

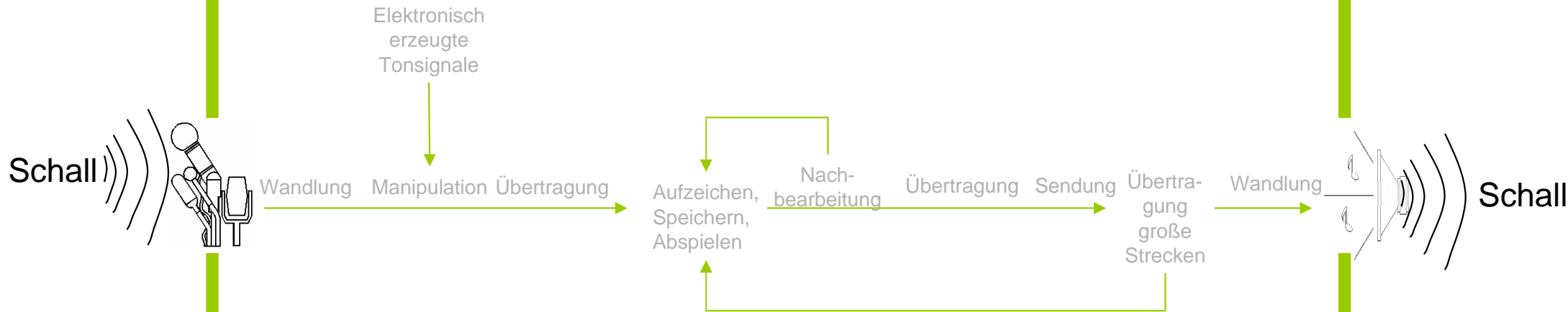
# Meßtechnische Grundlagen der Audiotechnik

# Überblick Audiomeßtechnik:

Akustik

Elektroakustik, Elektronik, Digitale Signalverarbeitung

Akustik



## Wichtige physikalische Größen:

- Wechseldruck
- Schallpegel (bewertet / unbewertet)

## PEGEL

- Referenz
- Verstärkung/Dämpfung
- Grenzen (Dynamik)

## Wichtige physikalische Größen:

## FREQUENZ

- Arbeitsbereich

- Pegelverhalten über Frequenz
- Pegelmanipulation über Frequenz
- Frequenzauswirkungen durch Pegelgrenzen (Verzerrungen)

## Wichtige physikalische Größen:

- Wechseldruck
- Schallpegel (bewertet / unbewertet)

# PEGEL:

## • Referenz

### Bezugspegel Audiotechnik

Nachrichtentechnik:  $u = 0,775 \text{ Volt}_{\text{eff}}$

Consumer-Geräte:  $V = 1 \text{ Volt}_{\text{eff}}$

Tonstudio:  $r = 1,23 \text{ Volt}_{\text{eff}}$

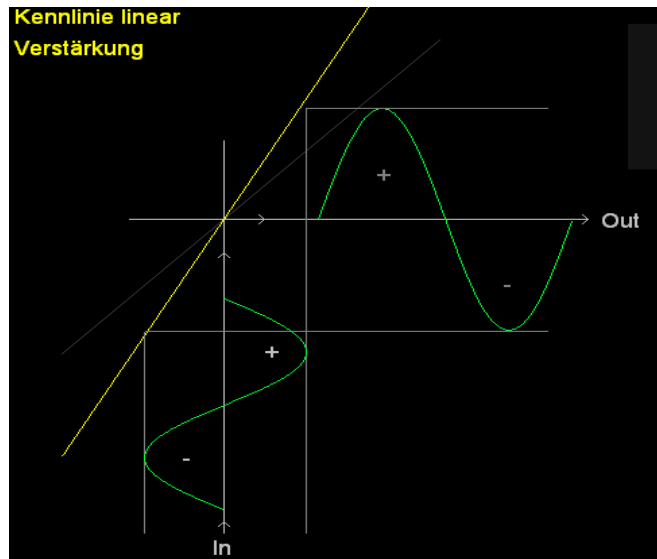
Senderegion/Funkhaus:  $r = 1,55 \text{ Volt}_{\text{eff}}$

Digitale Audiogeräte: **FS** (Full scale = größtes Datenwort) =  $4,358 \text{ Volt}_{\text{eff}}$

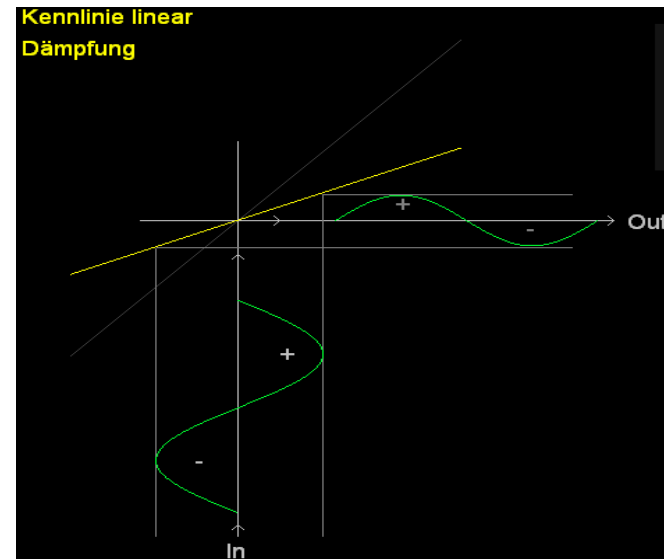
Akustik: **SPL** =  $0,0002 \mu\text{bar}$  (minimum Sound Pressure Level)

$$\text{dB} = 20 * \log \left( \frac{\text{gemessener Spannungspegel}}{\text{Bezugspegel}} \right)$$

## • Verstärkung



## • Dämpfung



Bildquellen: <http://mi-hp13.mi-lab.fh-furtwangen.de/~schaefer/Intra/toninha.htm>

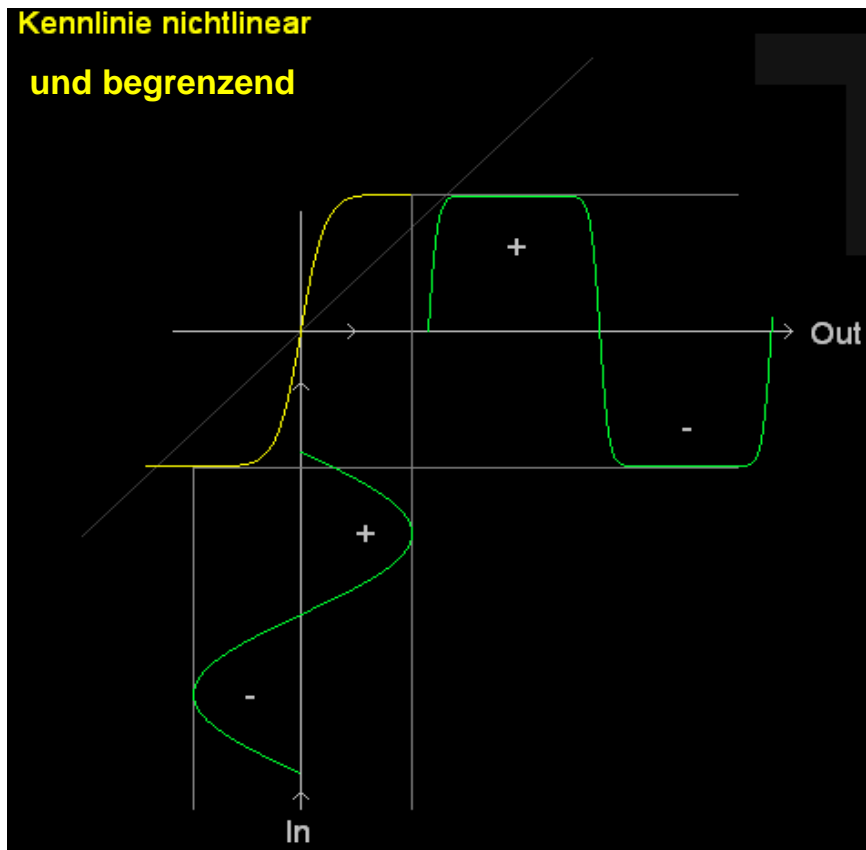
- **Dynamik:**

*SIGNAL*-Dynamik bezeichnet die Differenz zwischen dem niedrigsten und dem höchsten Pegel, den ein Signal einnehmen kann.

*SYSTEM*-Dynamik bezeichnet die Differenz zwischen dem niedrigsten und dem höchsten Signalpegel, den ein technisches System - ohne Signalverfälschung - verarbeiten kann.

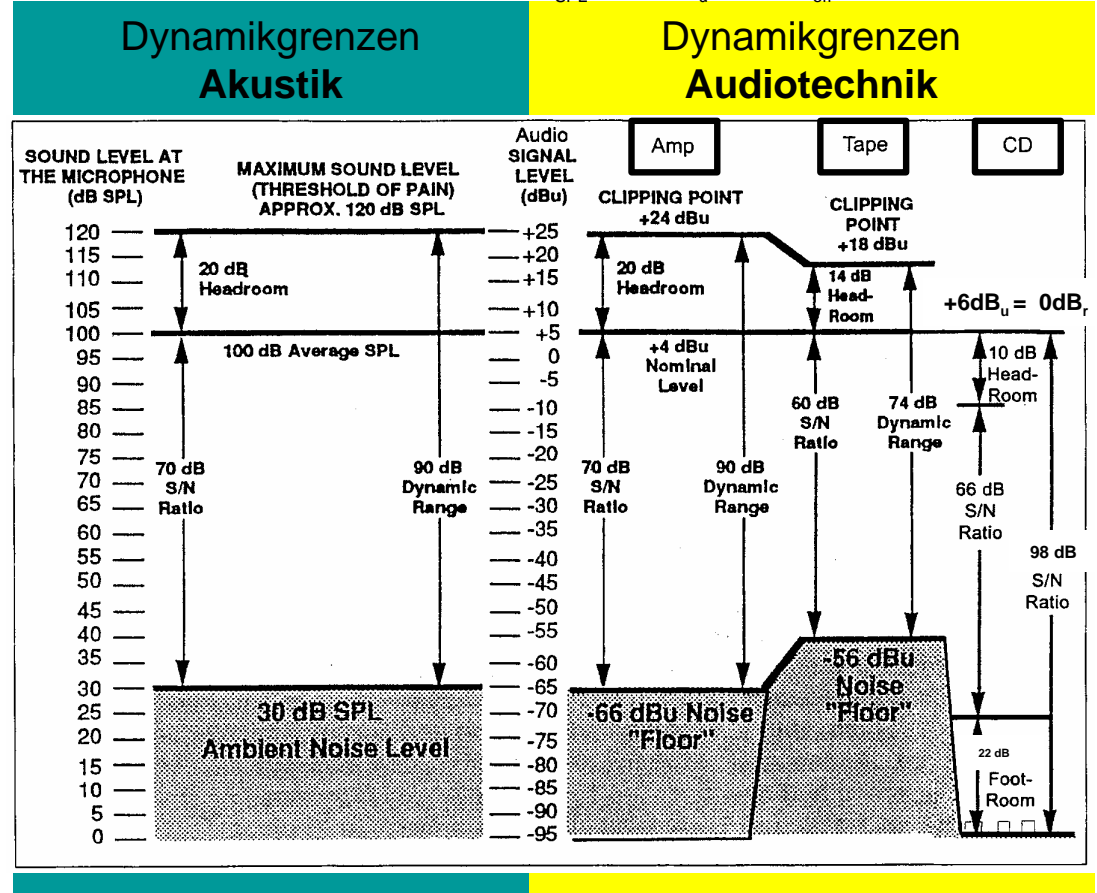
Unterhalb des niedrigsten Signalpegels beginnt das *SYSTEMRAUSCHEN* (noise floor).  
Oberhalb des höchsten Signalpegels beginnt das *BEGRENZEN* (clipping).

**Kennlinie nichtlinear  
und begrenzend**



Bildquelle: <http://mi-hp13.mi-lab.fh-furtwangen.de/~schaefer/Intra/toninha.htm>

Übergangsformel: Akustik- > Elektroakustik  $100\text{dB}_{\text{SPL}} \equiv +6\text{ dB}_u \equiv 1,55V_{\text{eff}}$



# FREQUENZBEREICH (Audiotechnik):

Ist identisch dem *Hörbereich des Menschen*. Manchmal werden allerdings schon Frequenzen oberhalb 15 kHz (wegen geringerer Hörrelevanz und mangelnder Bandbreite im nachfolgenden Übertragungssystem) nicht mehr weiterverarbeitet. (Beispiel: Audiokonsolen in Senderegien für UKW-Hörfunk/PAL-Fernsehen)

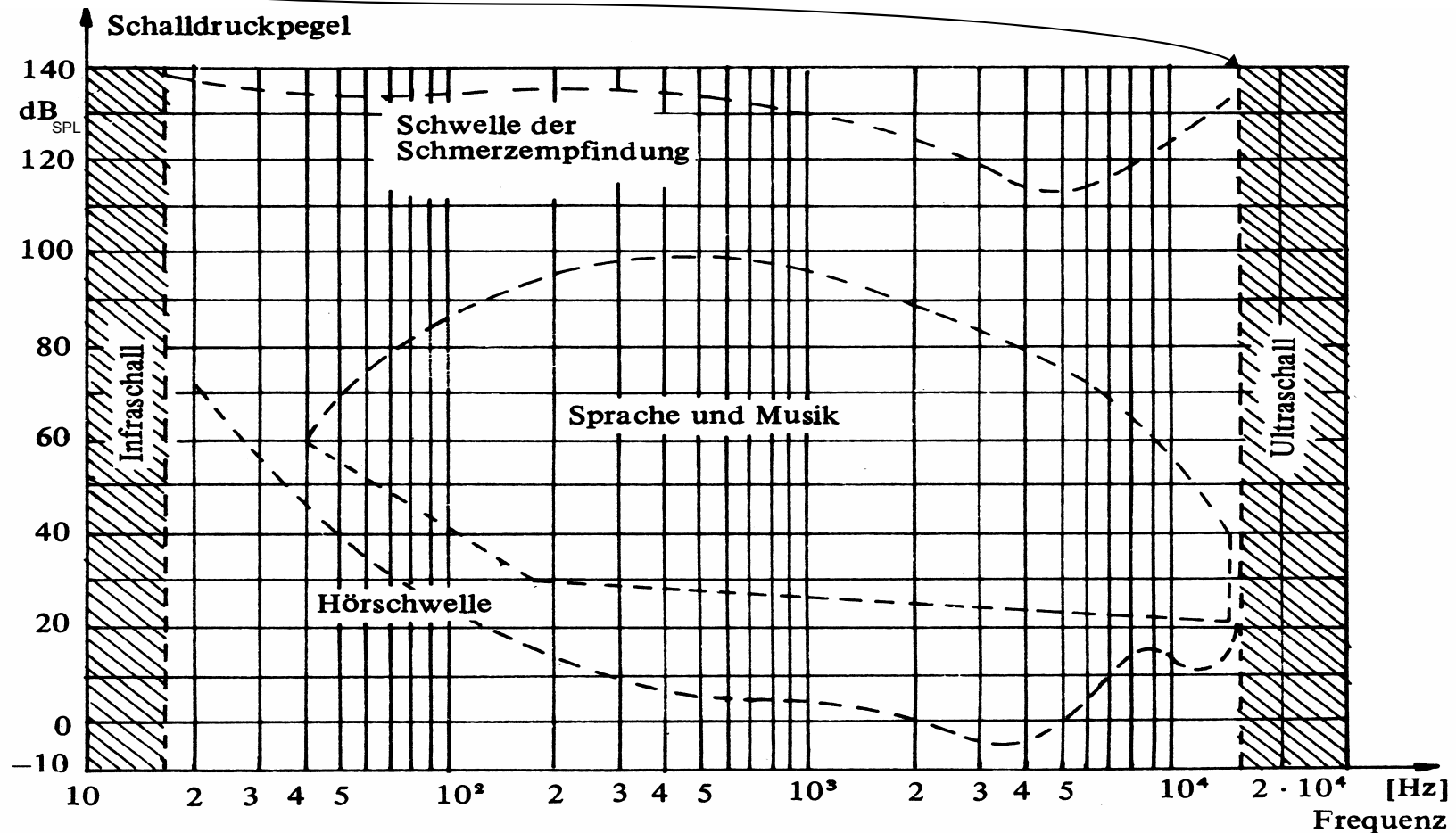
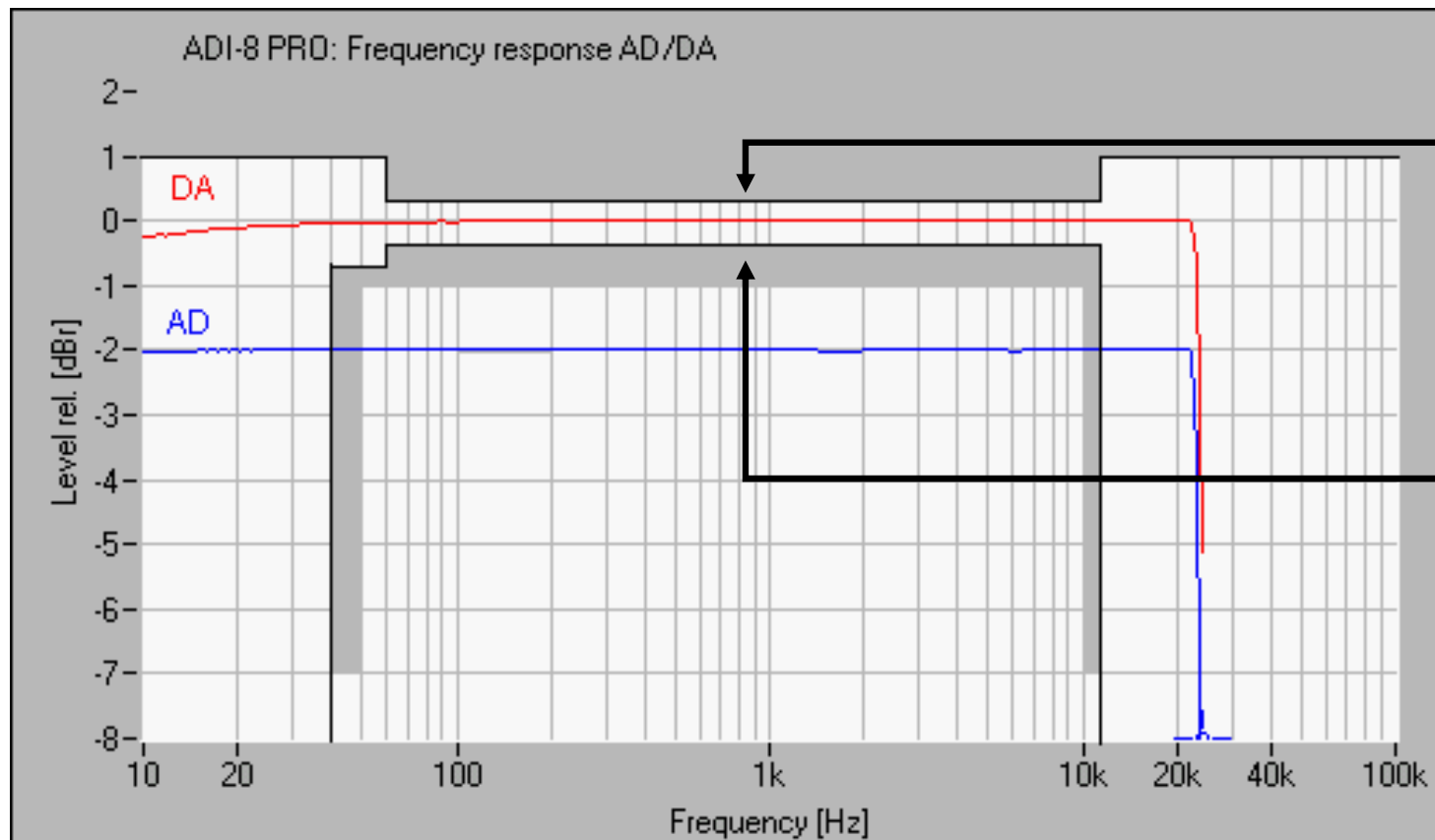


Abb. 3/3 Hörfeld mit Sprach- und Musikbereich

# PEGEL - Verhalten über FREQUENZ (Linearität):

- Audiogeräte, welche eine **klang-getreue** Aufnahme, Übertragung, Wiedergabe, etc. leisten sollen, dürfen bei ihrer internen Signalverarbeitung (außer einer generellen Pegelanpassung) **keinerlei** eigenmächtige Veränderungen bei bestimmten Frequenzen durchführen.

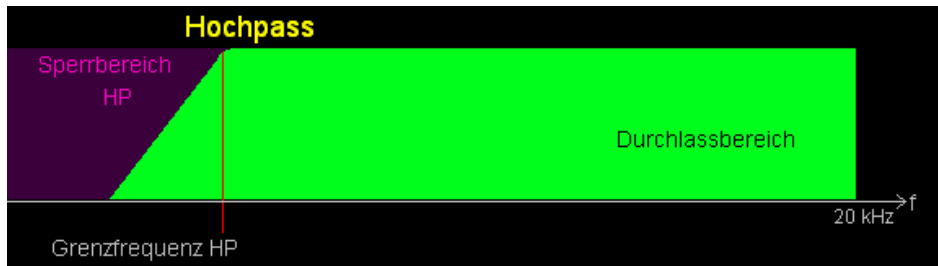
Man prüft dies durch eine sogenannte Frequenzgang-Messung (Frequenz-Durchlauf mit konstantem Eingangs-Pegel), deren Ergebnis ein annähernd konstanter Ausgangspegel (Gerade) über alle Frequenzen sein sollte (sog. linearer Frequenzgang).



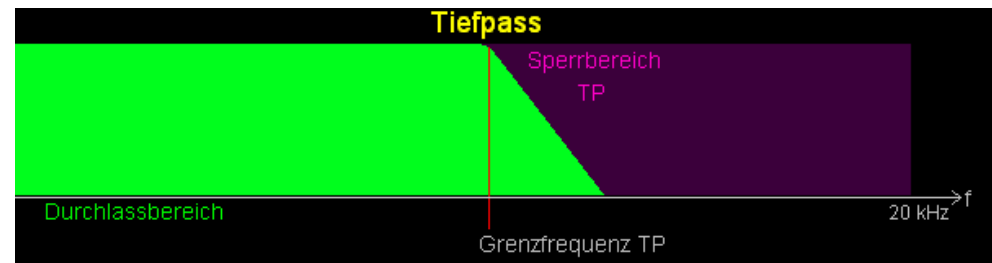
Beispiel:  
Vom Pflichtenheft „Tonregieanlagen“  
vorgegebene (sehr enge) Limits.

# PEGEL - Manipulation über FREQUENZ (Filter):

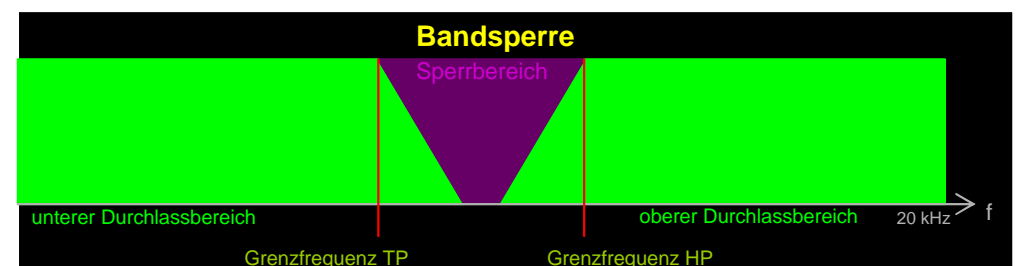
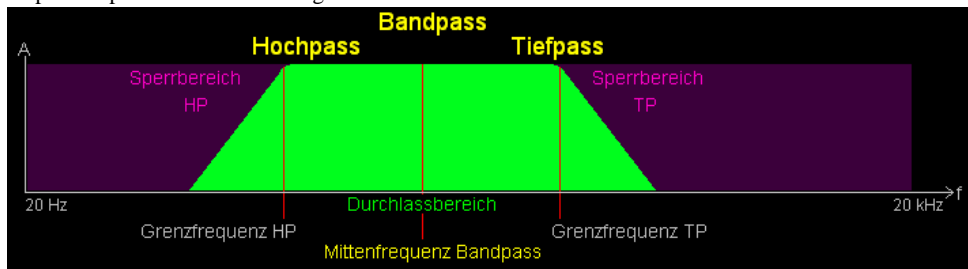
- Geräte, welche eine gezielte Pegeldämpfung in bestimmten Frequenzbereichen durchführen sollen, bezeichnet man als FILTER. Die vier wichtigsten Filtercharakteristiken sind ...



R,L,C- Filterschaltungen s. Medientechnik1



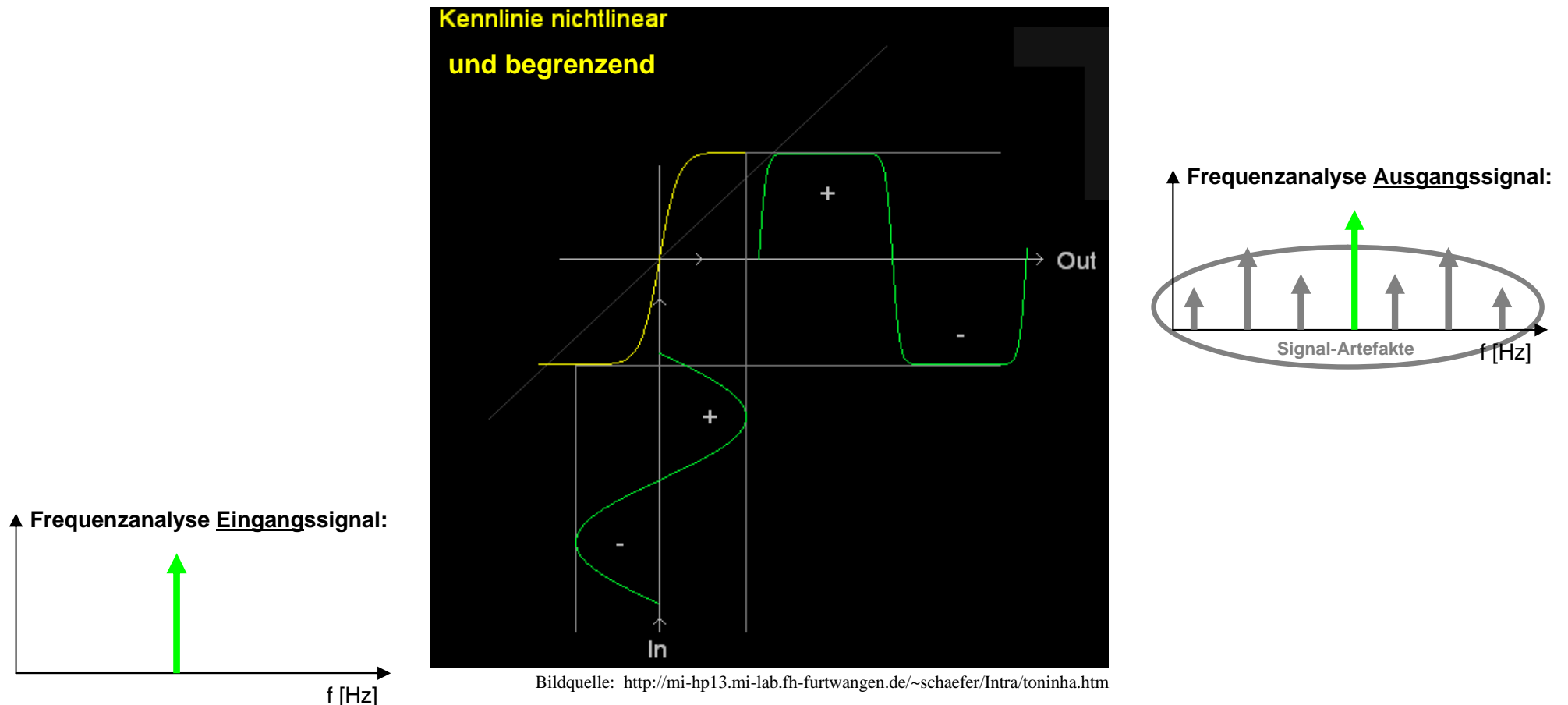
Bildquellen:  
<http://mi-hp13.mi-lab.fh-furtwangen.de/~schaefer/Intra/toninha.htm>



- Die **Grenzfrequenz  $f_g$**  eines Filters ist definiert als der Frequenzpunkt, an dem die einsetzende Dämpfung (im Vergleich zum Durchlassbereich) **-3dB** beträgt - der Pegel also schon halbiert wird !

# FREQUENZ-Auswirkungen durch nichtlineare Kennlinien und Begrenzung (Clipping):

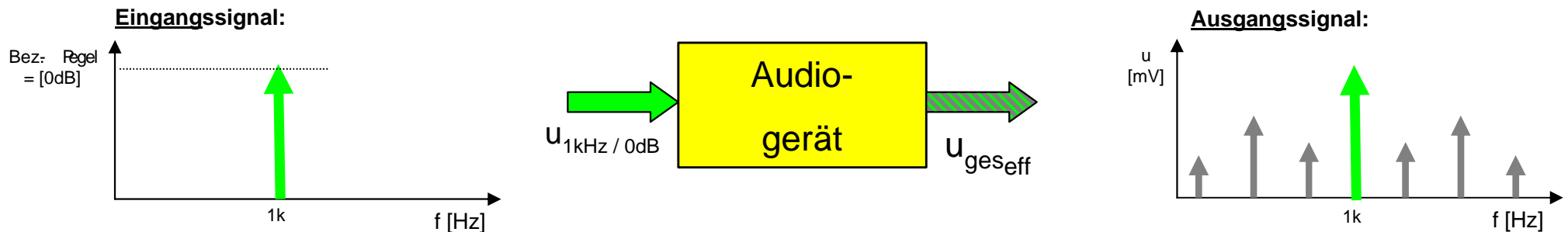
- Geräte, mit nichtlinearer Verstärkungs Kennlinie und/oder Geräte die den Ausgangspegel begrenzen (da sie an der oberen Grenze ihres Dynamikbereiches betrieben werden), erzeugen an ihrem Ausgang unerwünschte Signal-Artefakte (Signalanteile, die im Eingangssignal nicht vorhanden waren). Man bezeichnet diesen Effekt als **KLIRREN** (engl. *Distortion*) !





# Klirrfaktormessung (Total Harmonic Distortion):

- Die Klirrfaktormessung betrachtet das Auftreten „nichtzugehöriger“ Ausgangssignale bei Einspeisung **einer** definierten Frequenz/Pegel-Kombination am Signaleingang des Gerätes (meist werden 3 Meßreihen mit 60Hz, 1kHz, 5kHz bei Bezugspegel durchgeführt).



**Klirrfaktor** = Prozentualer Anteil von Artefakten im Ausgangssignal !

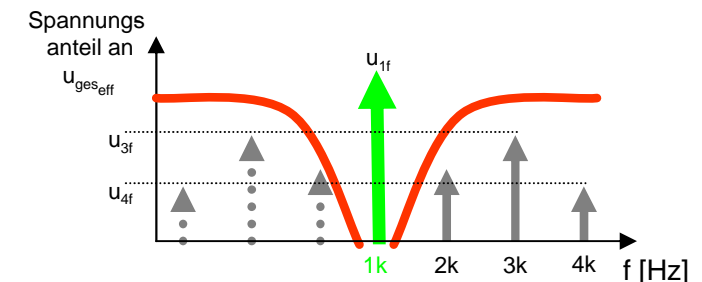
- Die unerwünschten **Signal-Artefakte** treten hauptsächlich als *ganzzahlige Vielfache der eingespeisten Frequenz* auf, so dass sich der sog. *harmonische Gesamtklirrfaktor* (THD) rechnerisch ergibt zu:

$$k_{\text{ges} | f} = \frac{\sqrt{u_{2f}^2 + u_{3f}^2 + u_{4f}^2 + u_{5f}^2 + \dots}}{u_{\text{gesEff}}}$$

- Sollen summarisch **alle** unerwünschten Signal-Artefakte (inkl. Rauschen) erfasst werden, gilt:

$$k_{\text{ges} | f} = (u_{\text{gesEff}} - u_{1f}) / u_{\text{gesEff}} \quad [ \text{Man bezeichnet dies auch als THD+N(oise)-Messung} ]$$

Messbereich » Bandsperre bei Eingangsfrequenz:



# Meßtechnische Schnellbewertung von Audiogeräten (Ablaufplan):

1. In welchem **Pegelreferenzsystem** (Anwendungsgebiet) soll das Gerät untersucht werden ?  
Nachrichtentechnik ( $\text{dB}_\text{u}$ ), Tonstudioteknik ( $\text{dB}_\text{r}$ ), Senderegiertechnik ( $\text{dB}_\text{r}$ ), Consumer ( $\text{dB}_\text{v}$ ) !
2. Über welchem **Frequenzbereich** arbeitet das Gerät linear ?  
⇒ Frequenzgangmessung (Frequenzdurchlauf mit 0  $\text{dB}_\text{r}$ -Einspeisepegel) bei *ausgeschalteter* Klangbeeinflussung !
3. In welchem **Dynamikbereich** arbeitet das Gerät korrekt ?
  - Unterhalb des niedrigsten verarbeitbaren Pegels beginnt das GRUNDRAUSCHEN (noise floor).  
⇒ Signal/Rauschabstand-Messung  
(ab welchem Einspeisepegel ist am Ausgang eine Differenz zwischen Signal und Grundrauschen messbar ?)
  - Oberhalb des höchsten verarbeitbaren Pegel beginnt das BEGRENZEN (clipping).  
⇒ Klirrfaktormessung  
(ab welchem Einspeisepegel/Verstärkungsfaktor entstehen am Ausgang Signalartefakte ⇒  $k_{\text{ges} | f} > 1 \%$ )

Die Frage, ob eine Gerät *absolut gesehen* gut oder schlecht ist, ergibt sich aus den vorab definierten Grenzen, in denen sich die Messergebnisse bewegen dürfen. Diese Grenzen unterliegen meist der subjektiven Sichtweise unterschiedlicher Anwendergruppen und Interessenslagen (z.B. DIN, ARD/ZDF-Pflichtenheft Tonstudioteknik, etc.)