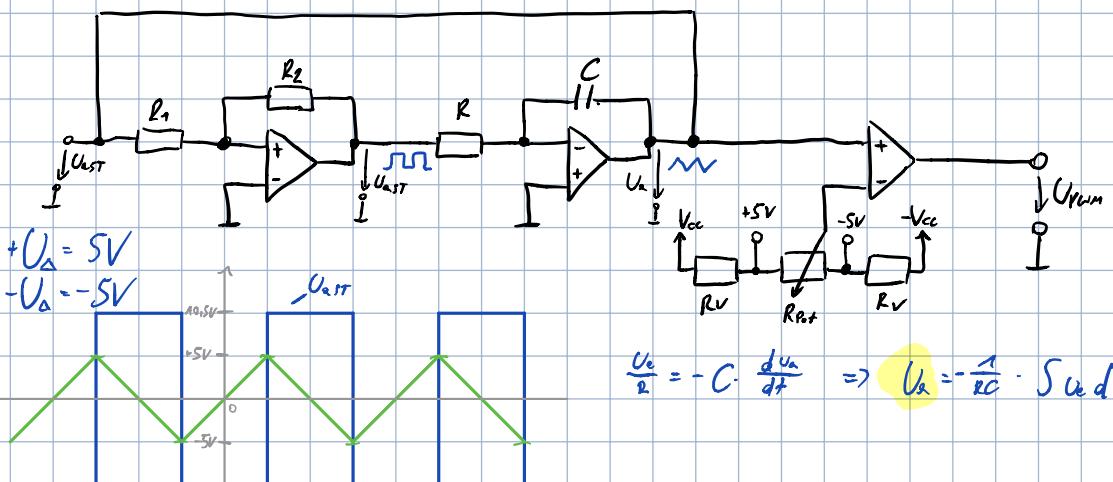


# PWM



$$U_{ctrl} = U_{ctrl} \cdot \frac{R_2}{R_1} = 10,5 \cdot \frac{L_1}{R_2}$$

$$U_{ctrl} = -U_{ctrl} \cdot \frac{R_2}{R_1} = -10,5 \cdot \frac{L_1}{R_2}$$

$$R_2 = \frac{10,5}{5} \cdot R_1$$

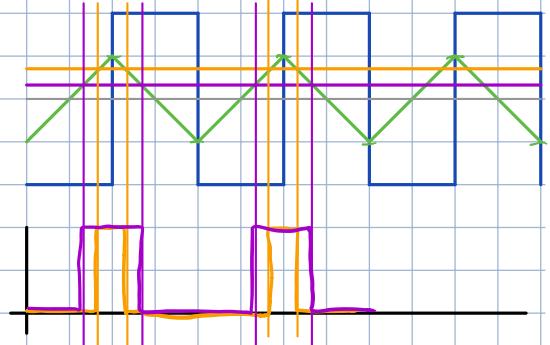
$$R_1 = 10 \text{ k}\Omega \Rightarrow R_2 = 21 \text{ k}\Omega$$

$$U_a = -\frac{1}{RC} \cdot t (-10,5V) = \frac{10,5V}{RC} \cdot t$$

$$\frac{5V}{10,5V \cdot 0,5\mu\text{s}} = \frac{1}{RC}$$

$$RC = \frac{10,5V \cdot 0,5\mu\text{s}}{5V}$$

$$RC = \frac{R_2}{e_1} \cdot \frac{I}{U} = \frac{R_2}{e_1} \cdot \frac{1}{6f}$$

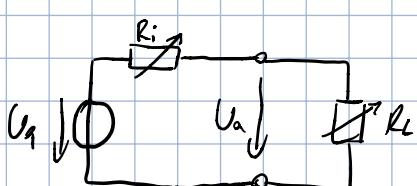
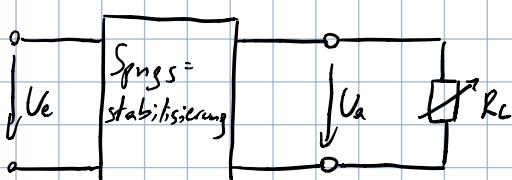


## Spannungsversorgung

Elektronische Schaltungen reagieren teilweise empfindlich auf Betriebsspannungsschwankungen  
 $\Rightarrow$  Stabilisierung gegen:

- Netzspannungsschwankungen
- Laststromschwankungen
- Temperaturschwankungen

$U_a$  unabhängig von der Last sein



$R_L$  wird größer  $\Rightarrow R_i$  regelt sich kleiner als Ausgleich

### Qualitätsmerkmale

- Stabilisierungsfaktor:  $S = \frac{\Delta U_e}{\Delta U_a}$

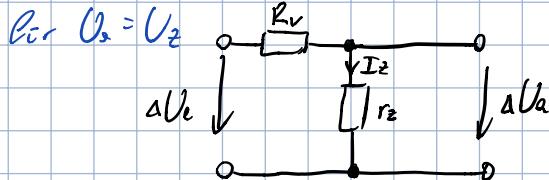
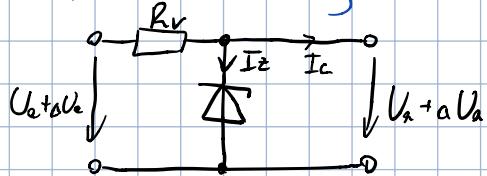
• dynamische Ausgangswiderst.:  $r_a = \frac{dU_a}{dI_a}$

• Temp. Koeffizient:  $T K_U = \frac{1}{U_a} \cdot \frac{dU_a}{dT}$

## Ungeregelte Stabilisierungsschaltung:

### Spannungsstabilisierung mit Z-Diode

Parallelstabilisierung



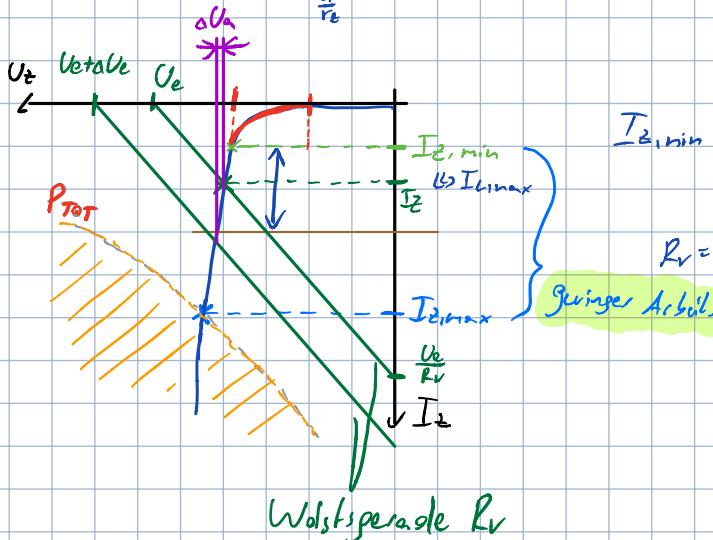
$$\alpha U_e = \alpha I_Z \cdot R_v + \alpha U_z$$

$$\frac{\alpha U_e}{\alpha U_z} = R_v \cdot \underbrace{\frac{\alpha I_Z}{\alpha U_z}}_{= r_z} + 1$$

$$1/\alpha$$

$$= R_v \cdot \frac{1}{r_z} + 1 = \frac{R_v + r_z}{r_z}$$

$r_z$  typ: 2 ... 20 Ω



$$I_{Z,min} = 10\% \cdot I_{Z,max}$$

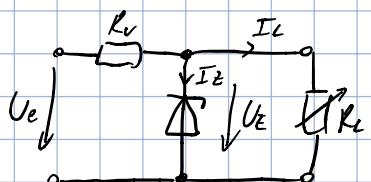
bei  $I_{Z,min}$ : nominale Last  
bei  $I_{Z,max}$ : Leerlauf ( $R_L = \infty$ )

\*Bsp.:  $U_r = 15V \pm 10\%$

$$U_{max} = 16,5V, U_{min} = 13,5V$$

$$Z_D = 6V8 \quad P_{TOT} = 500mW$$

$R_L$  variiert zw.  $\infty$  und 20Ω



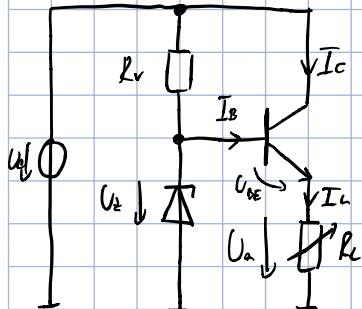
$$I_{Z,max} = \frac{P_{TOT}}{U_z} = \frac{500mW}{6,8V} = 74mA$$

$$I_{Z,min} = 7,4mA$$

$$R_{v,max} = \frac{U_{e,min} - U_r}{I_{Z,min} + I_{L,max}} = \frac{13,5V - 6,8V}{7,4mA + \frac{0,1V}{20\Omega}} = \underline{\underline{161,8\Omega}}$$

$$R_{v,min} = \frac{U_{e,max} - U_r}{I_{Z,max} - I_{L,min}} = \frac{16,5V - 6,8V}{74mA - 0} = \underline{\underline{131,1\Omega}}$$

$R = 150\Omega$



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

$R_L \dots$  Leerlauf  $\Rightarrow I_L = 0$

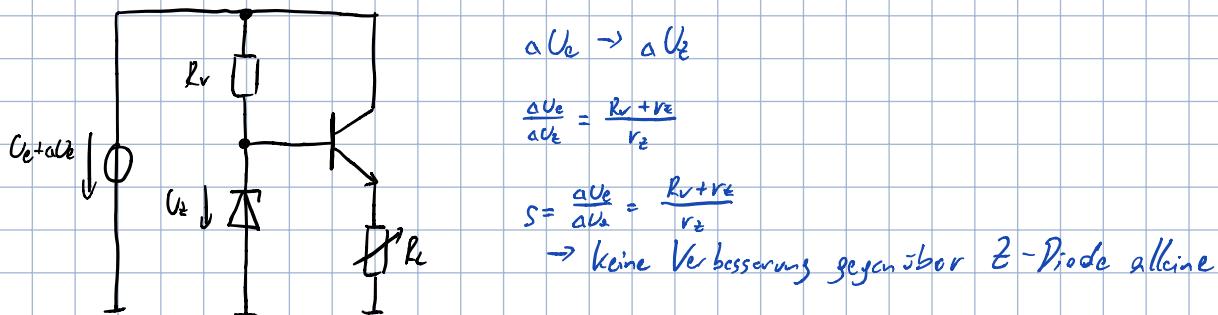
maximaler Laststrom hat Auswirkung auf Z-Diode von Faktor  $\frac{1}{B}$   
Wirkungsgrad ist deutlich besser als Schaltung mit Z-Diode alleine

$$U_a = U_Z - U_{BE}$$

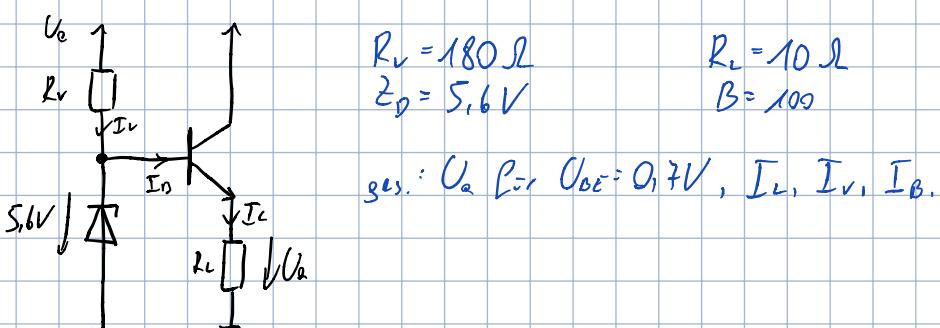
Regelmechanismus:  $R_L \downarrow \Rightarrow U_{a,f}, U_Z \text{ konst.} \Rightarrow U_{BE} \uparrow \Rightarrow I_B \uparrow \Rightarrow I_L \uparrow \Rightarrow U_a \uparrow$

Dimensionierung von  $R_V$  ist ein Lader:  
 •  $I_{Z,\min}$  nicht unterschritten werden  
 •  $I_{Z,\max}$  darf nicht überschritten werden

Einfluss d. Eingangsspannungsänderung:



Bsp.: mit  $U_e = 8 \dots 11V$



$$U_a = U_Z - U_{BE}$$

$$U_a = 5.6V - 0.7V$$

$$U_a = 4.9V$$

$$I_L = \frac{U_a}{R_L} = \frac{4.9V}{10\Omega} = 490mA$$

$$I_B = \frac{I_L}{B} = \frac{490mA}{100} = 4.9mA$$

$$I_{V,\min} = \frac{U_{\min} - U_Z}{R_V} = \frac{8V - 5.6V}{180\Omega} = 13.3mA$$

$$I_{V,\max} = \frac{U_{\max} - U_Z}{R_V} = \frac{11V - 5.6V}{180\Omega} = 30mA$$

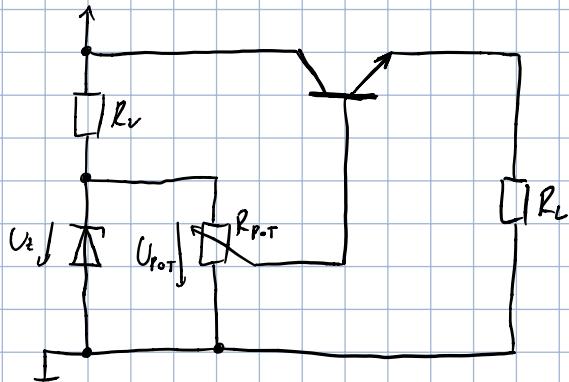
$$I_{Z,\max} = I_{V,\max} - I_B = 25.1mA$$

$$I_{Z,\min} = I_{V,\min} - I_B = 8.4mA$$

$$S = \frac{\Delta U_a}{\Delta U_e} = \frac{R_V + r_e}{r_e} = \frac{180 + 10}{10} = 19$$

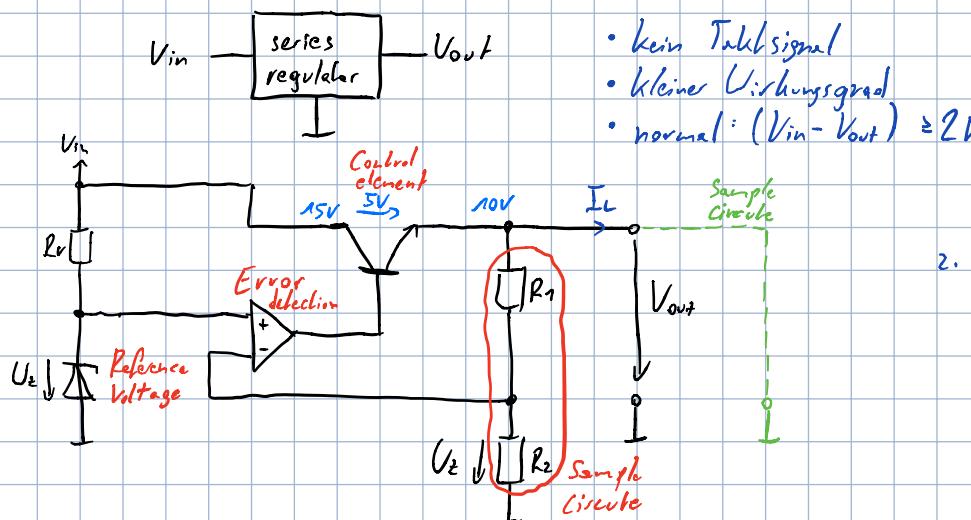
$$\Delta U_a \text{ bei } \Delta U_e \text{ von } 3V: \Delta U_a = \frac{\Delta U_e}{19} = \frac{3V}{19} = 0.16V$$

## Einstellbare Ausgangsspannung



## Geregelte Stabilisierungsschaltung

### Längsregler

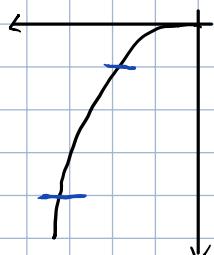


$$\begin{aligned} \text{z. B.: } U_E &= 15V \\ U_E &= 5V \\ V_{out} &= 10V \\ I_2 &= 10mA \end{aligned}$$

$$V_{out} = \frac{U_E}{R_1 + R_2} \cdot (R_1 + R_2)$$

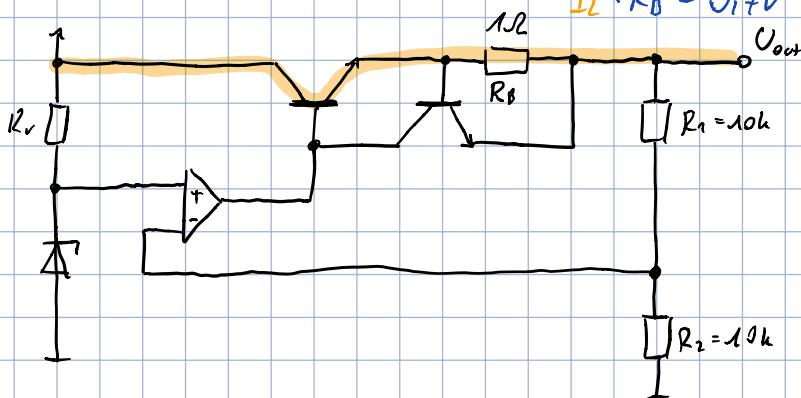
$$R_v = \frac{15V - 5V}{10mA} = 1k\Omega$$

Nachteil: am Transistor wird die Leistung  $I_L \cdot (V_{in} - V_{out})$  verbraucht  
 $\Rightarrow$  Kühlung wird vermutlich benötigt



Längs- oder Linearregler haben kleine Brummsignale, aber große Verlustleistungen

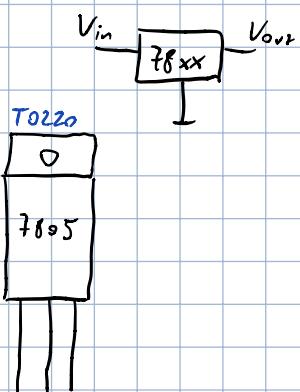
## Längsregler mit Strombegrenzung



$$U_{DE} = 0,7V$$

$$I_{L\max} = \frac{0,7V}{R_D} = 700mA$$

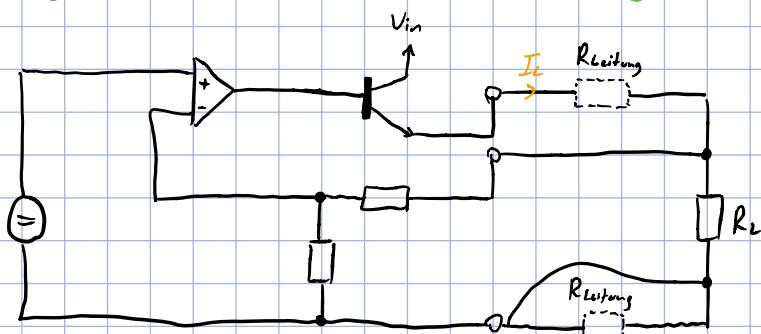
## Integrierte Spannungsregler:



$V_{in}$   $\rightarrow$  05, 06, 08, 09, ..., 12, 15, 20, 24  
Ausgangsspannung

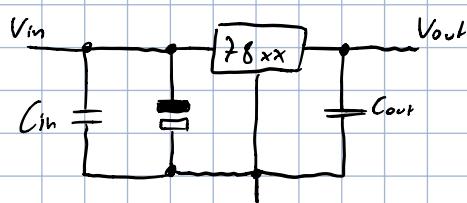
7805: Festspannungsregler für  $V_{out} = 5V$

Es gibt auch Sprungsregler mit Sensoreingang



$$\begin{aligned} 2. B.: & I_c = 5A \\ & R_L = 10m\Omega \\ & \Delta U \approx 50mV \\ & \Delta U \approx 100mV \end{aligned}$$

## Typical Application

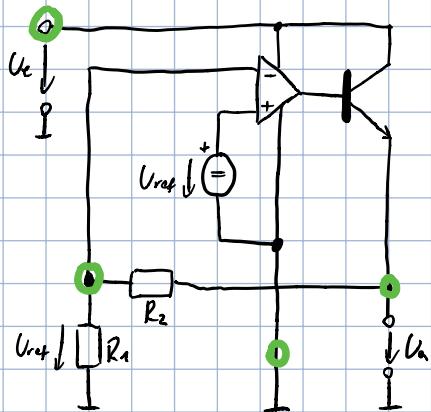


$C_{in}, C_{out} \dots 100nF$  Keramik  
Puffer  $10\mu F$  am Eingang

$n \approx 4kHz$  ohne Kondensatoren

Nachteil: schlechter Wirkungsgrad, große Verlustleistung  
 $\Rightarrow$  gro. Be Wärmeentwicklung  $U_e \approx 2V + U_a$   
 $P_V = \Delta U \cdot I_L$

## Spannungsregler mit einstellbarer Ausgangsspannung



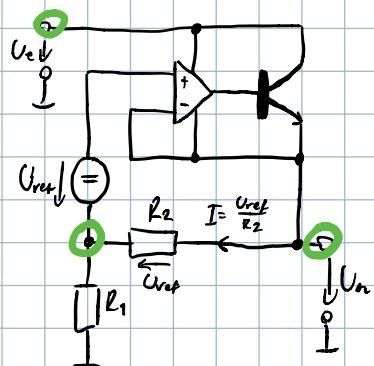
$$U_o = \left(1 + \frac{R_2}{R_1}\right) \cdot U_{ref}$$

Bsp.: 78L Serie

$$U_{ref} = 5V$$

○ ... 4 Anschlüsse

## LM317

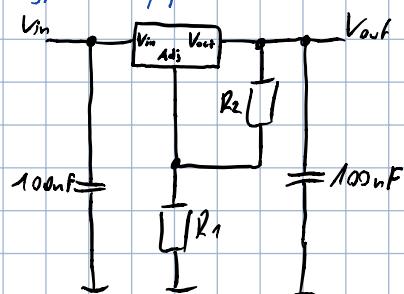


3 Anschlüsse:  $V_{in}$ ,  $Adj$ ,  $V_{out}$

$$U_o = \left(1 + \frac{R_2}{R_1}\right) \cdot U_{ref}$$

$$U_{ref} = 1.25V$$

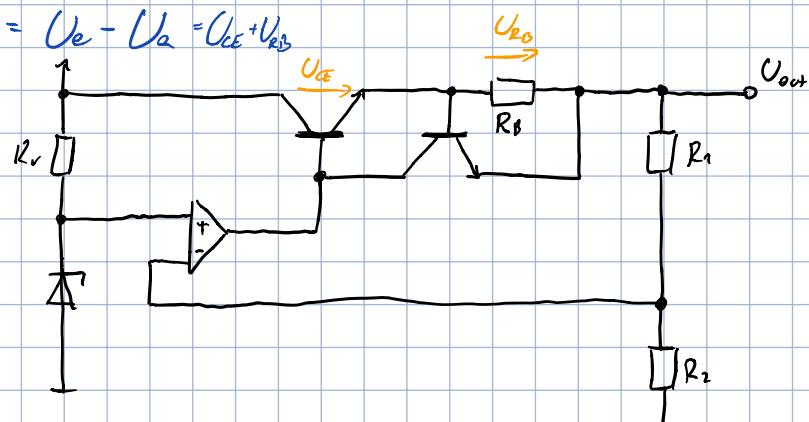
typical Application



## Drop out Voltage

$$U_{dropout} = U_e - U_a = U_{ce} + U_{cb}$$

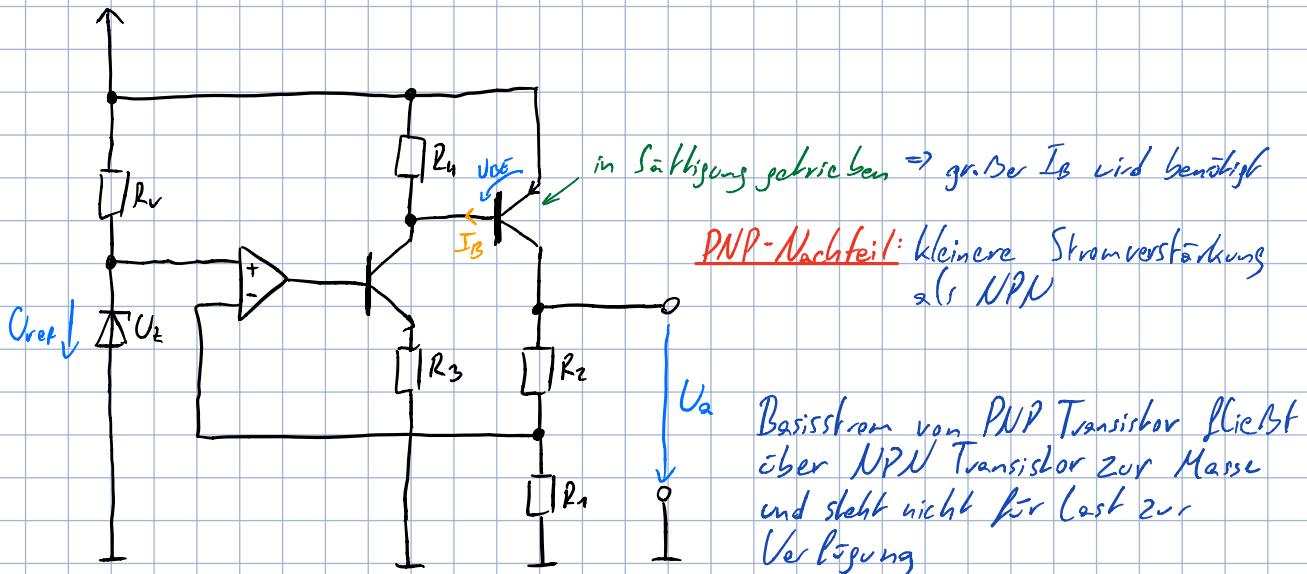
z.B.:



$U_{dropout} \approx 2 \text{ bis } 2.5V$  störend bei geringer Ausgangsspannung

!  $P_v \approx P_{nute}$  !  $\Rightarrow$  Kühlkörper; Wärme muss abgeführt werden

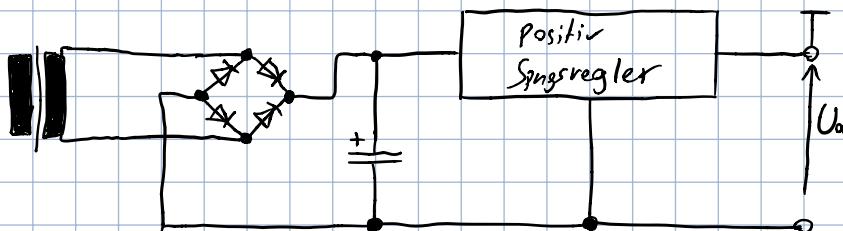
→ Drop out Voltage reduzieren: Low Drop out voltage Spannungsregler (LDO)



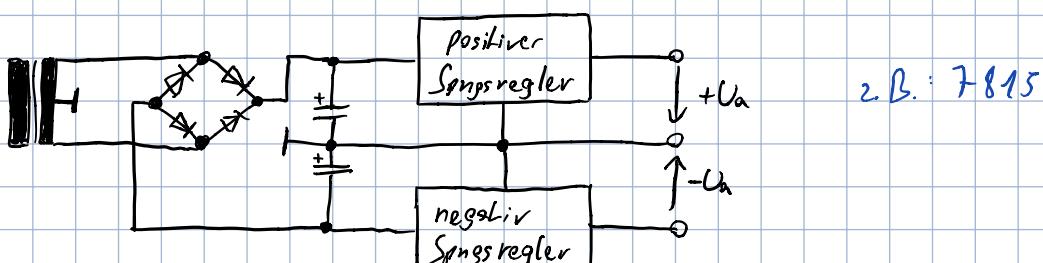
Nachteil: PNP Transistor schlecht integrierbar  $\rightarrow$  Anschlüsse nach Außen PNP extern anschließen oder P-Kanal Leistungs-MOSFET verwenden.

### Spannungsregler für negative Spannungen

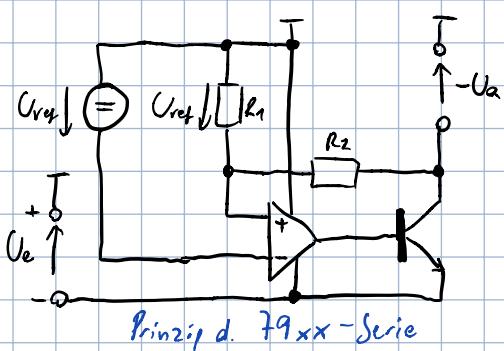
Grundsätzlich kann man diese gezeigten Schaltungen auch zur Erzeugung negativer Spannungen nutzen (aber nur, wenn erdfreier Eingangsspannung zur Verfügung steht).



Wenn ich eine positive und eine negative Spng erzeugen will benötige ich einen Spannungsregler für neg. Spannen und kann mir zerosymmetrische Spng erzeugen



Bei negativ-Spannungsreglern wird der Leistungstransistor in Einheitsschaltung betrieben, die Schaltung entspricht der eines Spannungsreglers mit Low Drop Out. ngn... leicht integrierbar  $\Rightarrow$  kleinere Drop Out Spng als positive Spannungsregler.



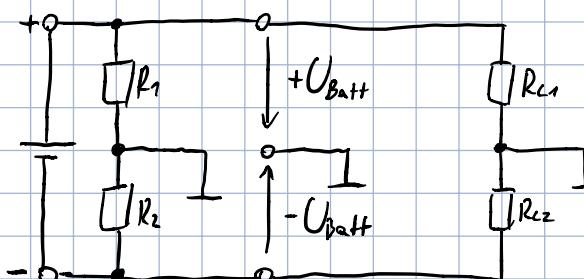
78xx - Serie: positiver Vreg

79xx - Serie: negativer Vreg

### Symmetrische Aufteilung einer erdfreien Spannung

Batteriebetriebene Geräte: • 2 erdsymmetrische Spulen

Einfach: Spulensteiler



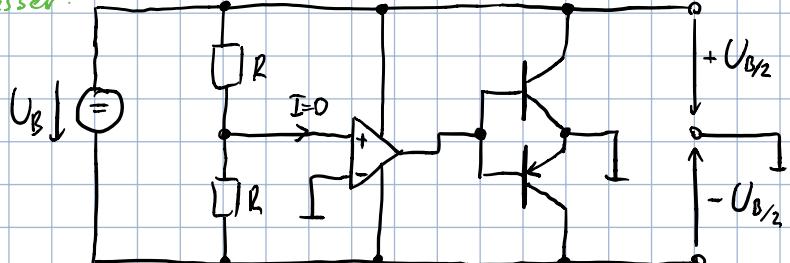
$$\text{z.B.: } R_1 = 100\text{ k}\Omega$$

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

Wenn  $R_{12} \neq R_{21}$ : Massenverschub

↪  $R_1$  und  $R_2$  sehr niedrig (Problem: hoher Strom)

Besser:



## Querregler (Parallel, shunt voltage regulator)

