Ergänzungen zum Praktikum *Grundlagen der Elektrotechnik 2*

Prof. Dr.-Ing. Andreas Meisel

1. Darstellung von Messergebnissen und Funktionen

1.1 Grundregeln bei der grafischen Darstellung von Messergebnissen

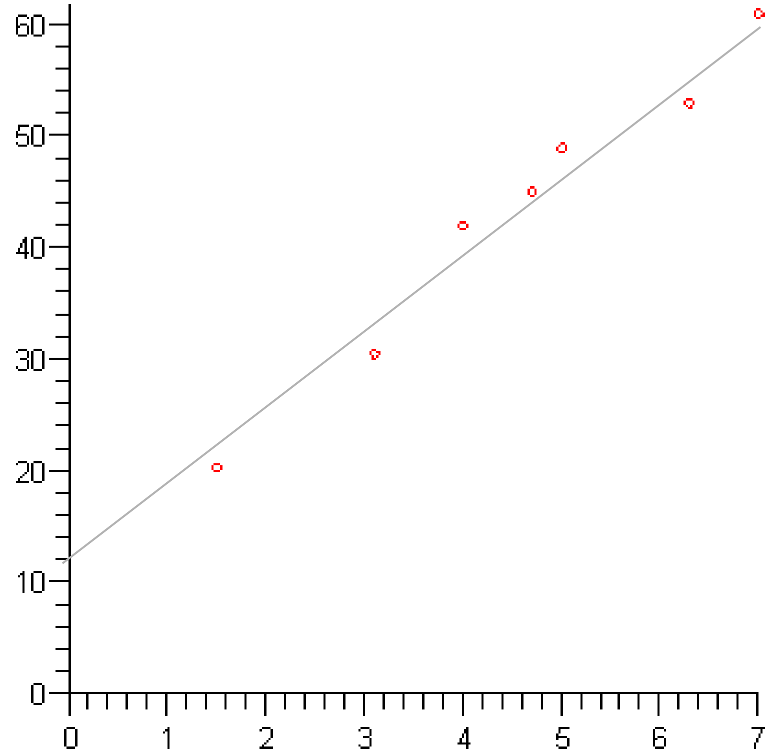
- Diagrammbereich gut ausnutzen
- funktionelle Zusammenhänge bestmöglich sichtbar machen
- Messwerte näherungsweise äquidistant verteilen

1.2 Achsenteilungen

*1.2.1 Wann ist eine **Lineare Achsenteilung** sinnvoll ?*

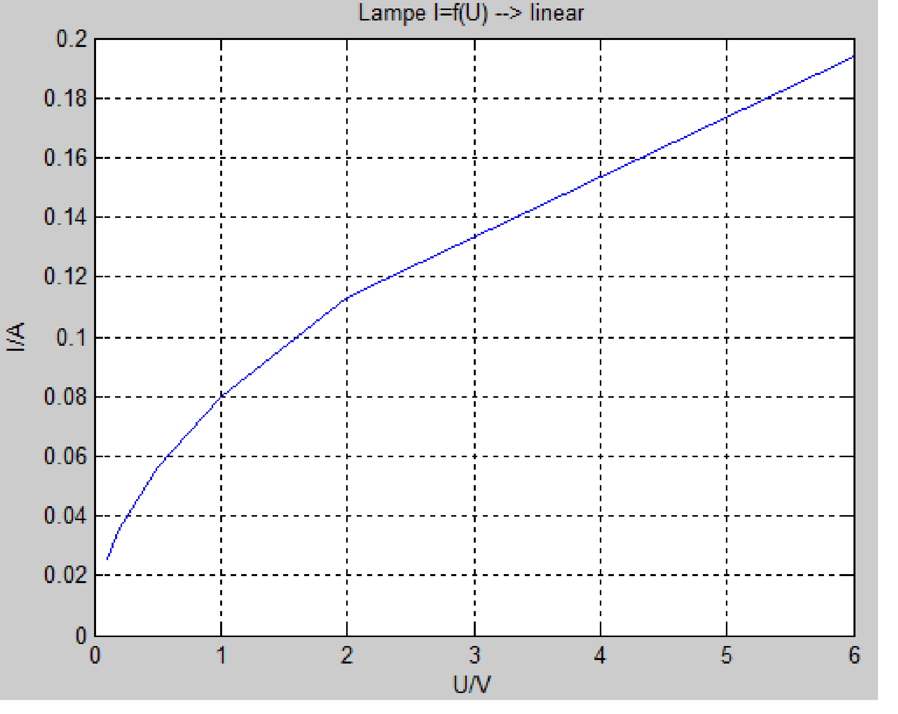
- Messwerte sind in x- und y-Richtung mehr oder weniger gleichverteilt.
- Es wird eine über den gesamten Darstellungsbereich konstante **absolute** Darstellungsunsicherheit gewünscht.
- Der funktionelle Zusammenhang ist eine Gerade.

  Abweichungen davon sind mit dem bloßen Auge erkennbar.



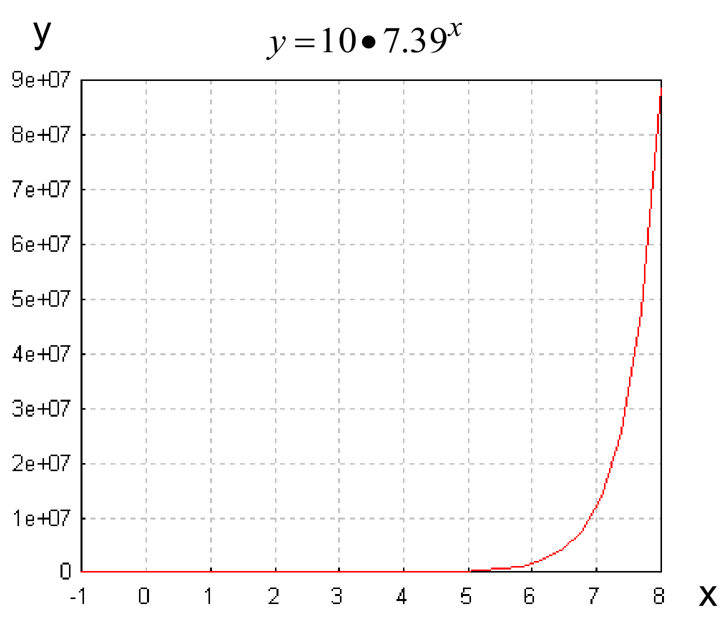
Beispiel: Lineare Skalenteilung mit MATLAB

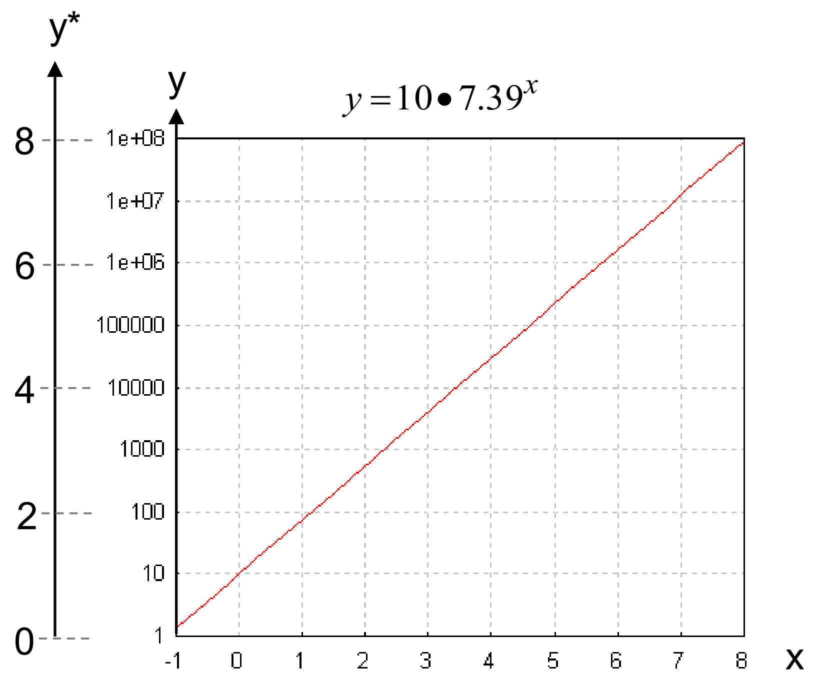
```
U=[ 0.1   0.2   0.5   1.0   2.0   6.0];
I=[25.2  35.8  56.6  80.0  113.2  194] * 10^-3;

% lineare Darstellung
h1=figure;
plot(U, I);
axis([0 6 0 0.2]);
xlabel('U/V');
ylabel('I/A');
title('Lampe I=f(U) --> linear');
grid on;
```



*1.2.2 Wann ist eine **Halblogarithmische Achsenteilung** (y-Achse) sinnvoll ?*

- Die y-Werte umfassen einen Bereich von mehr als 3 Zehnerpotenzen.
- Dabei wird eine über den gesamten y-Bereich <u>konstante **relative** Darstellungsunsicherheit</u> gewünscht.
- Der funktionelle Zusammenhang ist vom Typ: $\boxed{y(x) = a \cdot b^x}$
  Vorteil: Die Funktion wird als Gerade dargestellt





Warum erscheint die Funktion in der halblog. Darstellung als Gerade ?

Gegeben sei die Funktion: $y = a \cdot b^x$

Logarithmieren der Funktion ergibt: $\log(y) = \log(a) + x \cdot \log(b)$

Logarithmierte Größen zur Abkürzung mit Stern kennzeichnen: $y^* = a^* + b^* \cdot x$

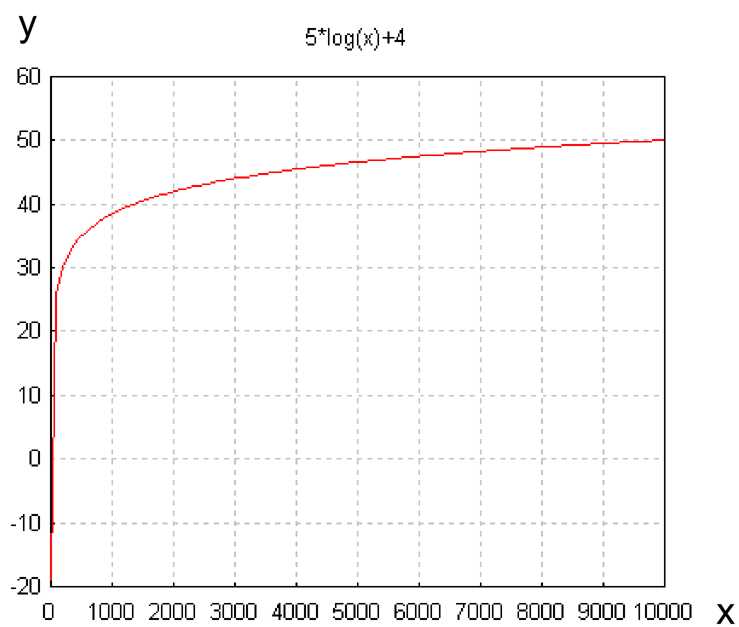
Die logarithmierte Funktion ist eine Gerade

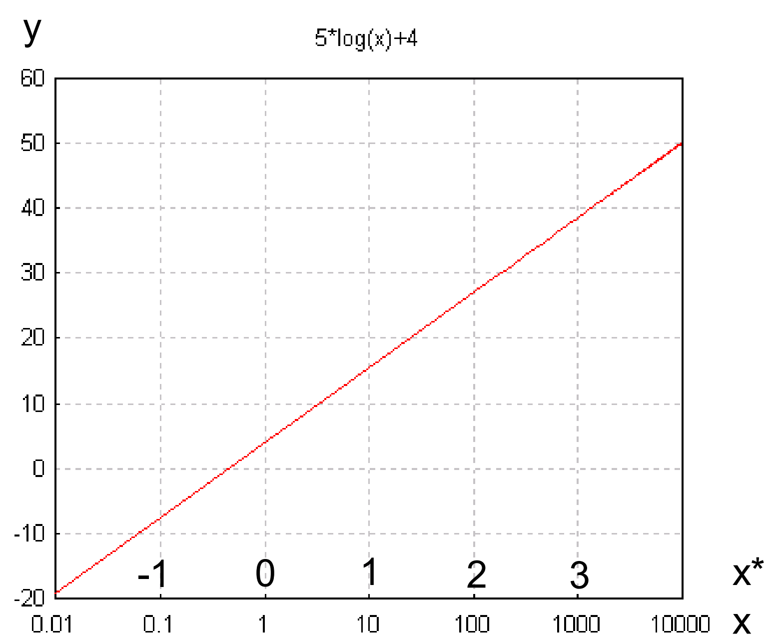
- mit der Steigung $b^* = \dfrac{\Delta y^*}{\Delta x}$

- und dem *y**-Achsenabschnitt $y^*(x=0) = a^*$

*1.2.3 Wann ist eine **Halblogarithmische Achsenteilung** (x-Achse) sinnvoll ?*

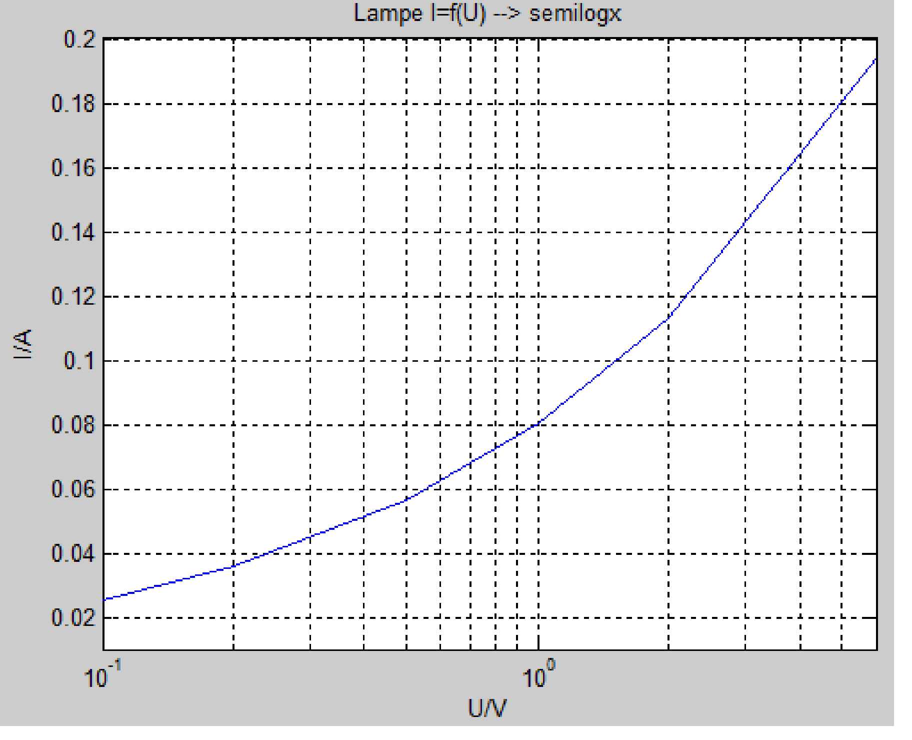
- Die X-Werte umfassen einen Bereich von mehr als 3 Zehnerpotenzen.
- Dabei wird eine über den gesamten x-Bereich konstante **relative** Darstellungsunsicherheit gewünscht.
- Der funktionelle Zusammenhang ist vom Typ: $\boxed{y(x) = a \cdot \log_n(x) + b}$
  Vorteil: Die Funktion wird als Gerade dargestellt.





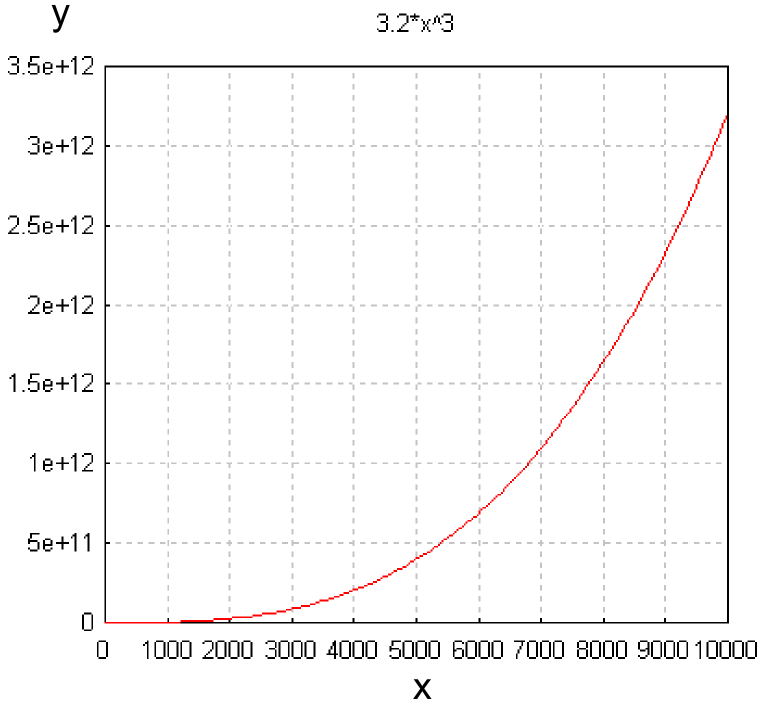
Beispiel: Halb-logarithmische Skalenteilung (in x-Richtung) mit MATLAB

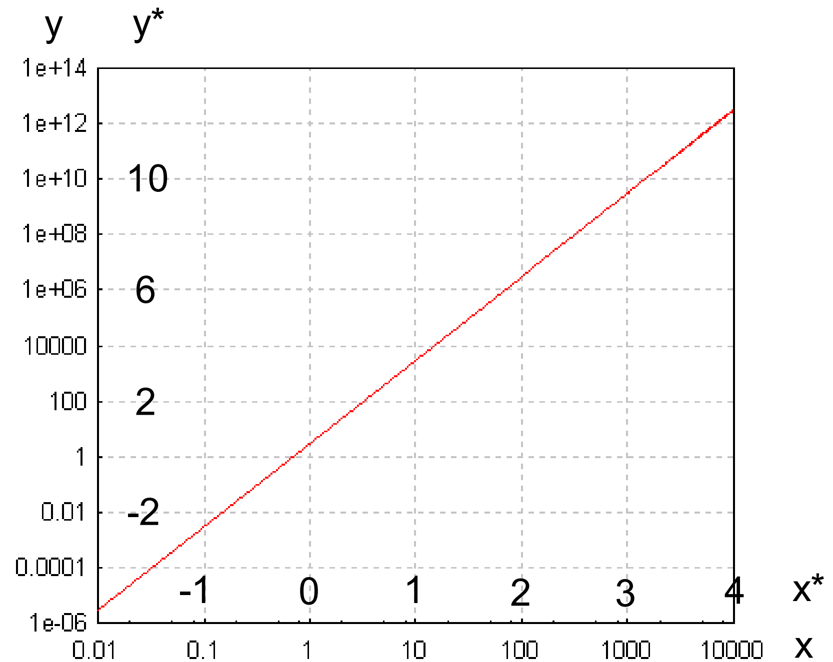
```
U=[ 0.1   0.2   0.5   1.0   2.0   6.0];
I=[25.2  35.8  56.6  80.0  113.2  194] * 10^-3;

% halblogarithmische Darstellung
h3=figure;
semilogx(U, I);
axis([0.1 6 0.01 0.2]);
xlabel('U/V');
ylabel('I/A');
title('Lampe I=f(U) --> semilogx');
grid on;
```



*1.2.4 Wann ist eine **doppeltlogarithmische Achsenteilung** sinnvoll ?*

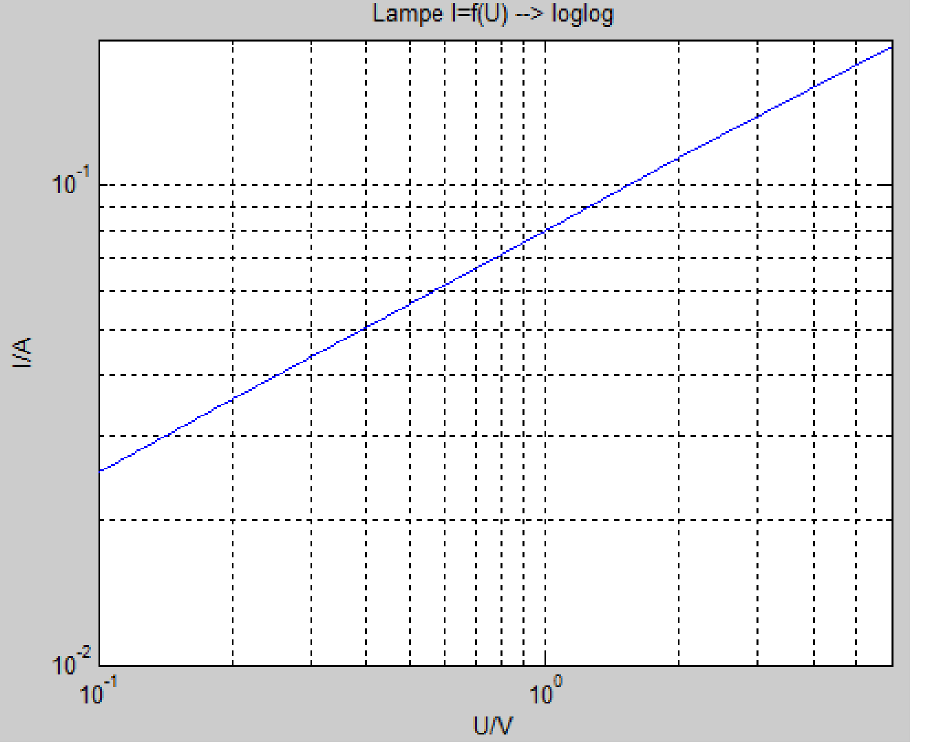
- Die x- und y-Werte umfassen einen Bereich von mehr als 3 Zehnerpotenzen.
- Es wird eine über den gesamten x- und y-Bereich <u>konstante **relative** Darstellungsunsicherheit</u> gewünscht.
- Der funktionelle Zusammenhang ist vom Typ: $\boxed{y = a \cdot x^b}$
  <u>Vorteil</u>: Die Funktion wird als Gerade dargestellt.





Beispiel: Doppelt-logarithmische Skalenteilung mit MATLAB

```
U=[ 0.1    0.2    0.5    1.0    2.0    6.0];
I=[25.2   35.8   56.6   80.0   113.2   194] * 10^-3;

% doppellogarithmische Darstellung
h2=figure;
loglog(U, I);
axis([0.1 6 0.01 0.2]);
xlabel('U/V');
ylabel('I/A');
title('Lampe I=f(U) --> loglog');
grid on;
```



Warum erscheint die Funktion in der doppeltlog. Darstellung als Gerade ?

Gegeben sei die Funktion: $$y = a \cdot x^b$$

Logarithmieren der Funktion ergibt: $$\log(y) = \log(a) + b \cdot \log(x)$$

Logarithmierte Größen zur Abkürzung mit Stern kennzeichnen: $$y^* = a^* + b \cdot x^*$$

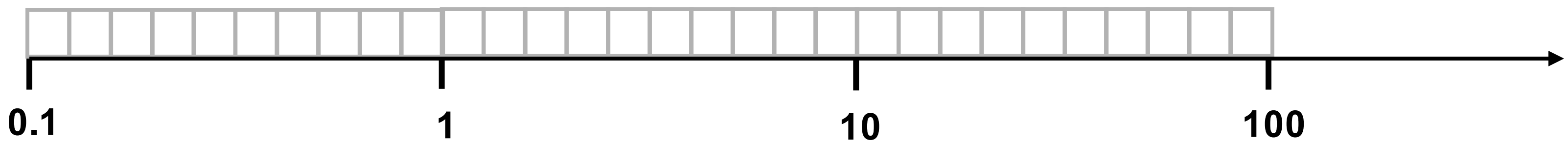
Die logarithmierte Funktion ist eine Gerade

- mit der Steigung $$b = \frac{\Delta y^*}{\Delta x^*}$$

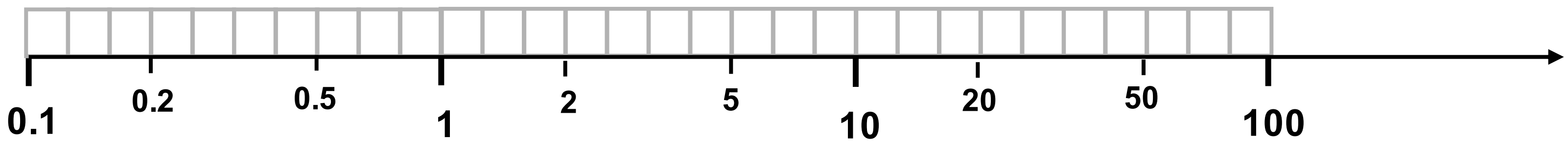
- und dem *y**-Achsenabschnitt $$y^*(x=1) = a^*$$

1.2.5 Näherungsweises Zeichnen log. Skalenteilungen

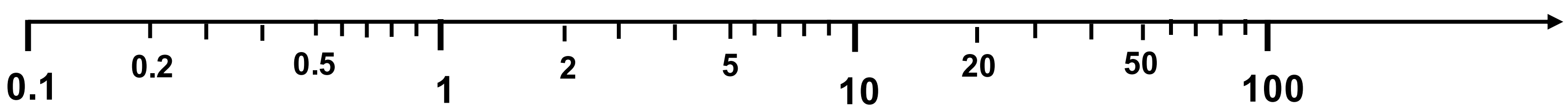
1. Dekadenteilung einzeichnen, z.B.



2. Dekadenunterteilung nach der **3-4-3-Regel** einzeichnen:



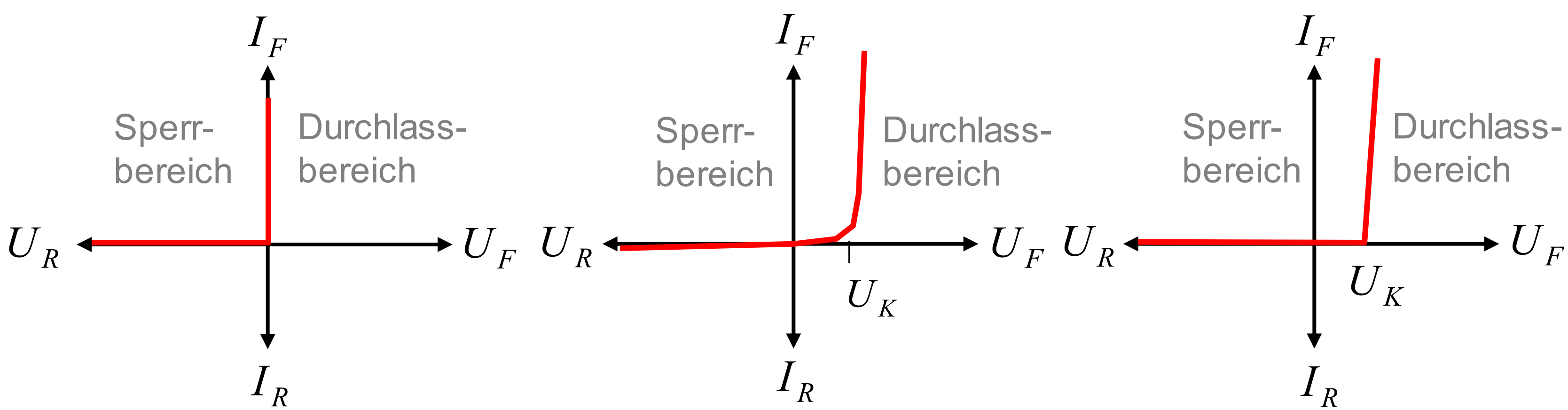
3. Dazwischen linear interpolieren:



2. Bauteile und Sensoren des Praktikums

2.1 Diode

Das Verhalten von Dioden ist abhängig von der Spannungsrichtung.
Unterhalb der Knickspannung U_K ist die Diode sehr hochohmig (*Sperrbereich* → ***R**everse*), oberhalb von U_K sehr niederohmig (*Durchlassbereich* → ***F**orward*).



ideale Diode **reale Diode** **idealisierte Diode**

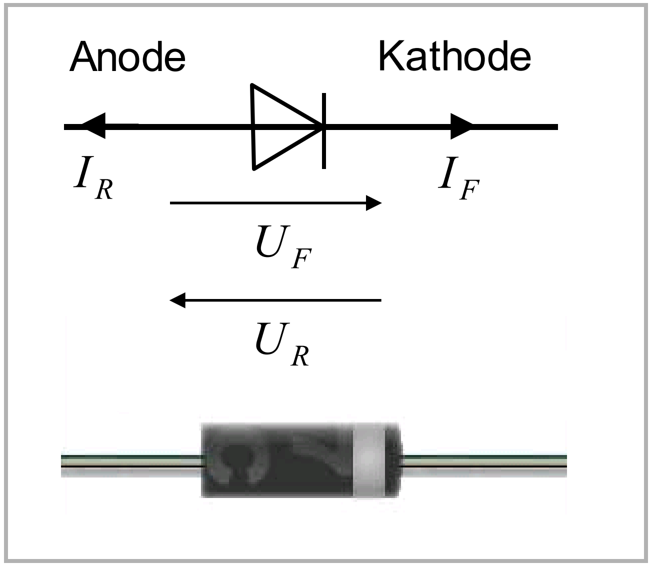
Knickspannung U_K: Durchlassspannung, die anliegt, wenn der Durchlassstrom 10% des zulässigen Dauerstromes beträgt.

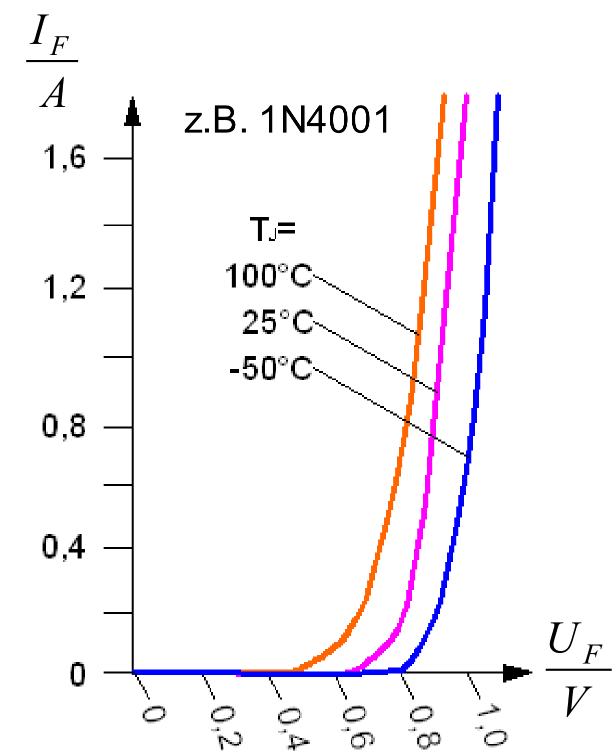
<u>Überschlagsmäßig gilt :</u>

Siliziumdiode: $U_K \approx 0.7V$

Germaniumdiode: $U_K \approx 0.3V$

weitere Eigenschaften





Abhängigkeit der Diodenkennlinie von der Temperatur

In Sperrrichtung gilt näherungsweise:

$$\boxed{I_R \approx I_S}$$

Sperrstrom I_S:

$I_S \approx 10pA\,(Si)$

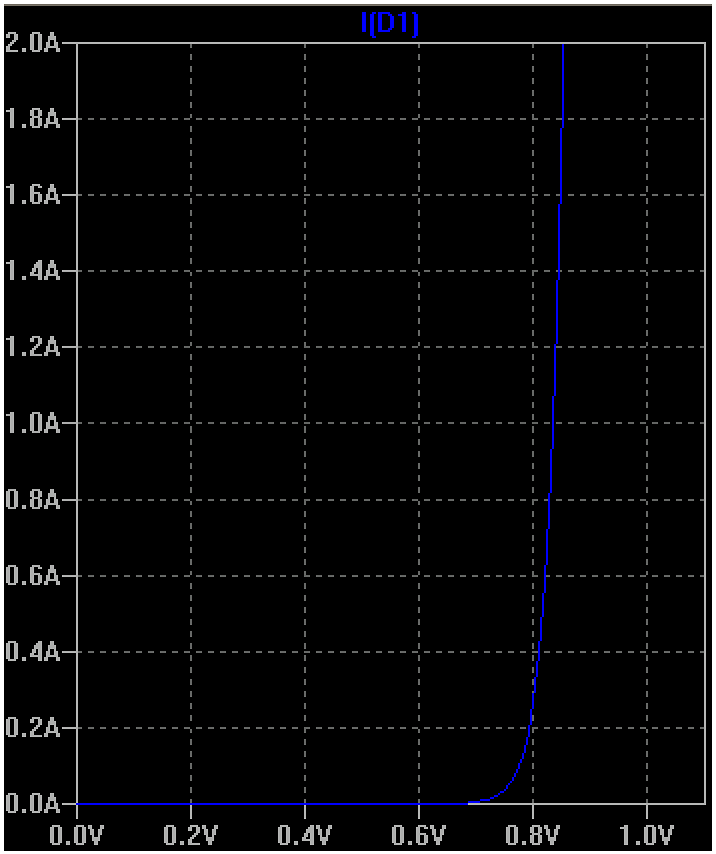
In Durchlassrichtung gilt näherungsweise:

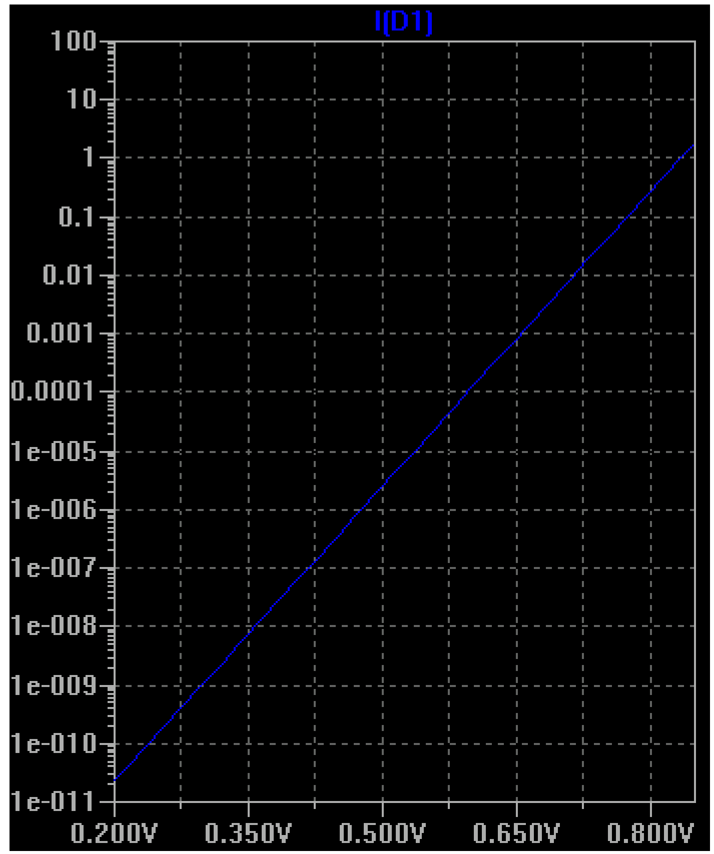
$$\boxed{I_F(U_F) \approx I_S \cdot e^{\frac{U_F}{U_T}}}$$

Temperaturspannung U_T (temperaturabhängig):

$U_T \approx 25mV\ (bei\ 25°)$

Simulation: Kennlinie einer Si-Diode





Herleitung: Es ist zu zeigen, warum die Diodenkennlinie im halblog. Maßstab eine Gerade ist (mit welchen Parametern).

2.3 Temperatursensoren

2.3.1 Metalle

Der Widerstand von Metallen ist temperaturabhängig und wird beschrieben durch die materialabhängigen *Temperaturbeiwerte* α_{20} und β_{20}.

$$\boxed{R = R_{20} \cdot \left[1 + a_{20}(\vartheta - 20°C) + \beta(\vartheta - 20°C)^2 \right]}$$

Temperatur ϑ

Der Temperaturwert β spielt erst bei Temperaturdifferenzen > 100°C eine Rolle.

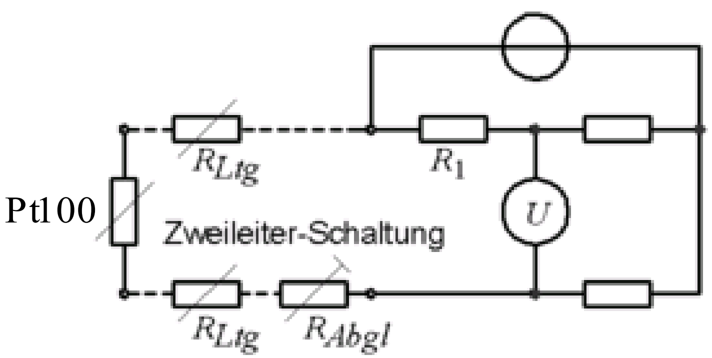
Material	spez. Widerstand $\rho \Big/ \frac{\Omega \cdot mm^2}{m}$	$\frac{a_{20}}{10^{-3}/K}$	$\frac{\beta_{20}}{10^{-6}/K^2}$
Silber	0.016	3.8	0.7
Kupfer	0.0179	3.9	0.6
Platin	0.011	3.9	-0.58
Silizium	$640*10^6$	7.8	18.4
Konstantan	0.5	-0.04	-

2.3.2 Pt100 Widerstandsthermometer

- Temperatursensoren, die auf der temperaturbdingten Widerstandserhöhung von Platin basieren
- meist Platinwendel oder als Dünnschicht auf Keramikträger mit Nennwiderstand von **100Ω bei 0°C** .
- Messbereich -200°C … +850°C

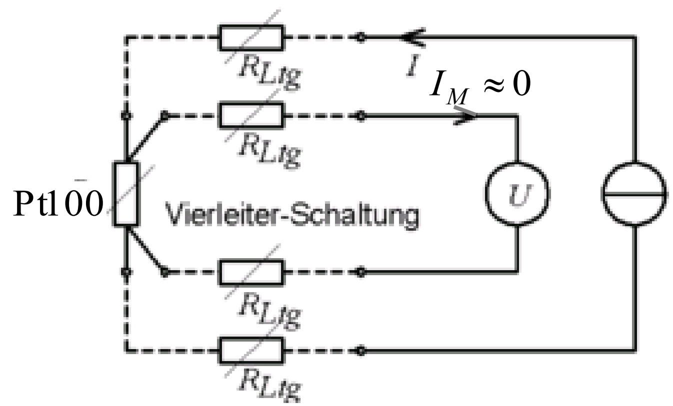
Messung mit Pt100-Widerstandsthermometer:

Messbrücke in Zweileiterschaltung



Nachteil: Widerstandsänderung der Zuleitung geht in Messung ein.

Vierleiterschaltung



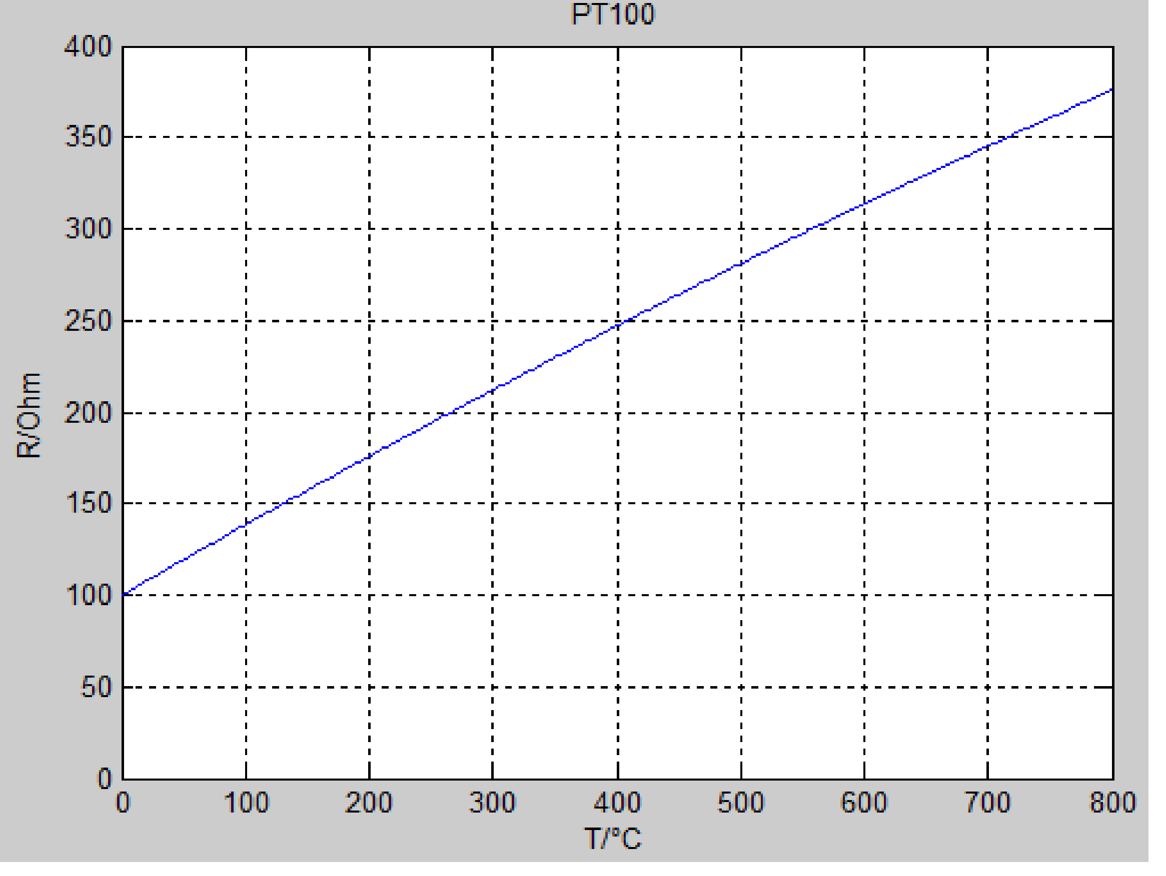
Vorteil: Widerstandsänderung der Zuleitung geht nicht in Messung ein.

Bilder von Wikipedia

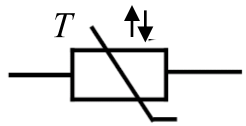
```
% PT100-Kennlinie
alpha = +3.9083e-3;
beta  = -0.5775e-6;

T=0:2:800;
R=100*(1 + alpha*T + beta*T.^2);

h4=figure;
plot(T, R);
axis([0 800 0 400]);
xlabel('T/°C');
ylabel('R/Ohm');
title('PT100');
grid on;
```

PT100-Kennlinie mit MATLAB

Im Bereich -200°C .... 850°C kann die R(T)-Kennlinie durch eine Parabel angenähert werden.



2.3.4 Heißleiter (NTC)



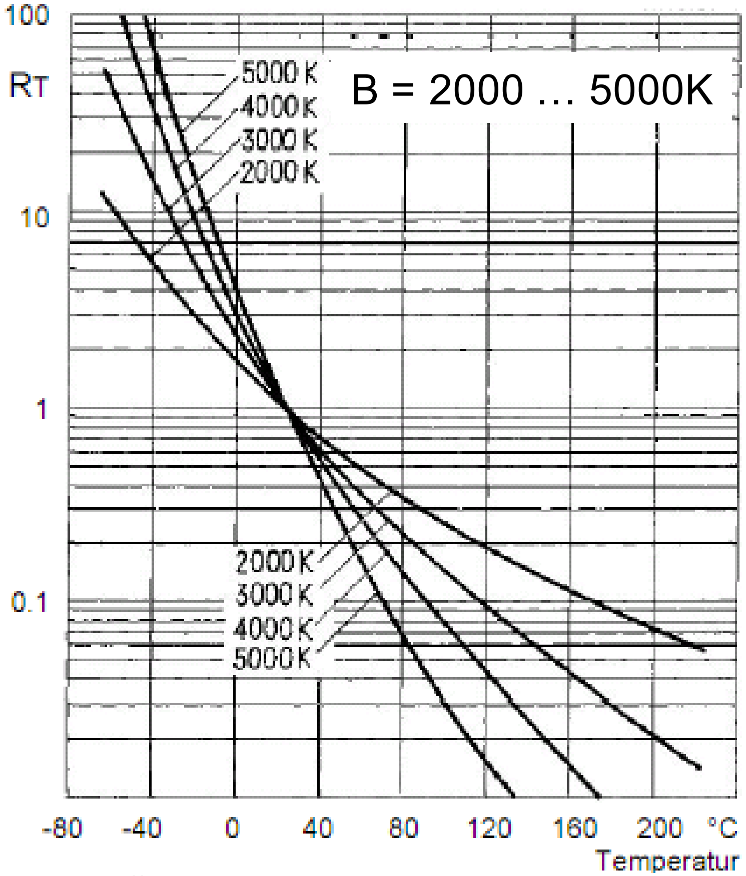
- NTC = Halbleiter-Widerstände mit **n**egativem **T**emperatur**k**oeffizient (Heißleiter)
- Temperaturkoeffizienten 0.03…0.06 K^{-1} (ca. 10 mal größer als bei Metallen), dadurch Zuleitungseinfluss vernachlässigbar
- Meßbereiche ca. -20…250°C
- Widerstandsänderung beschreibbar durch

$$R(T) = R_0 \cdot e^{B \cdot \left(\frac{1}{T} - \frac{1}{T_0}\right)}$$

mit R_0 : Bezugswiderstand bei T_0
B : Materialkonstante

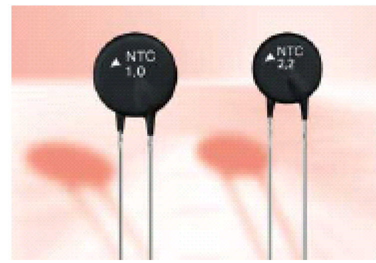
- Einsatzbereiche: - einfache Temperaturmessung,
  - Einschaltstrombegrenzung,
  - in Thermostaten (z.B. auch Lüftersteuerung),
- Im Messbetrieb dürfen nur kleine Ströme durch den NTC fließen, um Eigenerwärmung zu vermeiden

Ausführungsformen und Kennlinie von NTC-Widerständen



http://www.wamister.ch

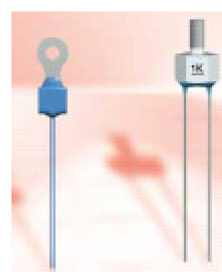
NTC zur Einschaltstrombegrenzung



R = 2 … 100Ω

I = 1 … 5A

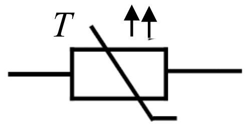
NTC zur Temperaturmessung



R = 10Ω … 2MΩ

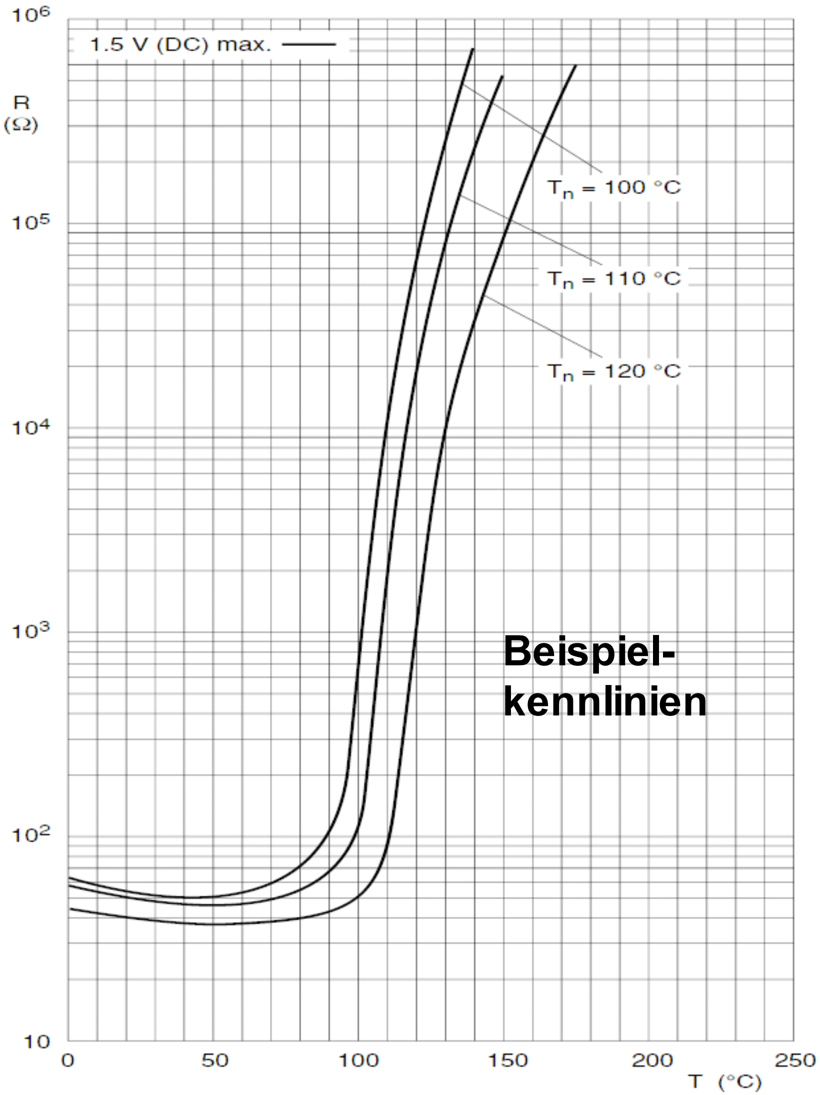
B = 2000 … 5000K

2.3.3 Kaltleiter (PTC)

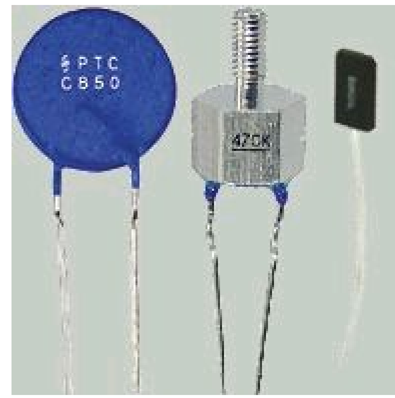


- PTC = Halbleiter-Widerstände mit **p**ositivem **T**emperatur**k**oeffizient (Kaltleiter)
- meist <u>sehr starker Widerstandsanstieg</u> ab einer bestimmten Temperatur (Nennansprechtemperatur T_n)
- Bereich des starken Anstiegs durch Exponentialfunktion beschreibbar
- Ansprechtemperaturen im Bereich 60°…180°C
- Einsatzbereiche: - Übertemperaturschutz,
- Überstromschutz (durch Selbsterhitzung),
- als Messfühler eher ungeeignet,
- einfache Temperaturregelungen (z.B. Aussenspiegelheizung)

Ausführungsformen und Kennlinie von PTC-Widerständen



PTC Beispielausführungen



R_{25} = 0.5 … 1kΩ

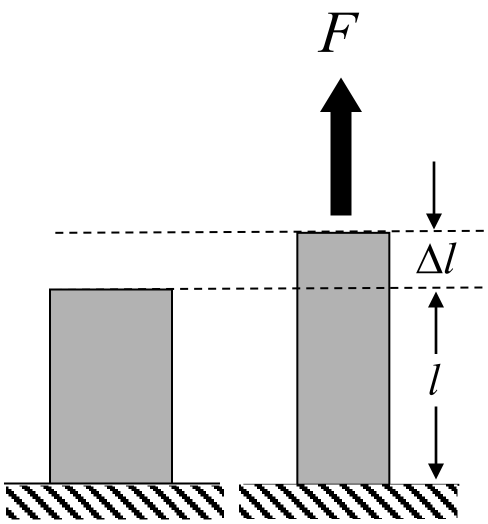
I = 1 … 10A

T_n = 20…180°C

2.4 Dehnungsmessstreifen

2.4.1 Physikalisches Grundprinzip

Für den Widerstand eines Drahtes gilt: $\boxed{R = \frac{\rho \cdot l}{A}}$



Wird der Draht gedehnt, so verändern sich 2 Parameter:

- die Länge l wird größer und
- der Querschnitt A wird kleiner,

da das Volumen des Drahtes $V = A \cdot l$ gleich bleibt.

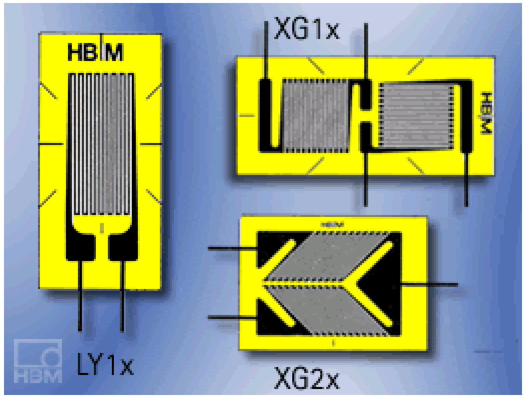
Daraus folgt nach einigen math. Operationen : $\boxed{\frac{\Delta R}{R} = k \cdot \frac{\Delta l}{l}}$ bei Metallen gilt: $\boxed{k \approx 2}$

2.4.2 Aufbau und Anwendung von DMS

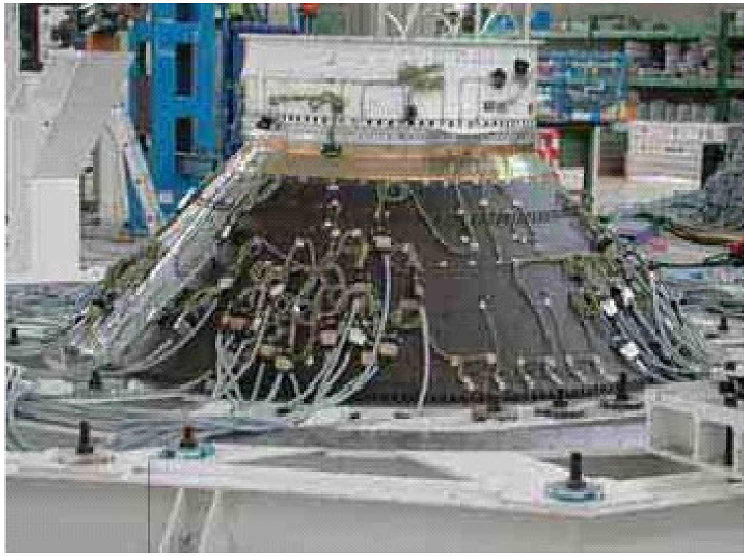
Da die Widerstandsänderung eines Leiters bei Dehnung nur sehr klein ist, wird der Leiter mäanderförmig gefaltet.

Zur einfachen Handhabung wird der Draht auf eine Folie aufgebracht → *Folien-DMS*

Der DMS wird auf die zu prüfende Stelle aufgeklebt.



siehe z.B. www.hbm.de



2.4.3 Typ. Kenndaten

$$\boxed{\frac{\Delta R}{R} = k \cdot \frac{\Delta l}{l}}$$

- Es gilt die Beziehung (bei metallbasierten DMS) :
- typ. Widerstand R = 120Ω, 350Ω, 700Ω, 1000Ω
- $k \approx 2$
- Temperaturkoeffizient des k-Faktors ca. $100 \cdot 10^{-6}$ K^{-1}
- Messung meist mit Viertel-, Halb- oder Vollbrücke

Beispiel:

Kennwerte des DMS: $R = 300\Omega, \quad k = 2$

Bei einer Dehnung um $\Delta l/l$ = 0.1% = 0.001 (z.B. 1mm auf 1 m)
erhöht sich der Widerstand um:

$$\Delta R = 2 \cdot \frac{\Delta l}{l} \cdot R = 0.002 \cdot 300 = 0.6\Omega$$