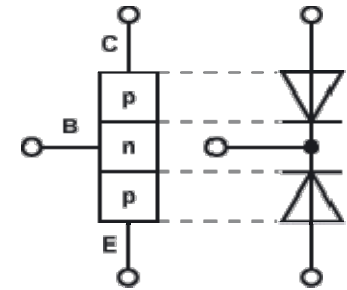
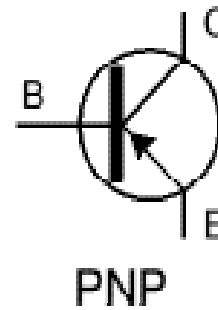
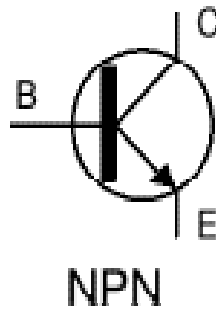
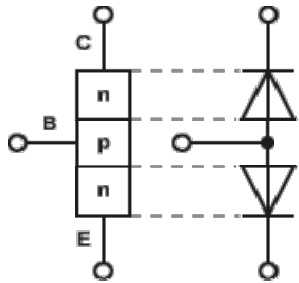
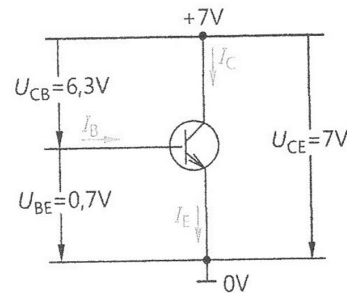
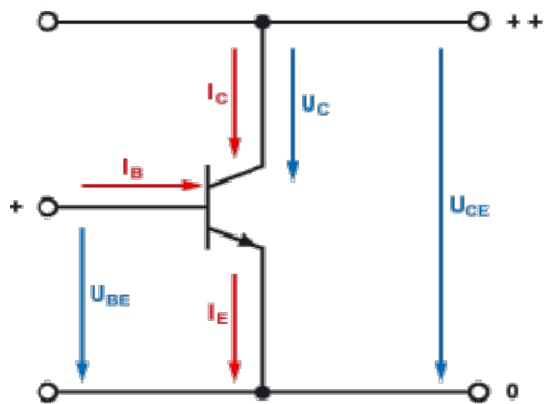


Bipolartransistor, NPN und PNP – Typ, Aufbau und Schaltzeichen



NPN, Betrieb an **positivem** Potential:

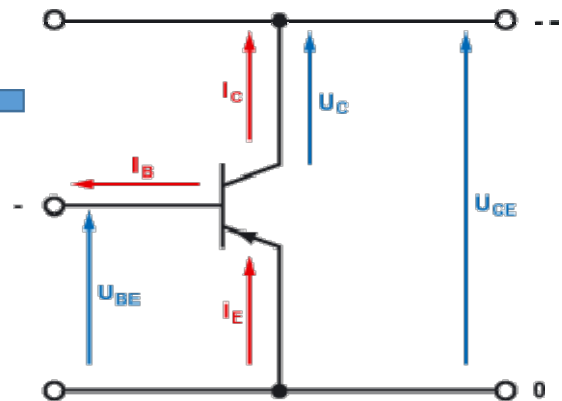
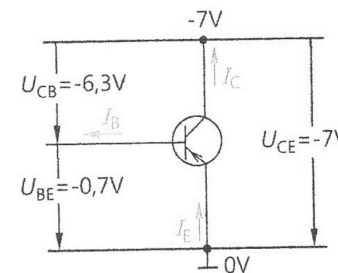


- U_{CE} = Kollektor-Emitter-Spannung
- U_{BE} = Basis-Emitter-Spannung (Schwellwert)
- I_C = Kollektorstrom
- I_B = Basisstrom

Es gilt: $U_{CE} = U_{CB} + U_{BE}$ und $I_E = I_C + I_B$.

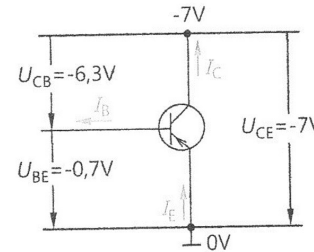
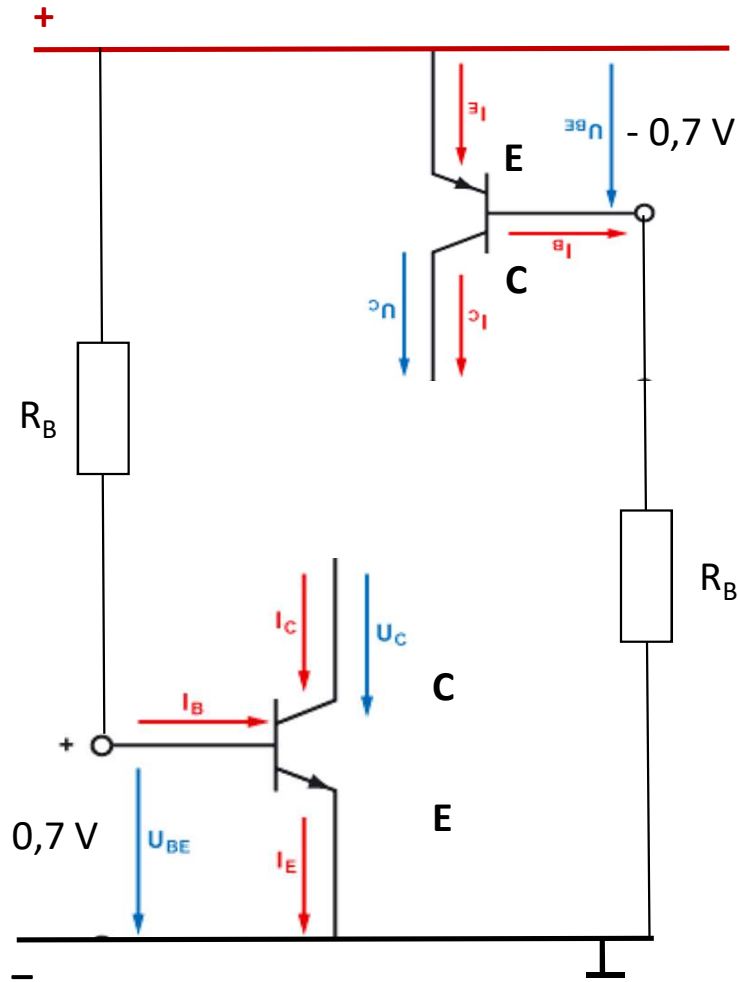
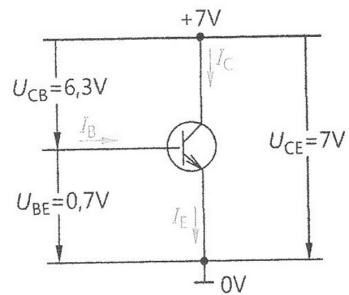
Die Stromrichtung folgt dem I_C und I_E im Transistor...

PNP, Betrieb an **negativem** Potential:



Bipolartransistortypen: Betrieb an einer Spannungsquelle

Batterie
oder B2 ➔



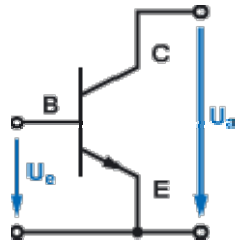
0,7 V und entsprechendem
Basisstrom....

Anwendung:

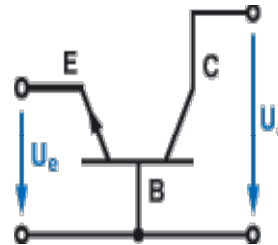
TR – Kombination z.B. für Hochsetz- und Tiefsetzsteller oder H – Brücke zur Stromrichtungsumkehr in einem Verbraucher.

Bipolartransistor: Schaltungsvarianten

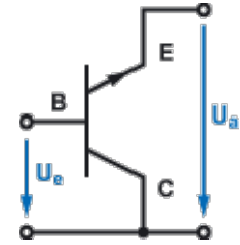
Emitterschaltung:



Basisschaltung:

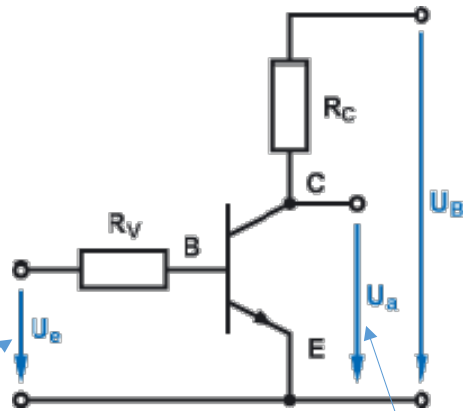


Kollektorschaltung:



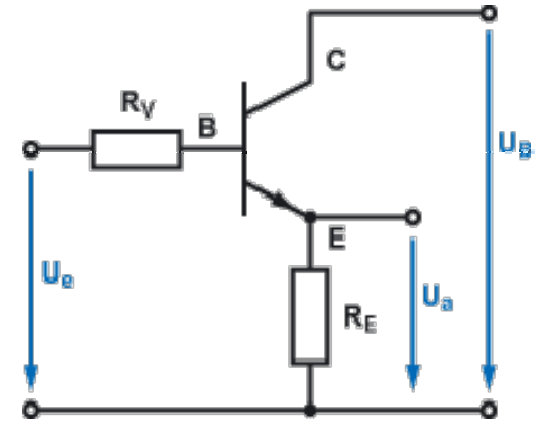
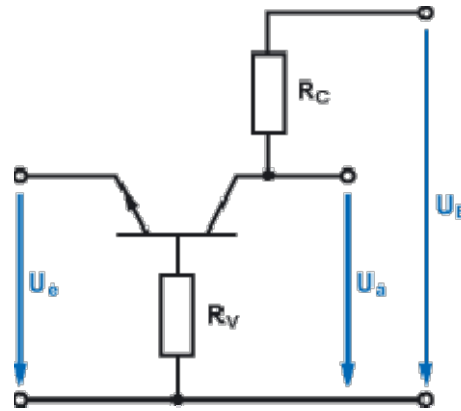
Transistor:

Schaltung:



Eingangsspannung

Ausgangsspannung



Das Bezugspotential der Eingangs- und Ausgangsspannung am Transistor ist namensgebend...
Die Schaltungen haben unterschiedliche Eigenschaften hinsichtlich R, U und I...

Bipolartransistor: Schaltungsvarianten und Eigenschaften

Schaltung	Emitterschaltung	Basisschaltung	Kollektorschaltung
Eingangswiderstand r_e	100 Ω ... 10 k Ω	10 Ω ... 100 Ω	10 k Ω ... 100 k Ω
Ausgangswiderstand r_a	1 k Ω ... 10 k Ω	10 k Ω ... 100 k Ω	10 Ω ... 100 Ω
Spannungsverstärkung V_u	20 ... 100 fach	100 ... 1000 fach	≤ 1
Gleichstromverstärkung B	10 ... 50 fach	≤ 1	10 ... 4000 fach
Phasendrehung	180° (Invertierung)	0°	0°
Temperaturabhängigkeit	groß	klein	klein
Leistungsverstärkung V_p	sehr groß	mittel	klein
Grenzfrequenz f_g	niedrig	hoch	niedrig
Anwendungen	NF- und HF-Verstärker Leistungsverstärker Schalter	HF-Verstärker	Anpassungsstufen Impedanzwandler

Gleichstromverstärkung: $B = \frac{I_C}{I_B}$

Leistungsverstärkung: $V_p = \frac{P_a}{P_e}$

Gleichspannungsverstärkung: $V_U = \frac{U_a}{U_e}$

Grenzfrequenz f_g : Bis zu dieser Frequenz können Signale störungsfrei übertragen werden. Darüber werden sie abgedämpft und verzerrt.

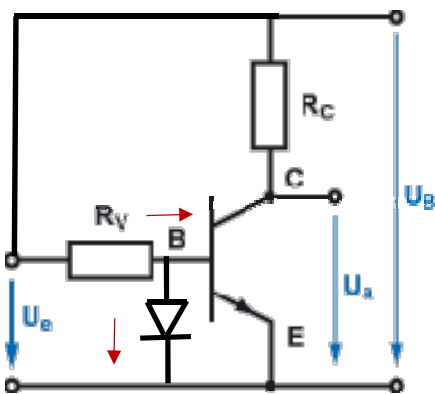
Die meisten Anwendungsfälle nutzen die Emitterschaltung... → Wird detaillierter betrachtet...

Bipolartransistor: Emitterschaltung mit Temperaturkompensation

Problem: Der Kollektorstrom nimmt mit steigender Temperatur zu. Das verschiebt den zuvor eingestellten Arbeitspunkt für die Verstärkung eines Signals. → unerwünscht, da Signalverzerrungen...

Temperaturkompensation bedeutet Kollektorstromstabilisierung durch Basisstromanpassung:

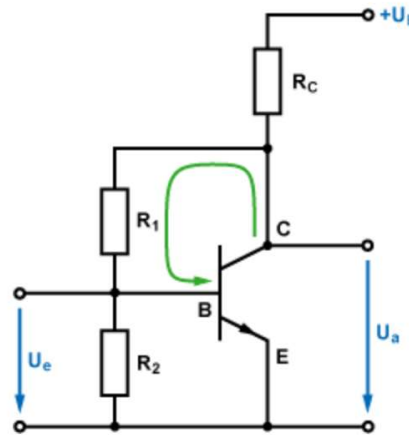
Diode oder NTC:



Stabilisierung durch:

Diode oder NTC werden auch wärmer und leitfähiger, mehr Strom fließt.
→ I_B nimmt ab und der TR drosselt ein. Muss: Diode und TR am selben Kühlkörper mit identischer U_{Diff}
→ TR – Eigenerwärmung erfassen. Mittelmäßig...

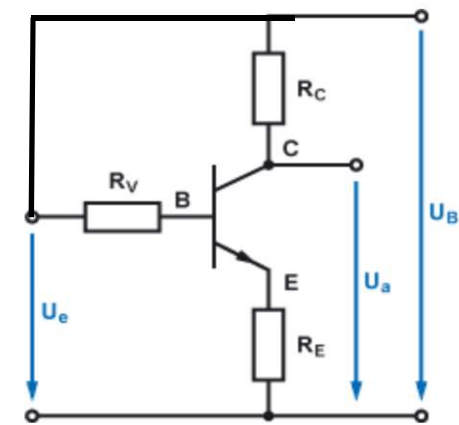
Spannungsgegenkopplung:



Stabilisierung durch:

Rückkopplung der schwankenden U_{CE} über den Spannungsteiler R_1 _ R_2 . Sinkt U_{CE} bei höherer Temperatur so sinkt auch U_{BE} und damit I_B .
→ TR – drosselt ein.
→ ϑ sinkt, I_B nimmt zu...
Besser...aber, indirekt: Last-Rückwirkung

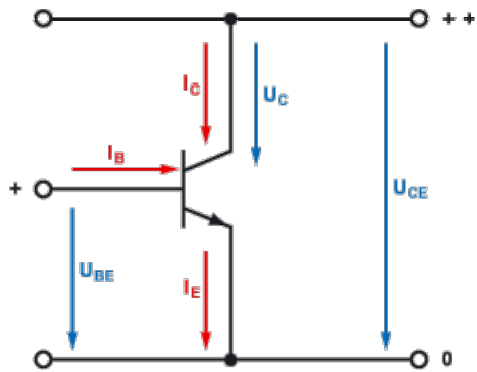
Stromgegenkopplung:



Stabilisierung durch:

R_E im Strompfad. Bei steigender Temperatur wächst I_C → Erhöhter Spannungsfall U_{RE} → Damit Absenken von U_{BE} und Reduktion von I_B .
→ TR – drosselt ein.
→ ϑ sinkt, I_B nimmt zu...
Am besten...direkt, ohne Last-RW.

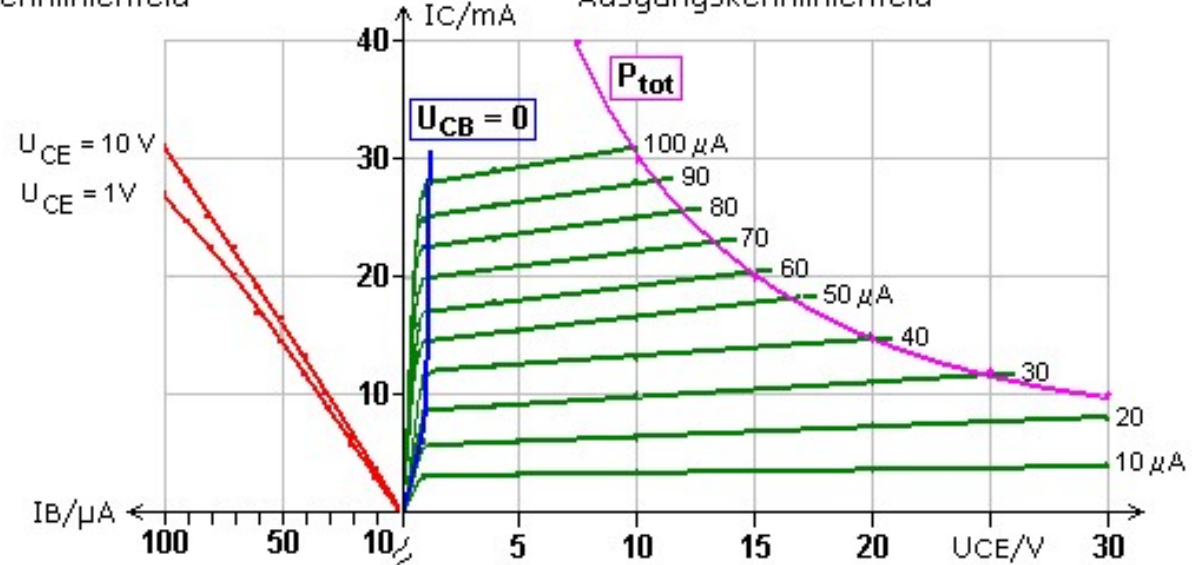
NPN – Bipolartransistor, Kennlinienfeld in Emitterschaltung:



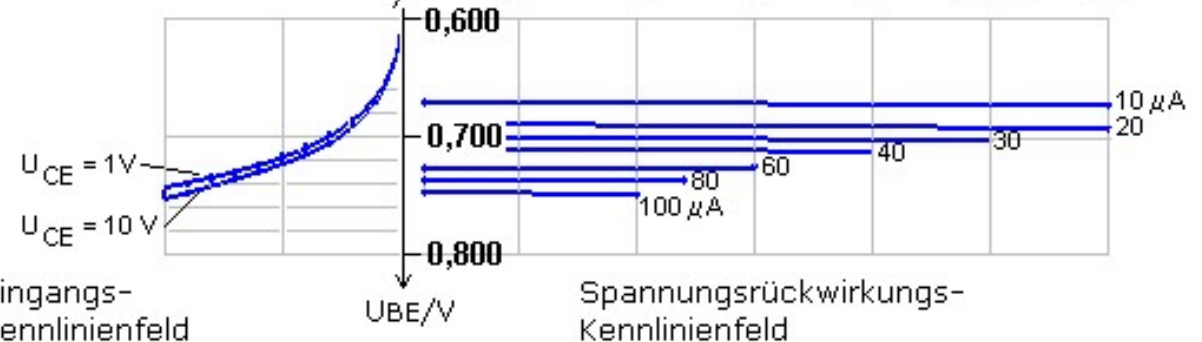
Bipolartransistor:

- I_C variiert ein wenig mit U_{CE} trotz konstantem I_B .
- TR als Schalter, Ziel: $U_{CB}=0$, geringste $P_{Verlust}$...
- $P_{Verlust} \geq P_{tot} \rightarrow$ Zerstörung
- U_{CE} wirkt auf U_{BE} zurück: Sp-RückWKenlinie...für hohe Präzision berücksichtigen...

Stromverstärkungs-
Kennlinienfeld



Eingangs-
Kennlinienfeld

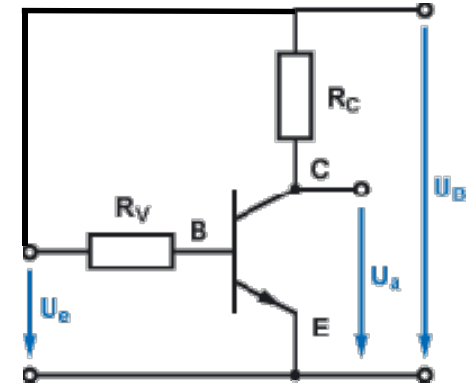


Das Ausgangskennlinienfeld ist das wichtigste, damit den Arbeitspunkt AP eines Verstärkers bestimmen...

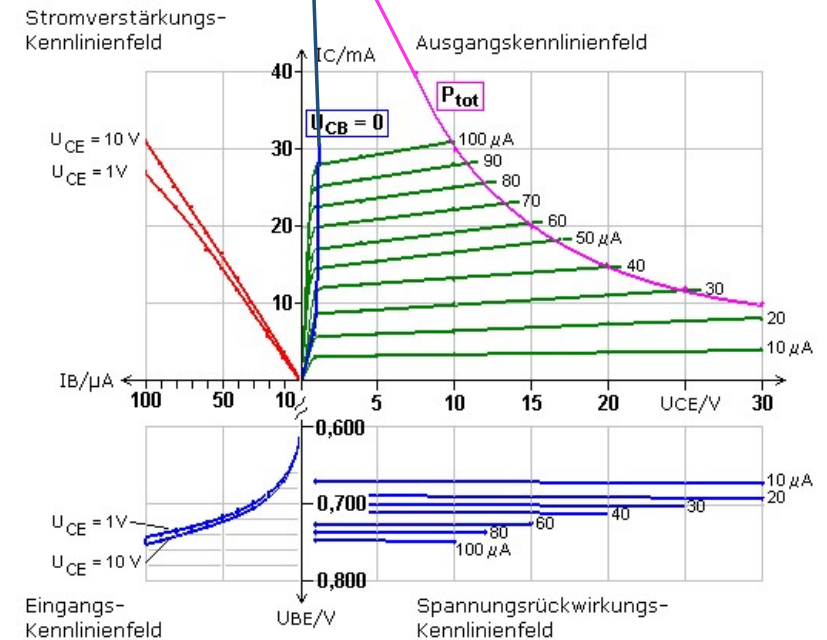
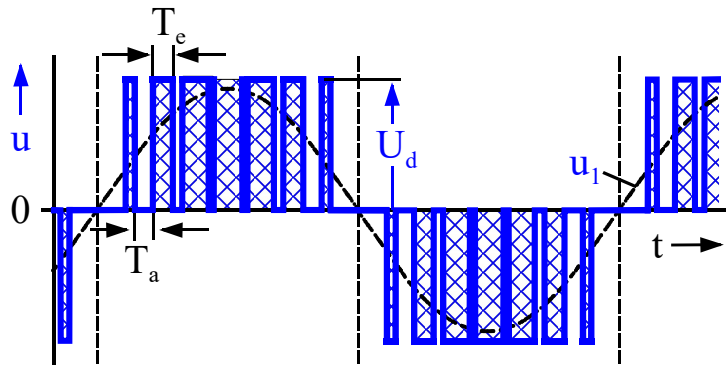
Der NPN – Bipolartransistor als Schalter

Arbeitspunkt eines Schalters (Leistungselektronik):

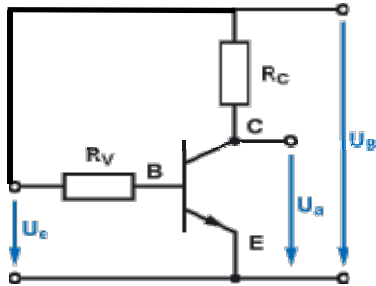
- Der Transistor wird voll durchgesteuert: $I_{B\text{Max}}$ und $U_{CB}=0$ mit $I_{C\text{Max}}$.
Nur der TR-Innenwiderstand erzeugt noch einen Spannungsfall am TR.
- Die Versorgungsspannung U_B wird vollständig auf R_C als Verbraucher (Last) geschaltet.
- Keine Kennlinien, nur Grenzdaten: I_B , I_C , R_{iTR} , P_{tot} nötig...
- Es wird ein Pulsmuster zur Anpassung des Spannungseffektivwertes an der Last erzeugt.
- Die Nutzlast (R_C) liegt in Reihe zum TR.



Ein/Aus → Pulsweitenmodulation: Erzeugung eines Sinusstromes im induktiven Verbraucher:



Der NPN – Bipolartransistor als Verstärker



Arbeitspunkt (AP) eines Verstärkers:

- Der Transistor wird zum gesteuerten Widerstand...
- Verhältnis: Eingangs- zu Ausgangsspannung wird eingestellt.
- Die Gleichstromverstärkung wird festgelegt.
- Signale werden verzerrungsfrei übertragen und dabei verstärkt. → Kennlinien unbedingt nötig.
- Am Ausgang, parallel zum TR, liegt die Nutzlast: Ein Lautsprecher oder eine Antenne... R_a
- R_C dient der Arbeitspunkteinstellung und ist nicht die Last.

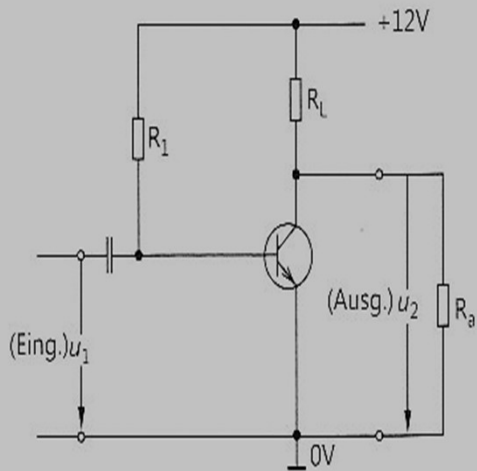
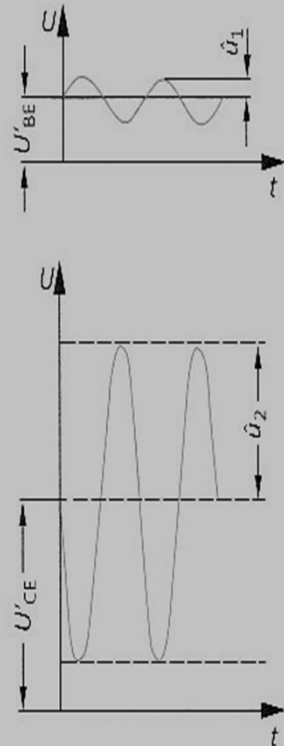


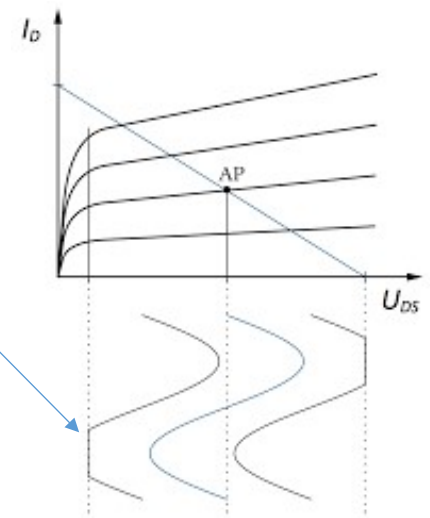
Bild 7.51 Transistorverstärkerstufe

Bild 7.52 Zeitlicher Verlauf von Eingangswechselspannung und Ausgangswechselspannung bei einer Transistorverstärkerstufe

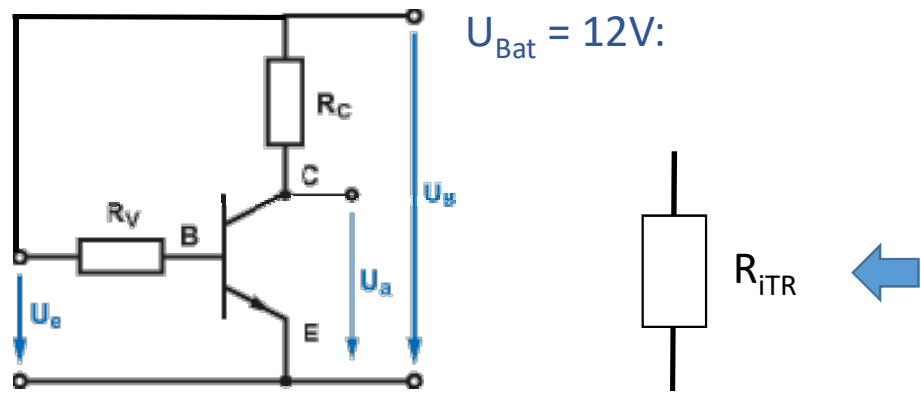


Ziel:
Verzerrungsfreies
Signal: $U_e \rightarrow U_a$.

Gefahr:
AP übersteuern
oder verschieben:
Abhacken und
verzerren...



NPN - Bipolartransistor: Arbeitspunktbestimmung 1



$U_{Diff} \sim 0,7\text{ V}$ bei Silizium-TR
oder aus dem Kennlinienfeld...

Variante 1:

Im gewählten AP:

$R_{ITR} = U_{CE} / I_C = 4\text{ V} / 16\text{ mA} = 250\text{ Ohm}$

Dafür einzustellen sind $I_B = 75\text{ }\mu\text{A}$

$\rightarrow R_V = (U_{Bat} - U_{BE}) / I_B = (12\text{ V} - 0,7\text{ V}) / 75\text{ }\mu\text{A} = 150,66\text{ kOhm}$

$\rightarrow R_C = (U_{Bat} - U_{CE}) / I_C = (12\text{ V} - 4\text{ V}) / 16\text{ mA} = 500\text{ Ohm}$

Fertig ohne Korrektur...

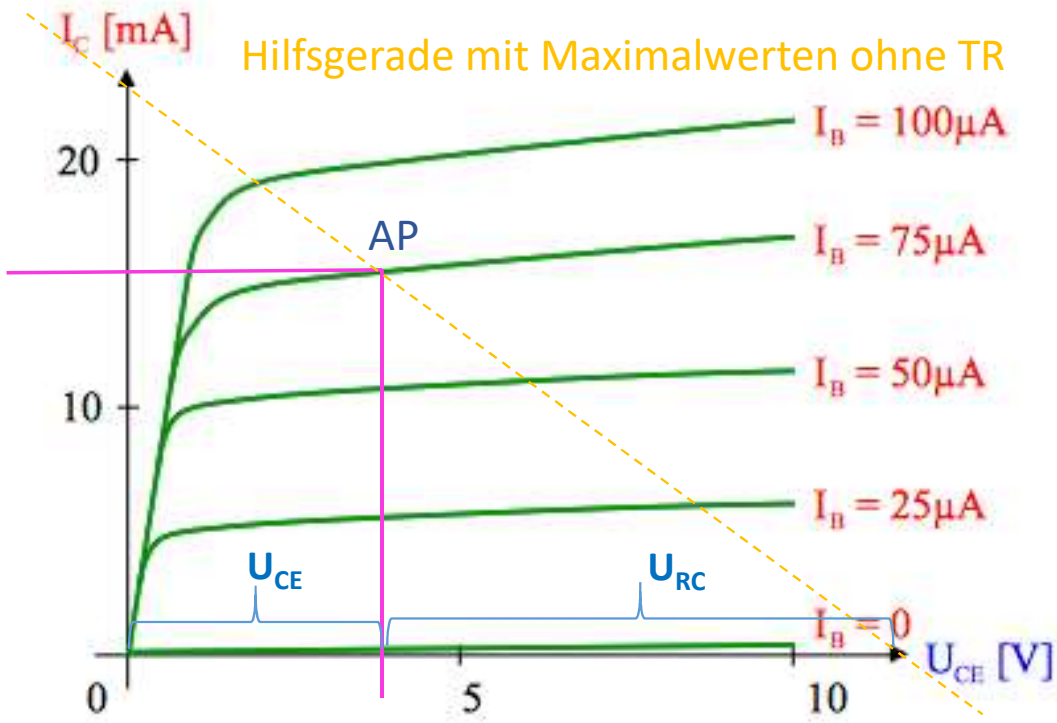


Bild 2-22: Ausgangskennlinienfeld eines Bipolartransistors

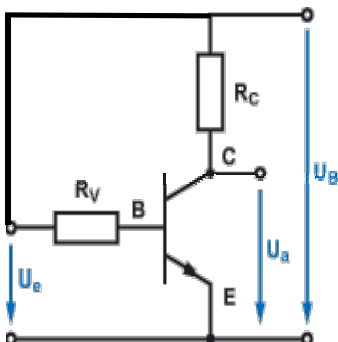
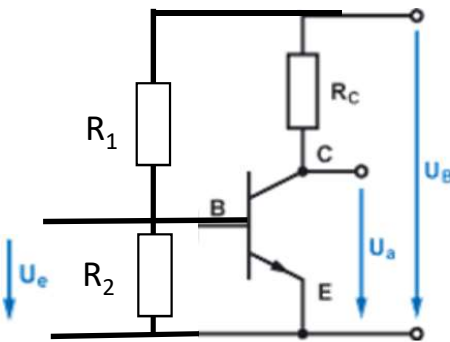
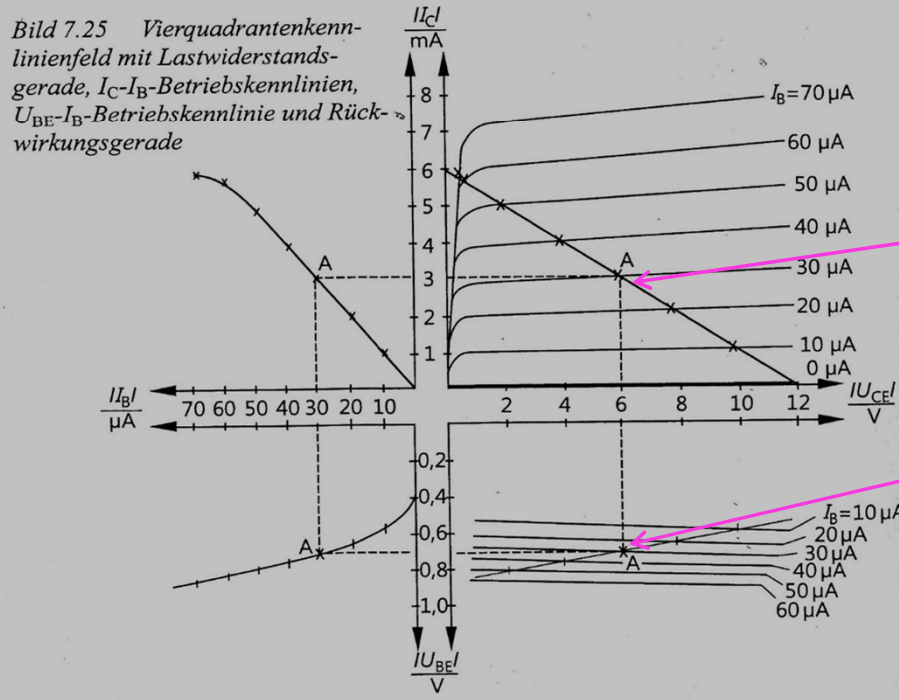
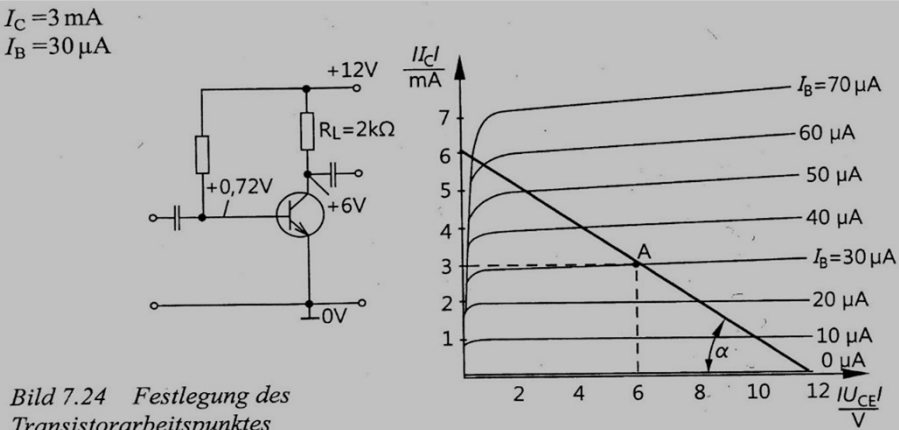
Variante 2, Graphisch mit den Ausgangskennlinien:

Vorgabe R_C , der TR
existiert nicht:

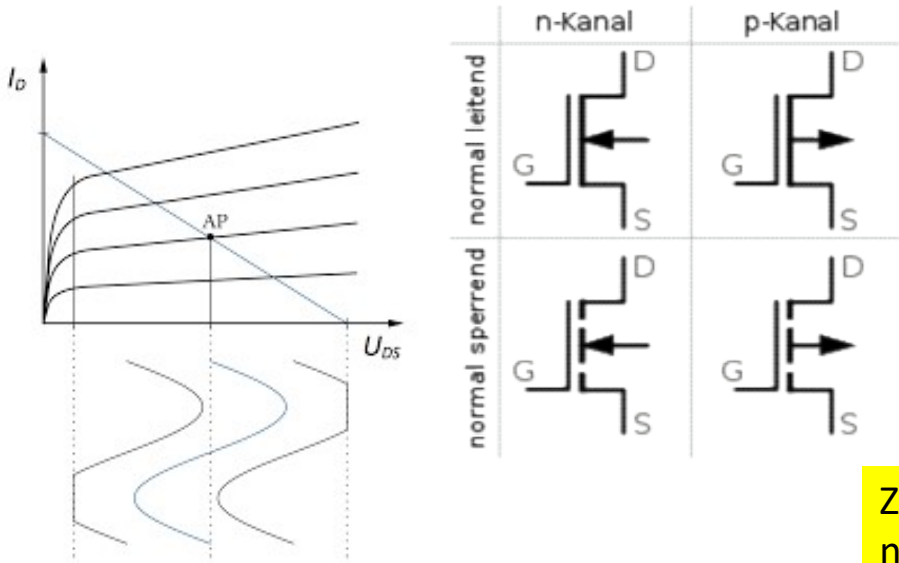
$I_C = U_{Bat} / R_C = 12\text{ V} / 500\text{ Ohm} = 24\text{ mA}$

Einzeichnen von $U_{CBat} = 12\text{ V}$ \rightarrow AP des TR mit diesem R_C

NPN - Bipolartransistor: Arbeitspunktbestimmung 2, Korrektur der Eingangsbeschaltung



Feldeffekttransistor



Zusatzinfo falls noch Zeit übrig...

Feldeffekttransistoren					
Verarmungstypen (depletion) selbstleitend bei $U_{GS} = 0$				Anreicherungstypen (enhancement) selbstsperrend bei $U_{GS} = 0$	
Sperrschicht-FET (JFET)		MOSFET		MOSFET	
n-Kanal	p-Kanal	n-Kanal	p-Kanal	n-Kanal	p-Kanal
Steuerkennlinien					
Ausgangskennlinien					
diskrete Verstärker, analoge ICs		diskrete HF-Verstärker, digitale ICs		diskrete Leistungsverstärker, digitale ICs	

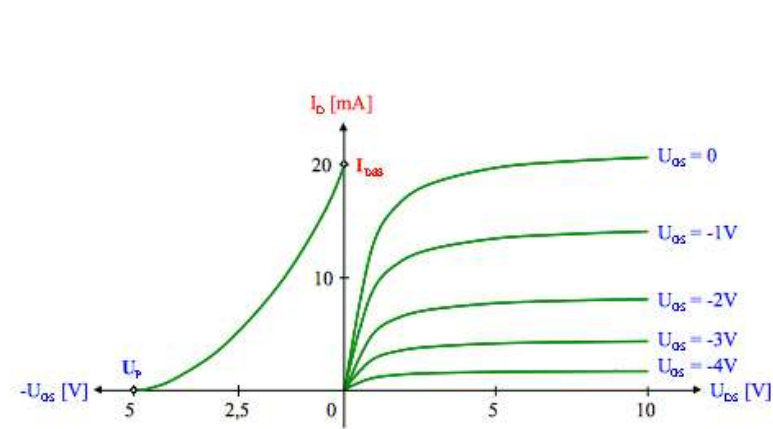


Bild 2-132: Kennlinienfeld eines selbstleitenden n-Kanal MOS-FET's

