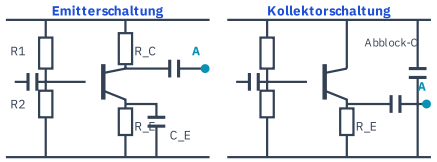
Verstärker

Emitter- und Kollektorschaltung · Arbeitspunkt · Wirkungsgrad · Klassen A, AB, B, C · Linearverstärker für SSB · Eigenschwingung · Bandbreite

Grundschaltungen



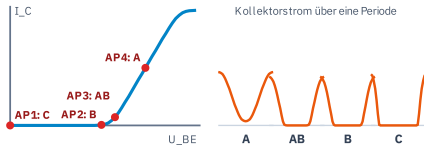
	Emitter	Kollektor
Bezugspunkt	Emitter	**Kollektor**
Ausgang	Kollektor	**Emitter**
Phase	180°	**0°**
v_U	100 … 300	**0,9 … 0,98**
Eingang	mittel/hoch	**hoch**
Ausgang	hoch (≈ R_C)	**sehr niedrig**
Einsatz	Spannungsverst.	**Pufferstufe**

Benannt nach dem Anschluss, der **wechselspannungsmäßig an Masse** liegt (gemeinsamer Bezugspunkt). Emitterschaltung: Basis ↑ → I_C ↑ → mehr Spannung an R_C → **U_CE ↓**; I_C gleichphasig mit u_E, U_CE und u_A gegenphasig. Kollektorschaltung = **Emitterfolger**, hohe Stromverstärkung, treibt niederohmige Lasten.

R1/R2: Basisvorspannung (Arbeitspunkt im linearen Bereich). **C1/C2**: Wechselstromkopplung, Gleichspannungsentkopplung. **R_E**: Gegenkopplung, stabilisiert den Arbeitspunkt. **C_E**: **maximale Wechselspannungsverstärkung**; fehlt er, sinkt v_U auf ≈ **R_C / R_E** (22 kΩ / 2,2 kΩ = 10). **Ohne Basisvorspannung** leitet der Transistor erst ab ≈ 0,6 V: Kollektor auf +U_B mit Impulsen nach unten.

Leistungsverstärkung braucht eine **Spannungsquelle**. NF-Verstärker: Lautsprecher im Ausgang. HF-Leistungsverstärker: **Anhebung des Sendesignals**. Stromzufuhr im Sender **gegen HF-Einstrahlung entkoppelt** (Drossel + Abblock-C). dB: Leistung 10 · lg, Spannung 20 · lg.

Verstärkerklassen



	Θ	Ruhestrom	η	Oberw.
A	360°	hoch	≈ **40 %**	sehr wenig
AB	> 180°	gering	**50–70 %**	wenig
B	180°	sehr gering	**bis 80 %**	wenig*
C	< 180°	null	**80–87 %**	am meisten

* im Gegentakt oder mit Schwingkreis. Theorie bei Vollaussteuerung: A 50 %, B π/4 ≈ 78,5 %.

Vorspannung legt den **Ruhearbeitspunkt** fest: **AP1 = C** (Sperrbereich), **AP2 = B** (Knick), **AP3 = AB**, **AP4 = A** (Mitte). Im B-Betrieb: U_BE etwas erhöhen → **I_C steigt erheblich**. **Gegentakt**: jeder Transistor eine Halbwelle, geradzahlige Oberwellen heben sich auf. **Schwingkreis** formt aus Impulsen wieder einen Sinus (nur schmalbandig). Größter Oberwellenanteil: **C-Betrieb**; Ausgangsfilter einer C-PA in ein **gut abschirmendes Metallgehäuse**.

P_aus ≈ U · I · η: 50 V · 2 A = 100 W → A ≈ **40 W**, C ≈ **85 W**.

Linearverstärker und SSB

Linear = **Kurvenform am Ausgang wie am Eingang**, nur größer. Nötig für SSB, AM, PSK, QAM (Information in Amplitude/Phase). SSB-Endstufe: **A, AB oder B, nie C**. FM, CW (konstante Hüllkurve) dürfen nichtlinear verstärkt und danach gefiltert werden. AB-Endstufe mit SSB **übersteuert** → **Splatter** auf Nachbarfrequenzen (Intermodulation). Die **ALC** nimmt die Ansteuerung vor der Endstufe zurück.

Wirkungsgrad und Wärme

```
η = P_aus / P_DC
P_DC = U_B · I
P_V = P_DC + P_ein - P_aus
```

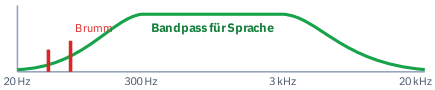
Fall	Ergebnis
12,5 V · 16 A = 200 W, 90 W HF	**η = 45 %**
Treiber 1 W → 10 W, 25 W DC	**η = 40 %**
100 W HF bei η = 50 %	**200 W DC, 14,5 A an 13,8 V, 100 W Wärme**

Definition: Verhältnis **HF-Ausgangsleistung zu zugeführter Gleichstromleistung**; die Ansteuerleistung zählt nicht mit (Treiber: 40 %, nicht 10 %). Falsch: 55 % (Verlustanteil), 222 % (Kehrwert). Kleines η → großer Kühlkörper.

Eigenschwingung

Ursache: **Kopplung zwischen Ausgang und Eingang** (Streukapazität, Leitungen, C_CB im Transistor, gemeinsame Versorgung). Schwingt, wenn Schleifenverstärkung ≥ 0 dB; je höher die Verstärkung, desto größer die Neigung. Abhilfe: **Ein- und Ausgang gut entkoppeln**, **jede Stufe gut abschirmen**, Versorgung abblocken, Neutralisation. **Parasitäre Schwingungen**: **kein fester Bezug zur Betriebsfrequenz**, Leistungsanzeige springt beim Abstimmen; VHF: **Ferritperle auf die Emitterzuleitung**, KW-Breitband: Widerstand parallel zur Übertragerwicklung.

Bandbreite begrenzen



Belegte Bandbreite hängt von der **höchsten NF-Frequenz** ab. Im Mikrofonverstärker ein **Bandpass** ≈ **0,3 bis 3 kHz** (nicht Notch, nicht nur Hoch- oder Tiefpass, kein Begrenzer). Gute Verständlichkeit ab ≈ **2,5 kHz**. Stufen begrenzen selbst: Koppel-C → untere Grenze f_u = 1 / (2π · R · C), 100 nF an 10 kΩ = 159 Hz; Millereffekt (C_CB · (1 + v_U)) → obere Grenze.

Quellen: Grundlagen der Transistor- und HF-Schaltungstechnik; Rechnungen selbst nachgerechnet, Wirkungsgrade typische Werte; Idee nach 50ohm.de (Verstärker, Kollektor- und Emitterschaltung, Wirkungsgrad, Verstärkerklassen, Linearverstärker, Eigenschwingung, Bandbreite). Angaben ohne Gewähr.
Online mit Übungen: amateurfunk-oe.at/lernmaterial/verstaerker/

Stand November 2026

ÜBUNGSBOGEN

Quiz: Verstärker

Name: _____

Kreuzen Sie jeweils die richtige Antwort an. Die Lösungen stehen unten auf der Seite.

Ergebnis: ____ / 12

1. Kollektorschaltung: Spannungsverstärkung und Phase?

- ☐ **A** 100 bis 300, Phase 180°
- ☐ **B** knapp unter 1, Phase 0°
- ☐ **C** 100 bis 300, Phase 0°
- ☐ **D** knapp unter 1, Phase 180°

2. Typischer Einsatz einer Kollektorschaltung?

- ☐ **A** Frequenzverdoppler in der Sendekette
- ☐ **B** Pufferstufe zwischen Oszillator und Last
- ☐ **C** Phasenumkehrstufe vor dem Gegentakt
- ☐ **D** Stufe mit sehr hoher Spannungsverstärkung

3. Emitterschaltung: Zweck von C_E parallel zu R_E?

- ☐ **A** maximale Wechselspannungsverstärkung
- ☐ **B** Einstellen der Basisvorspannung
- ☐ **C** geringere Wechselspannungsverstärkung
- ☐ **D** Abtrennen der Gleichspannung am Eingang

4. Ohne C_E, R_C = 4,7 kΩ, R_E = 470 Ω: v_U etwa?

- ☐ **A** etwa 100
- ☐ **B** etwa 1
- ☐ **C** etwa 10
- ☐ **D** etwa 0,1

5. Ohne Basisvorspannung, Spitzen knapp 0,7 V: Kollektorspannung?

- ☐ **A** unverzerrter Sinus um U_B / 2
- ☐ **B** 0 V mit Impulsen ins Negative
- ☐ **C** 0 V mit kurzen Impulsen nach oben
- ☐ **D** U_B mit kurzen Impulsen nach unten

6. 12,5 V, 20 A, 100 W HF: Wirkungsgrad?

- ☐ **A** 40 %
- ☐ **B** 80 %
- ☐ **C** 60 %
- ☐ **D** 250 %

7. Merkmale des C-Betriebs?

- ☐ **A** η bis 80 %, wenig Oberwellen, kleiner Ruhestrom
- ☐ **B** η ≈ 40 %, kaum Oberwellen, hoher Ruhestrom
- ☐ **C** η bis 70 %, wenig Oberwellen, mittlerer Ruhestrom
- ☐ **D** η 80–87 %, viele Oberwellen, Ruhestrom 0

8. C-Endstufe, 50 V, 2 A: HF-Leistung etwa?

- ☐ **A** etwa 170 W
- ☐ **B** etwa 100 W
- ☐ **C** etwa 85 W
- ☐ **D** etwa 40 W

9. Welche Betriebsart ist für eine SSB-Endstufe unzulässig?

- ☐ **A** B-Betrieb
- ☐ **B** A-Betrieb
- ☐ **C** AB-Betrieb
- ☐ **D** C-Betrieb

10. AB-Endstufe mit SSB übersteuert: Folge?

- ☐ **A** Splatter auf Nachbarfrequenzen
- ☐ **B** Chirp beim Tasten
- ☐ **C** parasitäre VHF-Schwingungen
- ☐ **D** Frequenzsprünge des VFO

11. Bestes Mittel gegen Eigenschwingungen einer Endstufe?

- ☐ **A** Netzfilter vor das Netzgerät
- ☐ **B** Schirmbleche voneinander isolieren
- ☐ **C** Ein- und Ausgang entkoppeln, abschirmen
- ☐ **D** die Verstärkung weiter erhöhen

12. NF-Bandbreite im Mikrofonverstärker begrenzen mit …?

- ☐ **A** Hochpass mit 300 Hz Grenze
- ☐ **B** Bandpass, etwa 300 Hz bis 3 kHz
- ☐ **C** Amplitudenbegrenzer (Clipper)
- ☐ **D** Notchfilter bei etwa 1 kHz

LÖSUNGEN

1 **B** · Emitter folgt der Basis: 0°, v_U 0,9 bis 0,98.

2 **B** · Eingang hoch-, Ausgang niederohmig: entkoppelt.

3 **A** · C_E schließt R_E nur für Wechselspannung kurz.

4 **C** · Volle Gegenkopplung: v_U ≈ R_C / R_E = 10.

5 **D** · Strom nur in Spitzen über 0,6 V, sonst gesperrt.

6 **A** · P_DC = 12,5 V · 20 A = 250 W; 100 W / 250 W = 40 %.

7 **D** · Θ < 180°: bester Wirkungsgrad, meiste Oberwellen.

8 **C** · P_aus ≈ U · I · η = 100 W · 0,85 ≈ 85 W.

9 **D** · SSB braucht A, AB oder B; C zerstört die Hüllkurve.

10 **A** · Abgeflachte Spitzen: Mischprodukte neben dem Kanal.

11 **C** · Ursache: Kopplung vom Ausgang zum Eingang.

12 **B** · Unten gegen Brumm, oben gegen Breite; ≈ 2,5 kHz reichen.

Quellen: Grundlagen der Transistor- und HF-Schaltungstechnik; Rechnungen selbst nachgerechnet, Wirkungsgrade typische Werte; Idee nach 50ohm.de (Verstärker, Kollektor- und Emitterschaltung, Wirkungsgrad, Verstärkerklassen, Linearverstärker, Eigenschwingung, Bandbreite). Angaben ohne Gewähr.
Online mit Übungen: amateurfunk-oe.at/lernmaterial/verstaerker/

Stand November 2026