

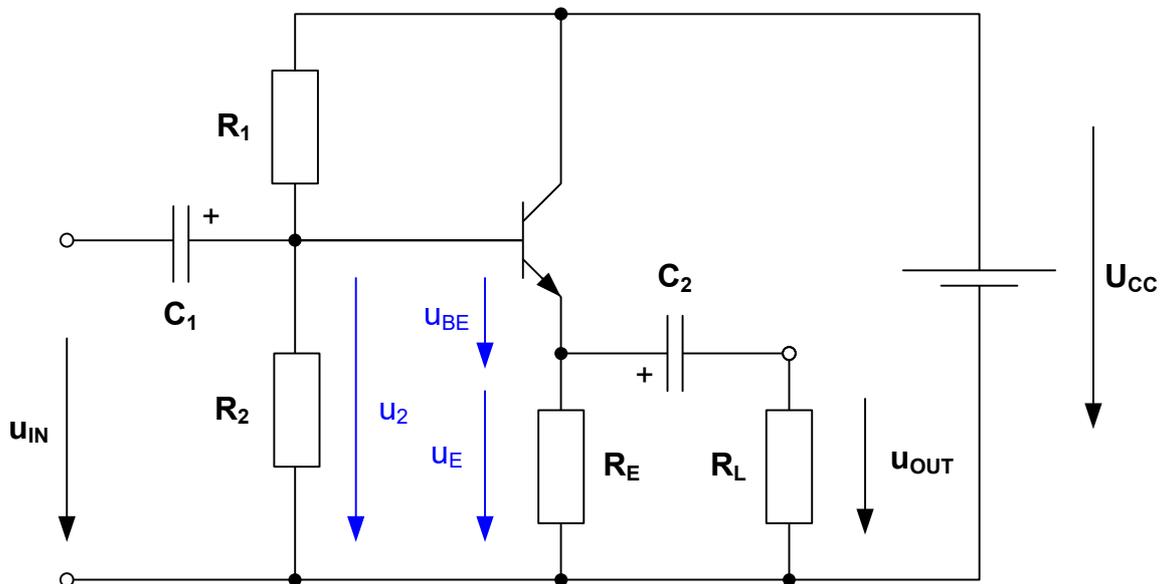
## 8. Endstufenschaltungen

### 8.1 Einleitung

Wie im Kapitel über die Audiotechnik bereits diskutiert, ist es die Aufgabe des Leistungsverstärkers, auch Endstufe genannt, den Innenwiderstand der Schaltung so weit herabzusetzen, dass ausreichend große Ströme für den Betrieb von Lautsprechern fließen können. Der Spannungspegel dagegen verändert sich meist kaum durch die Endstufe.

### 8.2 Die Kollektorschaltung

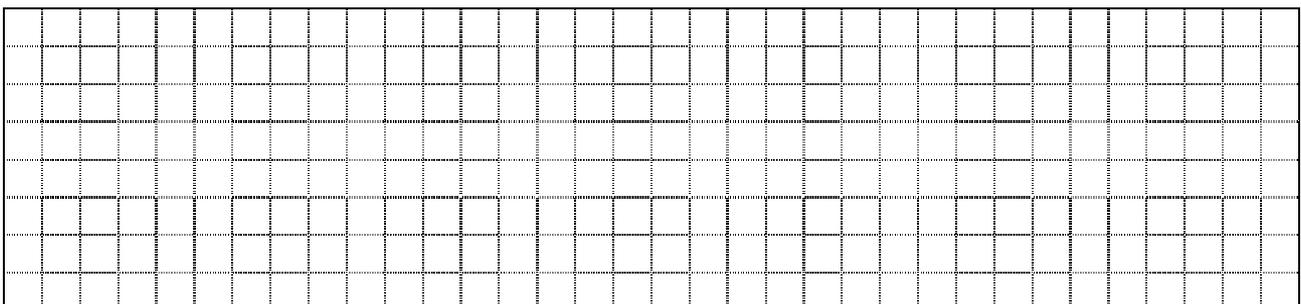
Schaltung:

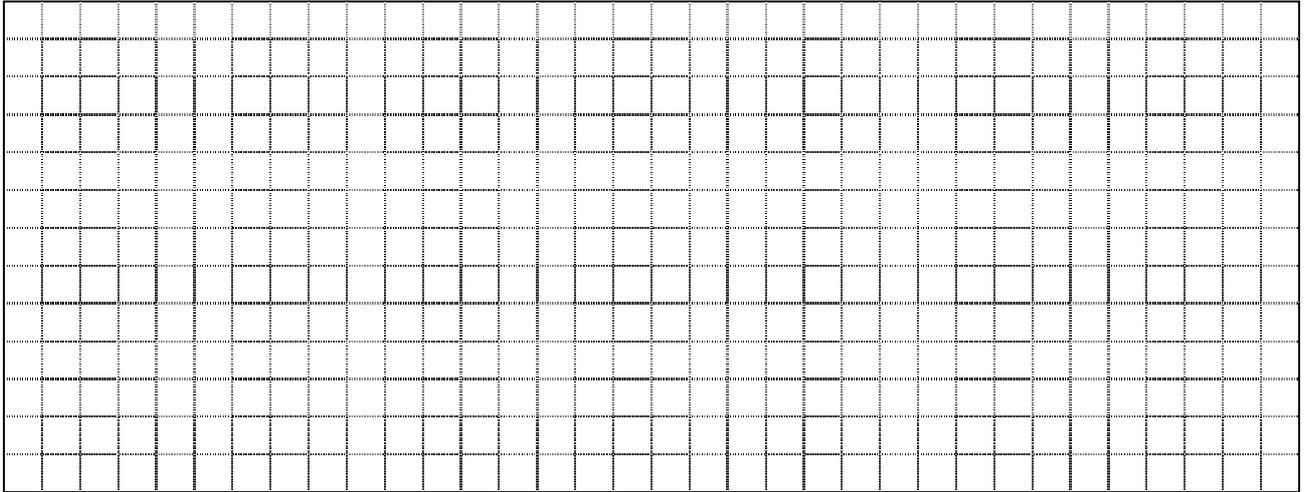


Der Name der Schaltung kommt von der Tatsache, dass der Kollektor direkt mit der Betriebsspannung verbunden ist.

Verhalten der Schaltung:

Für die Kollektorschaltung gilt immer:



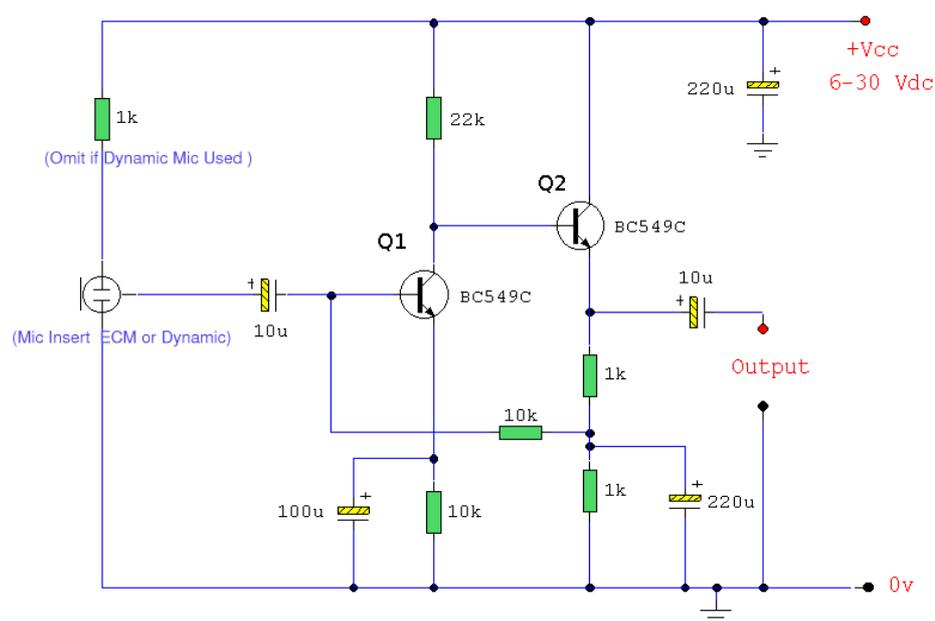


Auch wenn die Spannung nicht verstärkt wird, so wird der Strom es sehr wohl. Nachteilig ist allerdings, dass sich der verstärkte Strom auf den unvermeidlichen Widerstand  $R_E$  und die eigentliche Last  $R_L$  aufteilt und somit Leistung am Emitterwiderstand verloren geht.

### Anwendung der Kollektorschaltung:

Die Kollektorschaltung findet vor allem Anwendung in Verstärker für Mikrofone oder als Treiberstufe für die nun folgenden Gegentaktendstufen.

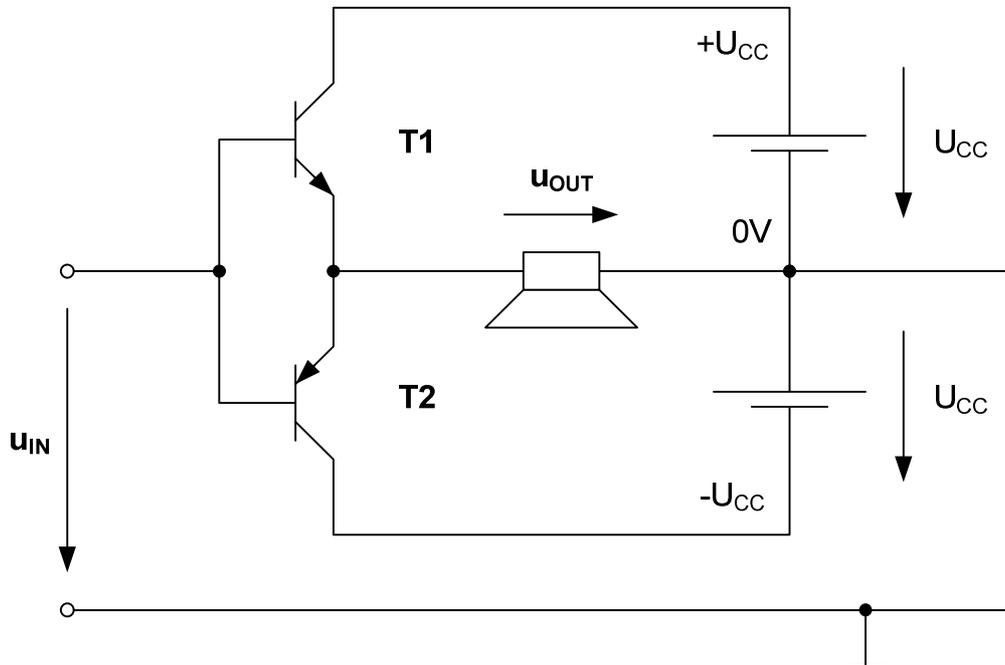
### Beispiel:



## 8.3 Die Gegentaktendstufe

### 8.3.1 Schaltung

(Bemerkung: Die Schaltung ist in einer Diskussion zu entwickeln.)

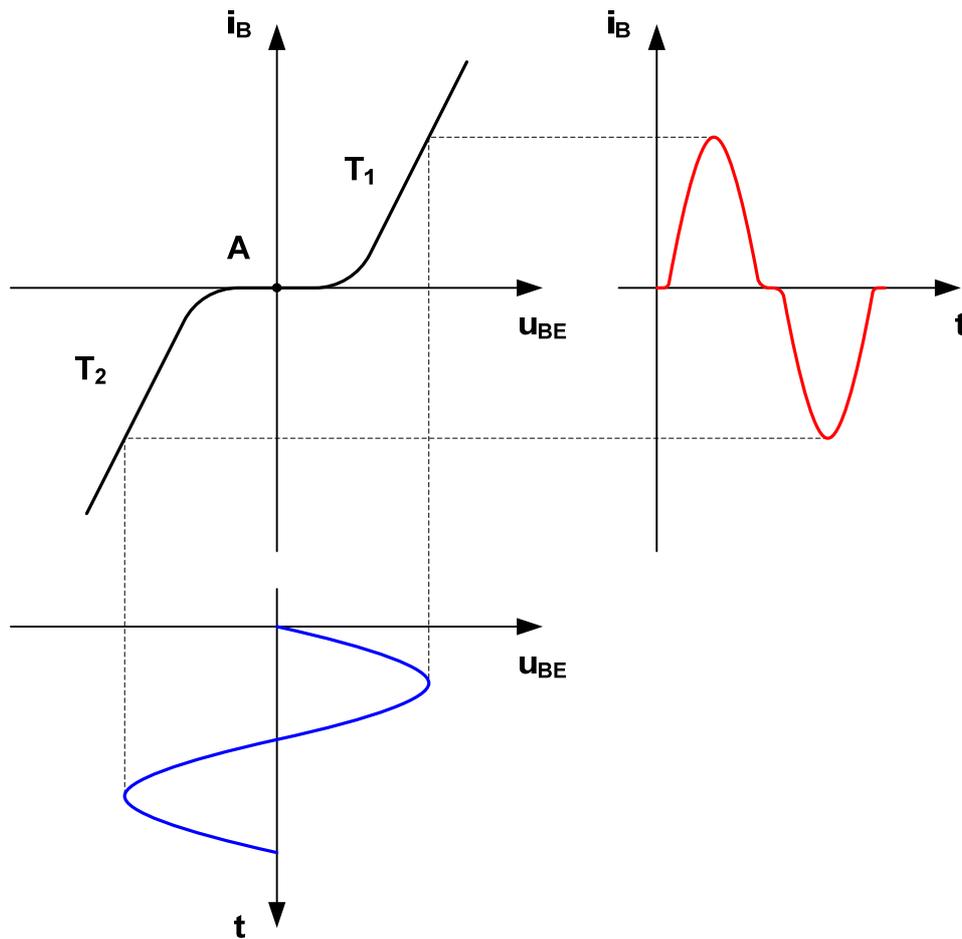


Die Gegentaktendstufe (engl. push-pull amplifier) ist eine Weiterentwicklung der Kollektorschaltung. Sie besteht aus einem NPN-Transistor und einem PNP-Transistor die komplementär sind, d.h. die beiden Transistoren haben die gleichen aber entgegengesetzten Eigenschaften.

### 8.3.2 Funktionsweise der Schaltung

Wenn die Eingangsspannung  $u_{IN}$  positiv ist, dann lässt der Transistor  $T_1$  mehr oder weniger Strom durch welcher durch den Lautsprecher zurückfließen muss, da der Transistor  $T_2$  sperrt. Bei negativen Eingangsspannungen ist  $T_2$  leitend und  $T_1$  sperrt, wodurch ein Strom in umgekehrter Richtung durch den Lautsprecher fließt.

Die positive Halbwelle der Eingangsspannung wird also vom NPN-Transistor verstärkt, die negative Halbwelle vom PNP-Transistor. Wie bei der Kollektorschaltung beträgt auch hier die Spannungsverstärkung ungefähr 1. Die Spannung wird also nicht mehr verstärkt.

**Kennlinie  $i_B = f(u_{BE})$ :**

Die Gegentaktendstufe benötigt eine symmetrische Spannungsversorgung, d.h. eine Spannungsversorgung die auch negative Betriebsspannungen zur Verfügung stellt.

**8.3.3 Anwendung der Gegentaktendstufe**

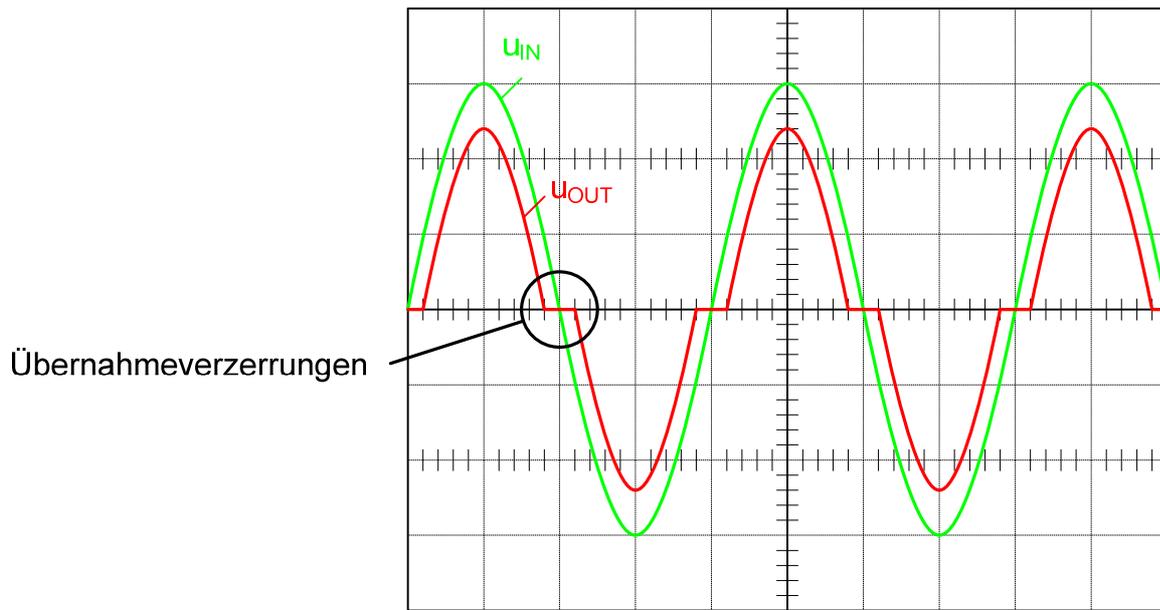
Die Gegentaktendstufe hat eine sehr kleine Ausgangsimpedanz was sie wie geschaffen macht für die Verwendung als Leistungsverstärker. Ihr Spannungsverstärkungsfaktor ist aus den gleichen Gründen wie bei der Kollektorschaltung kleiner als 1.

Da die Schaltung ohne Koppelkondensatoren auskommt, hat diese Schaltung die bei Verstärkern seltene Charakteristik, dass die untere Grenzfrequenz bei 0 Hz liegt.

Die Spannung  $U_{BE}$  im Arbeitspunkt ist 0V also ist auch  $I_C$  gleich Null in Ruhe. Dies hat den Vorteil, dass die Schaltung keine Energie aufnimmt solange kein Eingangssignal anliegt und somit der Wirkungsgrad vergleichsweise gut ist.

### 8.3.4 Schwäche der Gegentaktendstufe

Die Gegentaktendstufe hat eine große Schwäche, das ist die Tatsache, dass die Transistoren aufgrund des Diodeneffekts der Basis-Emitterdioden sperren, wenn sich die Eingangsspannung zwischen 0,6V und -0,6V befindet. Diese Schwäche führt zu den für diese Schaltung typischen Verzerrungen im Ausgangssignal, welche als Übernahmeverzerrungen bezeichnet werden.



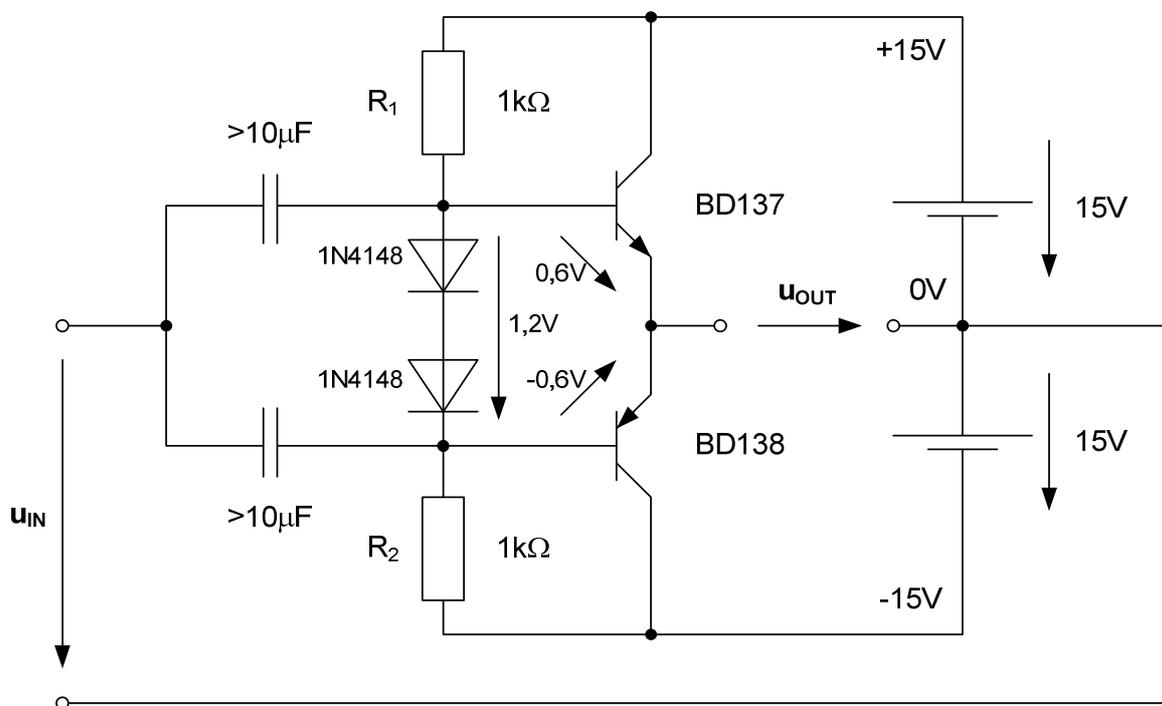
### 8.3.5 Maßnahmen gegen die Übernahmeverzerrungen

#### 8.3.5.1 Basisvorspannung

Wie bei der Emitterschaltung kann man auch hier eine Gleichspannung von ungefähr 0,6V (resp.: -0,6V) zwischen Basis und Emitter anlegen um die Transistoren gerade eben in den leitenden Zustand zu bringen, selbst wenn das Eingangssignal Null ist. Man spricht von der Basisvorspannung.

Eine Lösung um die Basisvorspannung zu erzeugen ist in folgender Schaltung gezeigt.

#### Schaltung:

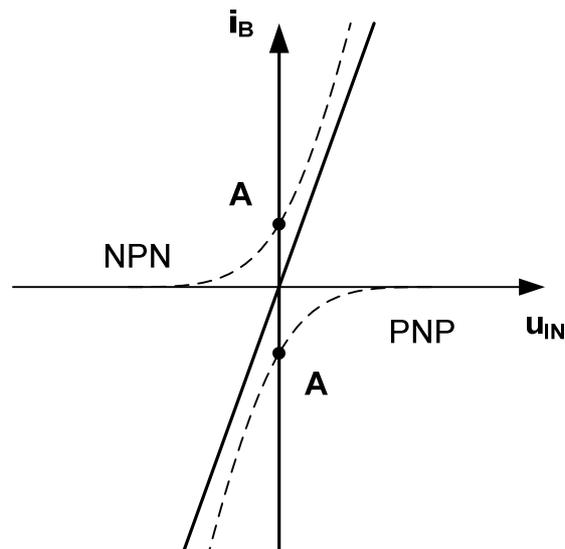


Statt der zwei Dioden könnte man auch einfach einen Widerstand nehmen, aber die Dioden erleichtern die Arbeitpunkteinstellung. Selbst große Änderungen an den Widerstandswerten von  $R_1$  et  $R_2$  bewirken an den Dioden nur geringe Spannungsänderungen, was erwünscht ist, da schon kleine Spannungsänderungen von  $u_{BE}$  bereits große Änderungen von  $i_B$  zur Folge haben.

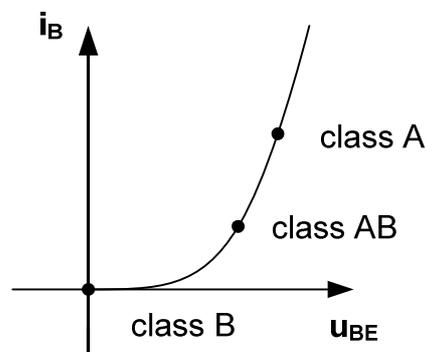
Je größer die Basisvorspannung  $U_{BE}$  ist, je geringer werden die Übernahmeverzerrungen, aber je größer wird auch der Ruhestrom  $I_C$  der durch die Transistoren fließt, wenn kein Eingangssignal anliegt.

Die Verbesserung der Signalqualität lässt sich auch aus der Überlagerung der beiden Eingangskennlinien ableiten. Die Basisvorspannung führt dazu, dass die die beiden Kennlinien verschieben und zu einer geraden Linie verschmelzen.

**Kennlinie  $i_B = f(u_{IN})$ :**



Man kann die Verstärker entsprechend der Position ihres Arbeitspunkts klassifizieren.

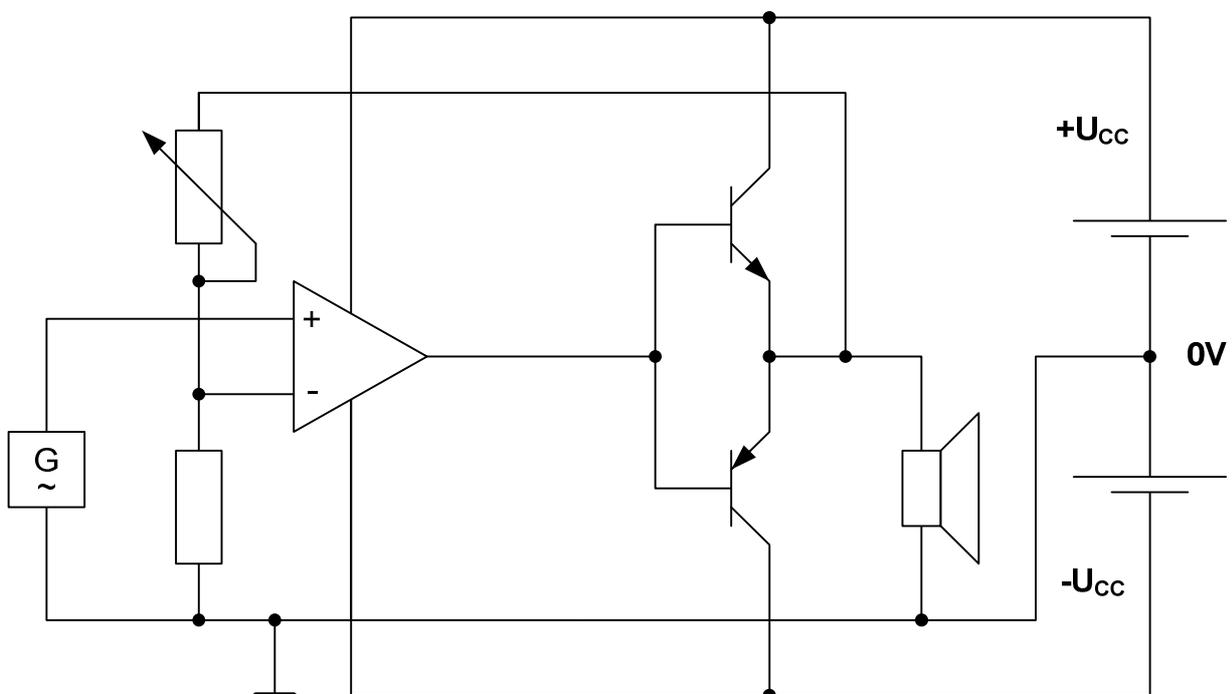


Die Verstärker der Klassen B und AB müssen als Gegentaktendstufe aufgebaut sein, damit sie eine volle Periode des Eingangssignals verstärken können.

### 8.3.5.2 Gegenkopplung über die gesamte Schaltung

Eine zweite Möglichkeit um den Übernahmeverzerrungen entgegenzuwirken ist die Gegenkopplung. Man bezeichnet als Gegenkopplung die Tatsache, dass man einen Teil des Ausgangssignals an den Eingang zurückführt und diesen Teil dort vom Eingangssignal abzieht. Dies kann sehr leicht mit Hilfe von Operationsverstärkern realisiert werden. Man kann die Gegenkopplung dazu nutzen um die Verstärkung einer Schaltung zu reduzieren, aber auch um Verzerrungen entgegenzuwirken. Gleiches haben wir bereits bei der Stromgegenkopplung festgestellt.

#### Vollverstärker mit Gegenkopplung über die gesamte Schaltung:



#### Aufgaben zur Gegentaktendstufe:

1. Wie wirkt sich eine Erhöhung der Eingangsspannung  $u_{IN}$  auf die Ausgangsspannung  $u_{OUT}$  der Gegentaktendstufe aus? Begründe deine Antwort mit Hilfe einer Ursache-Wirkungs-Kette.
2. Welche Schaltungen aus diesem Kapitel verbrauchen keine Energie wenn kein Eingangssignal am Eingang anliegt? Begründe deine Antwort.