

Audio-Verstärker

Kevin K.

Technische Universität Berlin

23. Mai 2013



Gliederung

1. Motivation
2. Klassifizierungen
 - 2.1 Einteilung nach Anwendungsgebiet
 - 2.2 Einteilung nach Schaltungsart (Class -A/-B/-AB)
 - 2.3 Einteilung nach aktivem Bauelement
3. Kenngrößen eines Audio-Verstärkers
4. Verzerrungen
 - 4.1 lineare & nicht-lineare Verzerrungen
 - 4.2 Klirrspektrum
5. Literaturverzeichnis
6. Quellen der Bilder

Motivation

- Der Verstärker – Ein zentrales Bindeglied zwischen Quellgeräten und Lautsprechern
- Audio:
NF-Bereich (20Hz – 20kHz)



[2]

Klassifizierung nach Anwendungsgebiet

Beispiele:

- Verzerrer – *gezielte Abweichungen in der Linearität*
- Mischpulte – *mehrere Vorverstärker vereint, Möglichkeit Audio-Signale additiv zusammenzuführen*
- Vorverstärker – *Aufarbeitung des Eingangssignals zur späteren Weiterverarbeitung*
- Leistungsverstärker (Endstufe) – *hohe Aussteuerung*



Klassifizierung nach Schaltungsarchitektur

Übersicht:

- Class-A (*Eintakt*)
- Class-B (*Gegentakt*)
- Class-AB (*Gegentakt*)
- (Class-C)
- (Class-D)

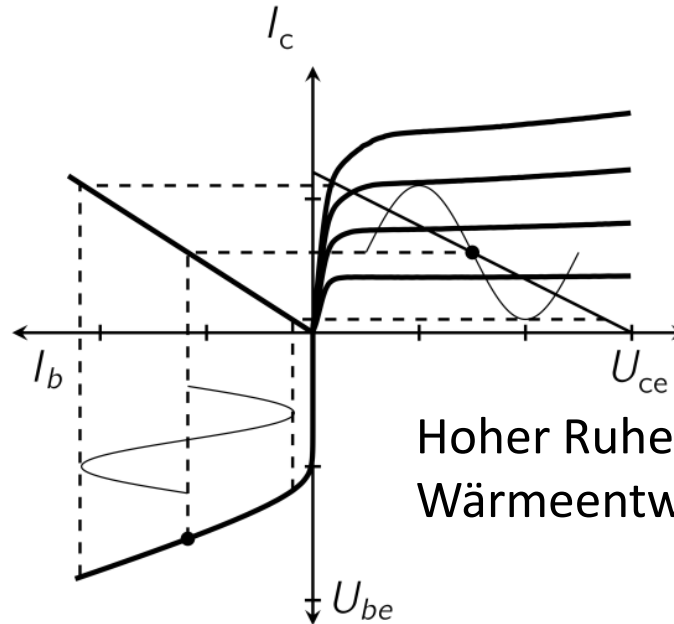
Eintakt-Betrieb: 1 aktives Bauelement
(immer leitend) zur Verstärkung des Signals

Gegentakt (Push-Pull-Betrieb): 2 aktive
Bauelemente zur Signalverstärkung, die
abwechselnd arbeiten

(Brückenbetrieb: Ausgangssignal & invertiertes
Ausgangssignal am Lautsprecher → **kein**
Masse-Anschluss)

Class-A

- Leistungstransistor ist im Gegensatz zu Class-B auf Kollektor-Emitter-Strecke immer stromführend
- Arbeitspunkt des Transistors liegt im linearen Teil seiner Ausgangskennlinie (Aktivbereich)



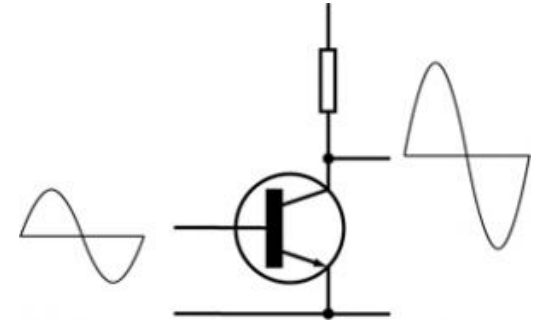
Hoher Ruhestrom \rightarrow hohe
Wärmeentwicklung

[3]

(a) A-Betrieb

Class-A

Pro (+)	Contra (-)
Einfaches Konzept	Hohe Verlustleistung
Hervorragende Klangeigenschaften (sehr verzerrungsarm)	Schlechter Wirkungsgrad ($< 25\%$)
Eignet sich gut für niedrige Leistungen (Gitarrenverstärker, Vorverstärker)	Nicht geeignet für moderne Beschallungstechnik

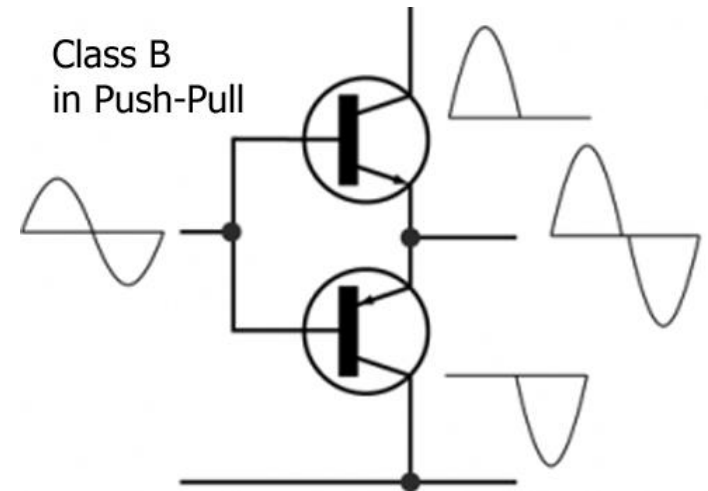


[4] Prinzipschaltbild eines Class-A Schaltungskonzeptes im Eintakt-Betrieb

Single-Ended-Schaltungsdesign:
komplettes Musiksinal wird von ein und demselben aktiven Bauelement (Elektronenröhre oder Transistor) verstärkt

Class-B in Push-Pull-Schaltung

- 2 aktive Bauelemente arbeiten und teilen sich die positive & negative Halbwelle (Bsp. npn- & pnp-Bipo)
- Während ein aktives Bauelement verstärkt, sperrt das Entsprechende der anderen Halbwelle
→ Wegfall des hohen Ruhestromes



[5]

Class-B in Push-Pull-Schaltung

Pro (+)	Contra (-)
höherer Wirkungsgrad als bei Class-A (bis zu 80%)	Deutlich verzerrungsanfälliger
Kaum Verlustleistung	Klanglich unterlegen
Eignet sich für hohe Verstärkungen	

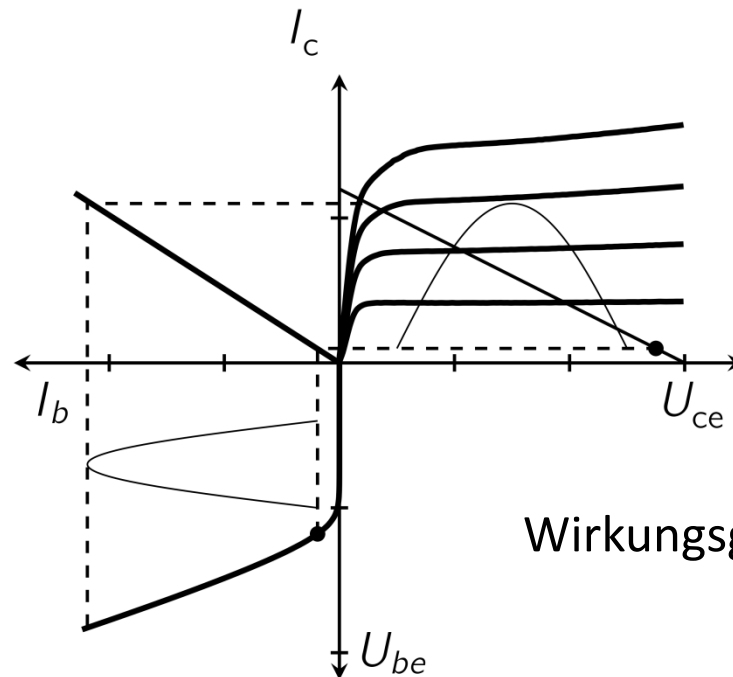


Problem der Übernahmeverzerrungen:
zwischen etwa $-0,7V$ und $+0,7V$ leitet keiner der beiden Transistoren*

**(gilt für Silizium-Transistoren)*

Class-AB in Push-Pull-Schaltung

- Class AB als **Kompromiss** zwischen energieaufwändiger Class-A- und verzerrungsanfälliger Class-B-Technik
- Kernpunkt ist auch hier der Arbeitspunkt



Wirkungsgrad: 40%-60%

[6] (b) AB-Betrieb

Klassifizierung nach aktivem Bauelement

Transistor vs. Röhre

<ul style="list-style-type: none">• Punktet durch niedrigen Preis	<ul style="list-style-type: none">• Einzigartiger Klang durch besonderes Klirrspektrum
<ul style="list-style-type: none">• relativ leichte Integrierbarkeit	<ul style="list-style-type: none">• Große Bedeutung als Gitarrenverstärker
<ul style="list-style-type: none">• kleine Abmessungen	



 [8]



[7] 

Hybride: Röhre- & Transistorverstärker



[9] Beispiel eines Hybrids, rechts im Bild ist die Röhre der Vorverstärkersektion montiert

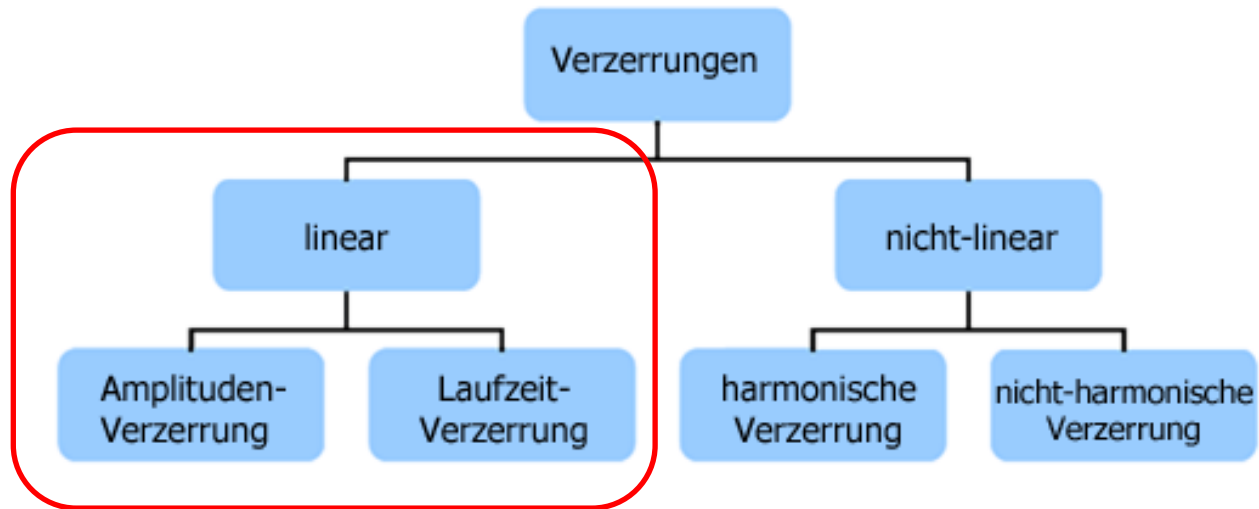
Kenngößen eines Audio-Verstärkers

- Die Ausgangsleistung (RMS) für eine bestimmte Lastimpedanz (z.B. 4Ω) → Laststabilität
- Verstärkungsfaktor in [dB]
- SNR – Signal-Rausch-Verhältnis in [dB]
- Bandbreite – *Frequenzbereich für konstante Verstärkung*
- Klirrfaktor (distortion factor) - *prozentuales Maß für die Intensität nichtlinearer Verzerrungen (Oberschwingungen) am Gesamtsignal*

$$k = 100 \cdot \sqrt{\frac{U_2^2 + U_3^2 + U_4^2 + \dots}{U_1^2 + U_2^2 + U_3^2 + U_4^2 + \dots}}$$

U_1 : Effektivwert der
Grundschiwingung

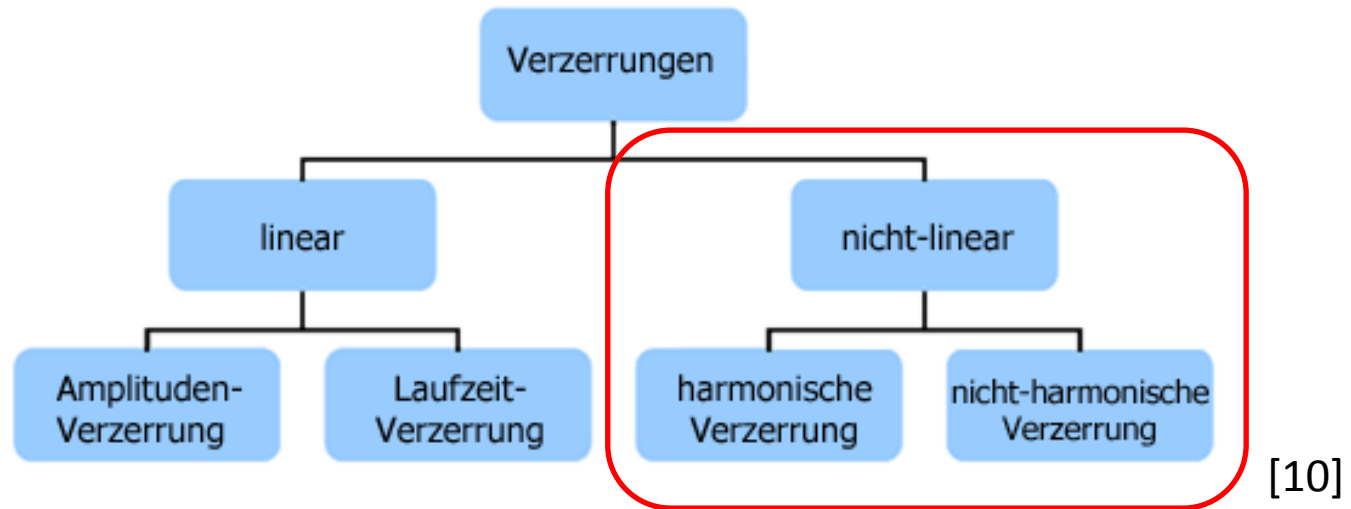
Verzerrungen



[10]

- Lineare Verzerrung fügt dem Signal keine zusätzlichen Frequenzen hinzu
Bsp. : Klangregler für Bass und Treble (Amplitudenverzerrung)
- Phasenverzerrung: Ausgangssignal **nicht** in Phase mit Eingangssignal,
Phasendifferenz **frequenzabhängig**

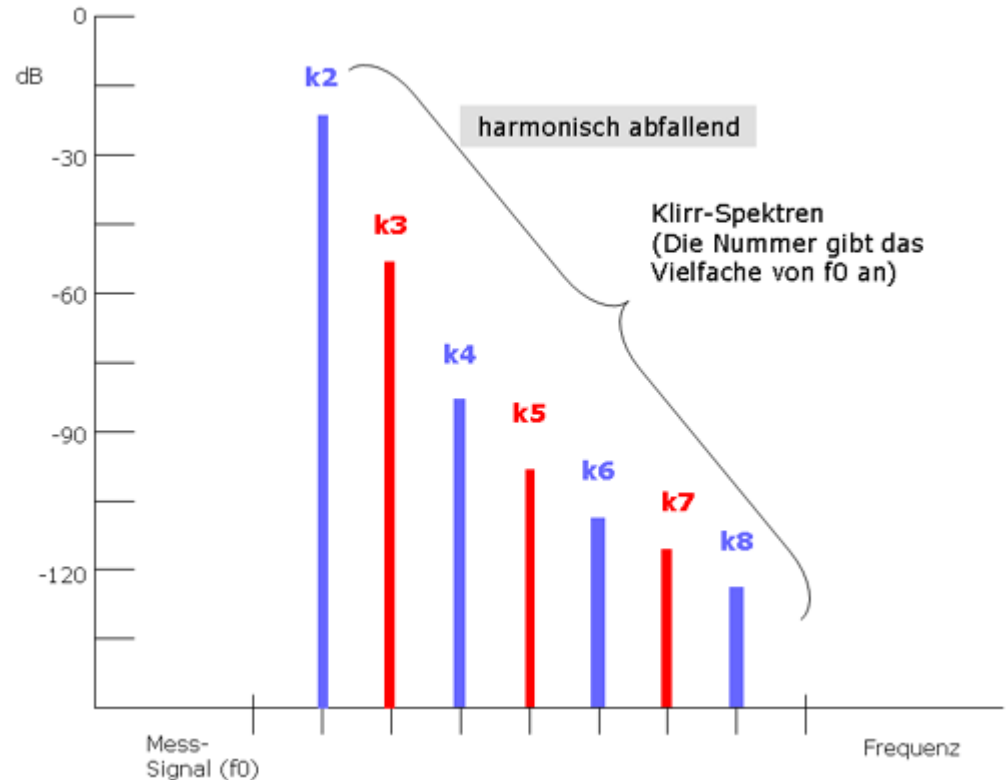
Verzerrungen



- Harmonisch ist ein Ton, wenn er im ganzzahligen Verhältnis zur Frequenz des Grundtons steht
- Nicht-harmonische Verzerrungen → Intermodulationsverzerrungen, wahrgenommen als Disharmonie (deutlich unangenehmer als harmonische)

Klirrspektrum (harmonisch)

- Form bzw. Verteilung des Klirrspektrums ebenso wichtig
- In der Praxis spielen k_2 bis k_5 eine wichtige Rolle, noch höhere sind im Pegel zu gering
- k_2 - und k_4 -Werte im High-End-Bereich sogar erwünscht
→ voller, warmer Klang



[11]

Literaturverzeichnis

- R. Beckmann: *Handbuch der PA-Technik, Grundlagen-Komponenten-Praxis*. 2. Auflage, Elektor-Verlag, Aachen, 1990, [ISBN 3-921608-66-X](#)
- *Fairaudio* – HIFI Onlinemagazin (www.fairaudio.de)
- *Laborskript Praktikum Grundlagen und Bauelemente*, WS 2012/2013, Texte von Theodor Borsche, René Fischer, Christian Gallrapp, Michael Sadowski und anderen, Fak. IV TU-Berlin
- Integrated Audio Amplifier circuits – Vergleichstabelle und Datenbuch (<http://www.eca.de/download/books/audiomuster.pdf>)
- Wikipedia
- Gustav Büscher, A. Wiegemann: *Kleines ABC der Elektroakustik*. 6. Auflage, Franzis Verlag, München, 1972, [ISBN 3-7723-0296-3](#)

Quellangaben von Grafiken (chronologisch)

- [1] http://www.sempre-audio.at/images/News/Burmester_Audiosysteme_GmbH/Burmester_101_Integrated_Amplifier/Burmester_101_Integrated_Amplifier_Bild_Breit_670.jpg
- [2] <http://www.fairaudio.de/img/lexikon/verstaerker/teaser-gross-verstaerker-lexi.jpg>
- [3] Abbildung 4.7 (a): Laborskript Praktikum: Grundlagen und Bauelemente
- [4] http://blog.steinigke.com/files/2010/04/Electronic_Amplifier_Class_A-300x185.png
- [5] http://blog.steinigke.com/files/2010/04/Electronic_Amplifier_Push-pull.png
- [6] Abbildung 4.7 (b): Laborskript Praktikum: Grundlagen und Bauelemente
- [7] http://www.hifi4life.de/images/845-Compact_Wood_without-Gr.jpg
- [8] http://www.symphonic-line.de/images_produkte/rg14_edition_innen.jpg
- [9] http://www.aredvd.de/images/2006/audio_analogue_primo_verstaerker_inside.jpg
- [10] <http://www.fairaudio.de/img/lexikon/akustik/verzerrung-systematisierung.gif>
- [11] <http://www.fairaudio.de/img/lexikon/akustik/klirr-spektren-1.gif>