



# Elektronik II

## 2. Große Übung

G. Kemnitz

Institut für Informatik, Technische Universität Clausthal  
4. Mai 2015



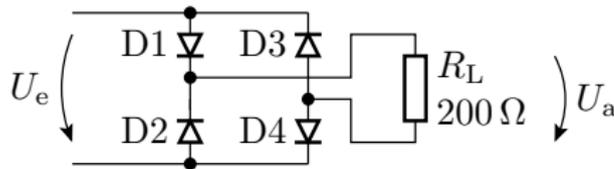
## Brückengleichrichter

## Aufgabe 2.6: Brückengleichrichter

Bestimmen Sie die Übertragungsfunktion des nachfolgenden Brückengleichrichters

- 1 mit vier Schottky-Dioden vom Typ BAT43<sup>1</sup> und
- 2 mit vier Siliziumdioden vom Typ 1N4148.

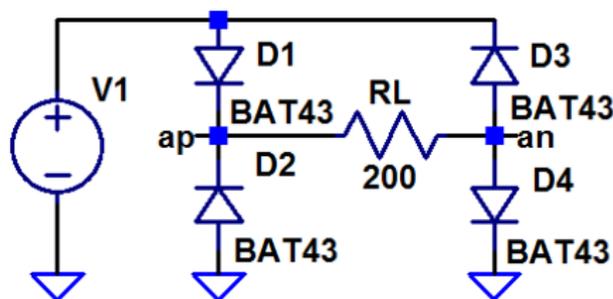
im Bereich  $-3\text{ V} \leq U_e \leq 3\text{ V}$ .



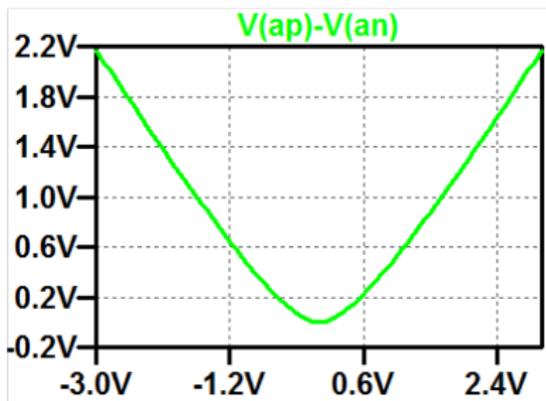
<sup>1</sup>Besorgen Sie sich das Modell der Schottky-Dioden Typ BAT43 aus dem Internet.

# 1. Brückengleichrichter

- Modell für die BAT43 findet man z.B. hier:  
[http://www.ee.siue.edu/~alozows/courses/Power-Electronics/spice/SoftOnMosfet/DIODE\\_ST\\_10.lib](http://www.ee.siue.edu/~alozows/courses/Power-Electronics/spice/SoftOnMosfet/DIODE_ST_10.lib)
- In einer Datei im selben Verzeichnis wie die Schaltung speichern.
- Schaltung eingeben.



```
.include BAT43.inc
.dc V1 -3 3 0.1
```

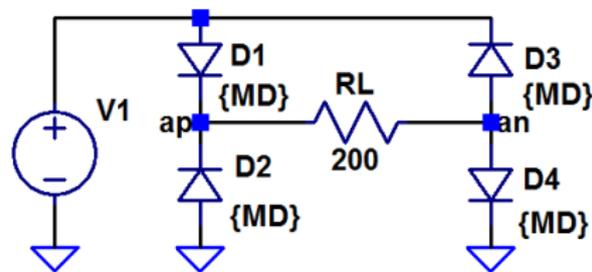


- Differenzspannung über dem Widerstand anzeigen.

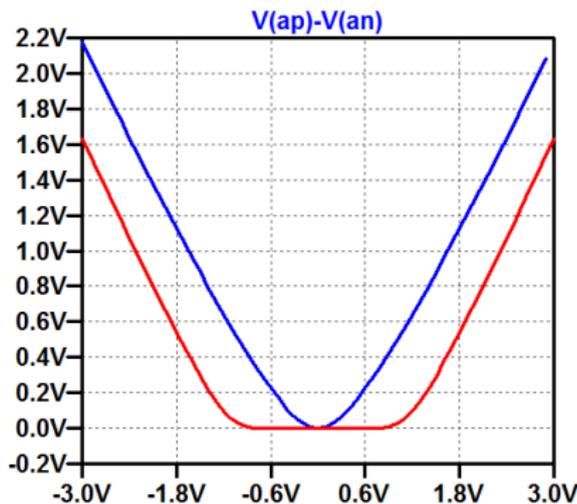


# 1. Brückengleichrichter

Statt der anderen Diode bietet es sich an, mit der Step-Funktion die Schaltung mit beiden Dioden nacheinander zu simulieren.



```
.include BAT43.inc  
.model 1 ako:BAT43  
.model 2 ako:1N4148  
.step param MD list 1 2  
.dc V1 -3 3 0.1
```



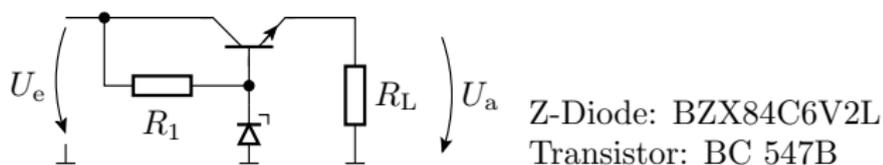
- Welchen offensichtlichen Vorteil hat eine Schottky-Diode in einem Brückengleichrichter?



# Spannungsstabilisierung

### Aufgabe 2.7: Spannungsstabilisierung

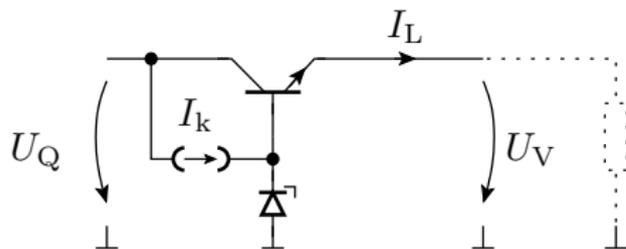
Gegeben sei der nachfolgenden Längsregler zur Stabilisierung der Spannung  $U_a$ .



- Bestimmen Sie die Ausgangsspannung  $U_a$  in Abhängigkeit der Eingangsspannung  $U_e$  im Bereich von  $5\text{ V} \leq U_e \leq 10\text{ V}$  mit  $R_1 = 1\text{ k}\Omega$  und  $R_L = 100\ \Omega$ .
- Legen Sie  $R_1$  so fest, dass bei einer Eingangsspannung von  $8\text{ V}$  und einem von  $1\text{ k}\Omega$  bis  $10\ \Omega$  absinkenden Lastwiderstand  $R_L$  die Ausgangsspannung in guter Näherung konstant bleibt und bei weiterer Verringerung des Lastwiderstands  $R_L$  der Laststrom  $I_L$  nicht weiter absinkt (Lösen durch Probieren.).

Hinweis: Die Berechnung einer ähnlichen Schaltung finden Sie in Elektronik I, F3, Abschn. 1.6 (Spannungsstabilisierung).

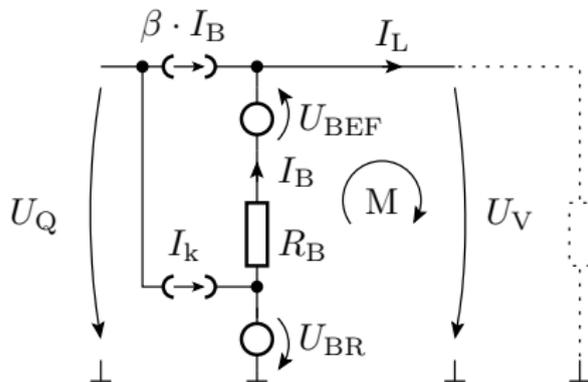
## Wiederholung aus Elektronik I



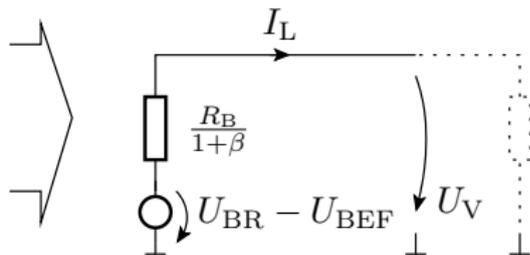
Prinzip:

Bipolartransistor mit konstantem Basispotential, z.B. erzeugt mit einer Z-Diode im Durchbruchbereich.

### ■ Ersatzschaltung mit Z-Diode im Durchbruchbereich

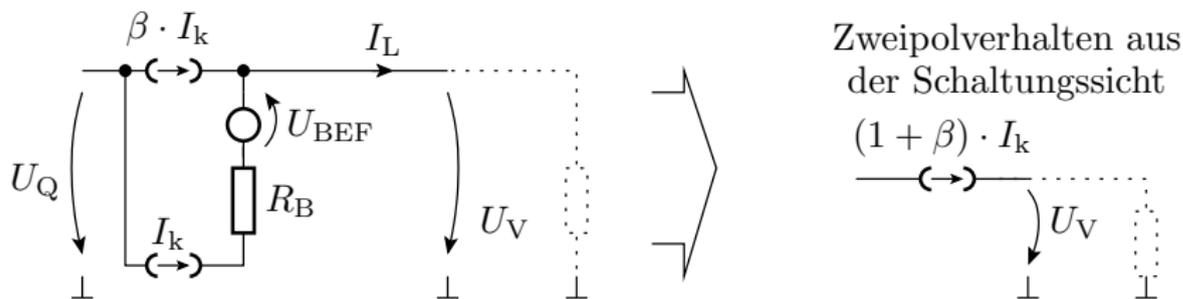


Zweipolverhalten aus der Schaltungssicht



### Strombegrenzungsmodus

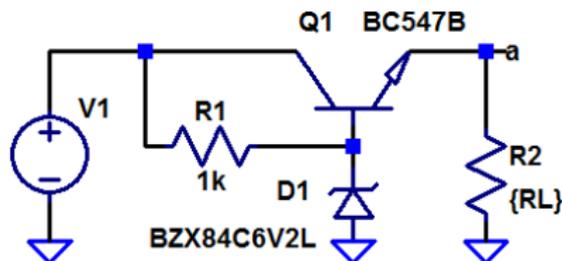
- Der gesamte Strom  $I_k$  fließt in die Basis



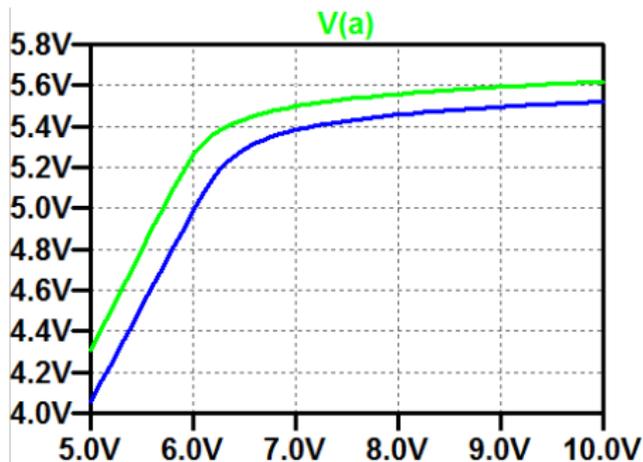
- Laut Ersatzschaltung ideale Stromquelle.
- Begrenzungsstrom streut, da proportional zu  $\beta$ .
- Stabilisierte Spannung übernimmt die Streuungen von  $U_{BEF}$  des Transistors und von  $U_{BR}$  der Z-Diode.

## 2. Spannungsstabilisierung

- 1 Bestimmen der Ausgangsspannung  $U_a$  in Abhängigkeit der Eingangsspannung  $U_e$  im Bereich von  $5\text{ V} \leq U_e \leq 10\text{ V}$  mit  $R_1 = 1\text{ k}\Omega$  und  $R_L = R_2 = 100\ \Omega$ .



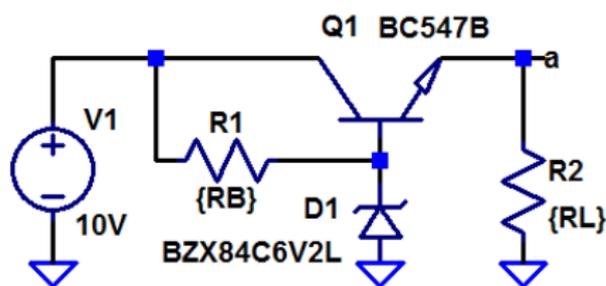
```
.step param RL list 1k 100
.dc V1 5V 10V 0.1V
```



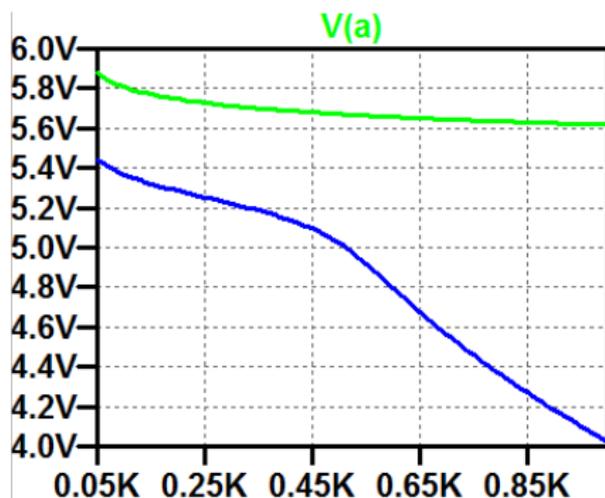


## 2. Spannungsstabilisierung

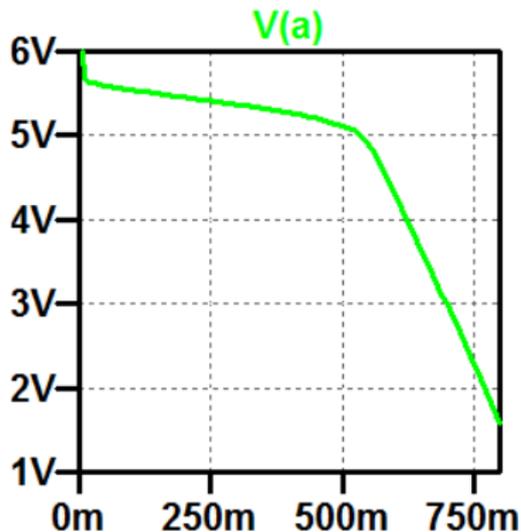
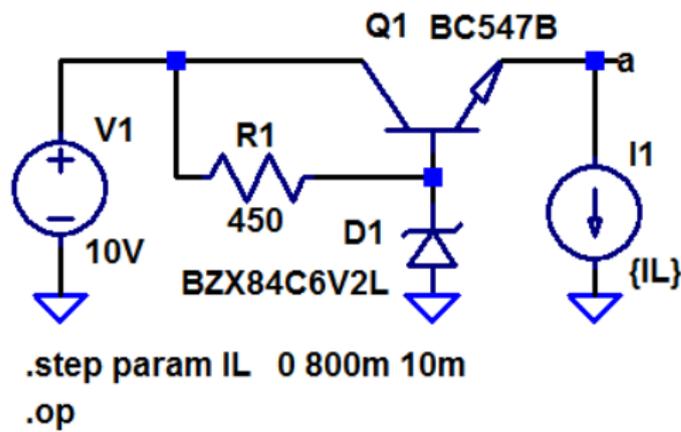
- 2 Legen Sie  $R_1$  so fest, dass bei einer Eingangsspannung von 8 V und einem von 1 k $\Omega$  bis 10  $\Omega$  absinkenden Lastwiderstand  $R_L = R_2$  die Ausgangsspannung in guter Näherung konstant bleibt



```
.step param RB 50 1k 10  
.step param RL list 1k 10  
.op
```



- Bei  $U_a \approx 5$  V und  $R_L = R_2 = 10$   $\Omega$  fließt etwa ein Strom von 0,5 A. Nächste Folie Zusatzkontrolle, dass die Ausgangsspannung bis zu einem Laststrom von 0,5 A etwa konstant bleibt und dann steil abfällt.

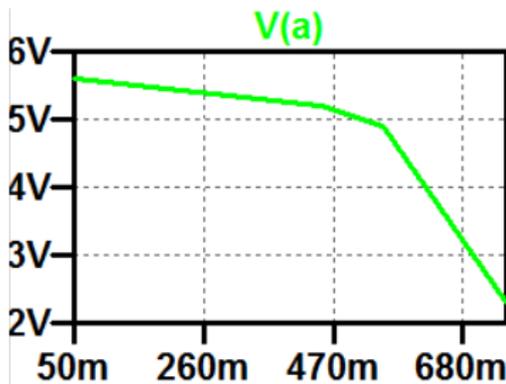
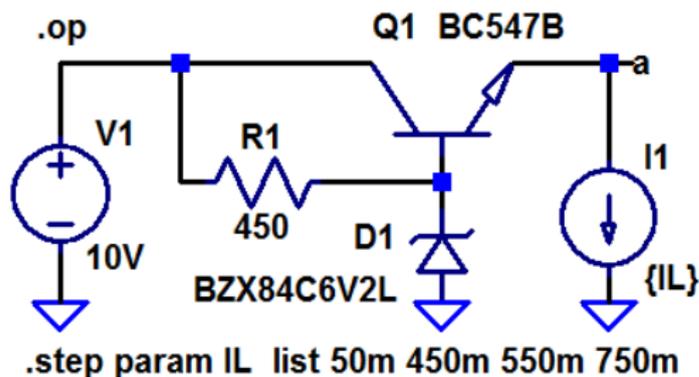


- Hat die beiden vorhergesagten Arbeitsbereiche.
- Wie groß sind die Anstiege (Widerstände) in den beiden Arbeitsbereichen?



## 2. Spannungsstabilisierung

- Stromwerte auf zwei pro Arbeitsbereich reduzieren.



Im »Waveform Viewer« »File => Export => V(a)«.

il V(a)

5.0000000000000000e-002 5.593485e+000

4.5000000000000000e-001 5.208362e+000

5.5000000000000000e-001 4.894452e+000

7.5000000000000000e-001 2.288484e+000

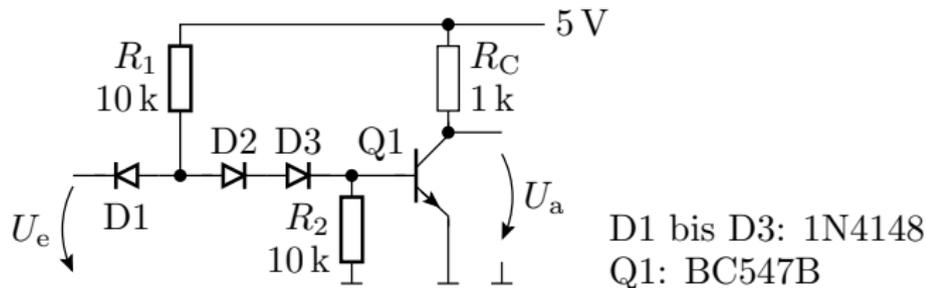
$$R_{Ers1} = \frac{5,52 \text{ V} - 5,21 \text{ V}}{450 \text{ mA} - 50 \text{ mA}} = 0,77 \Omega; \quad R_{Ers2} = \frac{4,89 \text{ V} - 2,29 \text{ V}}{750 \text{ mA} - 550 \text{ mA}} = 13 \Omega$$



# Transistorinverter

## Aufgabe 2.8: Transistorinverter

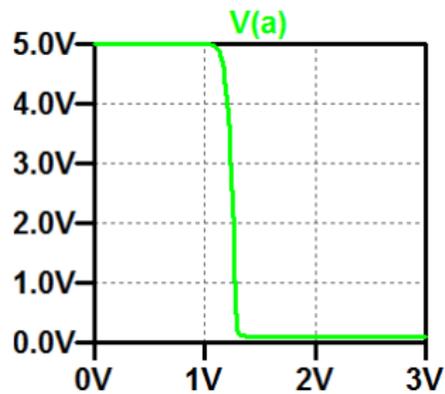
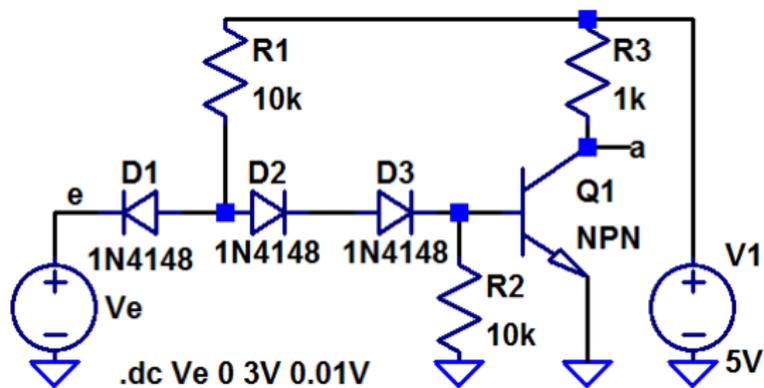
Bestimmen Sie die Übertragungsfunktion  $U_a = f(U_e)$  für den nachfolgenden Transistorinverter im Bereich  $0 \leq U_e \leq 5 \text{ V}$ .



Hinweis: Die Arbeitsbereiche, lineare Ersatzschaltungen und Berechnung siehe Elektronik I, F3, Elektronik I, Abschn. 1.5 (DT-Gatter).



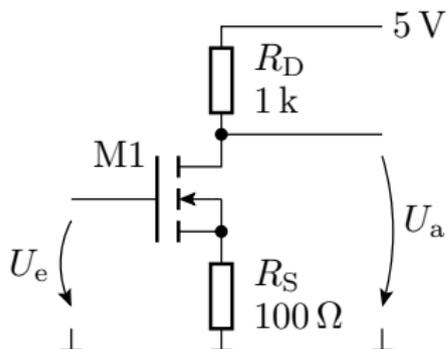
### 3. Transistorinverter



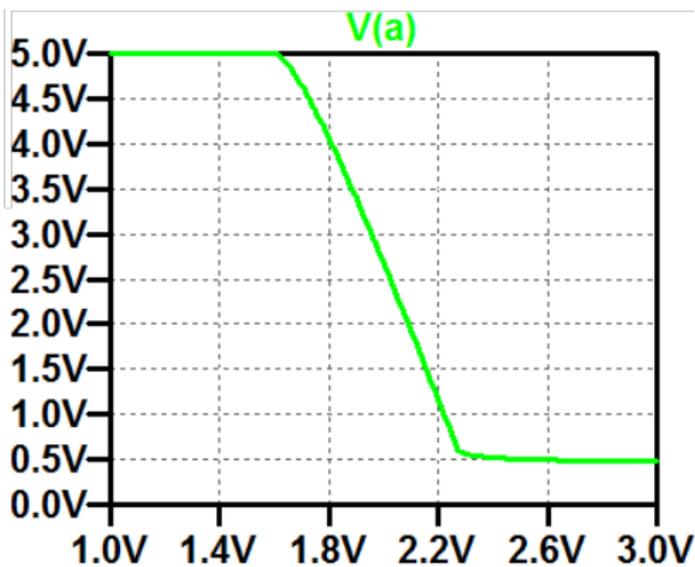
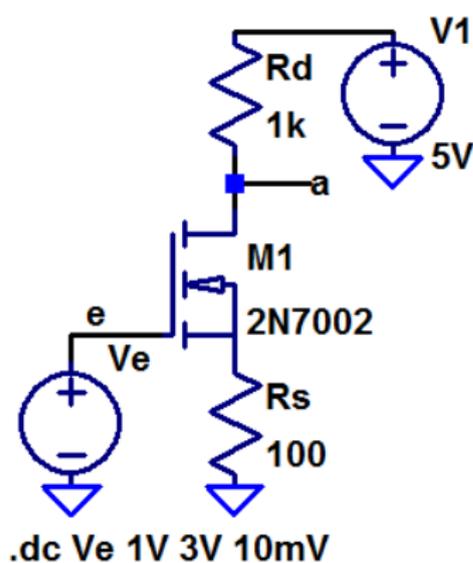
# Verstärker mit MOS-Transistor

## Aufgabe 2.10: Verstärker mit MOS-Transistor

Bestimmen Sie die Übertragungsfunktion  $U_a = f(U_e)$  für den nachfolgenden Verstärker mit einem MOS-Transistor 2N7002 im Bereich  $0 \leq U_e \leq 5 \text{ V}$ .



M1: 2N7002



Bei Wahl des Arbeitspunkt  $U_e = 2\text{ V}$  ergibt ».tf V(a) V«:

```
Transfer_function: -7.33695 transfer
ve#Input_impedance: 1e+020 impedance
output_impedance_at_V(a): 1000 impedance
```



# Nichtinvertierender Verstärker mit OV



### Aufgabe 2.11: Nichtinvertierender Verstärker mit OV

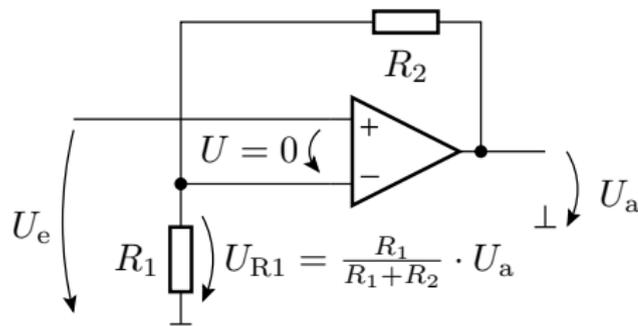
Entwerfen Sie mit einem Operationsverstärker vom Typ TLC07X, Versorgungsspannungen  $\pm 5\text{ V}$ , einen nichtinvertierenden Verstärker mit der Verstärkung:

$$v_u = \frac{U_a}{U_e} = 5$$

- 1 Bestimmen Sie die Übertragungsfunktion.
- 2 Lesen Sie aus der Übertragungsfunktion ab, für welchen Eingangsspannungsbereich die Schaltung als Verstärker nutzbar ist.



### Wiederholung aus Elektronik I



$$U_a = \frac{R_1 + R_2}{R_1} \cdot U_e$$

Mögliche Widerstandswerte für  $v_u = 5$ :

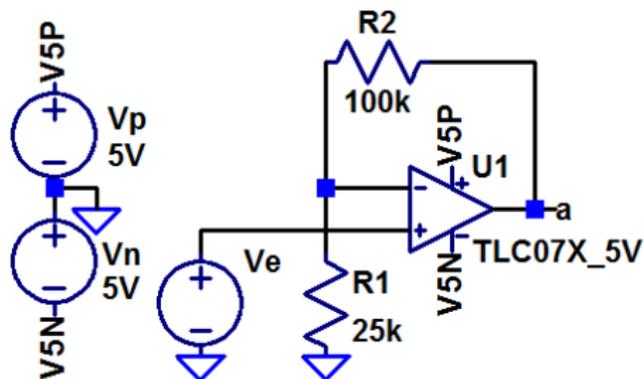
$$R_1 = 25 \text{ k}\Omega$$

$$R_2 = 100 \text{ k}\Omega$$

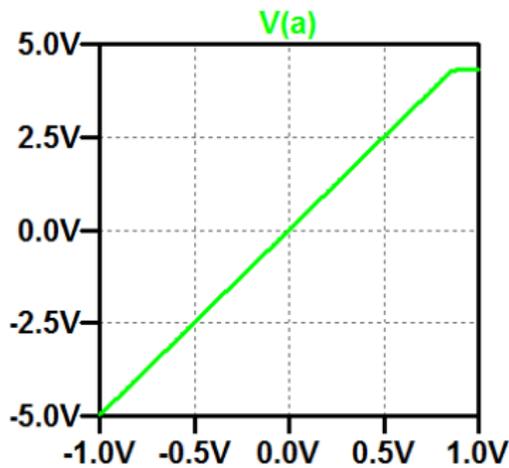


## 5. Nichtinvertierender Verstärker mit OV

- Datei TLC07x.mod von der Webseite zur Vorlesung in das Arbeitsverzeichnis laden.
- In LTspice »[Opamps] > Opamp2« verwenden.



```
.include TLC07x.mod  
.dc Ve -1V 1V 0.01V
```



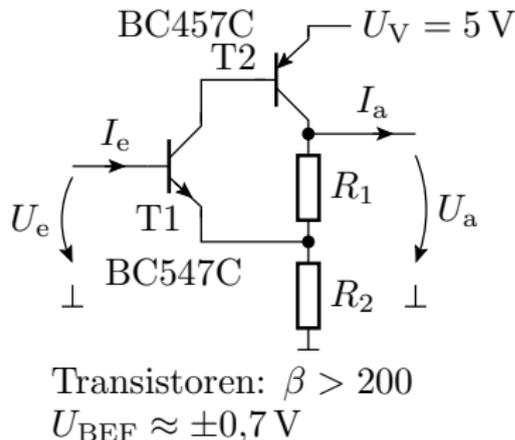


# Verstärker aus 2 Transistoren



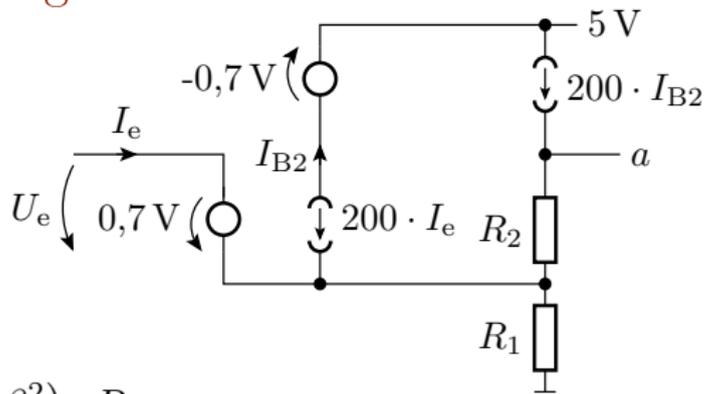
### Aufgabe

Legen Sie für den nachfolgenden Transistorverstärker  $R_1$  und  $R_2$  so fest, dass die Spannungsverstärkung  $v_u = \frac{du_a}{du_e} = 20$  und der Eingangswiderstand  $r_e = \frac{du_e}{di_e}$  mindestens  $100 \text{ k}\Omega$  beträgt.



- 1 Lineare Ersatzschaltung mit Transistoren im Nomalbereich.
- 2 Gleichungen für  $I_e = f(U_e)$  und  $U_a = f(U_e)$  abschätzen.
- 3 Daraus Gleichungen für  $v_u$  und  $r_e$  daraus ableiten.
- 4 Widerstandswerte festlegen.
- 5 Kontrolle durch Simulation: Kennlinie bestimmen, Arbeitspunkt festlegen,  $v_u$  und  $r_e$  im Arbeitspunkt bestimmen, nachbessern, ...

## Lineare Ersatzschaltung



$$U_e = U_{BEF} + I_e \cdot (1 + \beta + \beta^2) \cdot R_2$$

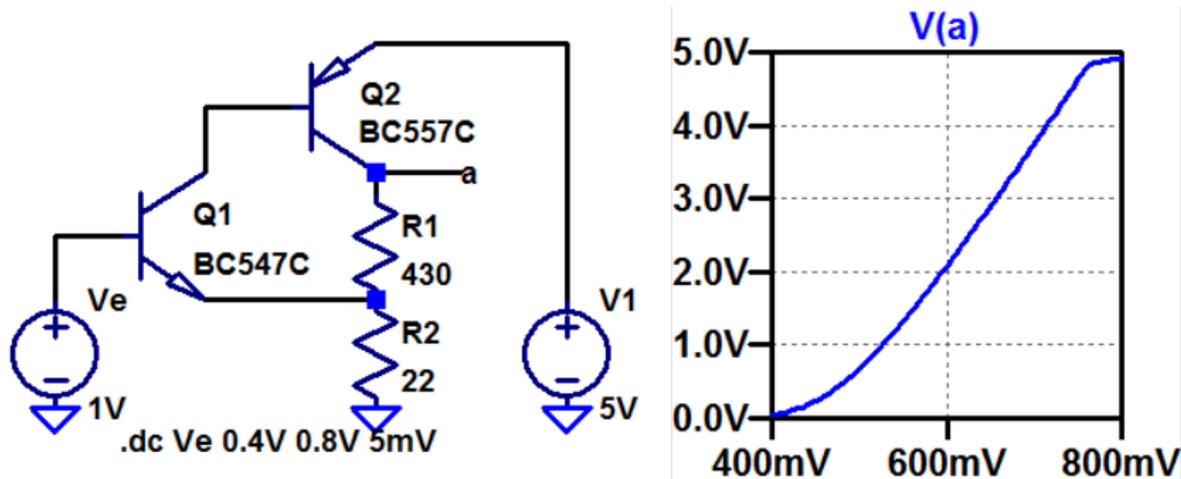
$$\text{Eingangswiderstand: } r_e \approx \beta^2 \cdot R_2$$

$$\text{Auswahl: } R_2 = 22\Omega$$

$$U_a \approx U_{R2} \cdot \frac{R_1 + R_2}{R_2}$$

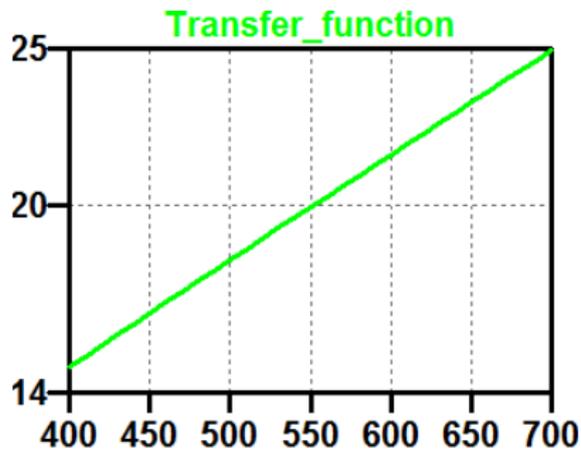
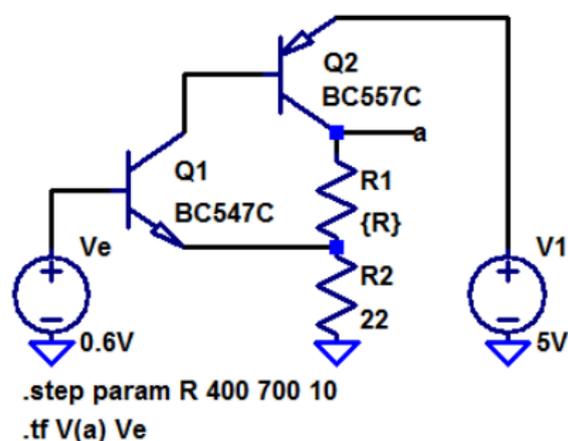
$$\text{Auswahl: } R_2 = 430\Omega$$

## Übertragungsfunktion und Arbeitspunkt



- Der Arbeitspunkt soll bei  $U_e = 0,6\text{V}$  liegen.
- Mit ».tf V(a) Ve« ergibt sich im Arbeitspunkt ein Eingangswiderstand von  $5\text{M}\Omega$  und eine Verstärkung von  $\approx 16$ .

## Variation von $R_2$ zur Anpassung von $v_u$

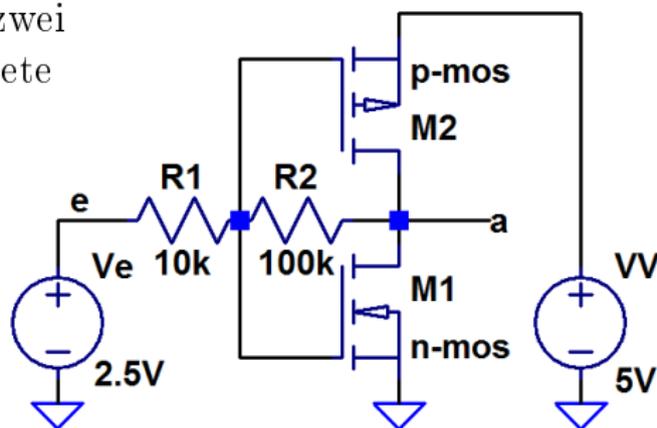


Bei  $R_2 = 550\Omega$  ist die Verstärkung genau 20. Achtung, die Simulation berücksichtigt keine Streuungen der Bauteilparameter.

# CMOS-Inverter als Verstärker

## Aufgabe 2.16: CMOS-Inverter als Verstärker

Der nachfolgende mit zwei Widerständen beschaltete CMOS-Inverter ist ein Verstärker.



```
.model n-mos NMOS(VT0=1V, Kp=2e-2, lambda=2e-2)
.model p-mos PMOS(VT0=-1V, Kp=2e-2, lambda=2e-2)
.tf V(a) Ve
```

- Bestimmen Sie für den Arbeitspunkt  $U_e = U_V/2$  die Verstärkung und den Ausgangswiderstand.
- Änderungsvorschlag zur Einstellung der Verstärkung -20?

## Lösung zum Vergleich

- 1 Verstärkung und Ausgangswiderstand für  $U_e = U_V/2$

Transfer\_function: -8.62877 transfer

ve#Input\_impedance: 11424.1 impedance

output\_impedance\_at\_V(a): 150.685 impedance

- 2 Änderungsvorschlag zur Einstellung der Verstärkung -20?  
 $R_2$  muss etwa bei

$$\frac{20}{8,629} \cdot 100 \text{ k}\Omega = 232 \text{ k}\Omega$$

liege. Kontrolle mit »durchsteppen« von  $R_2$ .