

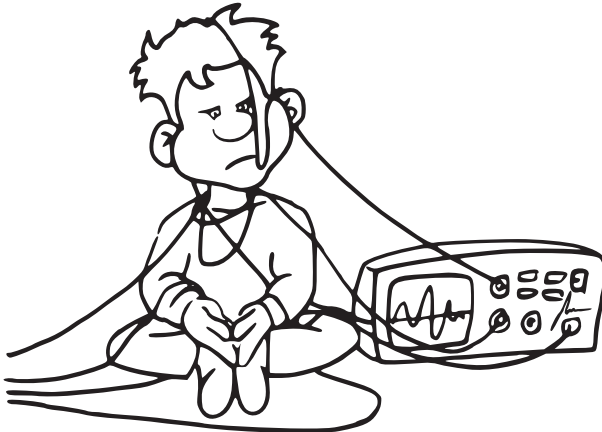
# Grundlagen der Rechner-technologie

## Sommersemester 2010 – 6. Vorlesung

Dr.-Ing. Wolfgang Heenes



TECHNISCHE  
UNIVERSITÄT  
DARMSTADT



1. Bipolartransistoren

2. Kennlinienfelder

3. Gesteuerte Quellen

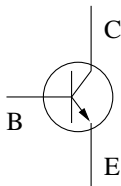
4. Zusammenfassung und Ausblick

- ▶ Der Bipolartransistor wurde 1947 von Shockley, Bardeen und Brattain erfunden.
- ▶ Die Realisierung in Planartechnik (1960) gab den Anstoß zur Entwicklung von integrierten Schaltungen.
- ▶ Hauptanwendung des Bipolartransistor als Verstärker und als Schalter.
- ▶ Im Folgenden
  - ▶ Aufbau
  - ▶ Funktionsprinzip
  - ▶ Kennlinien
  - ▶ Anwendungen

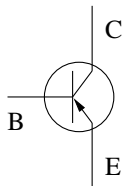
# Bipolartransistoren

## Aufbau und Funktionsprinzip

- ▶ Bipolartransistoren sind Halbleiterbauelemente, die aus zwei pn-Übergängen bestehen.
- ▶ Bei einer Halbleiterzonenfolge von npn spricht man von einem npn-Transistor und bei einer Folge pnp von einem pnp-Transistor.
- ▶ Schaltsymbol



npn



pnp

# Bipolartransistoren

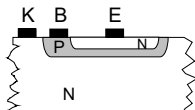
## Aufbau und Funktionsprinzip

- ▶ Von jeder Zone führt ein Anschluß nach außen.
- ▶ Die Anschlüsse haben die Bezeichnung:
  - ▶ Basis (B)
  - ▶ Kollektor (C)
  - ▶ Emitter (E)
- ▶ Die pn-Übergänge wirken wie Halbleiterdioden. Deshalb spricht man beim npn-Transistor von der Basis-Emitter-Diodenstrecke und von der Basis-Kollektor-Diodenstrecke.
- ▶ Wie bei den Dioden sind verschiedene Zustände (gesperrt, leitend) möglich.
- ▶ Kennzeichen von Bipolartransistoren ist, dass das Leitungsverhalten sowohl durch Elektronen, als auch durch Löcher bestimmt ist.

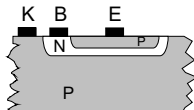
# Bipolartransistoren

## Aufbau und Funktionsprinzip

- ▶ Im Prinzip ist der Bipolartransistor ein symmetrisches Bauelement (Vorstellung zwei Dioden).
- ▶ In der technischen Realisierung beeinflusst man die Kenndaten und das Verhalten eines Bipolartransistors durch unterschiedliche Dotierung und Dimensionierung der Diodenstrecken.



NPN-Transistor



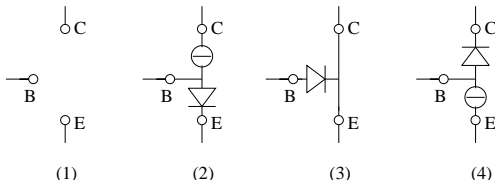
PNP-Transistor

- ▶ Transistor kann immer noch in beiden Richtungen betrieben werden, aber die Betriebsdaten sind für eine bestimmte Betriebsrichtung vorgesehen.

# Bipolartransistoren

## Aufbau und Funktionsprinzip

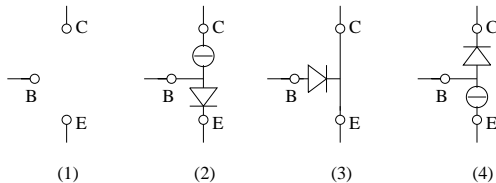
- ▶ Betrachtet man das Verhalten des Transistors in einer Schaltung, empfiehlt es sich, das Ersatzschaltbild von *Ebers-Moll* zu verwenden.
- ▶ Wie die Diode kann sich der Transistor in verschiedenen Zuständen befinden, für die jeweils bestimmte Ersatzschaltbilder gültig sind.



- ▶ **Gesperrt:** Es fließt kein Strom durch den Transistor.
- ▶ **Aktiv normal:** Es fließt ein Strom  $I_C$  vom Kollektor zum Emitter; die Größe dieses Stromes hängt dabei vom Strom  $I_B$  ab. Es gilt:  $I_C = I_B \cdot B_n$ ,  $B_n \in [9; 300]$ .

# Bipolartransistoren

## Aufbau und Funktionsprinzip



- ▶ **Gesättigt:** Die Strecke Kollektor Emitter verhält sich in etwa wie ein normaler Leiter.
- ▶ **Aktiv invers:** Der Transistor befindet sich im umgekehrten Betrieb. Es fließt Strom vom Emitter zum Kollektor. Dabei gilt:  $I_E = I_B \cdot B_i$ ,  $B_i \in [2; 9]$ .



# Bipolartransistoren

## Aufbau und Funktionsprinzip

- ▶ In npn-Transistoren fließen bei Normalbetrieb (aktiv normal) folgende Stromanteile
- ▶ Emitterstrom  $I_E$ .
- ▶ Kollektorstrom  $I_C$ .
- ▶ Basisstrom  $I_B$ .
- ▶ Die Strombilanz im Transistor ergibt sich wie folgt:
  - ▶  $I_E = I_B + I_C$
- ▶ Für den Kollektorstrom gilt:
  - ▶  $I_C = A \cdot I_E$
- ▶ Das Verhältnis Kollektorstrom zu Basisstrom wird als Stromverstärkung  $B_N$  bezeichnet.
  - ▶  $B_N = \frac{I_C}{I_B}$

# Bipolartransistoren

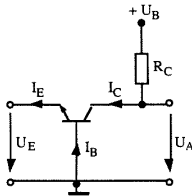
## Aufbau und Funktionsprinzip

- ▶ Der Wert von  $B_N$  ist sehr viel größer als eins, liegt in Größenordnungen bis zu 300.
- ▶  $I_C = I_B \cdot B_N$
- ▶ Der Bipolartransistor ist ein Verstärkerbauelement, bei dem ein kleiner Strom  $I_B$  im Eingangskreis einen großen Strom im Ausgangskreis steuert.
- ▶ Man spricht deshalb auch von einer stromgesteuerten Stromquelle (vgl. gesteuerte Quellen).
- ▶ Aber Achtung: im Prinzip funktioniert der Transistor auch in anderen Zuständen und Schaltungen.

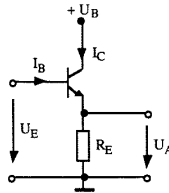
# Bipolartransistoren

## Aufbau und Funktionsprinzip

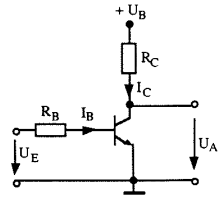
- ▶ Als Grundschaltungen eines npn-Transistors sind folgenden Schaltungen möglich.
- ▶ Alle drei Schaltungen können zur Schaltung und Verstärkung von Signalen verwendet werden.



Basisschaltung



Kollektorschaltung



Emitterschaltung

# Bipolartransistoren

## Aufbau und Funktionsprinzip

- ▶ Namensgebung: Je nachdem, welcher der drei Anschlüsse des Transistors dabei auf festem Potential (Masse oder  $+U_B$ ) liegt, unterscheidet man die drei Grundschaltungen des Transistors. Diese Grundschaltungen sind die *Basis-*, *Kollektor-* und *Emitterschaltung*.
- ▶ Da sie jedoch recht unterschiedliche statische und dynamische Eigenschaften besitzen, sind sie nicht als gleichwertig zu betrachten.
- ▶ Vielmehr hat jede der drei Schaltungen bestimmte Vor- und Nachteile, die sie für ganz spezielle Anwendungsbereiche geeignet macht.

# Bipolartransistoren

## Aufbau und Funktionsprinzip

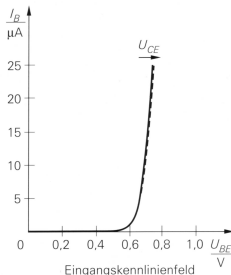
### ► Eigenschaften der Grundsaltungen

Schaltung	Emitter	Basis	Kollektor
Eingangswiderstand	100 $\Omega$ ... 10 k $\Omega$	10 $\Omega$ ... 100 $\Omega$	10 k $\Omega$ ... 100 k $\Omega$
Ausgangswiderstand	1 k $\Omega$ ... 10 k $\Omega$	10 k $\Omega$ ... 100 k $\Omega$	10 $\Omega$ ... 100 $\Omega$
Gleichstromverstärkung	10 ... 50 fach	<1	10 ... 4000 fach
Phasenverschiebung	180	0	0
Temperaturabhängigkeit	groß	klein	klein
Anwendungen	NF- und HF-Verstärker Leistungsverstärker, Schalter	HF-Verstärker	Anpassungsstufen Impedanzwandler

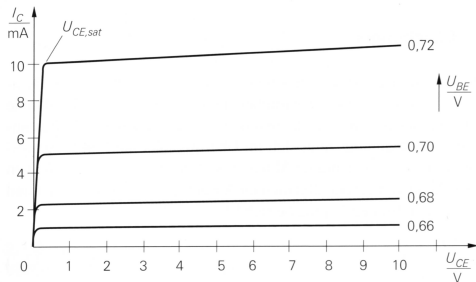


- ▶ Von der Funktion her betrachtet, ist der Bipolartransistor ein Halbleiterbauelement, bei dem ein kleiner Basisstrom  $I_B$  einen großen Kollektorstrom  $I_C$  steuert.
- ▶ Dieses Verhalten kann auch mit sogenannten Kennlinien beschrieben werden.
- ▶ Unterscheidung in
  - ▶ Eingangskennlinie
  - ▶ Ausgangskennlinie
  - ▶ Transferkennlinie

- ▶ Unter der Eingangskennlinie eines Transistors versteht man die Funktion  $I_B(U_{BE})$ .
- ▶ Der typische Verlauf ist in folgender Abbildung dargestellt. Die Eingangskennlinie hat den Verlauf einer Diodenkennlinie, denn sie beschreibt das Verhalten der Basis-Emitter-Diode.



- ▶ Die Ausgangskennlinie des Transistors hat drei Parameter:  $I_C$ ,  $U_{BE}$  und  $U_{CE}$ .
- ▶ Erhöht man die Steuerspannung  $U_{BE}$ , so wird  $I_C$  ansteigen, ebenso wenn man  $U_{CE}$  erhöht.
- ▶ Zur Darstellung der Ausgangskennlinie ergibt sich eine Schar von Kennlinien  $I_C(U_{CE})$ , wobei  $U_{BE}$  der Scharparameter ist.







Zusammenfassend kann man folgende Eigenschaften des Bipolar-Transistors festhalten.

- ▶ Der Bipolartransistor ist ein stromverstärkendes Bauelement.
- ▶ Die statische Stromverstärkung  $B$  (auch  $B_N$ ) ist als Quotient aus dem Kollektorstrom  $I_C$  und dem Basisstrom  $I_B$  definiert:  $B = \frac{I_C}{I_B}$ . Im Arbeitsbereich ist die Stromverstärkung (idealisierend) eine Konstante.
- ▶ Spannungsverstärkung kann dadurch erreicht werden, dass man auf der Eingangsseite einen Eingangswiderstand ( $R_B$ ) einbringt, welcher die Eingangsspannung in einen proportionalen Eingangsstrom wandelt, der wiederum durch die Transistorschaltung verstärkt wird. Auf der Ausgangsseite wandelt man diesen Strom mittels eines Arbeitswiderstands ( $R_C$ ) entsprechend in eine Ausgangsspannung zurück.

# Bipolartransistoren

## Beispielschaltungen



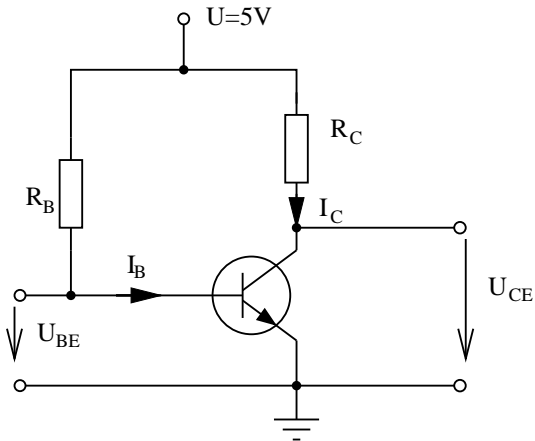
TECHNISCHE  
UNIVERSITÄT  
DARMSTADT

▶ s. Tafel

# Bipolartransistoren

## Beispielschaltungen

### ► Schaltung



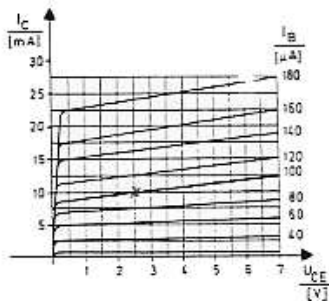
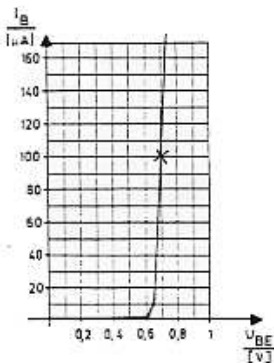
# Bipolartransistoren

## Beispielschaltungen



TECHNISCHE  
UNIVERSITÄT  
DARMSTADT

### ► Kennlinien



- ▶ Bisher: lineare Quellen durch ideale Quelle (Spannungs- oder Stromquelle) und Innenwiderstand dargestellt.
- ▶ Eigenschaft idealer Quellen: Spannung bzw. Strom ist unabhängig von der Belastung, also konstant.
- ▶ Im Hinblick auf verschiedene Anwendungen (z. B. Transistoren) ist es sinnvoll, sogenannte **gesteuerte Quellen** einzuführen.
- ▶ Vier Möglichkeiten denkbar:
  - ▶  $U_1$  steuert  $U$ : spannungsgesteuerte Spannungsquelle
  - ▶  $U_1$  steuert  $I$ : spannungsgesteuerte Stromquelle
  - ▶  $I_1$  steuert  $U$ : stromgesteuerte Spannungsquelle
  - ▶  $I_1$  steuert  $I$ : stromgesteuerte Stromquelle



- ▶ Transistor
- ▶ Gesteuerte Quelle

Nächste Vorlesung behandelt

- ▶ Operationsverstärker