



# VERSTÄRKER

## EINE EINFÜHRUNG

Daniel Menzel



Fakultät IV

Institut für Hochspannungstechnik

Institut für Hochfrequenz- und Halbleiter-Systemtechnologie

PROJEKT  
LABOR

07. Mai 2009



# 1 EINFÜHRUNG



## 1 EINFÜHRUNG

## 2 VERSTÄRKER IN DER AUDIOTECHNIK



- 1 EINFÜHRUNG
- 2 VERSTÄRKER IN DER AUDIOTECHNIK
- 3 VERSTÄRKERKOMPONENTEN



- 1 EINFÜHRUNG
- 2 VERSTÄRKER IN DER AUDIOTECHNIK
- 3 VERSTÄRKERKOMPONENTEN
- 4 REALISIERUNG



## Grundlagen

### WAS IST EIN VERSTÄRKER?



## Grundlagen

## WAS IST EIN VERSTÄRKER?

## EINE BLACKBOX...





## Grundlagen

## WAS IST EIN VERSTÄRKER?

## EINE BLACKBOX...



... mit definierbarem Spannungsverstärkungsfaktor  $T$ :

$$T = \frac{U_{out}}{U_{in}}$$



## Grundlagen

## WAS IST EIN VERSTÄRKER?

## EINE BLACKBOX...



... mit definierbarem Spannungsverstärkungsfaktor  $T$ :

$$T = \frac{U_{out}}{U_{in}} > 1$$



## Grundlagen

## WAS IST EIN VERSTÄRKER?

## EINE BLACKBOX...



... mit definierbarem Spannungsverstärkungsfaktor  $T$ :

$$T = \frac{U_{out}}{U_{in}} > 1$$

bzw. definierbarem Übertragungsmaß  $a_T$ :

$$a_T = 20 \cdot \lg \left( \frac{U_{out}}{U_{in}} \right)$$



## Grundlagen

## WAS IST EIN VERSTÄRKER?

## EINE BLACKBOX...



... mit definierbarem Spannungsverstärkungsfaktor  $T$ :

$$T = \frac{U_{out}}{U_{in}} > 1$$

bzw. definierbarem Übertragungsmaß  $a_T$ :

$$a_T = 20 \cdot \lg \left( \frac{U_{out}}{U_{in}} \right) > 0$$



## Grundlagen

## WAS IST EIN VERSTÄRKER?

## EINE BLACKBOX...



... mit definierbarem Spannungsverstärkungsfaktor  $T$ :

$$T = \frac{U_{out}}{U_{in}} > 1$$

bzw. definierbarem Übertragungsmaß  $a_T$ :

$$a_T = 20 \cdot \lg \left( \frac{U_{out}}{U_{in}} \right) > 0$$

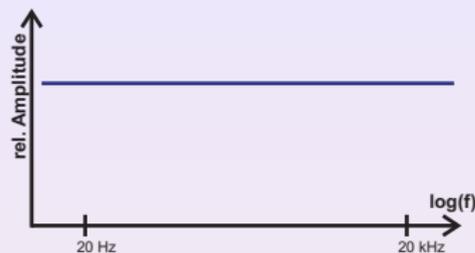




## 1 Linearität / Frequenzunabhängigkeit



## 1 Linearität / Frequenzunabhängigkeit



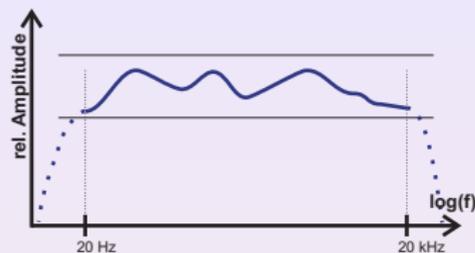


## 1 Linearität / Frequenzunabhängigkeit



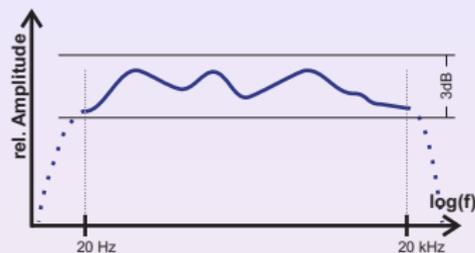


## 1 Linearität / Frequenzunabhängigkeit





## 1 Linearität / Frequenzunabhängigkeit





## 1 Linearität / Frequenzunabhängigkeit



## Spezielle Anforderungen

- 1 Linearität / Frequenzunabhängigkeit
- 2 Ausgangsimpedanz



## Spezielle Anforderungen

- 1 Linearität / Frequenzunabhängigkeit
- 2 Ausgangsimpedanz  
sollte bei 200 – 1600 m $\Omega$  liegen, besser sogar bei  
400 – 800 m $\Omega$



- 1 Linearität / Frequenzunabhängigkeit
- 2 Ausgangsimpedanz  
sollte bei 200 – 1600 m $\Omega$  liegen, besser sogar bei  
400 – 800 m $\Omega$   
Stichwort: **Spannungsanpassung** ( $\nearrow$ )



## Spezielle Anforderungen

- 1 Linearität / Frequenzunabhängigkeit
- 2 Ausgangsimpedanz



## Spezielle Anforderungen

- 1 Linearität / Frequenzunabhängigkeit
- 2 Ausgangsimpedanz
- 3 Spannungsverstärkung



## Spezielle Anforderungen

- 1 Linearität / Frequenzunabhängigkeit
- 2 Ausgangsimpedanz
- 3 Spannungsverstärkung **und** Leistungsverstärkung



## Spezielle Anforderungen

### ANPASSUNG



## Spezielle Anforderungen

## ANPASSUNG

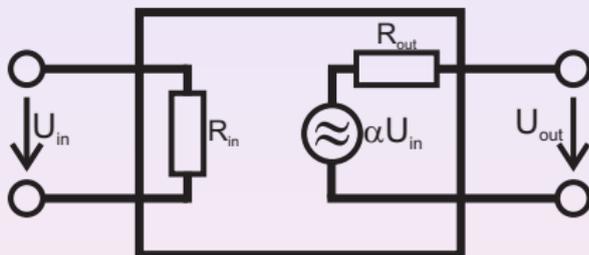
- Audioverstärker sind spannungsgesteuerte Spannungsquellen.



## Spezielle Anforderungen

## ANPASSUNG

- Audioverstärker sind spannungsgesteuerte Spannungsquellen.





## Spezielle Anforderungen

## ANPASSUNG

- Audioverstärker sind spannungsgesteuerte Spannungsquellen.



## Spezielle Anforderungen

## ANPASSUNG

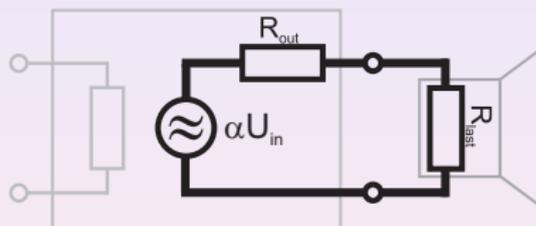
- Audioverstärker sind spannungsgesteuerte Spannungsquellen.
- Ersatzschaltbild für Anschluß einer Last:



## Spezielle Anforderungen

## ANPASSUNG

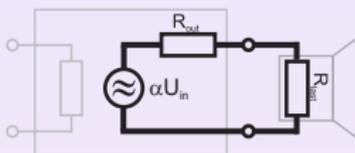
- Audioverstärker sind spannungsgesteuerte Spannungsquellen.
- Ersatzschaltbild für Anschluß einer Last:





## Spezielle Anforderungen

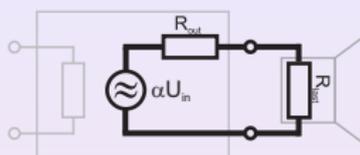
## ANPASSUNG II - LEISTUNGSANPASSUNG





## Spezielle Anforderungen

## ANPASSUNG II - LEISTUNGSANPASSUNG

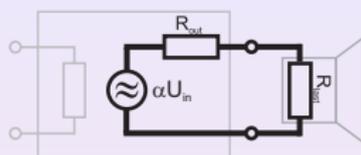


- Für die Leistungsanpassung gilt  $R_{out} = R_{Last}$ .



## Spezielle Anforderungen

## ANPASSUNG II - LEISTUNGSANPASSUNG

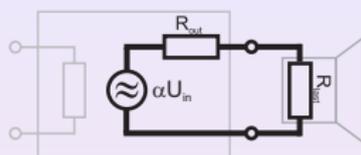


- Für die Leistungsanpassung gilt  $R_{out} = R_{Last}$ .
- Dies bedeutet ein Maximum an Leistung.



## Spezielle Anforderungen

## ANPASSUNG II - LEISTUNGSANPASSUNG

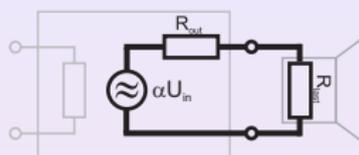


- Für die Leistungsanpassung gilt  $R_{out} = R_{Last}$ .
- Dies bedeutet ein Maximum an Leistung.
- Probleme:



## Spezielle Anforderungen

## ANPASSUNG II - LEISTUNGSANPASSUNG

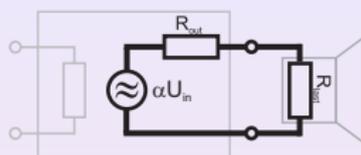


- Für die Leistungsanpassung gilt  $R_{out} = R_{Last}$ .
- Dies bedeutet ein Maximum an Leistung.
- Probleme:
  - 1 Zusammenschaltungen führen zu starker Impedanzänderung - und damit zu Fehlanpassungen.



## Spezielle Anforderungen

## ANPASSUNG II - LEISTUNGSANPASSUNG



- Für die Leistungsanpassung gilt  $R_{out} = R_{Last}$ .
- Dies bedeutet ein Maximum an Leistung.
- Probleme:
  - ① Zusammenschaltungen führen zu starker Impedanzänderung - und damit zu Fehlanpassungen.
  - ②  $R_{Last} \rightarrow \underline{Z}_{Last}(\omega)$ ! Damit entstehen bei Leistungsanpassung sog. (verzerrte) Frequenzgänge!<sup>1</sup>

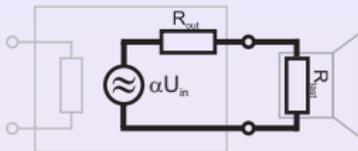
---

<sup>1</sup>vgl. dazu [Handbuch Tonstudioteknik Bd. 2, S. 97]



## Spezielle Anforderungen

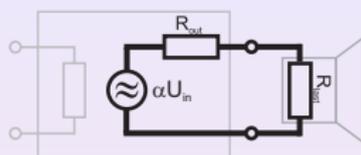
## ANPASSUNG III - SPANNUNGSANPASSUNG





## Spezielle Anforderungen

## ANPASSUNG III - SPANNUNGSANPASSUNG

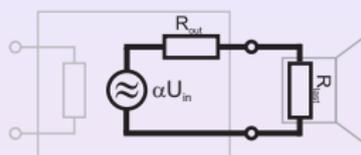


- Für die Spannungsanpassung gilt  $R_{out} \ll R_{Last} \Rightarrow$  kaum Spannungsabfall über  $R_{out}$



## Spezielle Anforderungen

## ANPASSUNG III - SPANNUNGSANPASSUNG

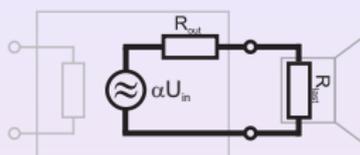


- Für die Spannungsanpassung gilt  $R_{out} \ll R_{Last} \Rightarrow$  kaum Spannungsabfall über  $R_{out}$



## Spezielle Anforderungen

## ANPASSUNG III - SPANNUNGSANPASSUNG

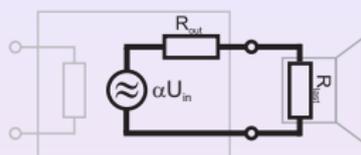


- Für die Spannungsanpassung gilt  $R_{out} \ll R_{Last} \Rightarrow$  kaum Spannungsabfall über  $R_{out}$
- quasikonstanter Spannungsabfall über  $R_{Last} \Rightarrow$  quasikonstante Leistung über  $R_{Last}$



## Spezielle Anforderungen

## ANPASSUNG III - SPANNUNGSANPASSUNG



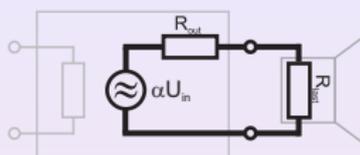
- Für die Spannungsanpassung gilt  $R_{out} \ll R_{Last} \Rightarrow$  kaum Spannungsabfall über  $R_{out}$
- quasikonstanter Spannungsabfall über  $R_{Last} \Rightarrow$  quasikonstante Leistung über  $R_{Last}$
- Probleme bei Zusammenschaltung mehrerer Boxen ergeben sich nicht mehr.<sup>2</sup>

<sup>2</sup>Unter Maßgabe, dass  $I_{max}$  des Ausgangs nicht überschritten wird.



## Spezielle Anforderungen

## ANPASSUNG III - SPANNUNGSANPASSUNG

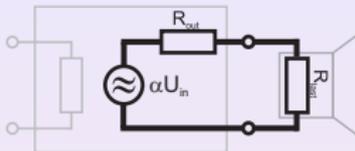


- Für die Spannungsanpassung gilt  $R_{out} \ll R_{Last} \Rightarrow$  kaum Spannungsabfall über  $R_{out}$
- quasikonstanter Spannungsabfall über  $R_{Last} \Rightarrow$  quasikonstante Leistung über  $R_{Last}$
- Probleme bei Zusammenschaltung mehrerer Boxen ergeben sich nicht mehr.
- Allerdings: Verluste gegenüber Leistungsanpassung!



## Spezielle Anforderungen

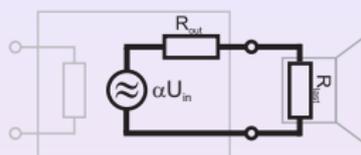
## ANPASSUNG IV - SPANNUNGSANPASSUNG II





## Spezielle Anforderungen

## ANPASSUNG IV - SPANNUNGSANPASSUNG II



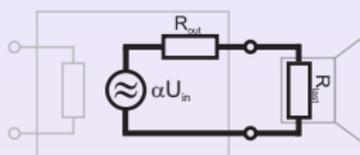
- In der Realität reicht es meist, wenn gilt:

$$R_{Last} = 10 \cdot R_{out}$$



## Spezielle Anforderungen

## ANPASSUNG IV - SPANNUNGSANPASSUNG II



- In der Realität reicht es meist, wenn gilt:

$$R_{Last} = 10 \cdot R_{out}$$

- Da die meisten Hifi-Lautsprecher bei 4 – 8Ω Impedanz liegen, sollte der Innenwiderstand des Verstärkers bei 400 – 800mΩ liegen (↙).



## Typen

### RÖHRENVERSTÄRKER



## Typen

## RÖHRENVERSTÄRKER

- Sind die ältesten Verstärkertypen.



## Typen

## RÖHRENVERSTÄRKER

- Sind die ältesten Verstärkertypen.
- Sind Spannungsverstärker.



## Typen

## RÖHRENVERSTÄRKER

- Sind die ältesten Verstärkertypen.
- Sind Spannungsverstärker.
- **Problem:** Röhren sind groß, teuer und allgemein sehr anfällig für Probleme.



## Typen

## RÖHRENVERSTÄRKER

- Sind die ältesten Verstärkertypen.
- Sind Spannungsverstärker.
- **Problem:** Röhren sind groß, teuer und allgemein sehr anfällig für Probleme.
- Brauchen 400V Gleichspannung zum Heizen.



## Typen

## RÖHRENVERSTÄRKER

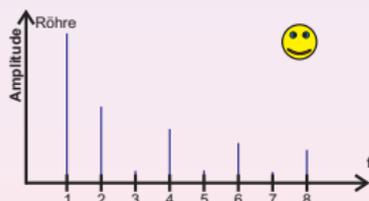
- Sind die ältesten Verstärkertypen.
- Sind Spannungsverstärker.
- **Problem:** Röhren sind groß, teuer und allgemein sehr anfällig für Probleme.
- Brauchen 400V Gleichspannung zum Heizen.
- Produzieren allerdings beim Übersteuern gradzahlige Harmonische.



## Typen

## RÖHRENVERSTÄRKER

- Sind die ältesten Verstärkertypen.
- Sind Spannungsverstärker.
- **Problem:** Röhren sind groß, teuer und allgemein sehr anfällig für Probleme.
- Brauchen 400V Gleichspannung zum Heizen.
- Produzieren allerdings beim Übersteuern gradzahlige Harmonische.

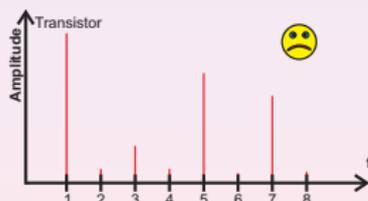




## Typen

## RÖHRENVERSTÄRKER

- Sind die ältesten Verstärkertypen.
- Sind Spannungsverstärker.
- **Problem:** Röhren sind groß, teuer und allgemein sehr anfällig für Probleme.
- Brauchen 400V Gleichspannung zum Heizen.
- Produzieren allerdings beim Übersteuern gradzahlige Harmonische.





## Typen

## RÖHRENVERSTÄRKER

- Sind die ältesten Verstärkertypen.
- Sind Spannungsverstärker.
- **Problem:** Röhren sind groß, teuer und allgemein sehr anfällig für Probleme.
- Brauchen 400V Gleichspannung zum Heizen.
- Produzieren allerdings beim Übersteuern gradzahlige Harmonische.
- Trotz ihrer Probleme halten sie sich bis heute in Hi-End- und Instrumentenverstärkern.



## Typen

### TRANSISTORVERSTÄRKER



## Typen

## TRANSISTORVERSTÄRKER

- Transistoren sind günstig!



## Typen

## TRANSISTORVERSTÄRKER

- Transistoren sind günstig!
- Sind Stromverstärker



## Typen

## TRANSISTORVERSTÄRKER

- Transistoren sind günstig!
- Sind Stromverstärker
- geringere Streuung bzgl. der Eigenschaften als Röhren!



## Typen

## TRANSISTORVERSTÄRKER

- Transistoren sind günstig!
- Sind Stromverstärker
- geringere Streuung bzgl. der Eigenschaften als Röhren!
- einfachere Schaltungen.



## Typen

## TRANSISTORVERSTÄRKER

- Transistoren sind günstig!
- Sind Stromverstärker
- geringere Streuung bzgl. der Eigenschaften als Röhren!
- einfachere Schaltungen.
- **Allerdings:** Weniger „musikalisch“ als Röhren (↖)



## Typen

## KLASSIFIZIERUNG VON (TRANSISTOR-)VERSTÄRKERN

Eine Einteilung ist möglich in:



## Typen

## KLASSIFIZIERUNG VON (TRANSISTOR-)VERSTÄRKERN

Eine Einteilung ist möglich in:

- 1 Eintaktverstärker



## Typen

## KLASSIFIZIERUNG VON (TRANSISTOR-)VERSTÄRKERN

Eine Einteilung ist möglich in:

- 1 Eintaktverstärker
  - Ein aktives Bauelement übernimmt die Verstärkung.



## Typen

## KLASSIFIZIERUNG VON (TRANSISTOR-)VERSTÄRKERN

Eine Einteilung ist möglich in:

- 1 Eintaktverstärker
  - Ein aktives Bauelement übernimmt die Verstärkung.



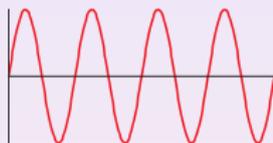


## Typen

## KLASSIFIZIERUNG VON (TRANSISTOR-)VERSTÄRKERN

Eine Einteilung ist möglich in:

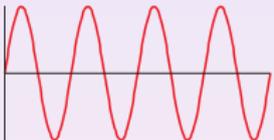
- 1 Eintaktverstärker
  - Ein aktives Bauelement übernimmt die Verstärkung.



- 2 Gegentaktverstärker



Eine Einteilung ist möglich in:

- 1 Eintaktverstärker
    - Ein aktives Bauelement übernimmt die Verstärkung.
- 
- 2 Gegentaktverstärker
    - Zwei aktive Bauelemente übernehmen die Verstärkung.



## Typen

## KLASSIFIZIERUNG VON (TRANSISTOR-)VERSTÄRKERN

Eine Einteilung ist möglich in:

1 Eintaktverstärker

- Ein aktives Bauelement übernimmt die Verstärkung.



2 Gegentaktverstärker

- Zwei aktive Bauelemente übernehmen die Verstärkung.





## Typen

## KLASSIFIZIERUNG VON (TRANSISTOR-)VERSTÄRKERN

Eine Einteilung ist möglich in:

① Eintaktverstärker

- Ein aktives Bauelement übernimmt die Verstärkung.



② Gegentaktverstärker

- Zwei aktive Bauelemente übernehmen die Verstärkung.



⇒ **Bautyp unserer Wahl!**



## KASKADIERUNG



## KASKADIERUNG

Bei großen Verstärkungen Probleme mit der Linearität bzgl. der Frequenz.



## KASKADIERUNG

Bei großen Verstärkungen Probleme mit der Linearität bzgl. der Frequenz.

Abhilfe schafft Kaskadierung:



## KASKADIERUNG

Bei großen Verstärkungen Probleme mit der Linearität bzgl. der Frequenz.

Abhilfe schafft Kaskadierung:

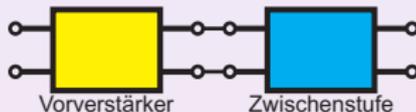




## KASKADIERUNG

Bei großen Verstärkungen Probleme mit der Linearität bzgl. der Frequenz.

Abhilfe schafft Kaskadierung:





## KASKADIERUNG

Bei großen Verstärkungen Probleme mit der Linearität bzgl. der Frequenz.

Abhilfe schafft Kaskadierung:





## Vorverstärker

### AUFGABEN





## Vorverstärker

## AUFGABEN



## AUFGABEN

- Bekommt Signale unterschiedlichster Quellen...



## Vorverstärker

## AUFGABEN



## AUFGABEN

- Bekommt Signale unterschiedlichster Quellen... ( $\Rightarrow$  meist kein Line-Pegel)



## Vorverstärker

## AUFGABEN



## AUFGABEN

- Bekommt Signale unterschiedlichster Quellen...
- ... und bereitet sie so auf, dass die Endstufe im Arbeitspunkt arbeiten kann.



## Vorverstärker

## AUFGABEN II



IN UNSEREM FALL...



## Vorverstärker

## AUFGABEN II



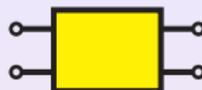
## IN UNSEREM FALL...

- ... muss eine Spannungs(vor)verstärkung erfolgen.



## Vorverstärker

## AUFGABEN II



## IN UNSEREM FALL...

- ... muss eine Spannungs(vor)verstärkung erfolgen.
- ... wird das ganze beim Mikrofoneingang benötigt.



## Vorverstärker

### CHARAKTERISTIKA





## Vorverstärker

## CHARAKTERISTIKA



- Arbeiten quasi immer im Kleinsignalbetrieb.



## Vorverstärker

### CHARAKTERISTIKA



- Arbeiten quasi immer im Kleinsignalbetrieb.
- Müssen linear sein!



## Vorverstärker

## CHARAKTERISTIKA

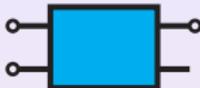


- Arbeiten quasi immer im Kleinsignalbetrieb.
- Müssen linear sein!
- Müssen sehr rauscharm sein!



## Zwischenstufe

## AUFGABEN





## Zwischenstufe

## AUFGABEN



- Verstärkung für unterschiedliche Zwecke<sup>2</sup>:

---

<sup>2</sup>vgl. dazu auch [Handbuch Tonstudioteknik Bd. 1, S. 142 f.]



- Verstärkung für unterschiedliche Zwecke<sup>2</sup>:
  - Aufholverstärker
  - Entzerrerverstärker
  - Leitungsverstärker

---

<sup>2</sup>vgl. dazu auch [Handbuch Tonstudioteknik Bd. 1, S. 142 f.]



## Zwischenstufe

## AUFGABEN



- Verstärkung für unterschiedliche Zwecke:
  - Aufholverstärker
  - Entzerrerverstärker
  - Leitungsverstärker
- Oft auch für Impedanzwandlung



## Zwischenstufe

## AUFGABEN



- Verstärkung für unterschiedliche Zwecke:
    - Aufholverstärker
    - Entzerrerverstärker
    - Leitungsverstärker
  - Oft auch für Impedanzwandlung
- ⇒ Für uns wahrscheinlich absolut unwichtig!

**Endstufe**

## AUFGABEN





## Endstufe

## AUFGABEN



## AUFGABEN



## Endstufe

## AUFGABEN



## AUFGABEN

## Leistungsverstärkung!



## Endstufe

### CHARAKTERISTIKA





## Endstufe

## CHARAKTERISTIKA



- Bekommt Ausgangssignal vom Vorverstärker.



## Endstufe

## CHARAKTERISTIKA



- Bekommt Ausgangssignal vom Vorverstärker.
- Signal sollte von vorhergehenden Stufen so aufbereitet sein, dass die Endstufe optimal im Arbeitspunkt arbeiten kann!



## Endstufe

## CHARAKTERISTIKA



- Bekommt Ausgangssignal vom Vorverstärker.
- Signal sollte von vorhergehenden Stufen so aufbereitet sein, dass die Endstufe optimal im Arbeitspunkt arbeiten kann!
- Hat meist wenig oder keine Einstellmöglichkeiten.



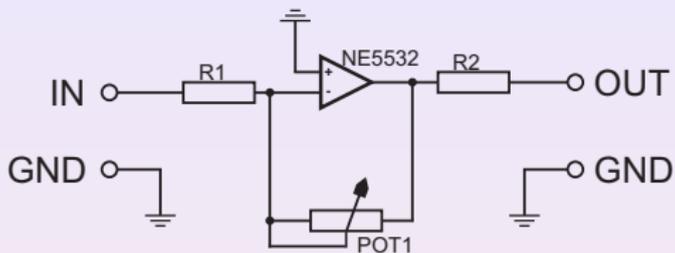
## Vorverstärker

### SCHEMATICS



## Vorverstärker

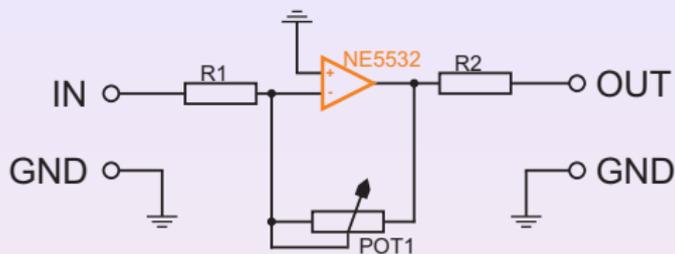
## SCHEMATICS





## Vorverstärker

## SCHEMATICS

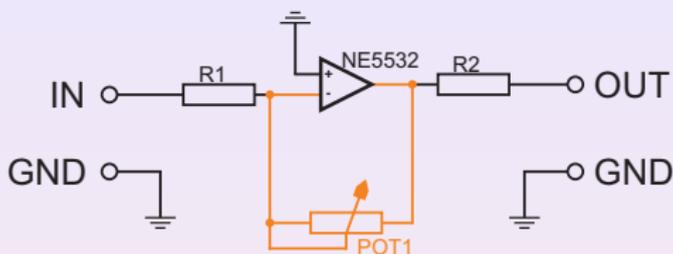


## 1. Operationsverstärker



## Vorverstärker

## SCHEMATICS

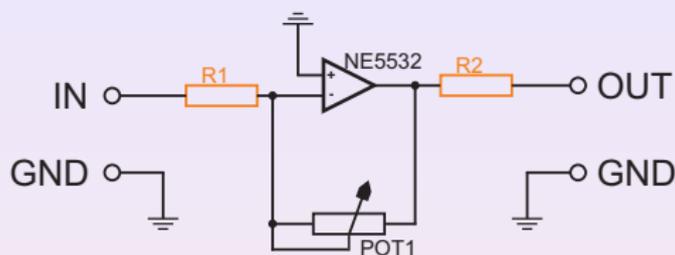


## 2. Regelkreis für Lautstärke



## Vorverstärker

## SCHEMATICS



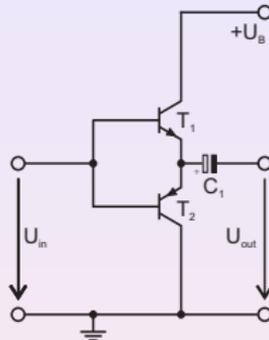
### 3. Anpassungswiderstände

**Endstufe****SCHEMATICS I: B-BETRIEB**



## Endstufe

## SCHEMATICS I: B-BETRIEB

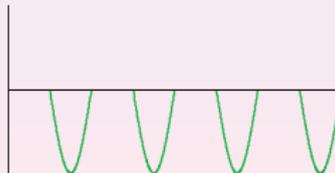
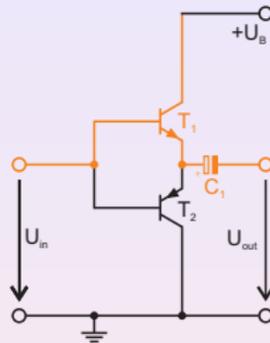


B-Betrieb nach Vorlage vom [Elektronik-Kompendium]



## Endstufe

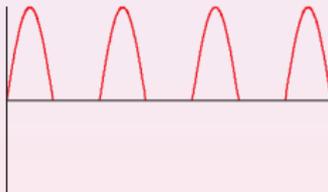
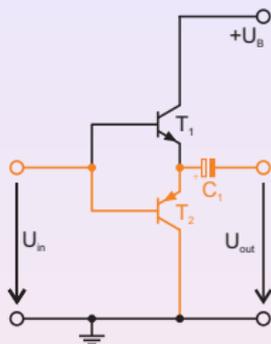
## SCHEMATICS I: B-BETRIEB





## Endstufe

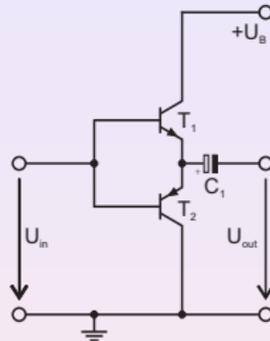
## SCHEMATICS I: B-BETRIEB





## Endstufe

## SCHEMATICS I: B-BETRIEB

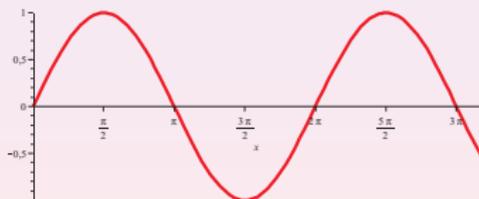
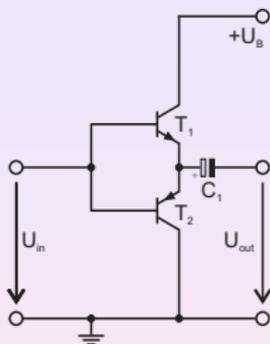


**Problem:** Spannungen unter  $0,7\text{ V}$  werden nicht verstärkt!



## Endstufe

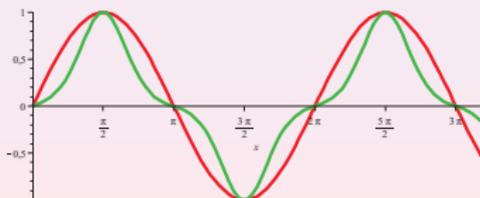
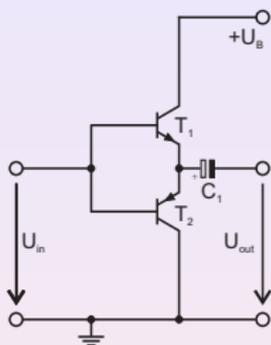
## SCHEMATICS I: B-BETRIEB





## Endstufe

## SCHEMATICS I: B-BETRIEB





## Endstufe

### SCHEMATICS II: AB-BETRIEB

**Endstufe****SCHEMATICS II: AB-BETRIEB**

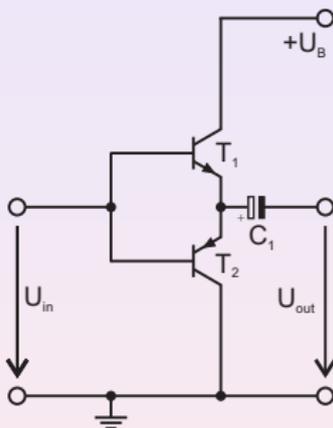
# Lösung: AB-Betrieb!



## Endstufe

## SCHEMATICS II: AB-BETRIEB

## Lösung: AB-Betrieb!

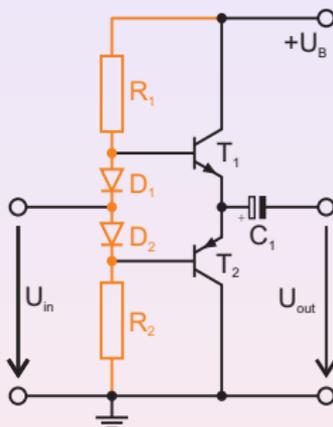




## Endstufe

## SCHEMATICS II: AB-BETRIEB

## Lösung: AB-Betrieb!





## Buchquellen



### [Handbuch der Tonstudioteknik Band 1](#)

Michael Dickreiter

6. Auflage 1997 - K.G.Saur Verlag, München



### [Handbuch der Tonstudioteknik Band 2](#)

Michael Dickreiter

6. Auflage 1997 - K.G.Saur Verlag, München



### [Tonstudio-Handbuch](#)

Hubert Henle

5. Auflage 2001 - C.G.Carstensen Verlag, München



### [Transistor-Verstärker 1-3](#)

Dr. H.-D. Krischbaum

4. Auflage, 1989-1992 - B.G.Teubner Verlage, Stuttgart



## Internetquellen



[Sengpiel-Audio](http://www.sengpielaudio.com/Rechner-spannungsanpassung.htm) <http://www.sengpielaudio.com/Rechner-spannungsanpassung.htm>

Datum: 02.05.2009 18:00



[Elliot Sound Products](http://sound.westhost.com/project66.htm) <http://sound.westhost.com/project66.htm>

Datum: 01.05.2009 13:00



[Elektronik-Kompodium](http://www.elektronik-kompodium.de/sites/slt/0205141.htm) <http://www.elektronik-kompodium.de/sites/slt/0205141.htm>

Datum: 05.05.2009 20:00



VIELEN DANK...

...für Eure Aufmerksamkeit!



## RECHTLICHE INFO

Sämtliches inhaltliches Bildmaterial ist von mir selber erstellt!  
Einzige Ausnahme sind hierbei die schematics der Endstufe - diese sind nach einer Vorlage vom [Elektronik-Kompendium] erstellt.

## TECHNISCHES

Diese Präsentation wurde erstellt mit  $\text{\LaTeX}$  und der  $\text{\LaTeX}$ -Klasse Beamer.

letztes Update: 19. Mai 2009 9:14