

# Praktikum 3: Klangregelung

## Einleitung

Eine einfache Klangregelung für Audiosignale besteht häufig aus einem Höhen-, Mitten- und Tiefenregler: Der jeweilige Frequenzbereich kann um einige Dezibel  $A$  verstärkt oder gedämpft werden.

Im Bereich der Aufnahmetechnik werden solche Klangregler mit weiteren Parametern angeboten. So kann für den Höhen- und Tiefenregler neben der Verstärkung/Dämpfung  $A$  die Frequenz  $f$  eingestellt werden, ab der die Veränderung erfolgen soll. Für die Mittenregler kann neben der Frequenz zusätzlich die Breite des Frequenzbandes angepasst werden, auf die der Regler wirkt.

Wir wollen hier die drei Filter im analogen Bereich analysieren, sie dann diskretisieren und schließlich zur Klangregelung auf Audiodateien anwenden.

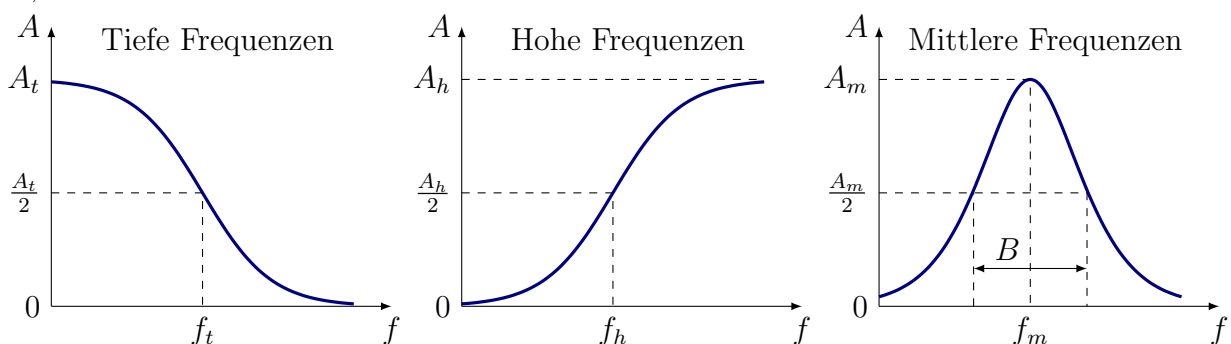
Die folgenden drei Gleichungen beschreiben die Übertragungsfunktionen für Tiefen-, Höhen- und Mittenregler. Die Subskripte  $t$ ,  $h$  und  $m$  stehen entsprechend für tiefe, hohe und mittlere Frequenzen.  $\omega_x = 2\pi f_x$  steht für die Kreisfrequenz ab bzw. an der das Filter wirkt. Die Konstanten  $k_x$  beeinflussen das Verhalten des Filters und sollen von Ihnen so vorgegeben werden, dass sich die gewünschte Verstärkung/Dämpfung ergibt.

Tiefen:	$H_t(s) = \frac{s + \omega_t k_t}{s + \omega_t / k_t}$
Höhen:	$H_h(s) = \frac{s k_h + \omega_h}{s / k_h + \omega_h}$
Mitten:	$H_m(s) = \frac{s^2 + s \omega_B k_m + \omega_m^2}{s^2 + s \omega_B / k_m + \omega_m^2}$

Die Verstärkung bzw. Dämpfung  $A$  soll hier mit der Einheit dB angegeben werden. Für einen Verstärkungsfaktor  $x$  und Amplitude  $A$  gemessen in Dezibel gilt:

$$A = 20 \text{ dB } \log_{10}(x) \qquad \text{bzw.} \qquad x = 10^{A/20 \text{ dB}}$$

Für den Mittenregler gibt die Bandbreite  $\omega_B = 2\pi B$  den Bereich der Kreisfrequenzen an, an dem das Filter wirkt.



## Aufgabe 1: Analoge Filter

### a) Analoges Filter für tiefe Frequenzen

Das Filter soll für  $f \rightarrow 0$  eine Amplitude von  $A_t$  und für  $f \rightarrow \infty$  von 0 dB annehmen.

- i) Bestimmen Sie für eine Verstärkung/Dämpfung  $A_t$  den Parameter  $k_t$ , d.h.  $k_t = f(A_t)$ .
- ii) Bestimmen Sie für einen gegebenen Wert  $A_t$  die Amplitude des Filters bei  $\omega_t$ .
- iii) Erstellen Sie mit der Matlab Funktion *tf* die Übertragungsfunktion  $H_t(s)$  für das Filter zur Regelung der tiefen Frequenzen.
- iv) Stellen Sie für  $f_t = 200$  Hz und  $A_t = 6$  dB den Amplituden- und Phasengang der Übertragungsfunktion  $H_t(s)$  über die logarithmische Frequenz  $f$  von  $0,1f_t$  bis  $10f_t$  dar. Überprüfen Sie die korrekte Arbeitsweise des Filters für verschiedene Werte von  $f_t$  und  $A_t$ .

*Hinweise:* Verwenden Sie für die Simulation die Matlab Funktion *bode*, indem Sie die Rückgabe in entsprechende Arrays speichern. Sie können der Funktion ein Array der zu simulierenden Kreisfrequenzen übergeben. Mit *squeeze* werden die unnötigen Dimensionen der zurückgegebenen Arrays entfernt.

### b) Analoges Filter für hohe Frequenzen

Das Filter soll für  $f \rightarrow \infty$  eine Amplitude von  $A_h$  und für  $f \rightarrow 0$  von 0 dB annehmen.

- i) - iv) Gehen Sie mit  $f_h = 2$  kHz und  $A_h = -6$  dB äquivalent zu Aufgabe 1a) vor.

### c) Analoges Filter für mittlere Frequenzen

Das Filter soll für  $f \rightarrow 0$  und  $f \rightarrow \infty$  eine Amplitude von 0 dB annehmen. Bei der Grenzfrequenz  $f_m$  soll sich die Amplitude  $A_m$  einstellen.

- i) Bestimmen Sie für die Verstärkung/Dämpfung  $A_m$  bei der Frequenz  $\omega_m$  den Parameter  $k_m$ , d.h.  $k_m = f(A_m)$ .
- ii) Erstellen Sie die Übertragungsfunktion  $H_m(s)$  des Filters für mittlere Frequenzen.
- iii) Stellen Sie für  $f_m = 600$  Hz,  $A_m = -9$  dB und  $B = 200$  Hz den Amplituden- und Phasengang der Übertragungsfunktion  $H_m(s)$  als Funktion der logarithmischen Frequenz  $f$  von  $0,1f_m$  bis  $10f_m$  dar. Überprüfen Sie die korrekte Arbeitsweise des Filters für verschiedene Werte von  $f_m$ ,  $A_m$  und  $B$ .

### d) Analoges kombiniertes Filter

Die gezeigten Filter können beliebig einzeln oder auch mehrfach kombiniert werden. In Matlab wird dafür einfach das Produkt der einzelnen Systeme gebildet, welches dann simuliert werden kann.

- i) Kombinieren Sie die drei Filter für tiefe, hohe und mittlere Frequenzen zu einem System  $H(s)$ .

- ii) Stellen Sie mit den Parametern der vorigen Teilaufgaben den Amplituden- und Phasengang der Übertragungsfunktion  $H(s)$  als Funktion der logarithmischen Frequenz  $f$  von 20 Hz bis 20 kHz dar. Entspricht das Ergebnis Ihren Erwartungen?

## Aufgabe 2: Diskrete Filter

In diesem Abschnitt sollen die drei Filter mittels Trapezregel diskretisiert werden. Dabei wird die diskrete Übertragungsfunktion  $H(z)$  ermittelt, indem in der analogen Übertragungsfunktion  $H(s)$  alle  $s$  durch  $\frac{2}{T_s} \cdot \frac{z-1}{z+1}$  ersetzt werden.

### a) Diskretes Filter für tiefe Frequenzen

- i) Ermitteln Sie für das diskrete System  $H_{td}(z)$  die nötigen Koeffizienten.
- ii) Erstellen Sie mit der Matlab Funktion *tf* die diskrete Übertragungsfunktion  $H_{td}(z)$ .  
*Hinweis:* Für ein diskretes System geben Sie der Funktion *tf* als dritten Parameter die Abtastzeit  $T_s$ .
- iii) Stellen Sie den Amplitudengang der diskreten Übertragungsfunktion  $H_{td}$  zusammen mit dem der analogen Übertragungsfunktion  $H_t$  in einem Diagramm über die Frequenzen von  $0,1f_t$  bis  $10f_t$  dar.

### b) Diskretes Filter für hohe Frequenzen

- i) - iii) Gehen Sie äquivalent zu Aufgabe 2a) vor.

### c) Diskretes Filter für mittlere Frequenzen

- i) - iii) Gehen Sie äquivalent zu Aufgabe 2a) vor.

### d) Diskretes kombiniertes Filter

- i) Kombinieren Sie die drei diskreten Filter für tiefe, hohe und mittlere Frequenzen mittels Multiplikation zu einem diskreten System  $H_d(z)$ .
- ii) Stellen Sie mit den Parametern der vorigen Teilaufgaben den Amplitudengang der diskreten Übertragungsfunktion  $H_d(s)$  zusammen mit dem der analogen Übertragungsfunktion  $H(s)$  als Funktion der logarithmischen Frequenz  $f$  von 20 Hz bis 20 kHz dar. Entspricht das Ergebnis Ihren Erwartungen?

## Aufgabe 3: Anwendung auf Audiodateien

Jetzt sollen die Filter auf Audiodateien angewendet werden. Mit dieser Aufgabe finden Sie zum einen die Datei *whiteNoise.wav* mit weißem Rauschen für 10 s. Des Weiteren finden Sie in unserem Moodle Lernraum die Dateien *more-than-a-feelin-mono.wav* und *more-than-a-feelin-stereo.wav* mit einem Stück der Jazzrock-Band *Koinonia*. Gehen Sie wie folgt vor:

- Lesen Sie mit der Funktion *audioread* eine Audiodatei in Matlab ein.

- Wenden Sie das Filter mit der Matlab-Funktion *filter* an. Übergeben Sie der Funktion Zähler und Nenner der zuvor erstellen Systeme, z.B. *Hd.Numerator{1}* bzw. *Hd.Denominator{1}*.
- Speichern Sie mit *audiowrite* das gefilterte Signal mit neuem Namen in eine Audiodatei.
- Vergleichen Sie empirisch das gefilterte mit dem originalen Audiosignal.

## Praktikumsbericht:

Erstellen Sie mit der MatLab-Funktion *publish* einen Bericht und geben Sie diesen bis spätestens eine Woche nach Praktikumstermin in Moodle ab.