

# *Anti-Aliasing-Filter*

Aktive Filter mit der Software AktivFilter 3 entwerfen – ein Beispiel



# 1 Inhaltsverzeichnis

<a href="#">1 Inhaltsverzeichnis.....</a>	<a href="#">2</a>
<a href="#">2 Aufgabe.....</a>	<a href="#">3</a>
<a href="#">3 Spezifikation.....</a>	<a href="#">3</a>
<a href="#">4 Entwurf.....</a>	<a href="#">3</a>
<a href="#">5 Das Ergebnis speichern.....</a>	<a href="#">7</a>
<a href="#">6 Die Spezifikation speichern.....</a>	<a href="#">9</a>
<a href="#">7 Die Spezifikation laden.....</a>	<a href="#">9</a>

## 2 Aufgabe

Für ein hochwertiges Digital-Audio-System soll ein **Tiefpassfilter** entworfen werden, das sich sowohl bei der Analog-Digital-Wandlung für das Prefiltering vor der Abtastung als auch als Rekonstruktionsfilter nach der Digital-Analog-Wandlung eignet. Die **Grenzfrequenz** des Filters soll **20 kHz** betragen. Damit das Filter möglichst impulstreu arbeitet, müssen die Gruppenlaufzeitverzerrungen im Durchlassbereich möglichst klein sein. Daher soll das Filter **Bessel-Charakteristik** haben. Ausgehend von einer Abtastrate von 44,1 kHz und vierfach Oversampling soll die Dämpfung bei der vierfachen Abtastfrequenz (**176,4 kHz**) mindestens **70 dB** betragen. Die Verstärkung des Filters soll 0 dB sein und als Operationsverstärker soll der Typ **NE5532** verwendet werden, der ein Verstärkung-Bandbreite-Produkt von 10 MHz und eine Slewrate von 9V /  $\mu\text{s}$  hat, keine zusätzliche Kompensationsbeschaltung erfordert und kein schwer erhältliches Spezialbauteil ist.

Ein solches Tiefpassfilter soll hier mit Hilfe der Software AktivFilter 3 von [SoftwareDidaktik](#) dimensioniert werden.

## 3 Spezifikation

Der zu entwerfende Tiefpass soll folgende Anforderungen erfüllen:

- Die **Grenzfrequenz** soll **20 kHz** betragen.
- Die **Verstärkung** soll **0 dB** betragen.
- Die **Charakteristik** des Filters soll **Bessel** sein.
- Die **Ordnung** des Filters soll groß genug sein, um bei 176,4 kHz eine Dämpfung von 70 dB zu erreichen.
- Die **Eingangsimpedanz** soll größenordnungsmäßig etwa **10 kOhm** betragen, jedoch darf der Wert auch niedriger sein.
- Die **Widerstandswerte** sollen aus der Reihe **E24** stammen.
- Es soll der **Operationsverstärker NE5532** eingesetzt werden.
- Die **Struktur** der Filterschaltung soll **Mehrfachgegenkopplung** sein, weil diese Schaltung keine zusätzlichen Verzerrungen durch Gleichtaktbetrieb mit sich bringt.

## 4 Entwurf

Während des Entwurfs müssen wir die erforderliche Ordnung des Filters bestimmen. Hierzu wollen wir im Diagramm, das nach der Berechnung dargestellt wird, die Dämpfung bei 176 kHz ablesen und prüfen, ob sie mindestens 70 dB beträgt. Das Ablesen ist besonders einfach, wenn man den Frequenzbereich für die Darstellung so einstellt, dass die Endfrequenz 176 kHz ist.

Hierzu starten wir AktivFilter 3 und rufen zunächst **OPTION, FREQUENZBEREICH** auf. Im Dialog tragen Sie bei **ENDFREQUENZ IN Hz** den Wert **176 kHz** ein:

Option - Frequenzbereich

Frequenzbereich für die grafische Darstellung und für Spice

Anfangsfrequenz, als Faktor von fg : 0,5 (  $\geq 0,1$  und  $< 1$  )

Endfrequenz, als Faktor von fg : 8,8 (  $> 1$  und  $\leq 10$  )

ODER :

Anfangsfrequenz in Hz : 10 k (  $\geq 2$  k und  $< 20$  k )

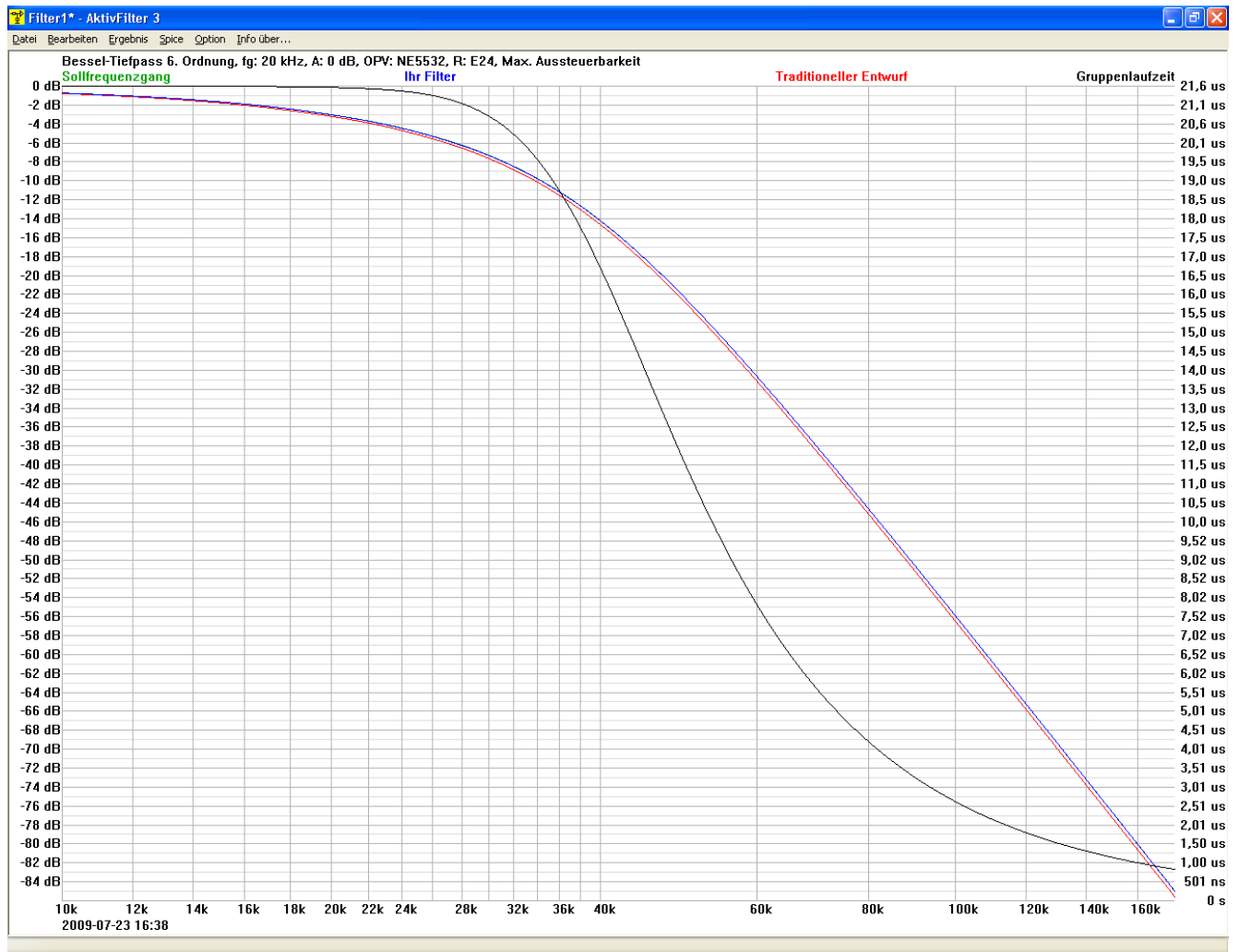
Endfrequenz in Hz : 176 k (  $> 20$  k und  $\leq 200$  k )

OK Standard Abbrechen

Nach dem Schließen des Dialogs mit **OK** rufen Sie den Menüpunkt **DATEI, NEUES FILTER, TIEFPASS MIT MEHRFACHGEGENKOPPLUNG** auf. Im Dialog geben Sie folgendes ein:

Die Kapazitätswerte sollen vorerst vom Programm optimiert werden, daher wählen Sie in diesem Dialog **KAPAZITÄTSWERTE OPTIMIEREN**.

Wenn Sie alles wie dargestellt eingegeben haben, klicken Sie auf **OK**. Die Berechnung wird gestartet und nach einiger Zeit sehen Sie den Amplituden-Frequenzgang Ihres Ergebnisses (siehe Bild auf Seite 5). Wie Sie sehen, hat das Filter bei 176 kHz eine Dämpfung von 85 dB, was unsere Anforderungen erfüllt. Die Gruppenlaufzeit (schwarze Kurve) ist im Durchlassbereich (0 .. 20 kHz) wie erwünscht und erwartet praktisch konstant. Die Ergebniskurve (blau) unseres Entwurfs weicht kaum von der Sollkurve (grün) ab, d.h. das Filter entspricht sehr genau den Vorgaben – trotz der verwendeten Normwerte (E24-Reihe) und dem nichtidealen Verhalten der OPV. Da die Kurve des traditionellen Entwurfs (rot) nur wenig vom Sollverlauf abweicht, wirken sich die nichtidealen Eigenschaften der OPV bei diesem Filter nur wenig aus. Das bedeutet auch, dass fertigungsbedingte Exemplarstreuungen der OPV keinen Einfluss auf das Verhalten dieses Filters haben.



Wir betrachten jetzt die berechneten Bauteilwerte. Hierzu rufen wir in AktivFilter den Menüpunkt **ERGEBNIS, DIMENSIONIERUNG** auf:

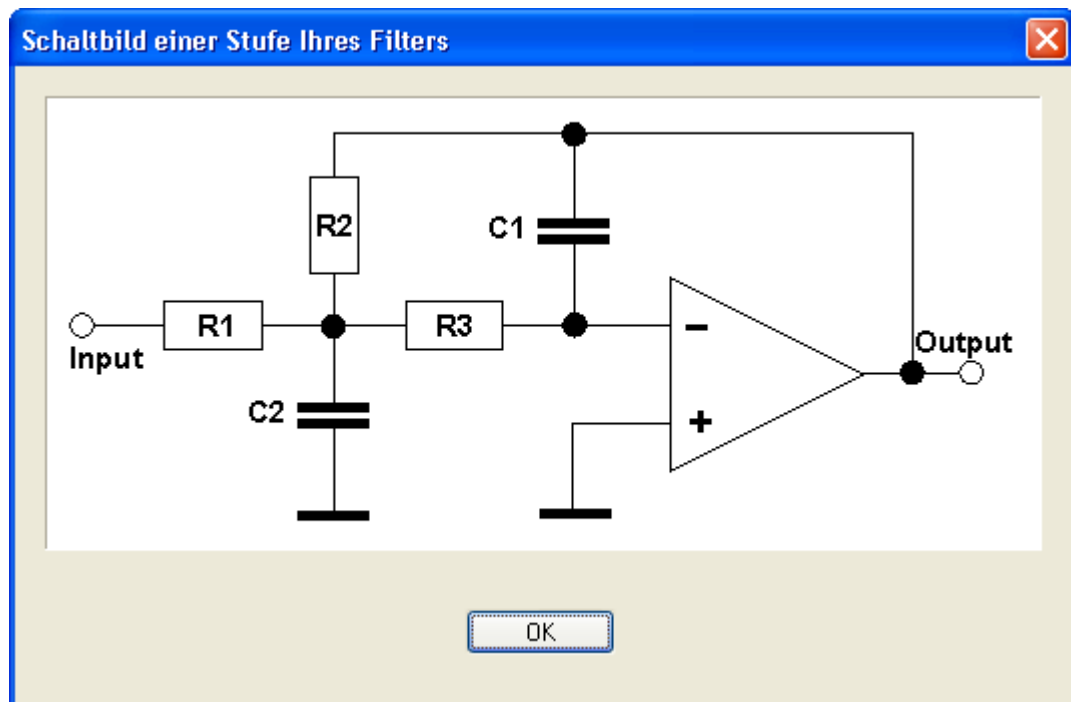
**Ergebnis - Dimensionierung**

Bessel-Tiefpass 6. Ordnung, fg: 20 kHz, A: 0 dB  
OPV: NE5532, R: E24, Max. Aussteuerbarkeit

Stufe	R1	R2	R3	C1	C2
1	11 k	11 k	27 k	150 p	560 p
2	10 k	10 k	27 k	120 p	680 p
3	10 k	10 k	12 k	120 p	1,2 n

OK

Das Schaltbild einer Stufe sehen wir beim Aufruf von **ERGEBNIS, SCHALTBILD**:



## 5 Das Ergebnis speichern

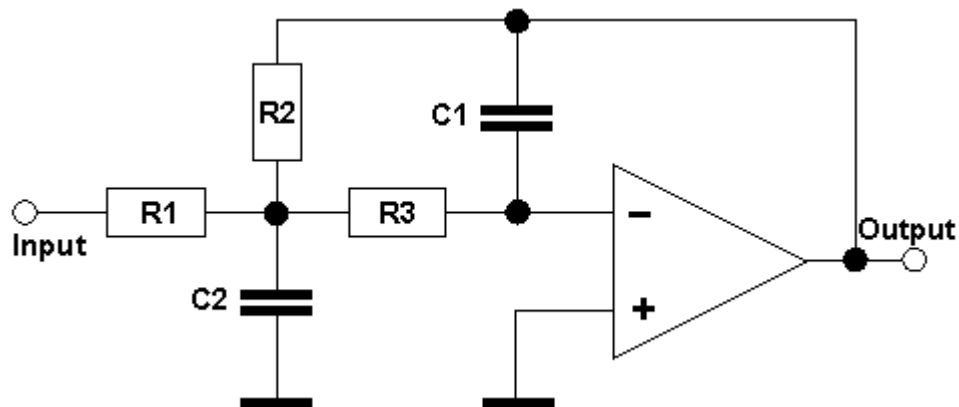
Sie sind mit Ihrem Design zufrieden und wollen Ihr Ergebnis abspeichern. Klicken Sie hierzu auf **ERGEBNIS, SPEICHERN**. Das Entwurfsergebnis wird als HTML-Datei gespeichert; als Dateinamen geben Sie z.B. **Anti-Aliasing-Filter** ein. Auf der nächsten Seite sehen Sie den Inhalt der abgespeicherten HTML-Seite.

## Filterdesign "Anti-Aliasing-Filter"

### Spezifikation

Typ: Tiefpass  
 Charakteristik: Bessel  
 Ordnung: 6  
 Struktur: Mehrfachgegenkopplung  
 Grenzfrequenz: 20 kHz  
 Verstärkung: 0 dB  
 Operationsverstärker: NE5532  
 Reihenfolge der Stufen: Max. Aussteuerbarkeit  
 Alle Widerstände: E24

### Schaltung einer Stufe



### Bauteilwerte

Stufe	R1	R2	R3	C1	C2
1	11 k	11 k	27 k	150 p	560 p
2	10 k	10 k	27 k	120 p	680 p
3	10 k	10 k	12 k	120 p	1,2 n

Datum: 2009-07-23 16:38, Designer: Stefan Bayer

Erstellt mit AktivFilter 3, © 2001-2009 Stefan Bayer, SoftwareDidaktik [www.softwaredidaktik.de](http://www.softwaredidaktik.de)

## **6 Die Spezifikation speichern**

Jetzt sollten Sie Ihre Spezifikation abspeichern, also Ihre Vorgaben, die zu Ihrem Entwurf geführt haben. Wählen Sie hierzu den Menüpunkt **DATEI, SPEZIFIKATION SPEICHERN**. Die Spezifikationsdatei hat immer die Dateinamenserweiterung AFS (AktivFilter-Spezifikation). Beenden Sie jetzt AktivFilter 3.

## **7 Die Spezifikation laden**

Suchen Sie die Spezifikationsdatei im Explorer oder gehen Sie über das Windows-Startmenü in „Zuletzt verwendete Dokumente“ (in Windows XP) oder „Dokumente“ (z.B. in Windows 2000). Klicken Sie dort Ihre Spezifikationsdatei an (Doppelklick im Explorer). Sofort wird AktivFilter gestartet und berechnet wieder Ihr Filter. Sie könnten jetzt an Ihrem Filterentwurf weiterarbeiten, Kapazitäten ändern oder Änderungen an Ihrer Spezifikation vornehmen – und schließlich eine neue Spezifikationsdatei abspeichern. Das ist die professionelle Arbeitsweise, die mit AktivFilter 3 möglich ist. Die von Ihnen abgespeicherte Spezifikationsdatei kann von jedem geladen werden, der über AktivFilter 3 verfügt. Auf diese Weise können Sie z.B. Ihre Arbeitsergebnisse an andere Mitarbeiter weiter geben.