



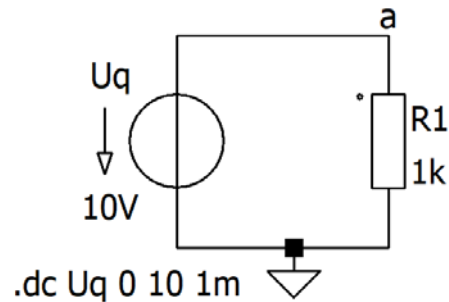
Kennlinie einer Glühlampe (PTC)

1) Schaltung zeichnen:

- a) Bauelemente (DIN) platzieren:
 [...] volt_Pfeil_Ose für $U_q = 10\text{ V}$
 [...] EuroRes_Ose für $R_1 = 1\text{ k}\Omega$

b) Ground setzen 

c) Elemente verbinden 



Auf die Quelle U_q wirkt ein DC-Sweep $0 \leq U_q \leq 10\text{ V}$. Der Widerstand R_1 schließt lediglich den Stromkreis. Sein Wert $R_1 = 1\text{ k}\Omega$ ist nicht von Bedeutung. Der Strom der Glühlampe wird gemäß Gleich. (2.3) als Analysefunktion eingegeben.

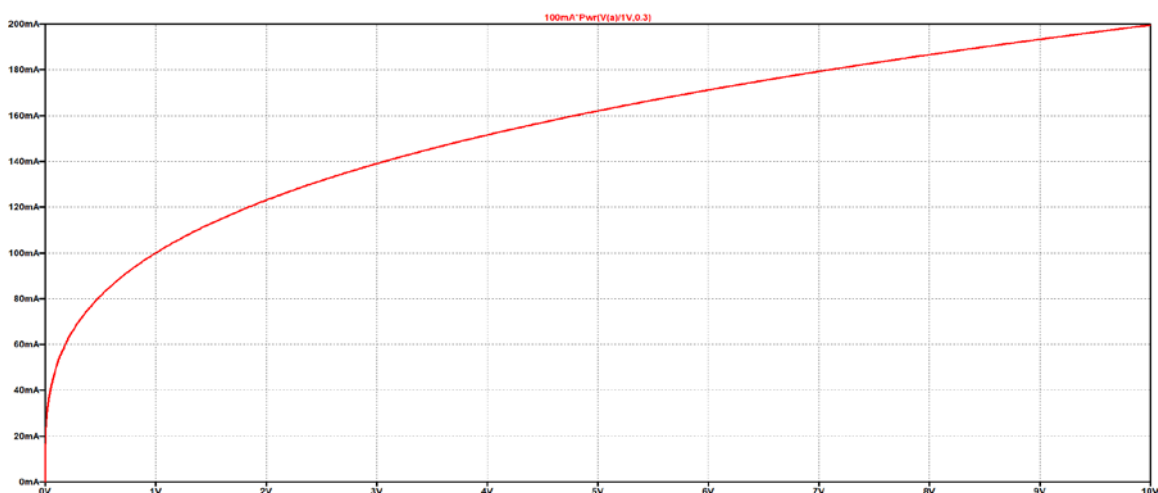
$$I = I_{\text{Bezug}} \cdot \left| \frac{U}{U_{\text{Bezug}}} \right|^y$$

2) Analyseart einstellen:

- Analyse > DC < unter *Simulation* → *Edit Simulation Cmd* auswählen und **.dc** platzieren.

3) Simulation starten: (über > Add Traces < oder > Select Visible Waveforms <)

- Funktion eingeben: `100mA*Pwr(V(a)/1V,0.3)`



Im vorliegenden Fall hat die Kennlinie eine Steigung von 30% ($y = 0,3$). Bei der Bezugsspannung von $U_{\text{Bezug}} = 1\text{ V}$ fließt der Bezugsstrom $I_{\text{Bezug}} = 100\text{ mA}$.

Link auf [LB 2.1](#)


Temperaturabhängigkeit Kupfer


1) Schaltung zeichnen:

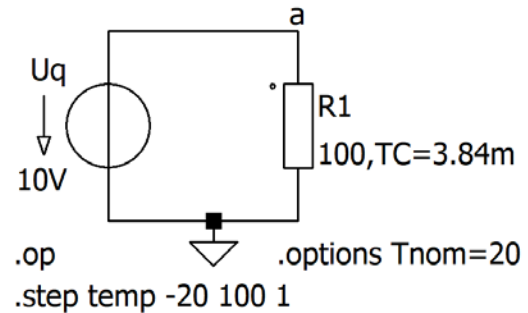
a) Bauelemente (DIN) platzieren:

[...] volt_Pfeil_Ose für $U_q = 10\text{ V}$

[...] EuroRes_Ose für R1
 mit $R_1 = 100, TC=3.84\text{m}$

b) Ground setzen 


c) Elemente verbinden 



Auf den Widerstand R1 wirkt ein Temperatur-Sweep mit $-20^\circ\text{C} \leq \vartheta \leq +100^\circ\text{C}$. Dazu muss für den Widerstand R1 der aktuelle Temperaturkoeffizient (Cu: $3,84\text{ mK}^{-1}$) eingegeben werden. Die Bezugstemperatur (Default = 27°C bzw. 300 K) wird mit 20°C festgelegt ($T_{\text{nom}}=20$). Dann gilt (2.6):

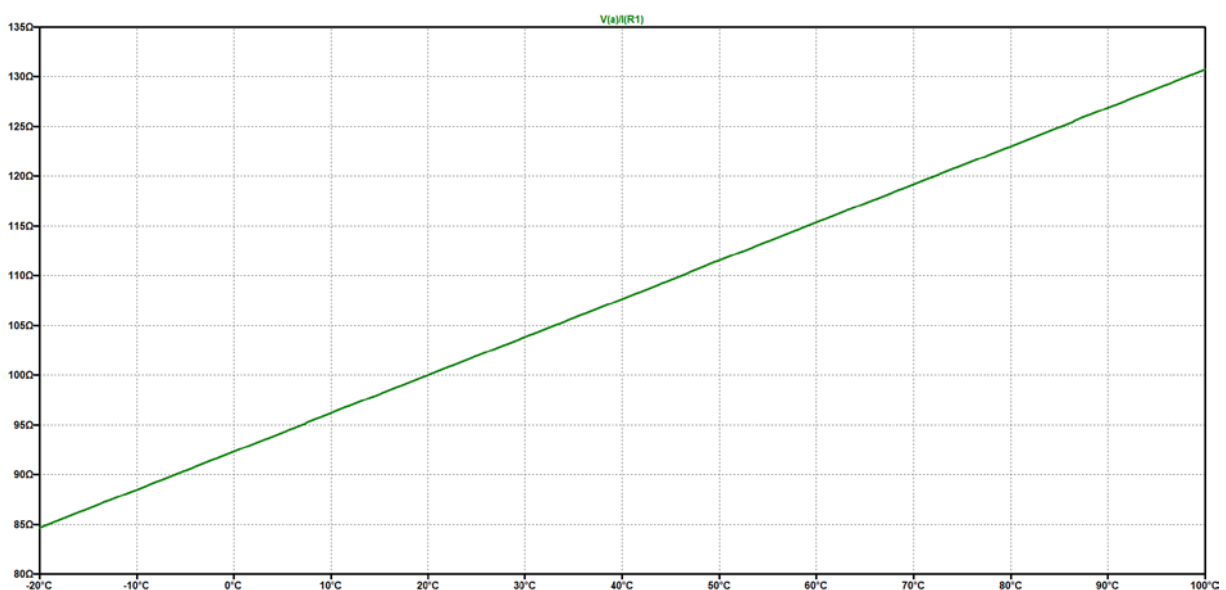
$$R_{T_x} \approx R_{20} \cdot (1 + TK_R \cdot \Delta T)$$

2) Analyseart einstellen:

- Kommando **.step temp -20 100 1** im Texteditor  eingeben und platzieren.
- Analyse > DC op pnt < unter *Simulation* → *Edit Simulation Cmd* auswählen und **.op** platzieren.

3) Simulation starten: (über > Add Traces < oder > Select Visible Waveforms <)

- Funktion eingeben: $V(a)/I(R1)$



Im vorliegenden Fall besitzt der Widerstand bei einer Temperatur von 20°C den Wert $R_1 = 100\ \Omega$.



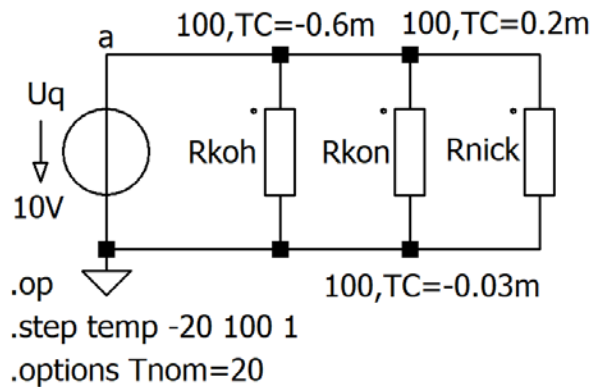
Temperaturverhalten von Widerstandswerkstoffen

1) Schaltung zeichnen:

a) Bauelemente (DIN) platzieren:

[...] volt_Pfeil_Ose für $U_q = 10\text{ V}$
 [...] EuroRes_Ose für R_x
 mit $R_{koh} = 100, TC = -0.6\text{m}$
 mit $R_{kon} = 100, TC = -0.03\text{m}$
 mit $R_{nick} = 100, TC = 0.2\text{m}$


b) Ground setzen c) Elemente verbinden

Auf die Widerstände R_x wirkt ein Temperatur-Sweep mit $-20^\circ\text{C} \leq \vartheta \leq +100^\circ\text{C}$. Dazu muss für jeden Widerstand der aktuelle Temperaturkoeffizient (z.B. Konstantan: $-0,03\text{ mK}^{-1}$) eingegeben werden. Die Bezugstemperatur wird wieder mit 20°C festgelegt ($T_{nom}=20$). Dann gilt Gleich. (2.6):

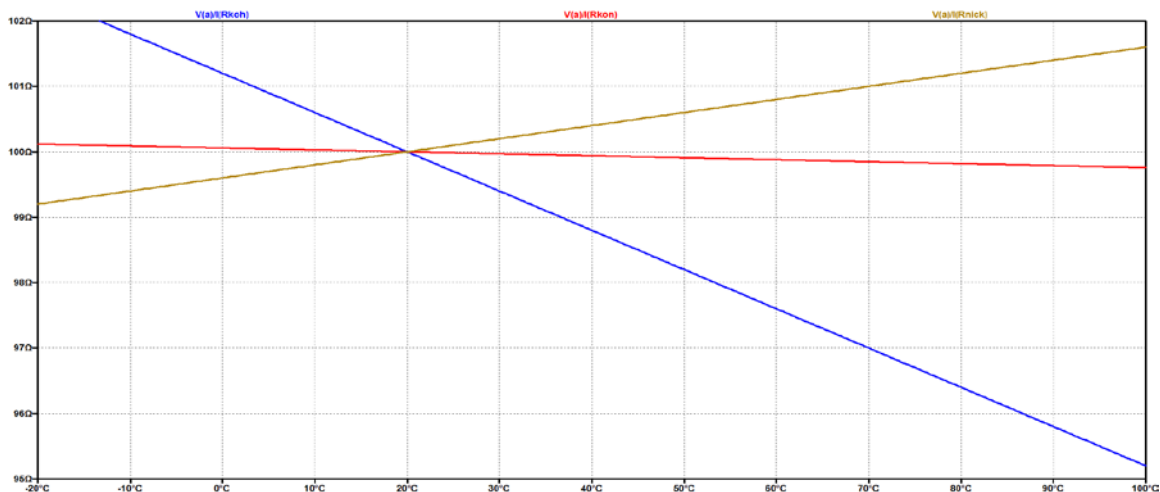
$$R_{Tx} \approx R_{20} \cdot (1 + TK_R \cdot \Delta T)$$

2) Analyseart einstellen:

- Kommando **.step temp -20 100 1** im Texteditor  eingeben und platzieren.
- Analyse > DC op pnt < unter *Simulation* → *Edit Simulation Cmd* auswählen und **.op** platzieren..

3) Simulation starten: (über > Add Traces < oder > Select Visible Waveforms <)

- Funktionen eingeben: $V(a)/I(R_{koh})$ $V(a)/I(R_{kon})$ $V(a)/I(R_{nick})$



Im vorliegenden Fall schneiden sich alle Kennlinien bei einer Temperatur von 20°C mit einem Wert von $R_x = 100\ \Omega$.

Link auf [LB 2.3](#)

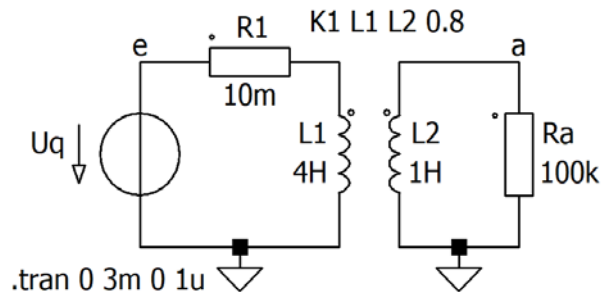
Transformator

1) Schaltung zeichnen:

a) Bauelemente (DIN) platzieren:

- [...] volt_Pfeil_Ose für $U_q = 12.5 \text{ V}$
- [...] EuroRes_Ose für R1 und Ra
- [...] Ind_Ose für L1 und L2

b) Ground setzen c) Elemente verbinden



Die Zeitfunktionen der Primär- und der Sekundärspannung sollen dargestellt werden. Dazu ist zunächst der Kopplungsfaktor zwischen L_1 und L_2 festzulegen:

Edit Text → SPICE directive: K1 L1 L2 0.8

Damit sind die beide Induktivitäten über den Faktor $k = 0,8$ miteinander verkoppelt.

2) Analyseart einstellen:

- Analyse > Transient < unter Simulation → Edit Simulation Cmd auswählen und .tran platzieren.
 Der Sweep läuft über drei Perioden ($t_{\max} = 3 \text{ ms}$ bei $f = 1 \text{ kHz}$).

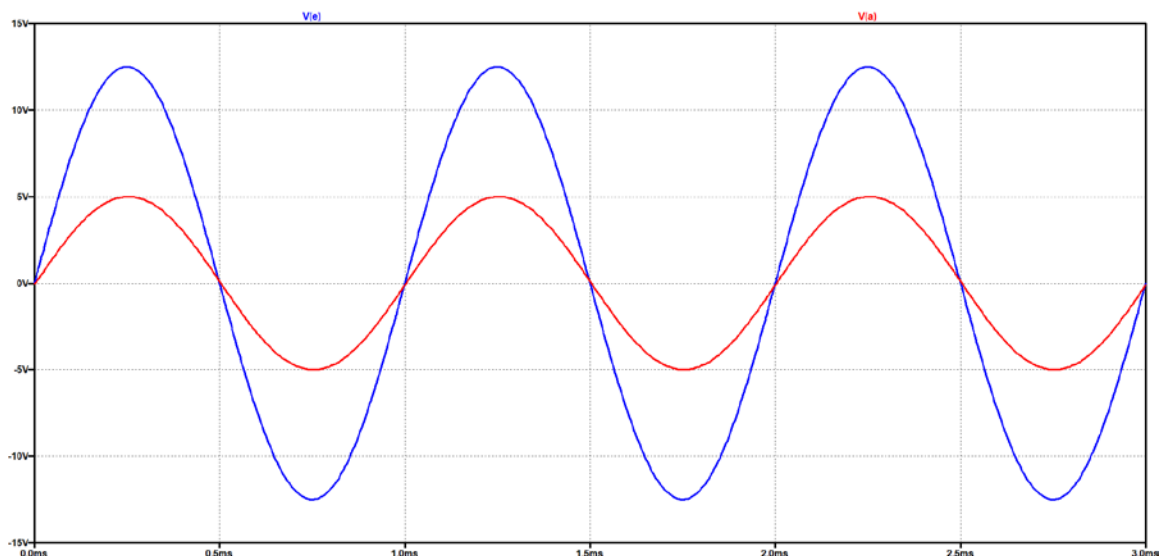
3) Simulation starten:



(über > Add Traces < oder > Select Visible Waveforms <)



- Funktionen eingeben: V(e) und V(a)



Link auf [K 2.2.3](#)

Kennlinie Heißeiter (NTC)

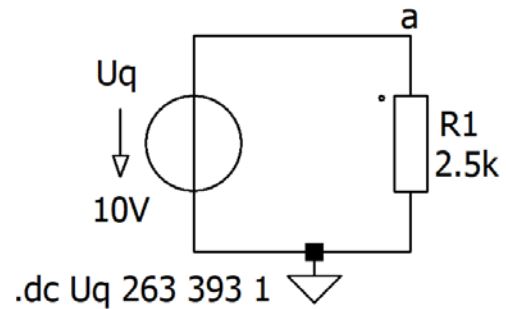
1) Schaltung zeichnen:

a) Bauelemente platzieren:

[...] volt_Pfeil_Ose für Uq = (10V)

[...] EuroRes_Ose für R1 = 2.5k

b) Ground setzen c) Elemente verbinden



Die Kennlinie des Heißeiter wird nach Vorbild des Lehrbeispiels 2.8 simuliert. Dann gilt die Berechnungsvorschrift der Gleich. (2.24) mit den in diesem Lehrbeispiel berechneten Konstanten:

$$R_{-} = a \cdot e^{\frac{b}{T}}$$

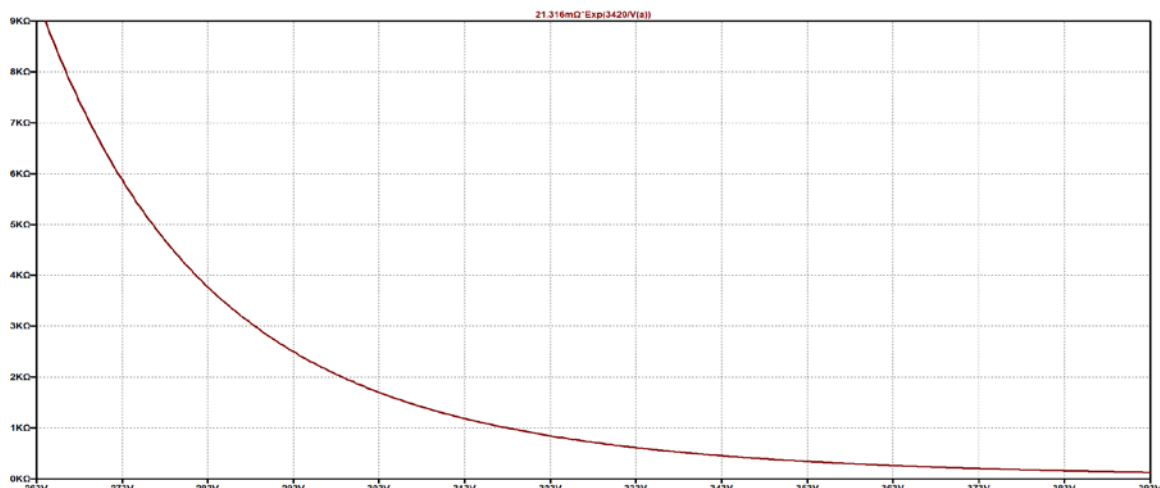
Da LTSPICE keinen direkten Temperatur-Sweep (wie MICROCAP unter der Analyse DC) kennt, verwenden wir hier die Quelle Uq als „Temperaturquelle“. Die Temperatur (Name: Uq) wird mit einem DC-Sweep im Bereich von 263 K bis 393 K variiert (1 V entspricht 1 K).

2) Analyseart einstellen:

- Analyse > DC < unter *Simulation* → *Edit Simulation Cmd* auswählen und **.dc** platzieren.

3) Simulation starten: (über > Add Traces < oder > Select Visible Waveforms <)

- Funktion für R bei y eingeben: 21.316mohm*Exp(3420/V(a))



Die x-Achse (siehe Sweep: in V) ist jetzt wie folgt zu interpretieren:
 1 V entspricht 1 K.

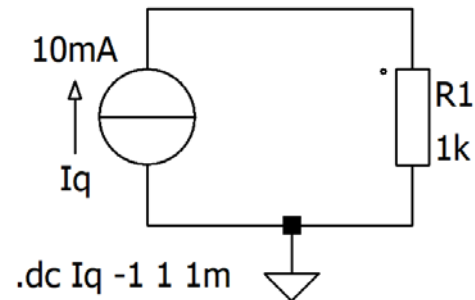
Temp / K →

Link auf [LB 2.8](#)

Kennlinie eines Varistors

1) Schaltung zeichnen:

- a) Bauelemente platzieren:
 [...] current_Ose für $I_q = 10 \text{ mA}$
 [...] EuroRes_Ose für R1
 b) Ground setzen c) Elemente verbinden



Die Kennlinie wird über Gleich. (2.26) ermittelt.

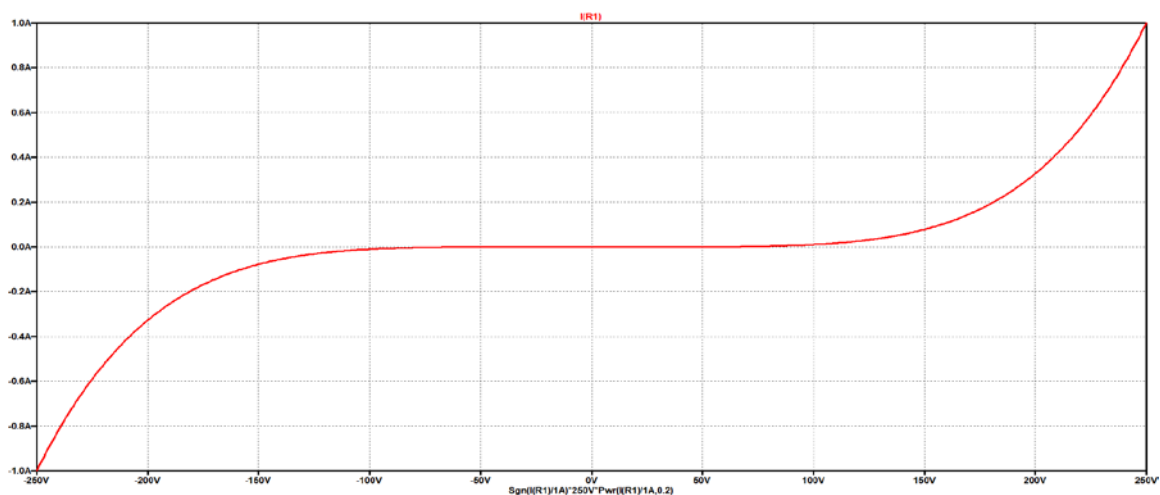
$$U = C \cdot \{I\}^\beta$$

2) Analyseart einstellen:

- Analyse > DC < unter *Simulation* → *Edit Simulation Cmd* auswählen und **.dc** platzieren.
 Der DC-Sweep der Stromquelle läuft von -1 A bis $+1 \text{ A}$.

3) Simulation starten: (über > Add Traces < oder > Select Visible Waveforms <)

- Simulation für $I(R1)$ formal starten (Gerade !!!)
- Funktion für U unter „Horizontal Axis“ eingeben: $\text{Sgn}(I(R1)/1A)*250V*\text{Pwr}(I(R1)/1A,0.2)$



Horizontal Axis:

Cursor auf x -Achse und anklicken.

Der Strom erreicht bei $U_{VDR} = 250 \text{ V}$ den Wert von $I = 1 \text{ A}$.

Link auf [LB 2.9](#)

Kennlinie eines Fotowiderstandes



1) Schaltung zeichnen:

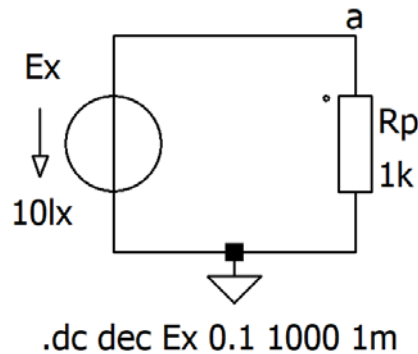
a) Bauelemente platzieren:

[...] volt_Pfeil_Ose für Ex

[...] EuroRes_Ose für Rp

b) Ground setzen c) Elemente verbinden



Die Quelle E_x bildet die Beleuchtungsstärke nach. Für den Widerstand R_p gilt Gleich. (2.28):

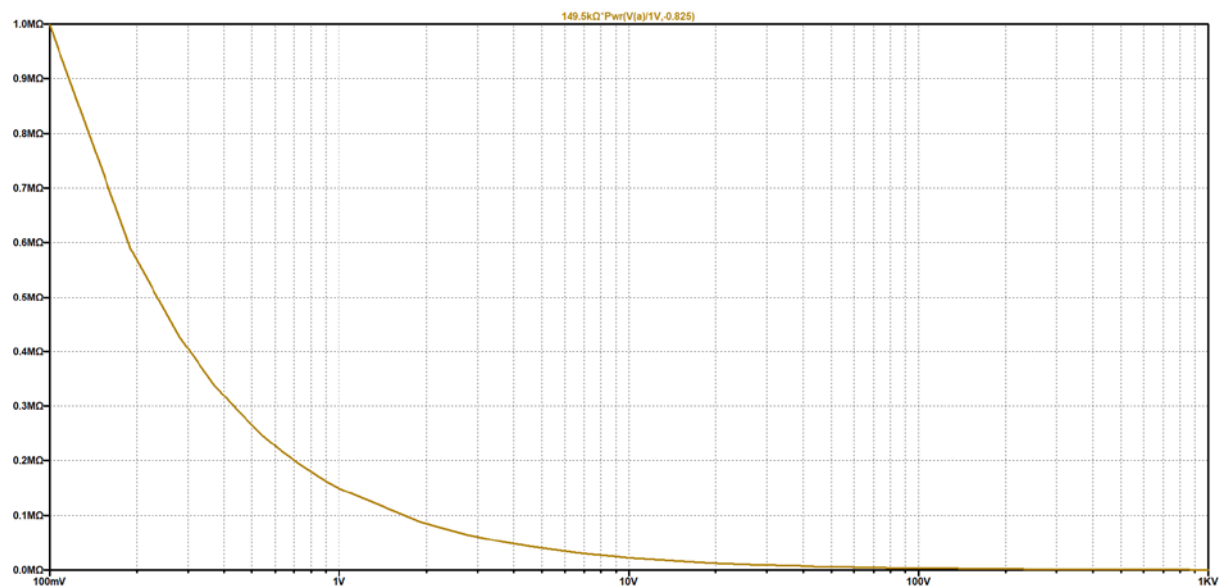
$$R_{px} = R_{pH} \cdot \left(\frac{E_{vx}}{1 \text{ lx}} \right)^{-\gamma}$$

2) Analyseart einstellen:

- Analyse > DC < unter *Simulation* → *Edit Simulation Cmd* auswählen und **.dc** platzieren.
 Der DC-Sweep läuft von 0,1 lx bis 1000 lx (Decade).

3) Simulation starten: (über > Add Traces < oder > Select Visible Waveforms <)

- Funktion für R_p bei y eingeben: 149.5kohm*Pwr(V(a)/1V,-0.825)



Die x-Achse ist jetzt (siehe Sweep) wie folgt zu interpretieren: E / lx →

In einer doppelt-logarithmischen Darstellung ist diese Kennlinie eine Gerade.

Link auf [LB 2.10](#)

Kennlinie einer Feldplatte

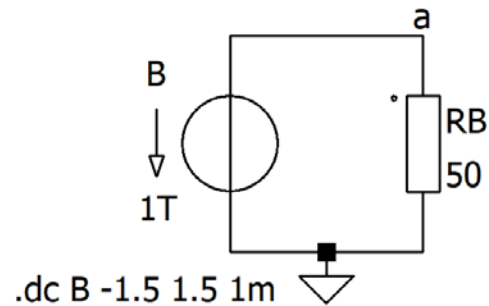
1) Schaltung zeichnen:

a) Bauelemente platzieren:

[...] volt_Pfeil_Ose für B

[...] EuroRes_Ose für RB

b) Ground setzen c) Elemente verbinden



Die Quelle B bildet die auf die Feldplatte einwirkende magnetische Flussdichte nach. Für den Widerstand R_B gilt Gleich. (2.29):

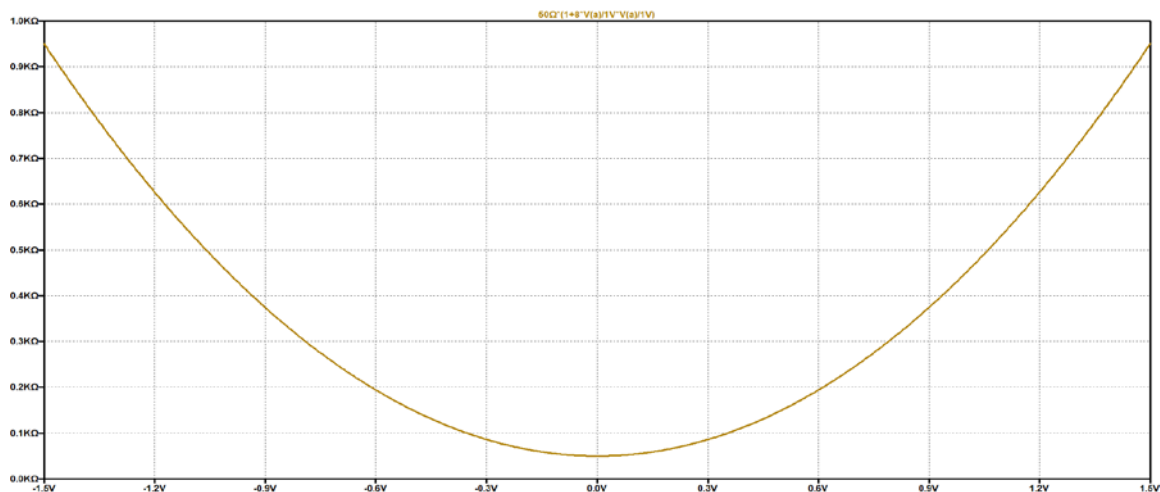
$$R_B \approx R_0 (1 + 8 B^2)$$

2) Analyseart einstellen:

- Analyse > DC < unter *Simulation* → *Edit Simulation Cmd* auswählen und **.dc** platzieren.
 Der DC-Sweep läuft von $-1,5 \text{ T}$ bis $+1,5 \text{ T}$ (linear).

3) Simulation starten: (über > Add Traces < oder > Select Visible Waveforms <)

- Funktion für R_B bei y eingeben: $50\text{ohm}*(1+8*\text{V(a)}/1\text{V}*\text{V(a)}/1\text{V})$



Die x-Achse ist jetzt (siehe Sweep) wie folgt zu interpretieren:

$B / \text{T} \longrightarrow$

Link auf [LB 2.11](#)