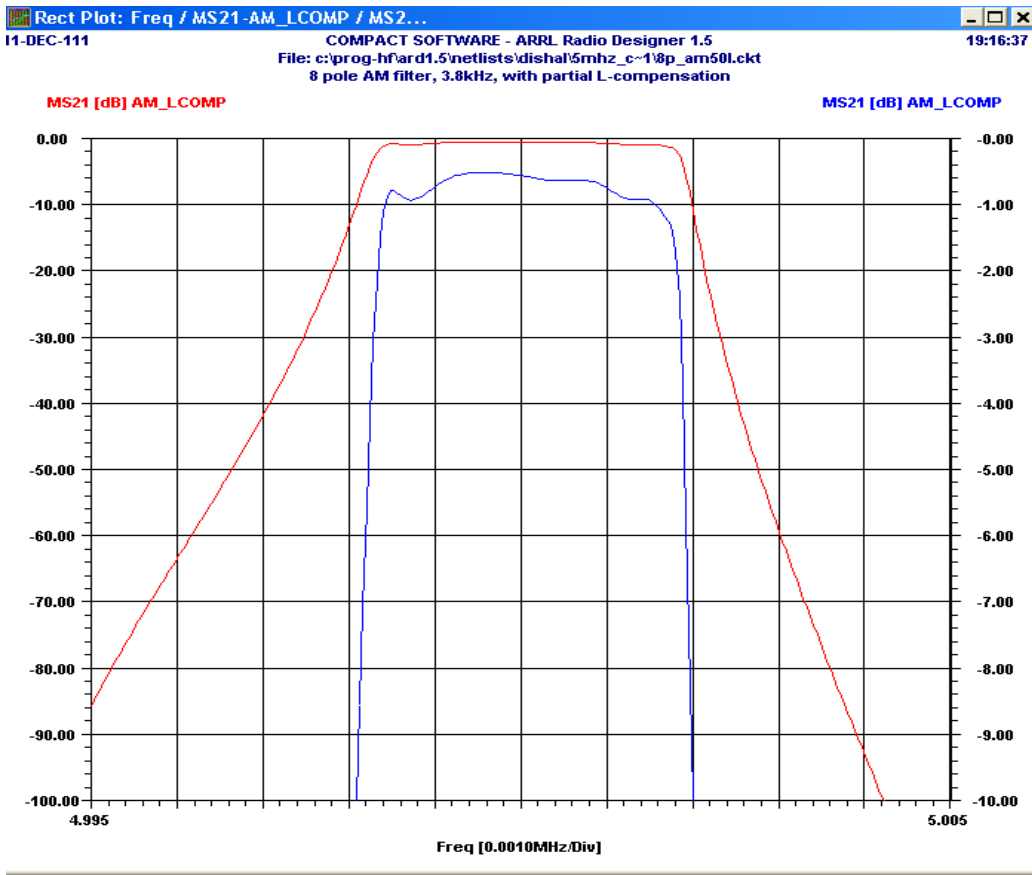
73, Horst



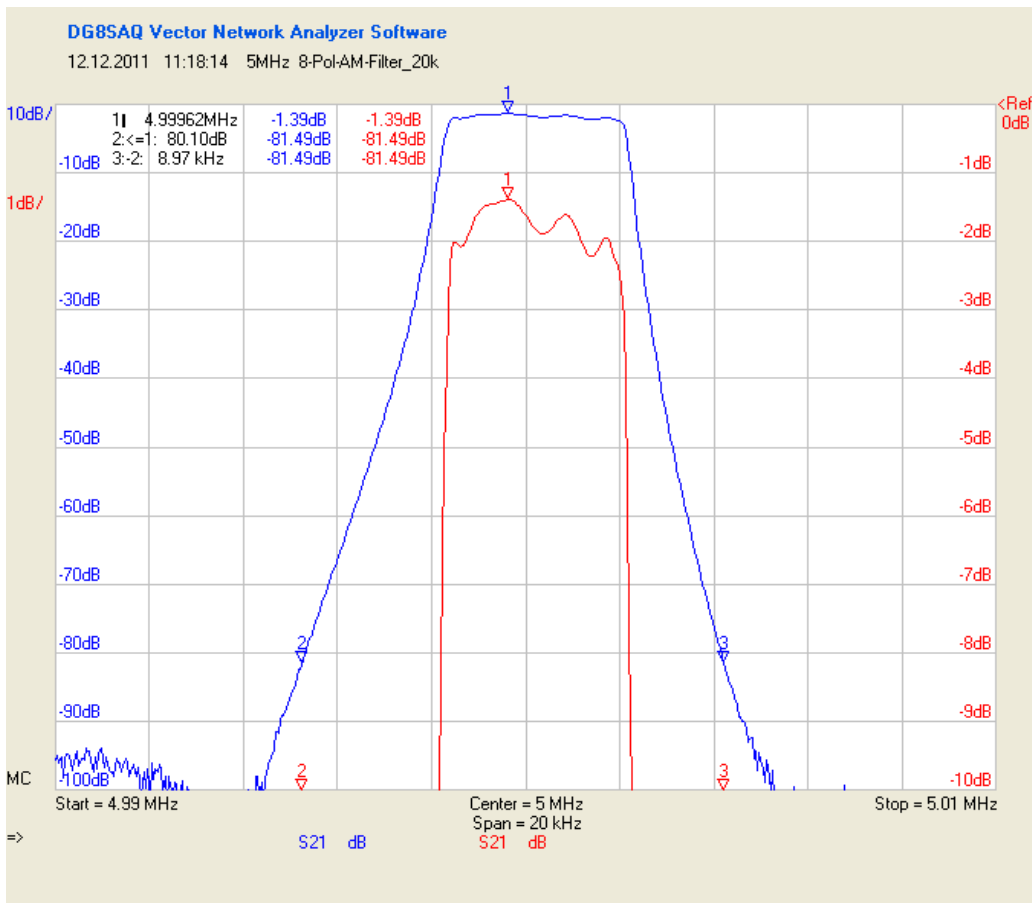


→ Und auf der folgenden Seite noch einmal die Simulation zur Erinnerung.

Da in der Simulation die angenommenen Streukapazitäten von 2,5pF offensichtlich zu groß angesetzt wurden, beträgt die gemessene 6db-Bandbreite im realen Aufbau 4kHz, ist also um ca. 5% größer als die unten gezeigten 3,8kHz.



Die durch die Lp-Kompensation bewirkte Verschiebung der niederfrequenten Flanke um ca. 600Hz nach unten stimmt in Simulation und Messung recht genau überein.



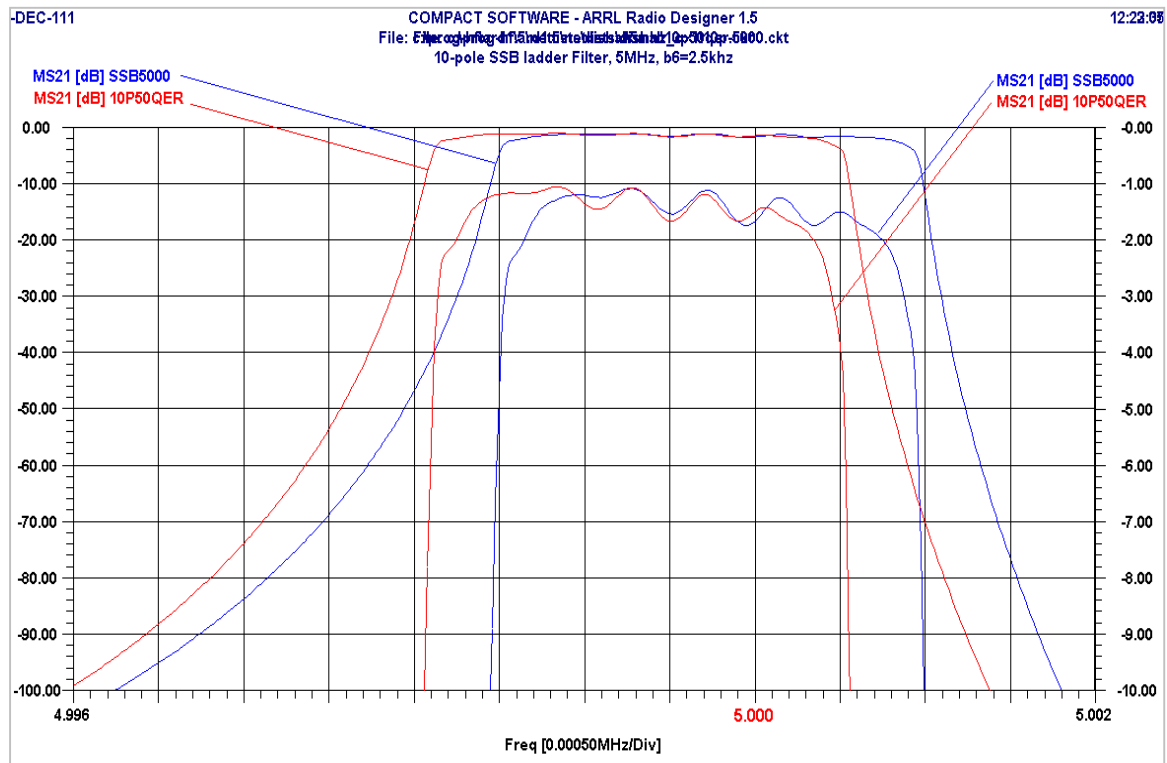
Und hier die Messung mit dem DG8SAQ-VNWA mit einem Dynamik-Bereich von >90db

10-poliges "QER" Ladderfilter mit $b_6 = 2,5\text{kHz}$ - Simulation und Messung

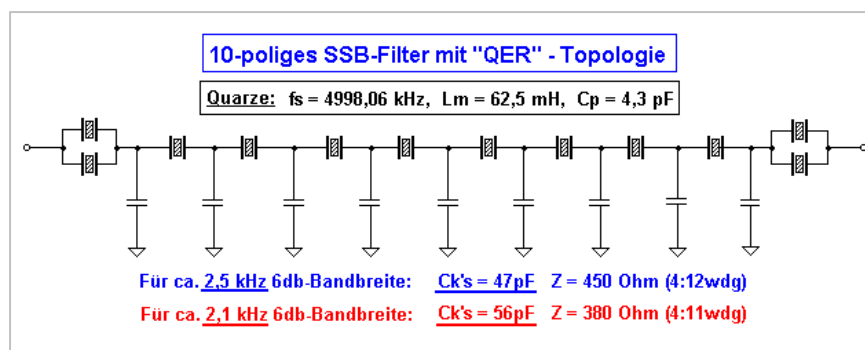
Als weitere Baustelle, die es aufgrund der noch vorhandenen Quarze (mit einer durchschnittlichen Güte um 160000) noch gab, habe ich noch ein Filter im "Quasi-Equal-Ripple" (QER) –Design nach G3UUR untersucht.

Für einen Vergleich der Eigenschaften wurde je ein Filter mit 10 Polen und einer Bandbreite von 2,5 kHz sowohl in der Tschebyscheff-Ausführung (mit ca. 0,3db Welligkeit) als auch als QER-Version im ARD simuliert. Die resultierenden Kurven (Tscheby = blau, QER = rot) sind im folgenden Bild zu sehen. Die Quarz-Parameter sind wieder: $f_s=4998,06\text{kHz}$, $L_m=62,5\text{mH}$, $C_p=4,3\text{pF}$ und $Q_u\sim 160k$.

Auffällig ist die Frequenzverschiebung der QER-Kurve um rund 400Hz "nach unten", bei sonst fast gleichem Kurvenverlauf und Bandbreite.



Für die praktische Messung wurde das QER-Filter mit folgender Topologie für 2,5kHz Bandbreite aufgebaut.

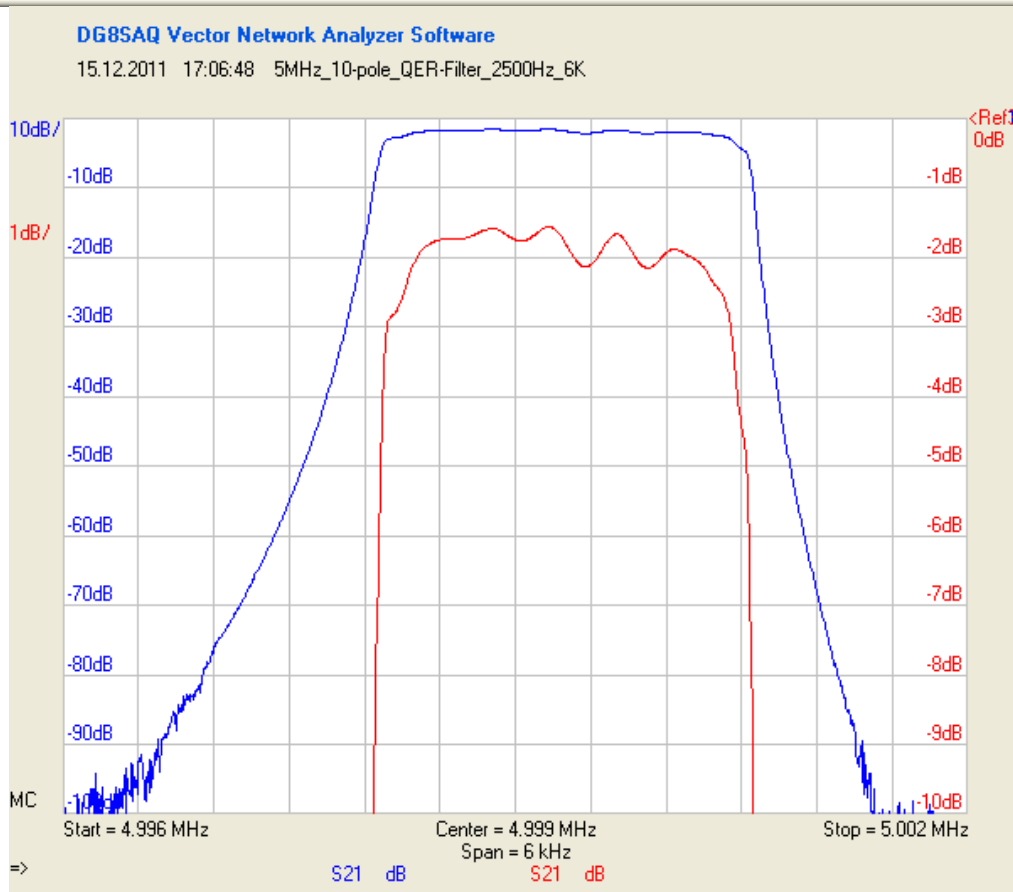
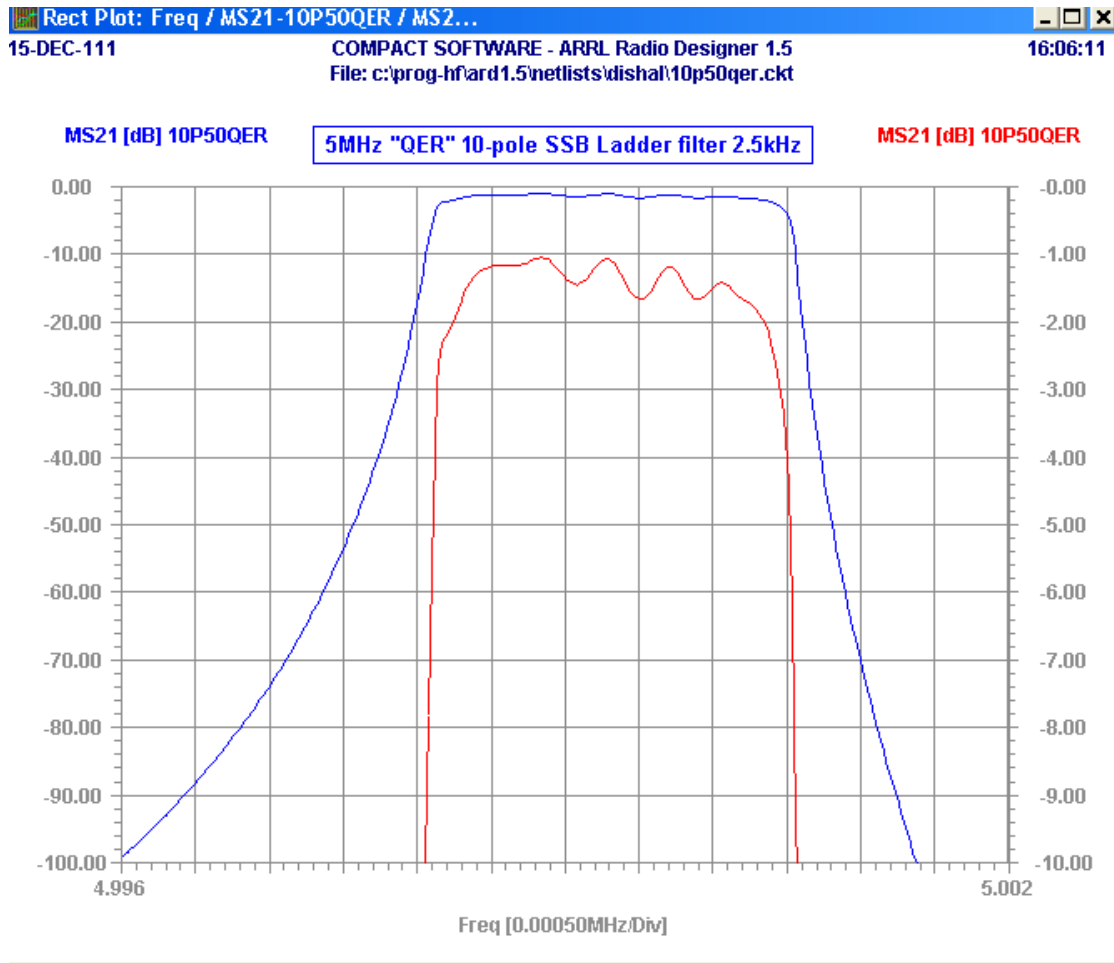


Der Aufbau ist wesentlich einfacher als beim klassischen Tschebyscheff-Filter, nämlich mit identischen Koppelkapazitäten wie beim Cohn-Filter. Der Preis für diese Vereinfachung sind zwei weitere Quarze, die den Endquarzen parallelgeschaltet sind. Außerdem ist die Welligkeit vorgegeben und kann durch das

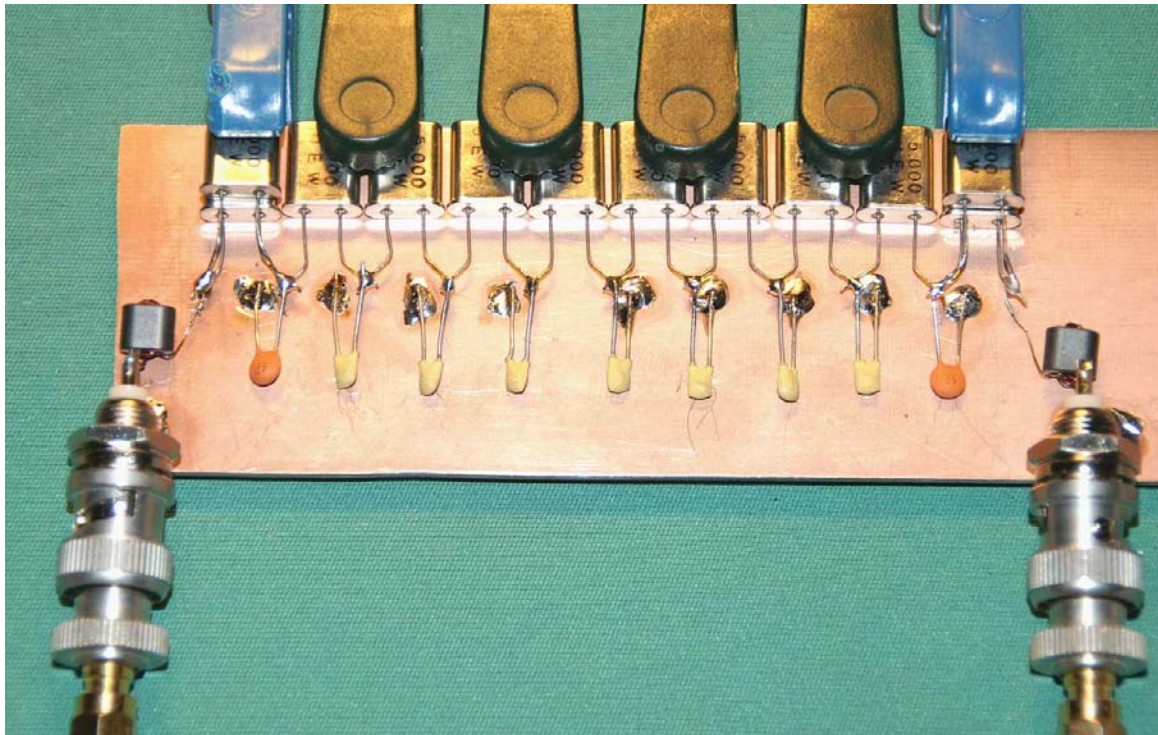
"constant-k" Design nicht beliebig verändert werden. Man sieht aber, dass durch diese Modifikation die Welligkeit – im Gegensatz zum sogenannten Cohn-Filter – trotz der hohen Resonanzzahl sehr gering geworden ist. Weiterhin wird die resultierende Impedanz im Vergleich zum Tschebyscheff-Filter erheblich niedriger (450 vs. 1100 Ohm). Die beiden Parallelquarze tragen übrigens nichts zur Selektivität bei.

Die Messung zeigt eine erstaunliche Übereinstimmung mit der Simulation. Nur die Dämpfung ist natürlich durch die realen Übertrager höher. Ergebnisse und ein Bild des Aufbaus zeigen die folgenden Seiten.

Simulation mit dem ARD (oben) und Messung mit dem VNA (unten)



Bilder des üblichen Filter-Aufbaus mit der Klammermethode.



Die Übertrager wurden übrigens als Autotrafos (4+8wdg \rightarrow \ddot{u} =1:9) ausgeführt. Das ist auch sicher ein Grund für die geringe zusätzliche Durchgangsdämpfung (ca. 0,5db).



Das Detailfoto zeigt die übereinander gelegten, parallel geschalteten Endquarze.

Das Filter besitzt folgende gemessene Daten:

b6db: 2,48 kHz
 b60db: 3,57 kHz (shape factor 1:1,44)
 b80db: 4,32 kHz (shape factor 1:1,74)

Hiermit ist klar, dass das QER-Filter wirklich etwas sehr Brauchbares für bequeme Leute ist

Insgesamt kann ich wieder einmal feststellen, dass Theorie und Praxis kein Widerspruch sind, sondern sich – richtig angewendet – hervorragend ergänzen.

So, jetzt warten noch die nächsten Baustellen auf mich:

Ein gleiches 10-Pol-Filter mit 2,1kHz Bandbreite für "Härtefälle" und ein 350Hz 6-Pol CW-Filter (das allerdings als Butterworth-Design).

Damit wäre dann das Quartett (AM, 2 x SSB, CW) für einen zukünftigen (T)RX komplett. Das 2,5kHz-Filter wäre natürlich für den TX-Teil eines TRX ideal. Diese ganzen Ergebnisse lassen sich selbstverständlich auch mit 4,915 kHz-Quarzen erzielen.

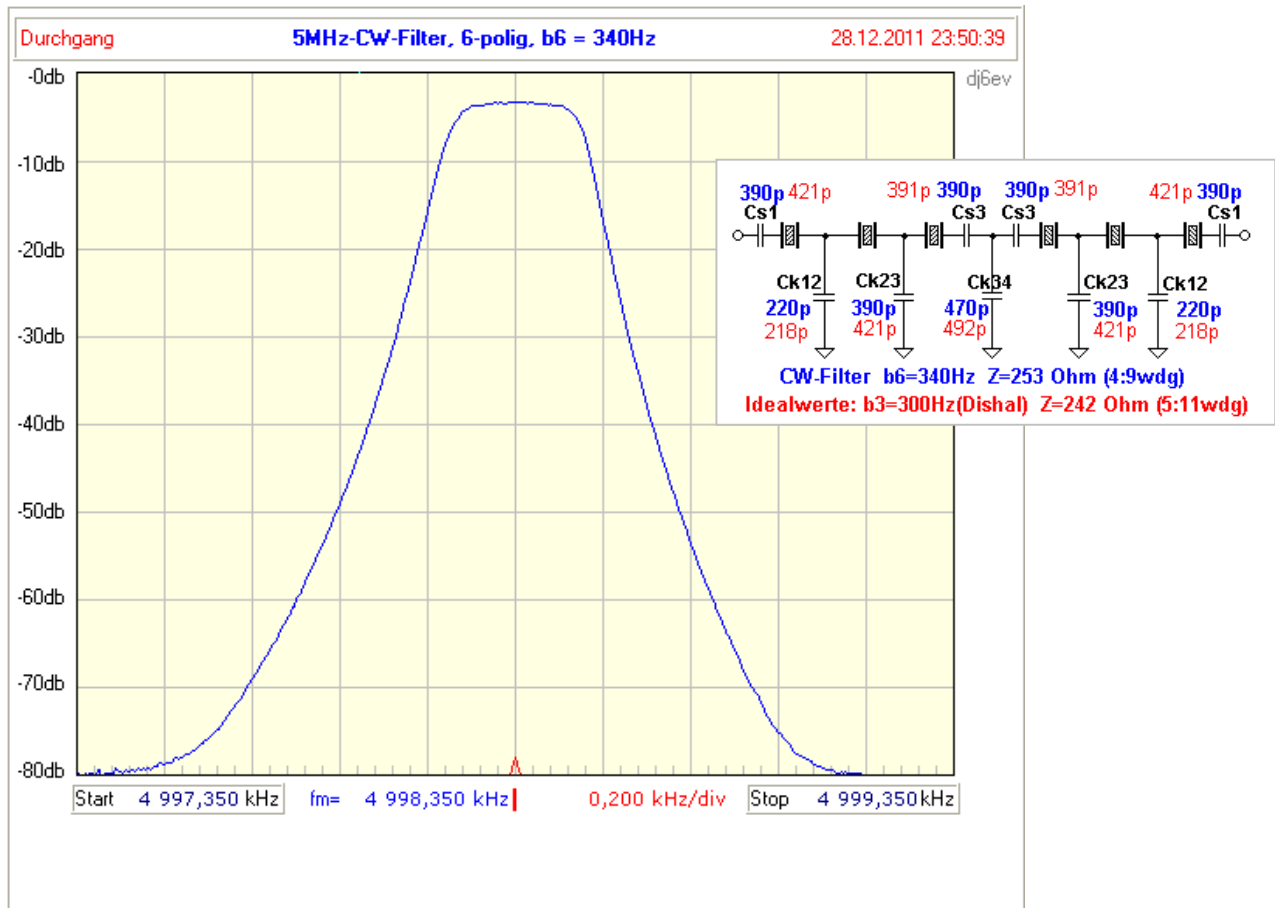
73, Horst

Versuchsaufbauten 5MHz-Ladderfilter: AM, SSB und **CW** (letzter Teil)

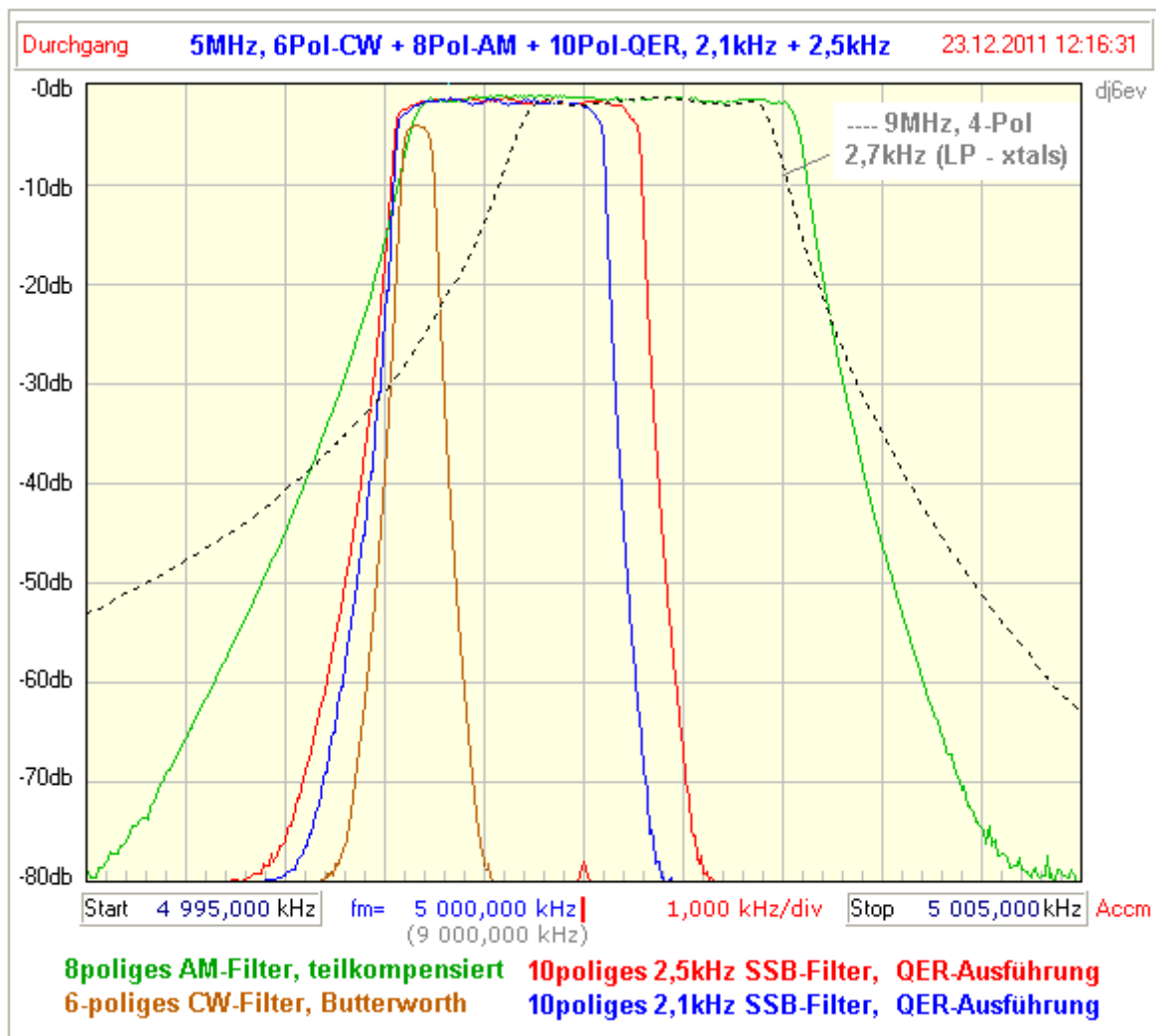
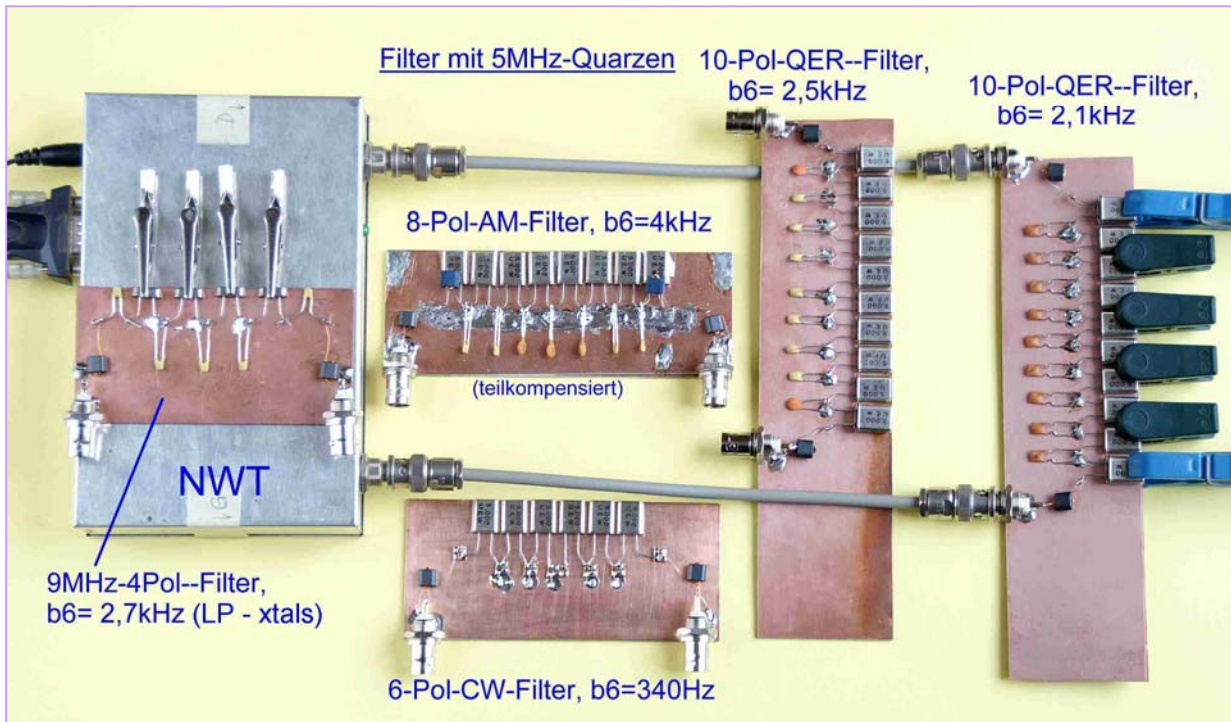
Als letztes Filter wurde das CW-Filter aufgebaut und durchgemessen. Die Berechnung, bzw. Simulation erfolgte als Butterworth-Design mit 350Hz 6db-Bandbreite. Da meine bedrahteten Kerkos bei Werten von $>100\text{pF}$ im MHz-Bereich ausnahmslos extrem schlechte Güten aufwiesen ($Q\sim 30\text{-}50!$), mussten für den Brettaufbau entsprechende SMD-Kondensatoren auf kleinen Veroboard-Inseln verwendet werden. Auch hier wurden – abweichend vom Ideal – nur Standardwerte (220pF, 390pF und 470pF) verwendet.



Die Messung ergibt eine sehr kleine Abweichung von der Simulation. Die 6db-Bandbreite beträgt 340Hz, die 60db-BBr 1000Hz (Shape factor 1:3). Die Dämpfung beträgt 3,5db, ein noch akzeptabler Wert.



Auf dem Bild sind alle aufgebauten 5MHz-Filter zusammen mit dem NWT zu sehen, zusätzlich auch ein 9MHz-4-Polfilter mit 2,7kHz Bandbreite (mit LP-Quarzen wie z.B. im Hobo), dessen typische Durchlasskurve ebenfalls auf dem unteren Bild der Messkurven aller Filter als gestrichelte Linie gezeigt wird.



Zusammenfassung

Alle Filter wurden ganz bewusst durchgehend mit Standardwerten der Koppelkapazitäten und – durch die nur in Stufen möglichen Windungszahl-Verhältnisse der Übertrager bedingt – auch mit von der Berechnung leicht abweichenden Abschlussimpedanzen aufgebaut.

Auch die "QER"-Versionen für die SSB-Filter stellen eine Vereinfachung dar, die eben mit etwas größerer Welligkeit (und minimal größerer Gruppenlaufzeit-Verzerrung an den Filterecken) gegenüber sorgfältig dimensionierten Tschebyscheff-Ausführungen erkaufte wird.

Man kann natürlich mit nur wenig Mehraufwand Filter mit besseren Eigenschaften (Welligkeit <0,3db) maßschneidern, da man durch Parallelschaltung von maximal je 2 Kondensatoren immer sehr nahe an die Idealwerte herankommt. Mit SMD-Kondensatoren sind solche Aufbauten besonders leicht durchzuführen.

Die aufgebauten Beispiele sollen auch nur zeigen, dass man selbst mit solchen Vereinfachungen hervorragende Filter bekommen kann – das zeigt die große Toleranz der Ladderfilter gegenüber vom Ideal abweichenden Bauteilwerten. Voraussetzung ist natürlich, dass die Quarze als wichtigster Bestandteil sowohl in der Frequenz als auch mit ihrem L/C-Verhältnis innerhalb der im QF-Papier beschriebenen Toleranzgrenzen liegen. Außerdem sollte ihre Güte mindestens 120000, besser >150000 betragen.

Voraussetzung ist weiterhin die konsequente Ausmessung aller Teile für das Filter, um Enttäuschungen zu vermeiden. Siehe das beim CW-Filter aufgetretene Problem mit schlechten Kondensatoren, die sonst die Filtereigenschaften massiv beeinträchtigt hätten.

Außerdem wurden alle Modelle mit den realen, gemessenen Koppelwerten simuliert (nur die Quarze wurden aufgrund der geringen Streuung als identisch angesetzt). Das geht auch mit dem RFSim99. Alle aufgebauten Filter zeigten durch diese Methode auf Anhieb die erwarteten Eigenschaften.

Also: nichts annehmen oder glauben → MESSEN.

73, Horst 6ev

Nachtrag: Anbei noch die Einzelmessung des QER-Filters mit **2,1kHz** Bandbreite – auch eine Punktlandung.

