

# Tutorium 4 - Operationsverstärker

**Sven Flerlage**

Institut für Mikro- und Nanoelektronische Systeme

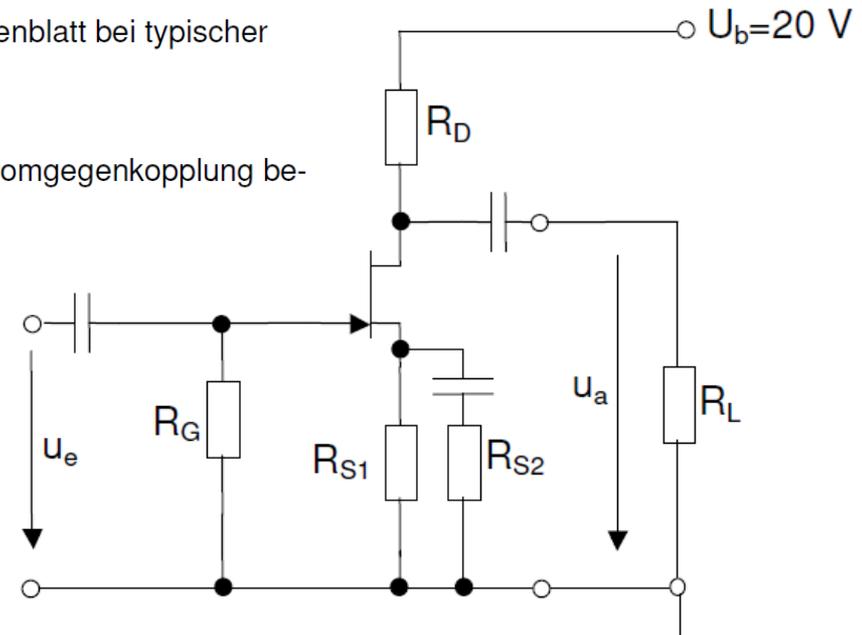


# Übersicht

- Organisatorisches
- Vorstellung der letzten Abgabe
- Einleitung
- Rechnen der Aufgaben
- Zusammenfassung
- Ausblick

# Aufgabe 17

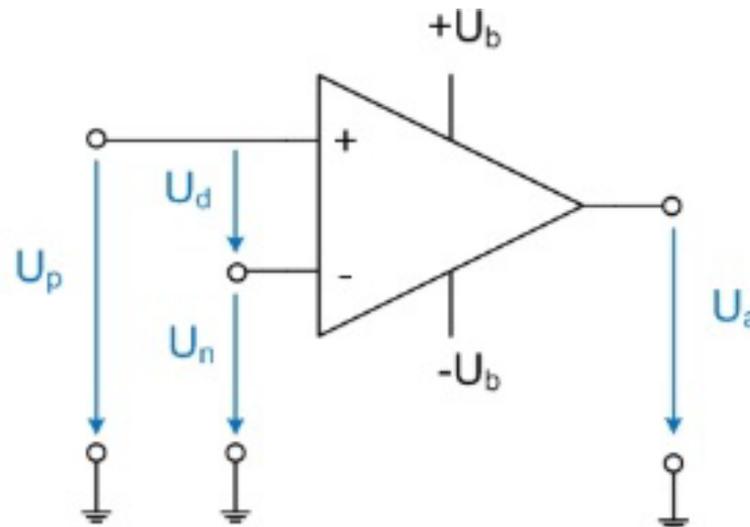
- 17.1 In welcher Grundschialtung wird der Verstärker in Bild 17.1 betrieben?
- 17.2 Zeichnen Sie das Großsignalersatzschaltbild!
- 17.3 Zeichnen Sie das Kleinsignalersatzschaltbild!
- 17.4 Berechnen Sie den maximal zulässigen Strom, den das Bauteil laut Datenblatt bei 25°C verträgt bevor es wegen Überhitzung kaputt geht. Nehmen Sie dabei den schlimmsten Fall an (die gesamte Versorgungsspannung liegt am Transistor an).
- 17.5 Zwischen Gate und Source liegt bei einem JFET eine Diode. Wird diese in der Schaltung nach Bild 17.1 in Durchlassrichtung oder in Sperrrichtung betrieben?  
Welcher Strom fließt nun laut Datenblatt maximal in das Gate des Transistors?
- 17.6 Wie groß ist der maximale Strom  $I_D$ , den der Transistor laut Datenblatt bei typischer Ansteuerung treiben kann.
- 17.7 Welche Funktion hat  $R_G$ ?
- 17.8 Könnte man diese Schaltung auch als Grundschialtung ohne Stromgegenkopplung betreiben? Begründen Sie!
- 17.9 Wie groß ist  $U_{th}$  laut Datenblatt (maximale Angabe)?



# Noch Fragen ?

# Operationsverstärker

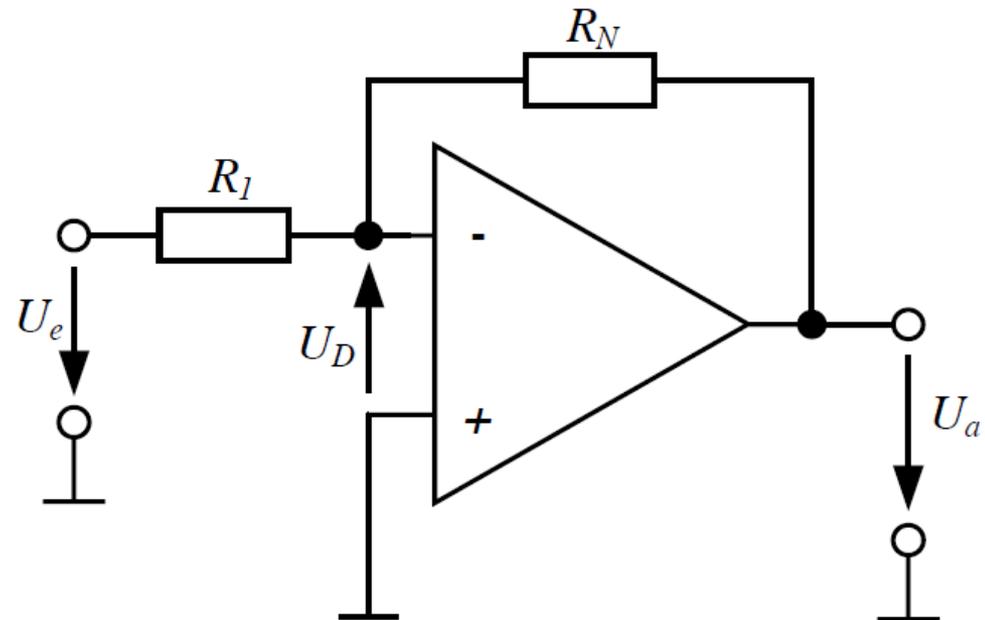
- Eigenschaften eines idealen Operationsverstärkers
  - $r_e \rightarrow \infty$  (Es fließt kein Strom in den OPAMP)
  - $r_a \rightarrow 0$  (OPAMP liefert am Ausgang immer den gewünschten Strom)
  - $A_0 \rightarrow \infty$  (Leerlaufverstärkung)
    - OP in Gegenkopplung (Rückkopplung auf den invertierenden Eingang) bedeutet, dass  $U_d$  zu 0 wird
    - OP in Mitkopplung (Rückkopplung auf den nichtinvertierenden Eingang) führt dazu, dass die Ausgangsspannung sofort auf  $\pm U_b$  ansteigt/abfällt.



# Invertierender Verstärker

## ■ Übertragungsfunktion

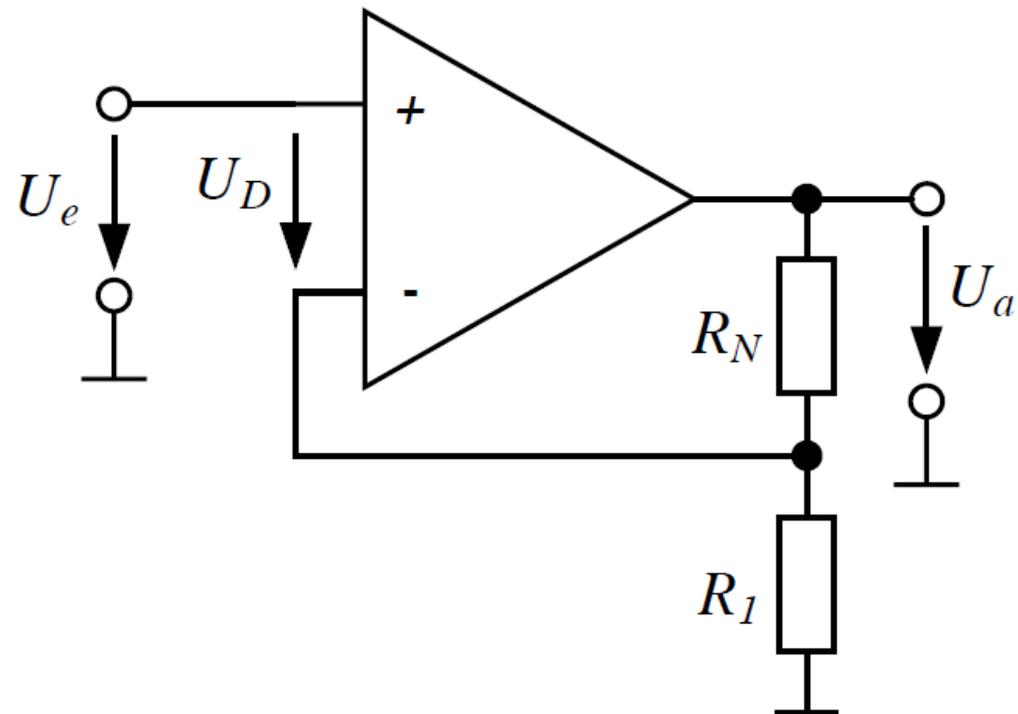
- $U_a = -\frac{R_N}{R_1} \cdot U_e$



# Nichtinvertierender Verstärker

## ■ Übertragungsfunktion

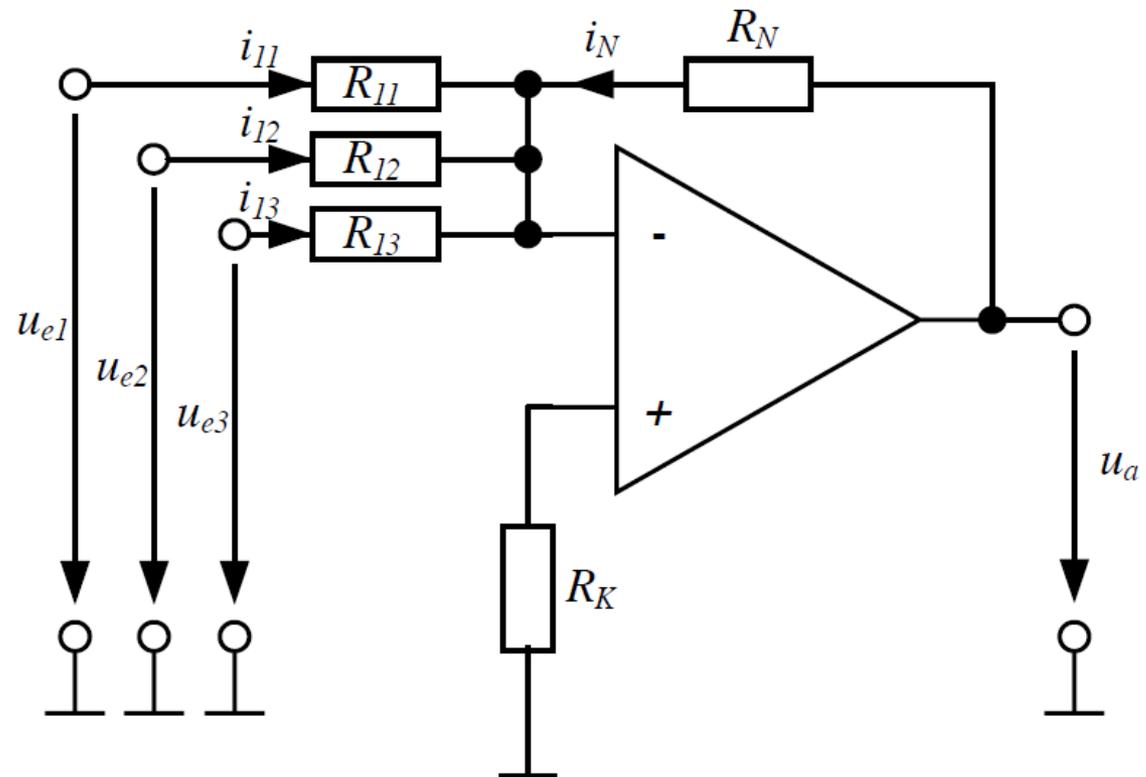
- $U_a = \left(1 + \frac{R_N}{R_1}\right) \cdot U_e$



# Invertierender Addierer

## ■ Übertragungsfunktion

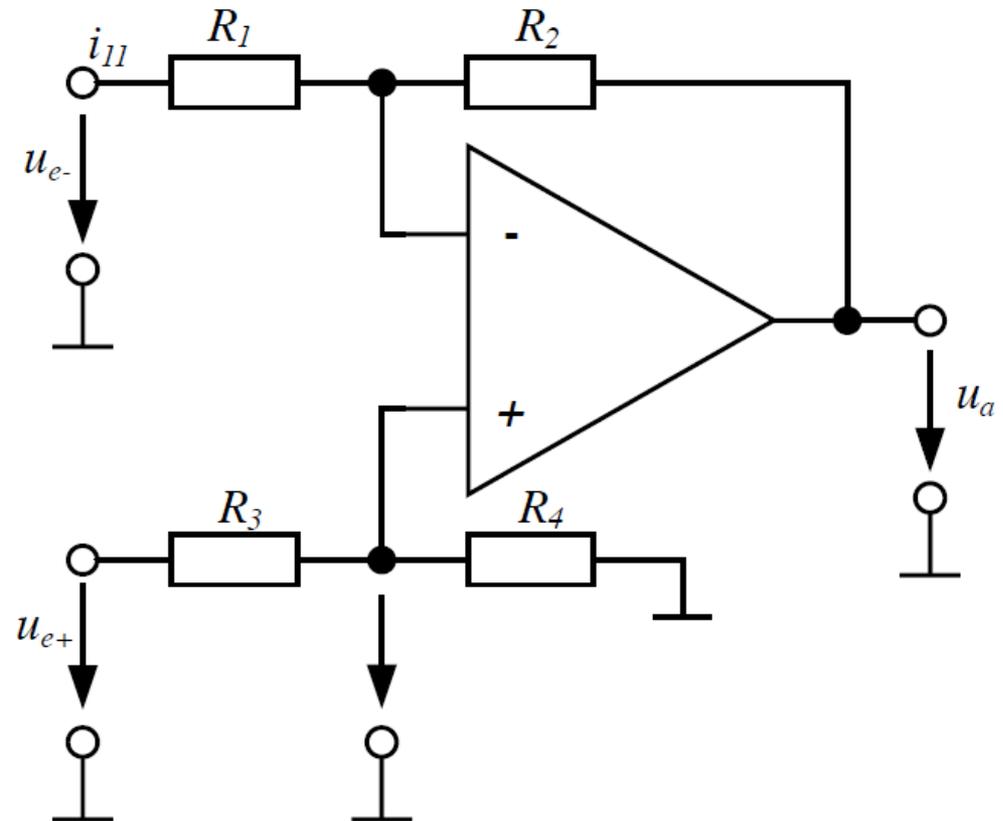
$$■ U_a = - \left( \frac{R_N}{R_{11}} \cdot U_{e1} + \frac{R_N}{R_{12}} \cdot U_{e2} + \frac{R_N}{R_{13}} \cdot U_{e3} \right)$$



# Subtrahierer

## ■ Übertragungsfunktion

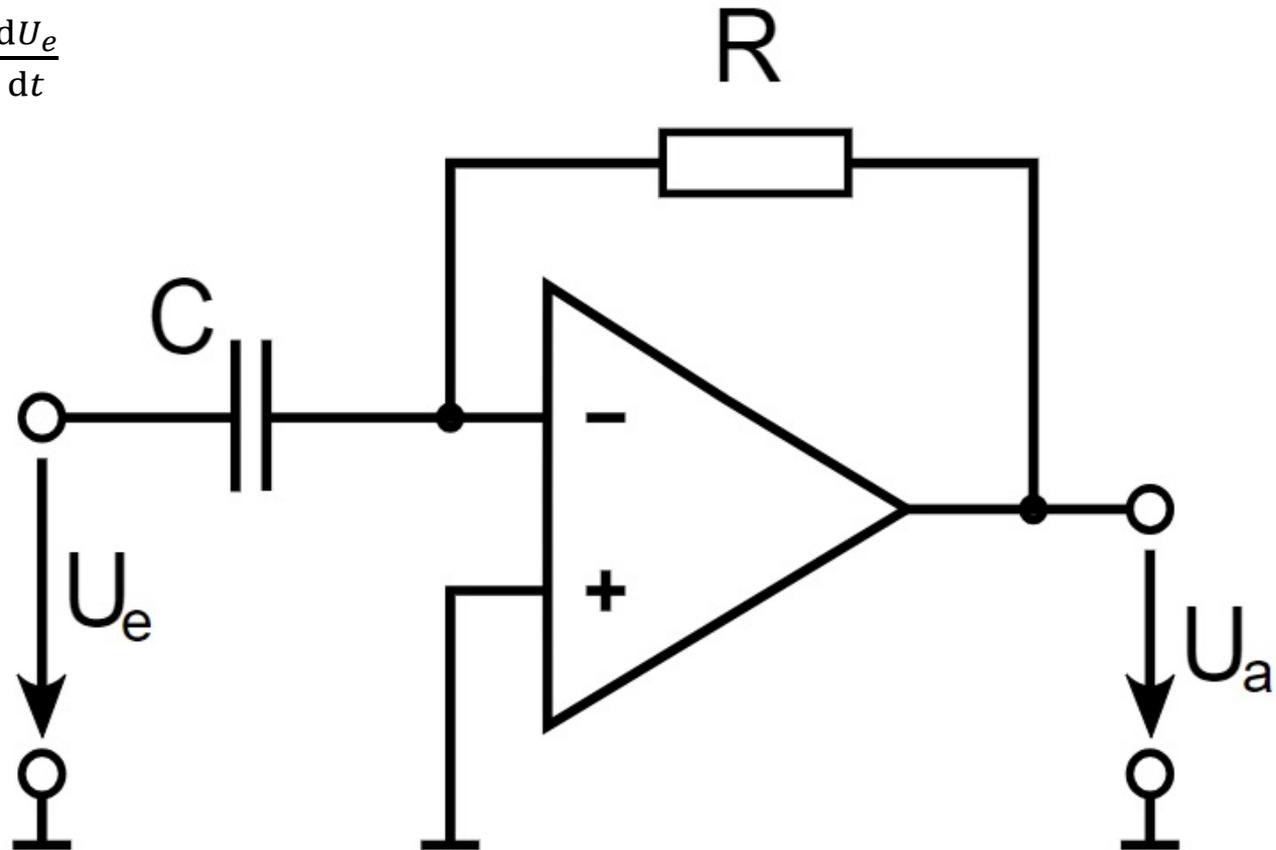
■  $U_a = \frac{R_2}{R_1} \cdot (U_{e+} - U_{e-})$  für  $\frac{R_2}{R_1} = \frac{R_4}{R_3}$



# Invertierender Differenzierer

## ■ Übertragungsfunktion

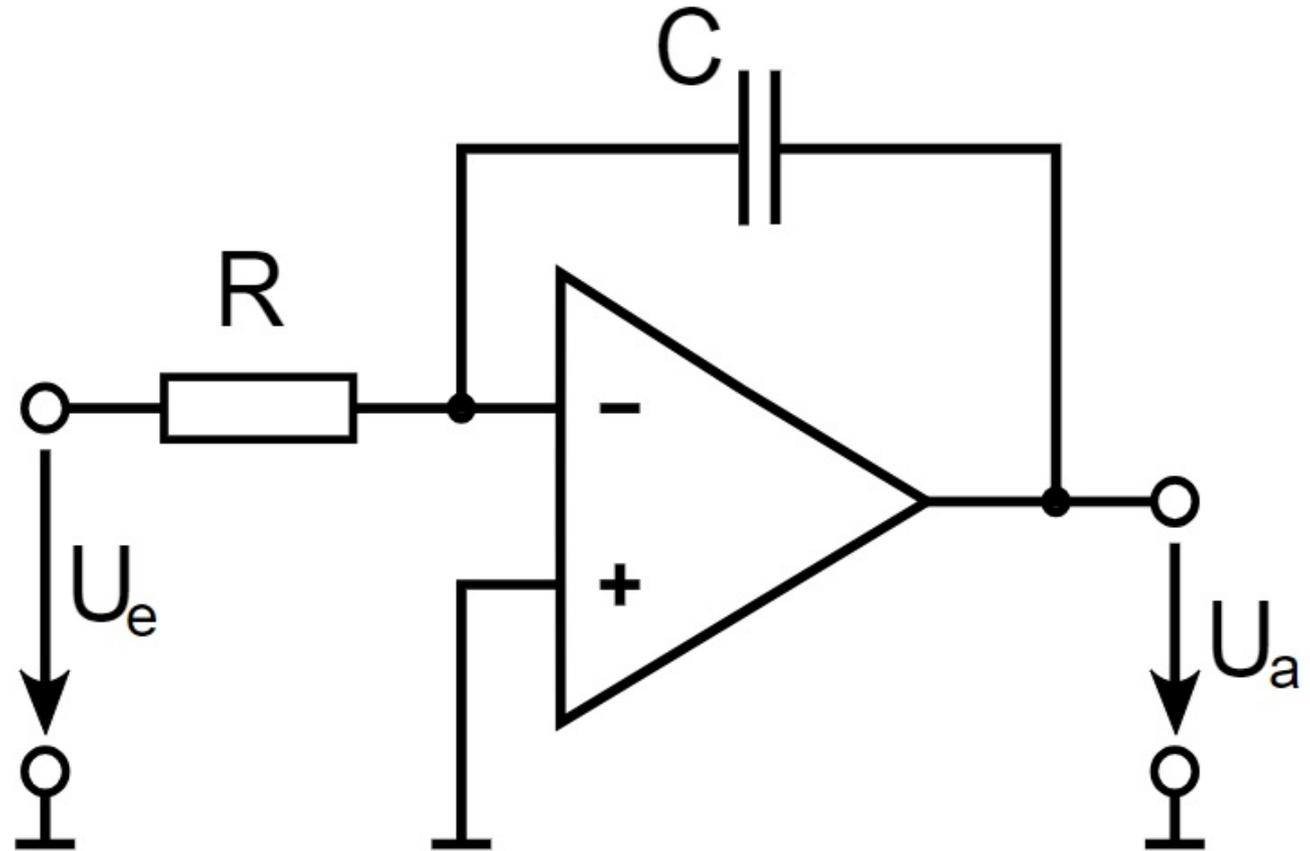
■  $U_a = -R \cdot C \cdot \frac{dU_e}{dt}$



# Invertierender Integrierer

## ■ Übertragungsfunktion

- $$U_a = -\frac{1}{R \cdot C} \cdot \int_0^t U_e(t) dt + U_a(t = 0)$$



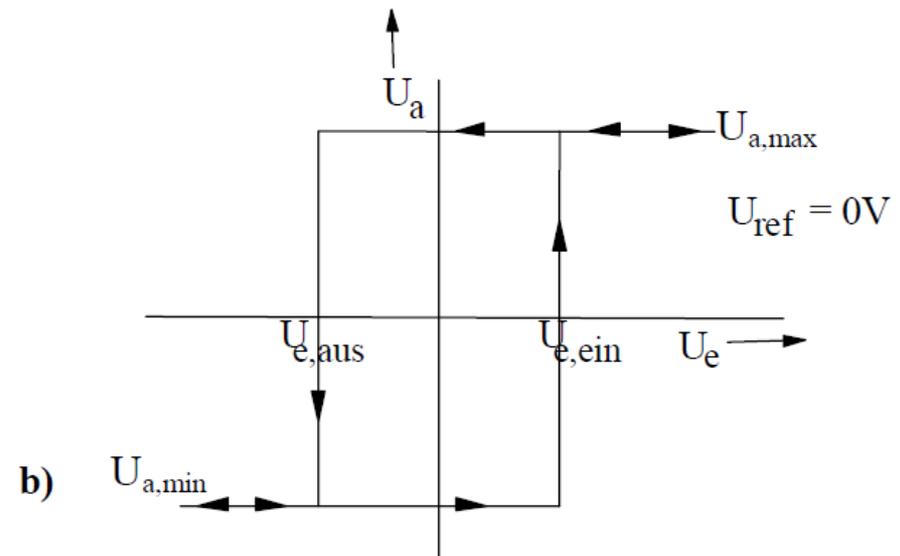
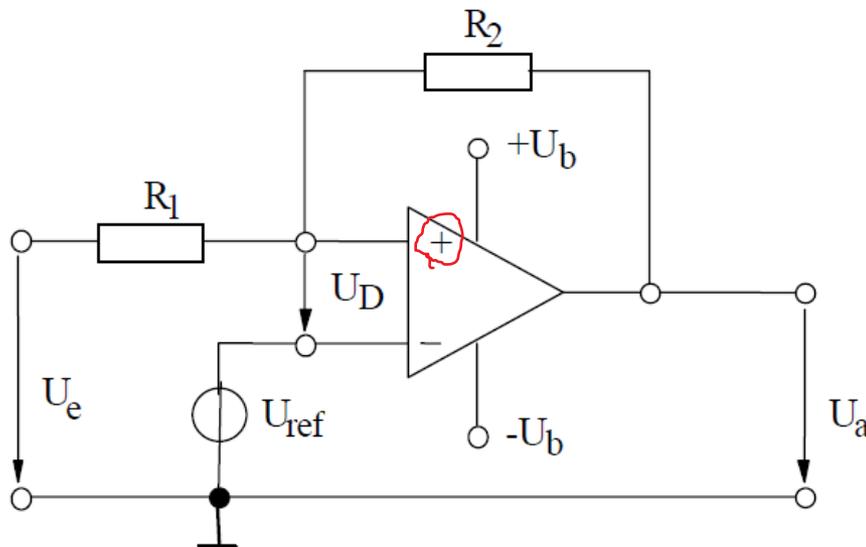
# Nichtinvertierender Schmitt-Trigger

## ■ Einschaltswelle

$$U_{e,ein} = -\frac{R_1}{R_2} \cdot U_{a,min} + U_{ref} \cdot \left(\frac{R_1}{R_2} + 1\right)$$

## ■ Ausschaltswelle

$$U_{e,aus} = -\frac{R_1}{R_2} \cdot U_{a,max} + U_{ref} \cdot \left(\frac{R_1}{R_2} + 1\right)$$



## ■ Fehler in eurem Skript

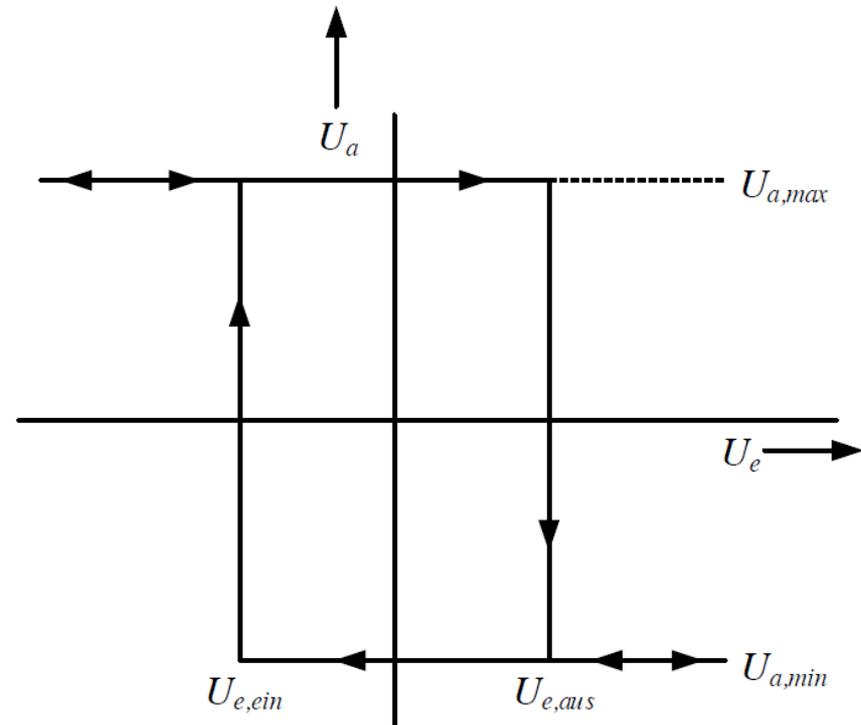
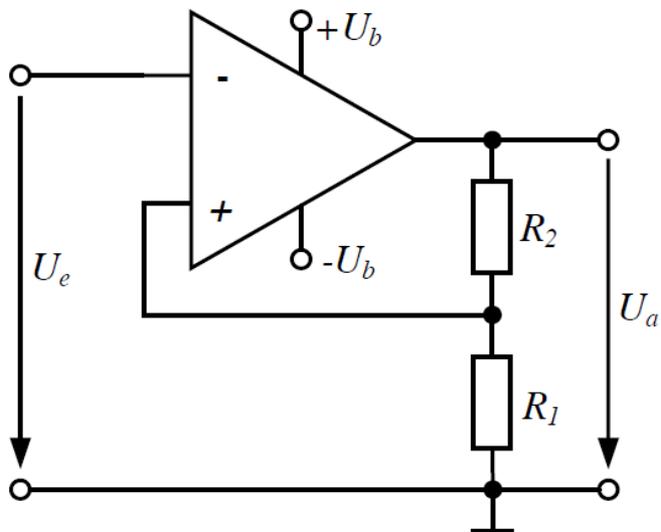
# Invertierender Schmitt-Trigger

## ■ Einschaltsschwelle

$$U_{e, \text{ein}} = \frac{R_1}{R_1 + R_2} \cdot U_{a, \text{min}}$$

## ■ Ausschaltsschwelle

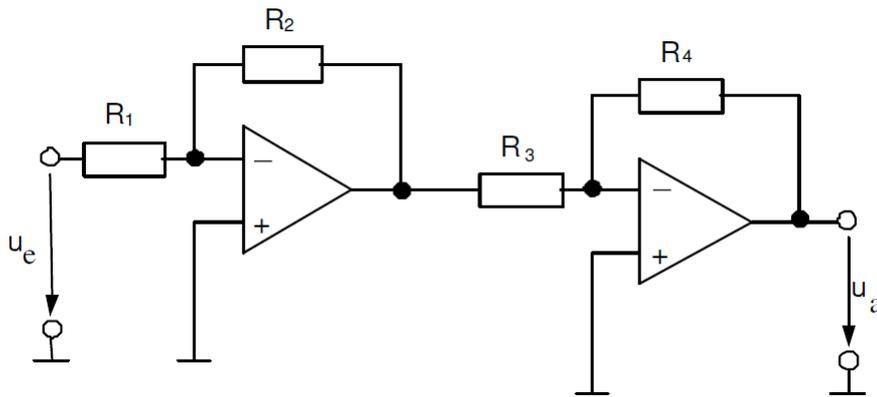
$$U_{e, \text{aus}} = \frac{R_1}{R_1 + R_2} \cdot U_{a, \text{max}}$$



# Noch Fragen ?

# Aufgabe 19

- 19.1 Nennen Sie die drei wichtigsten Eigenschaften eines idealen Operationsverstärkers!
- 19.2 Berechnen Sie die Gesamtverstärkung  $|A_{ges}|$  der Schaltung. Bis zu welcher Grenzfrequenz  $f_{g1}$  kann die Schaltung betrieben werden?
- 19.3 Die Schaltung nach Bild 19.1 soll für folgende Randbedingungen neu ausgelegt werden:  
 $|A_{ges}| = 100$ ,  $f_{g2} = 100$  MHz.  
 Welche Werte müssen die Widerstände  $R_2$  bis  $R_4$  annehmen, wenn  $R_1 = 10$  k $\Omega$  bleiben soll?

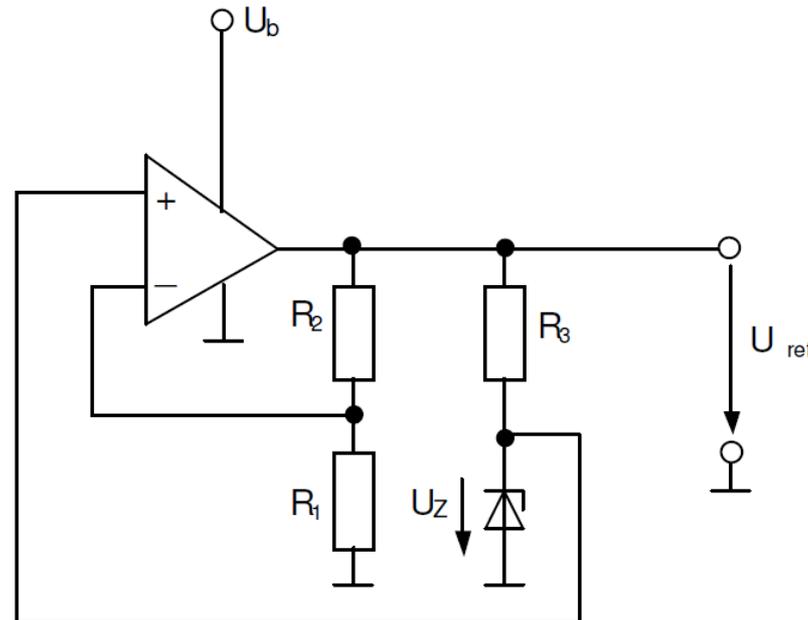


$$R_1 = 10 \text{ k}\Omega, R_2 = 100 \text{ k}\Omega, R_3 = 10 \text{ k}\Omega, R_4 = 1 \text{ M}\Omega.$$



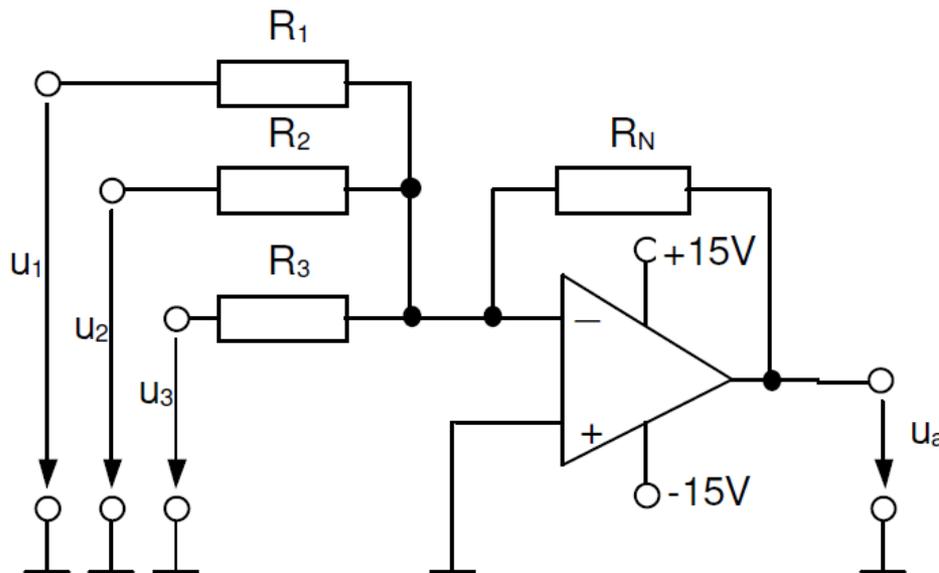
# Aufgabe 20

- 20.1 Berechnen Sie formelmäßig die Spannung  $U_{\text{ref}}$  in Abhängigkeit der Widerstände und der Zenerspannung  $U_Z$  ! (Der Operationsverstärker soll als ideal betrachtet werden)
- 20.2 Welche Aufgabe hat der Widerstand  $R_3$  ?
- 20.3 Die Versorgungsspannung beträgt  $U_b = 12 \text{ V}$ . Die Zenerdiode hat eine Spannung  $U_Z = 2,7 \text{ V}$ .
- 20.4 Berechnen Sie den Widerstandwert für  $R_2$ , wenn  $R_1 = 10 \text{ K}\Omega$  ist und  $U_{\text{ref}} = 5,0 \text{ V}$  sein soll! Der Strom durch die Zenerdiode darf nicht weniger als  $1 \text{ mA}$  betragen. Welchen Widerstandswert kann  $R_3$  maximal annehmen (E24-Reihe)?



# Aufgabe 22

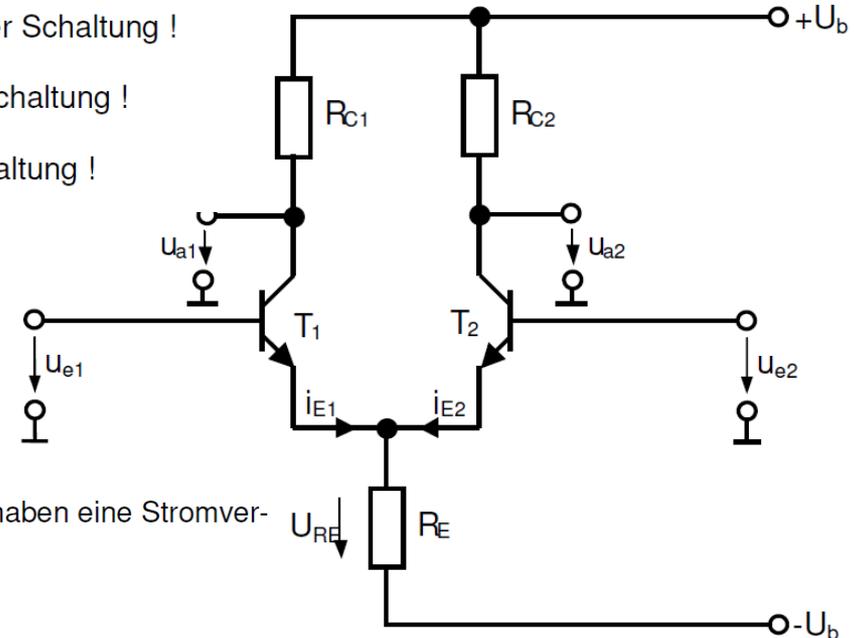
- 22.1 In welcher Grundschaltung wird der Operationsverstärker betrieben?
- 22.2 Geben Sie die Ausgangsspannung  $u_a$  als Funktion der Eingangsspannungen  $u_1$  bis  $u_3$  an!
- 22.3 An den Eingängen liegen die in Bild 22.2 skizzierten Spannungen  $u_1$ ,  $u_2$  und  $u_3$  an:  
 Skizzieren Sie die Ausgangsspannung  $u_a$  !



Gegeben ist eine Schaltung nach Bild 22.1. Der Operationsverstärker besitzt ideale Eigenschaften. Die Widerstände haben folgende Werte:  $R_1 = 10 \text{ k}\Omega$ ,  $R_2 = 20 \text{ k}\Omega$ ,  $R_3 = 50 \text{ k}\Omega$ ,  $R_N = 100 \text{ k}\Omega$ ,

# Aufgabe 18 (optional)

- 18.1 Um welche Grundschaltung handelt es sich hierbei?
- 18.2 Skizzieren Sie das Großsignal – Ersatzschaltbild der Schaltung!
- 18.3 Berechnen Sie die Arbeitspunkte der beiden Transistoren für  $u_{e1} = u_{e2} = 0 \text{ V}$  !  
(Annahme:  $U_{BE,T1} = U_{BE,T2} = 0,7 \text{ V}$ )
- 18.4 Skizzieren Sie das Kleinsignal – Ersatzschaltbild der Schaltung!
- 18.5 Berechnen Sie den Gleichtakt-Eingangswiderstand  $r_e$  der Schaltung !
- 18.6 Berechnen Sie die Gleichtakt-Spannungsverstärkung  $A_G$  der Schaltung !
- 18.7 Berechnen Sie die Gegentakt-Spannungsverstärkung der Schaltung !
- 18.8 Berechnen Sie den Gleichtaktunterdrückungsfaktor der Schaltung !



Gegeben ist eine Transistorschaltung nach Bild 18.1. Beide Transistoren haben eine Stromverstärkung von  $\beta = B = 400$ .

Die Widerstände haben folgende Werte:  $R_{C1} = R_{C2} = 2 \text{ k}\Omega$ ,  $R_E = 2 \text{ k}\Omega$ .  
 $U_b = \pm 5 \text{ V}$

# Zusammenfassung

- Operationsverstärkerschaltungen
  - Und die Übertragungsfunktionen
- Schmitt-Trigger

# Noch Fragen ?

# Ausblick

- Nächstes Tutorium: 03.07.2018
  - Nächste Woche
  - Thema: Digitaltechnik/Flip-Flop-Schaltungen

**Vielen Dank für die  
Aufmerksamkeit**