

## Zusammenfassung v09 vom 28. Mai 2013

**Ohm'sche Widerstände** sind durch die Befolgung des Ohm'schen Gesetzes charakterisiert. Dies beinhaltet in (idealisierten Fällen) die Linearität zwischen Strom und Spannung, Unabhängigkeit des Widerstands von Strom, Spannung, Temperatur und anderen Einflussgrößen. Entlang ausgedehnter ohmscher Leiter herrscht ein konstantes Potenzialgefälle, d.h. der Widerstand ist proportional zur Länge des Leiterstücks.

Widerstände sind mit einem 4-teiligen Farbcode gekennzeichnet, der 2 Ziffern, 1 Multiplikator und die Toleranz enthält.

**Messung von Strom und Spannung** Elektrischer Strom kann quantitativ durch zahlreiche Methoden gemessen werden, z. B. durch die magnetische Kraft, die stromführende Leiter in Magnetfeldern erfahren [Demo: Drehspulinstrument]. Messgeräte für Spannung und Strom sollen die Messung möglichst nicht verfälschen. Ihr Messbereich wird ggfs. durch Vorwiderstände angepasst. Voltmeter sind hochohmig, damit möglichst wenig Strom durch sie fließt. Amperemeter sind niederohmig, damit sie keinen zusätzlichen Spannungsabfall verursachen.

**Schaltungen von Widerständen** Die Kirchhoff'schen Regeln sind spezielle Formulierungen der Ladungserhaltung und Energieerhaltung. Es gilt die **Knotenregel**: die Summe der Ströme in einem Leitungsknoten ist gleich Null (die Ladung häuft sich nirgends an). Die **Maschenregel** besagt, dass die Summe der Spannungen in einer Masche gleich Null ist (Energieerhaltung).

## Schaltungen von Widerständen

- **Serienschaltung**: durch zwei Widerstände  $R_1$  und  $R_2$  in Serie fließt der gleiche Strom  $I$ , die Spannungen  $U_1$  und  $U_2$  addieren sich zur Gesamtspannung  $U$ . Das Ohm'sche Gesetz liefert sofort  $R_{ges} = U/I = (U_1 + U_2)/I = U_1/I + U_2/I$ :

$$R_{ges} = R_1 + R_2 \quad (42)$$

Widerstände in Serie addieren sich.

- **Parallelschaltung**: an zwei parallel geschalteten Widerständen  $R_1$  und  $R_2$  liegt die gleiche Spannung  $U$  an, der Gesamtstrom  $I$  teilt sich proportional zu den Leitwerten auf:  $I = I_1 + I_2$ . Wieder liefert das Ohm'sche Gesetz  $I = U_1/R_1 + U_2/R_2 = U \cdot (1/R_1 + 1/R_2)$ , d.h.

$$1/R = 1/R_1 + 1/R_2 \quad (43)$$

Die Leitwerte addieren sich zum Gesamtleitwert.

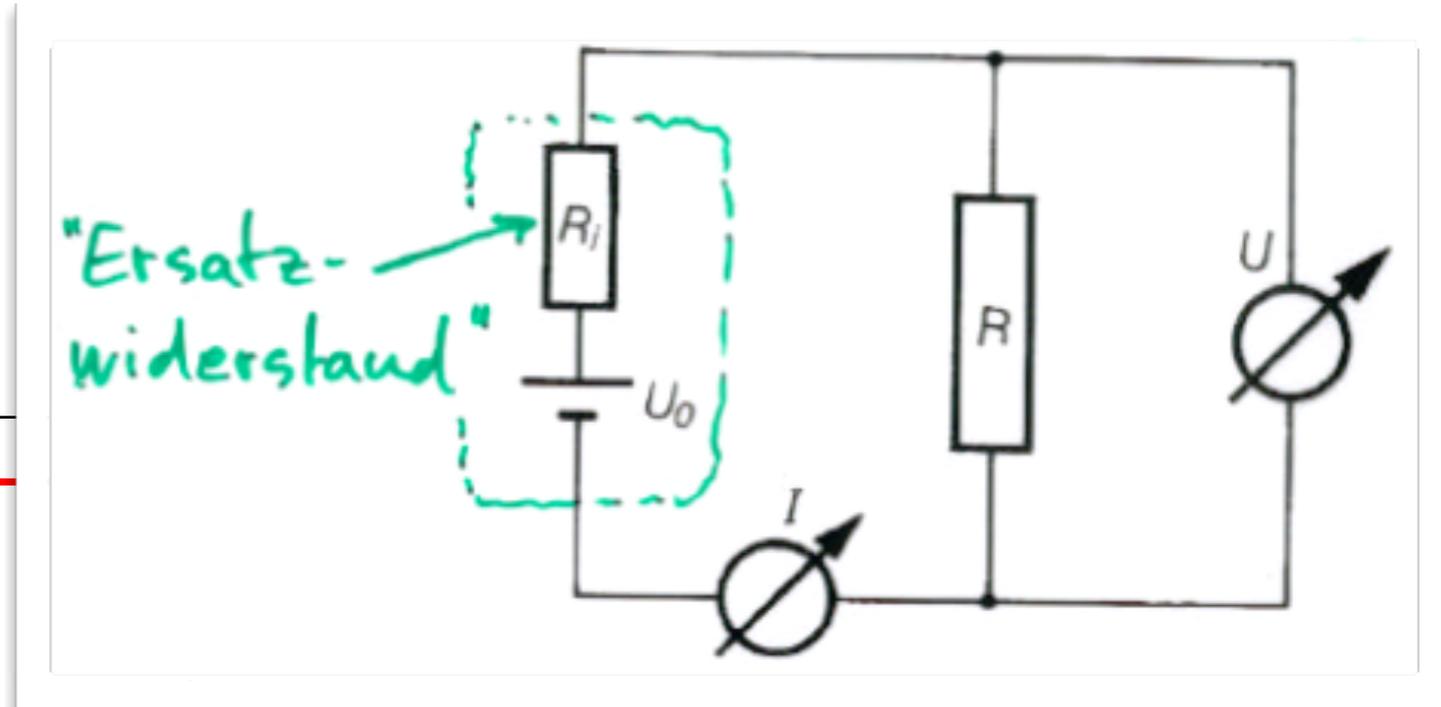
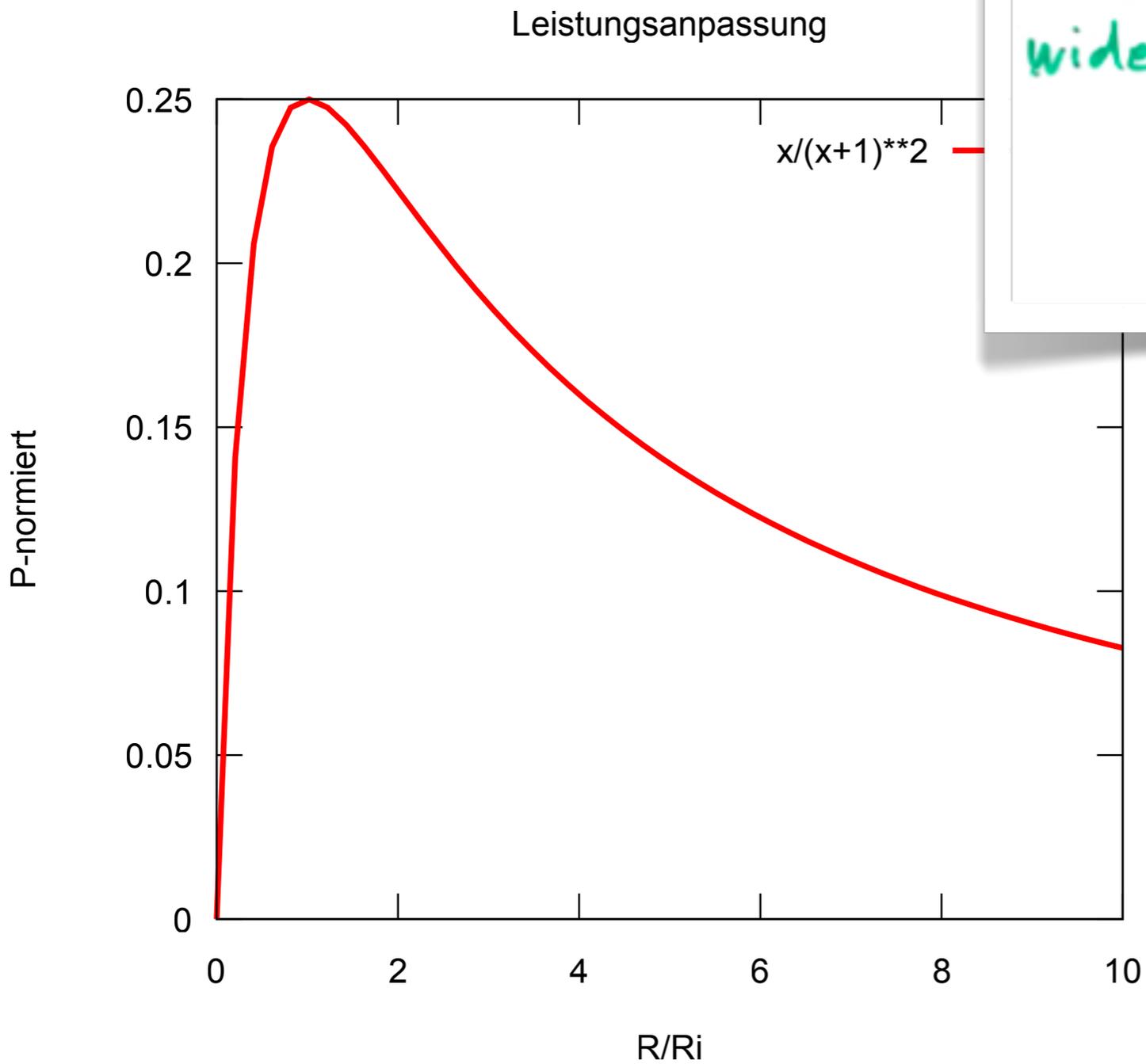
Komplexe Widerstandsnetzwerke werden zur Berechnung in elementare Serien- und Parallelschaltungen zerlegt.

**Energie und Leistung von Strömen** Elektrische Energie kann in realen Leitern und/oder Verbrauchern in Wärme, chemische Arbeit oder in mechanische Arbeit umgesetzt werden. Leistung ist die pro Zeiteinheit umgesetzte Energie:  $P = dW/dt$ . Mit  $W = QU$  und  $U = const.$  folgt für die elektrische Leistung eines Stroms das Joule'sche Gesetz:

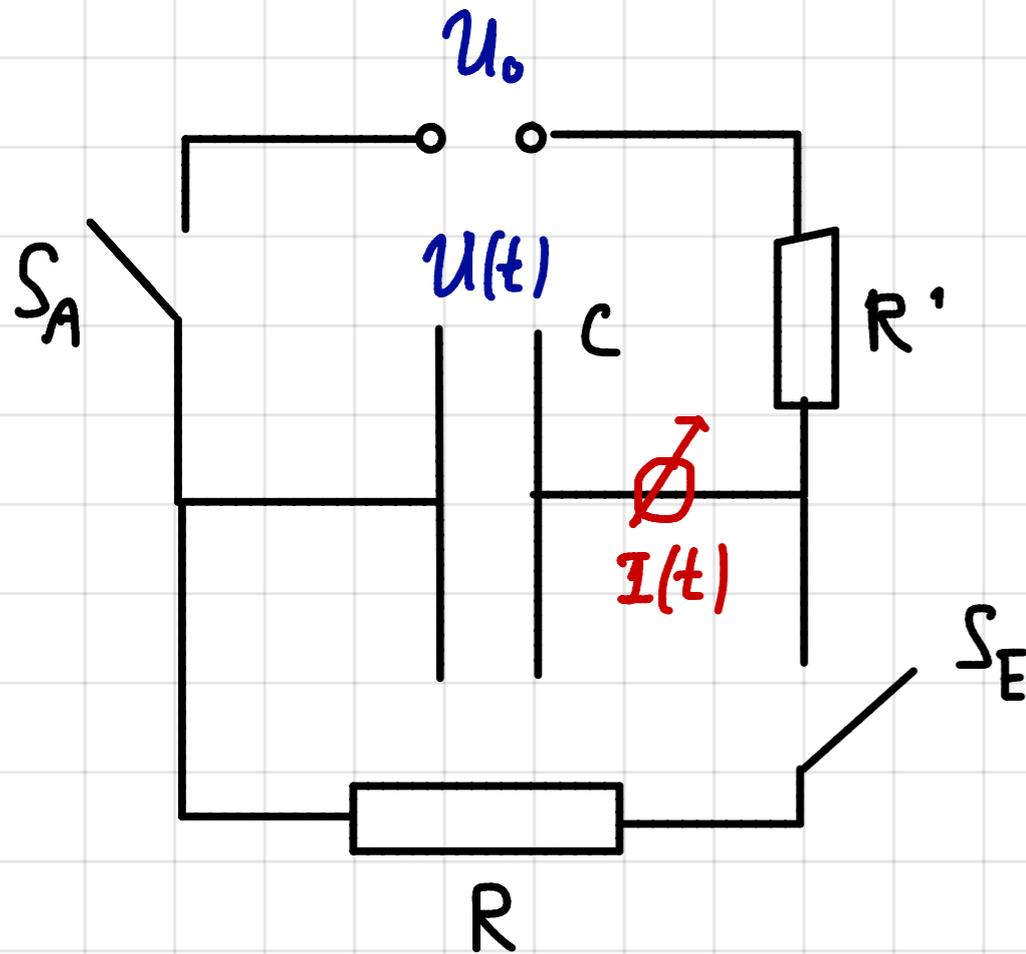
$$P = U \cdot I = R \cdot I^2 = U^2/R \quad (44)$$

Mit Hilfe der Formeln für Stromdichte und Leitfähigkeit erhält man die Leistungsdichte  $p = \vec{j} \cdot \vec{E} = \sigma \cdot E^2 = j^2/\sigma$ .

# Leistungsanpassung einer Stromquelle



# Kondensator entladen



aufladen:  $S_A$  schliessen, warten ...  
... bis  $U(t) = U_0$ ,  $S_A$  öffnen

entladen:  $S_E$  schliessen  
 $I(t)$ ,  $U(t)$  messen

# freie Elektronen in Metallen

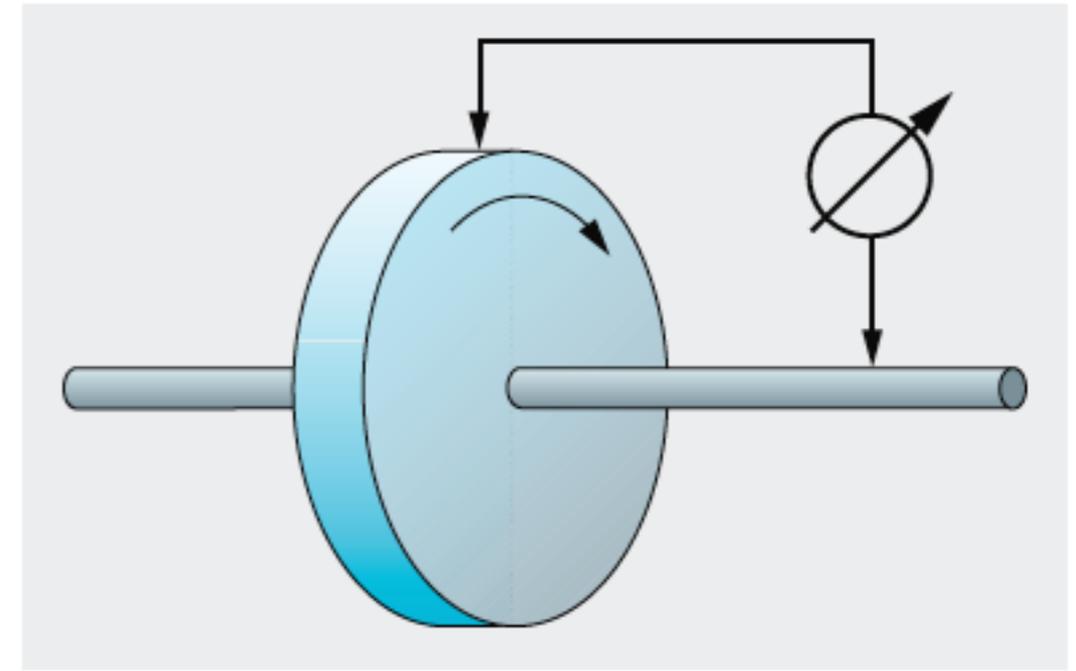
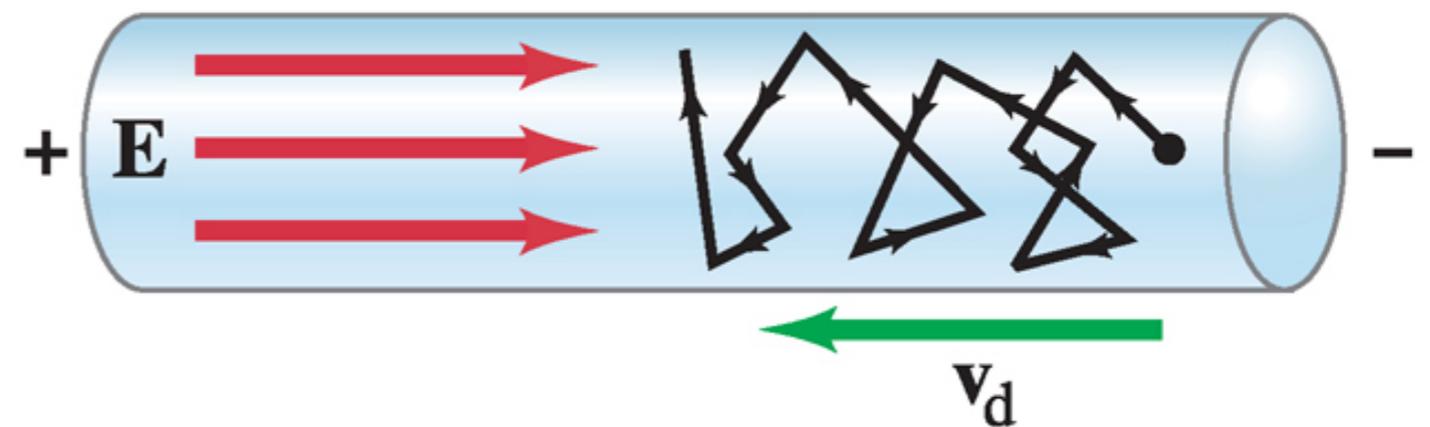
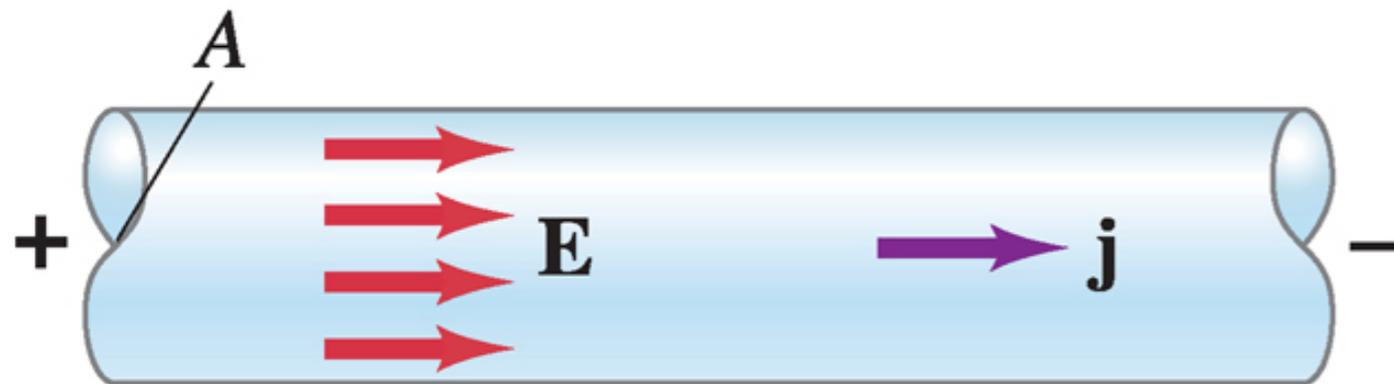
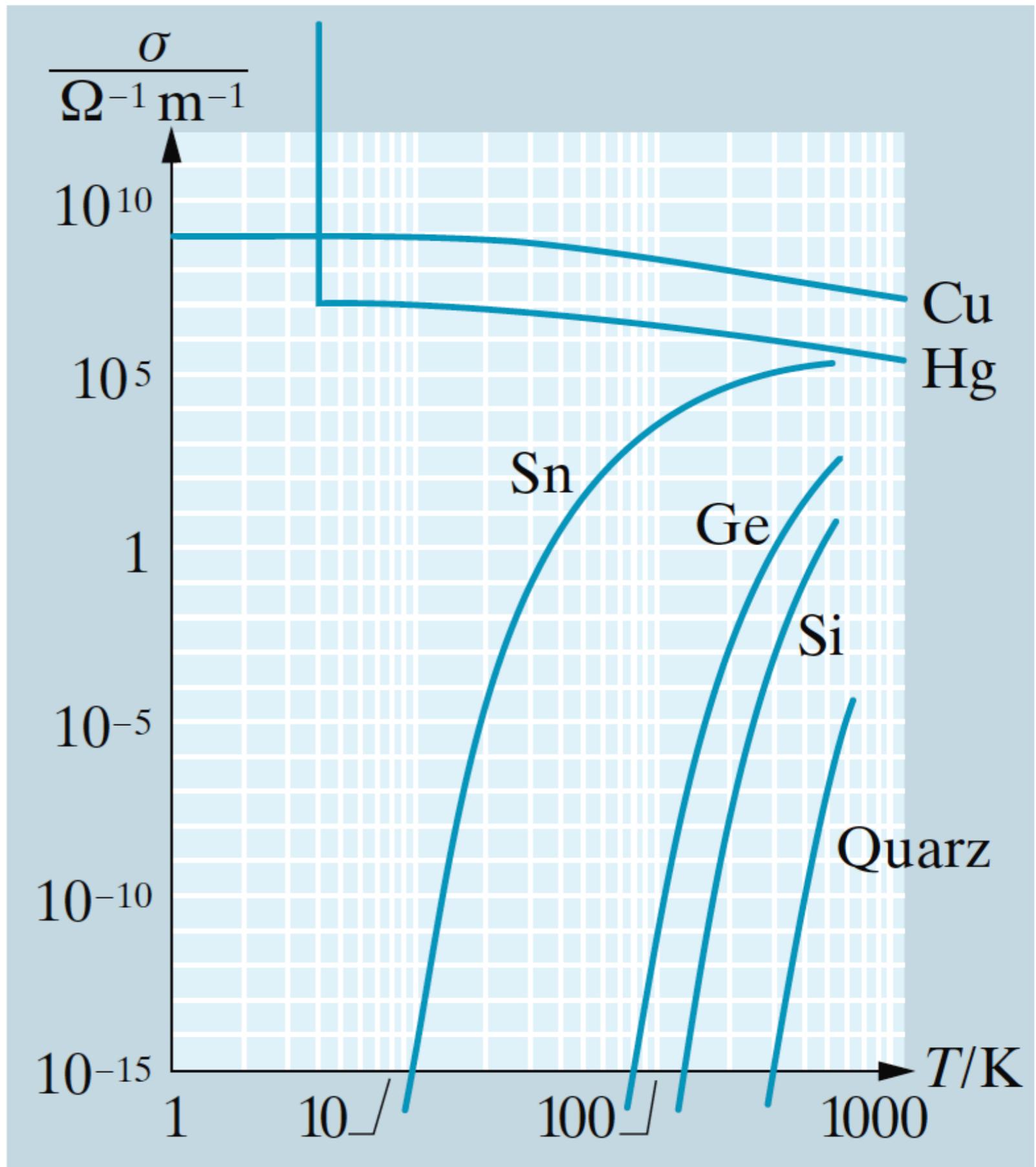
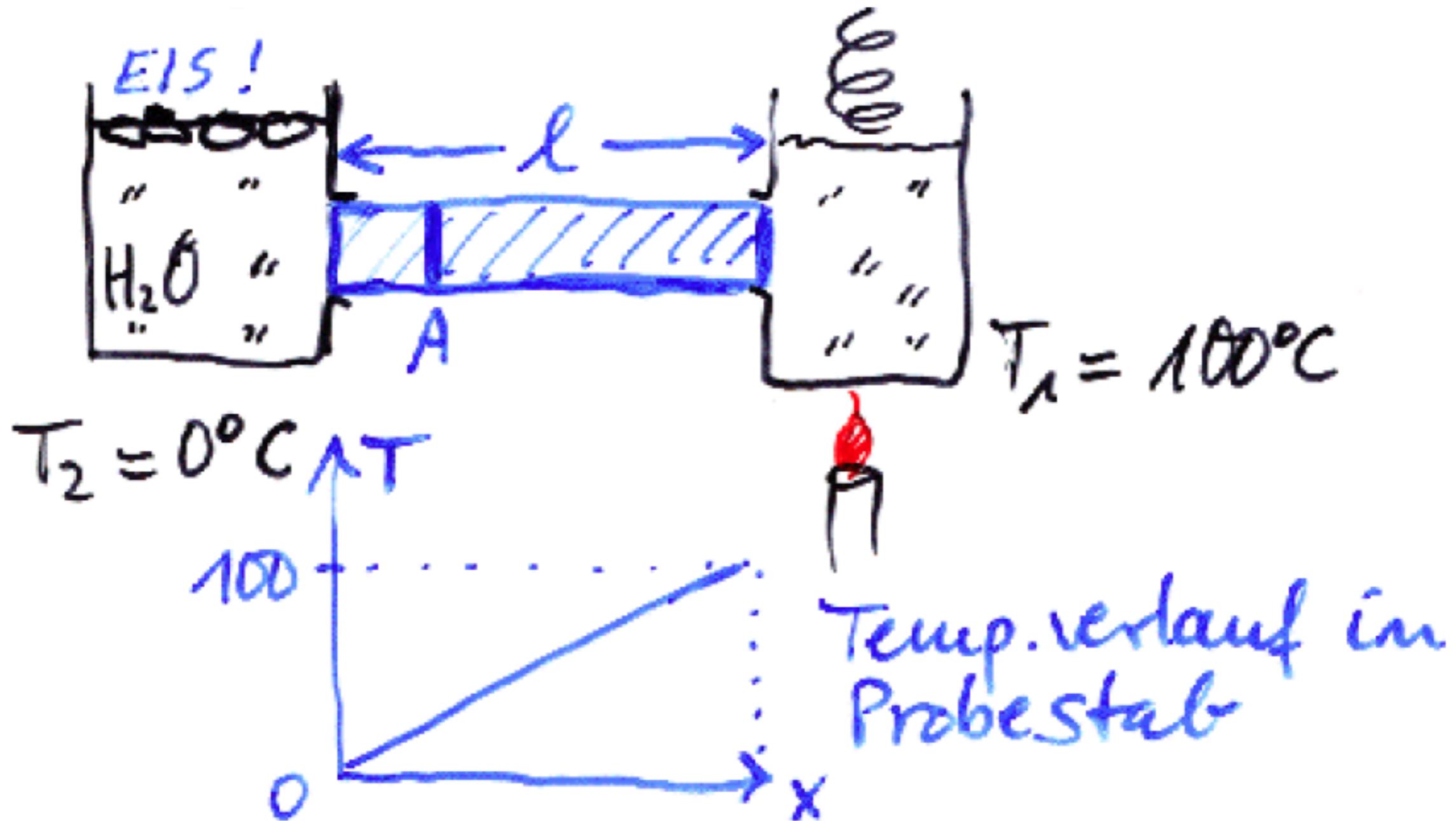


Abb. 6.71. Der Tolman-Versuch lässt sich besser mit einem rotierenden Leiter ausführen (Elektronenzentrifuge)

Abb. 6.73. Die Leitfähigkeit  $\sigma$  von Metallen steigt bei Abkühlung bis zu einem Restwiderstand, außer bei Supraleitern, die unterhalb des Sprungpunktes  $T_c$  praktisch unendliche Leitfähigkeit haben. Bei anderen Stoffen fällt  $\sigma$  bei Abkühlung nach einem Boltzmann-Gesetz, dessen Steilheit von der Befreiungsenergie der Ladungsträger abhängt

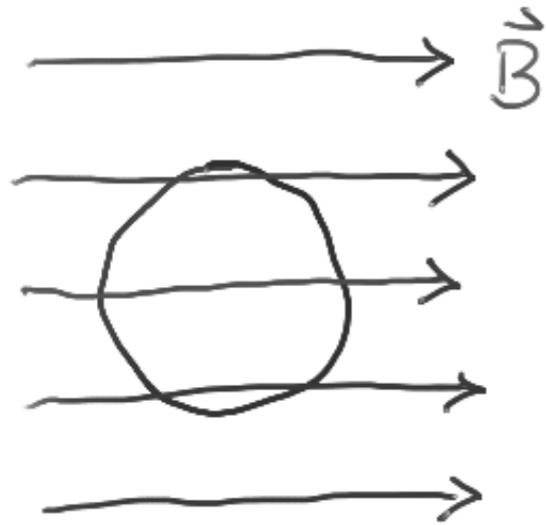


# elektrische und Wärme-Leitfähigkeit

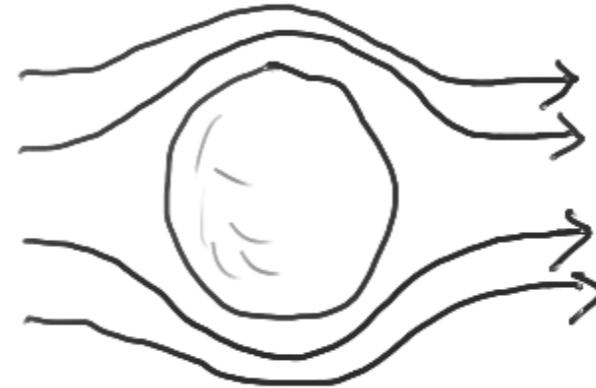


# Supraleitung, Meisner-Ochsenfeld-Effekt

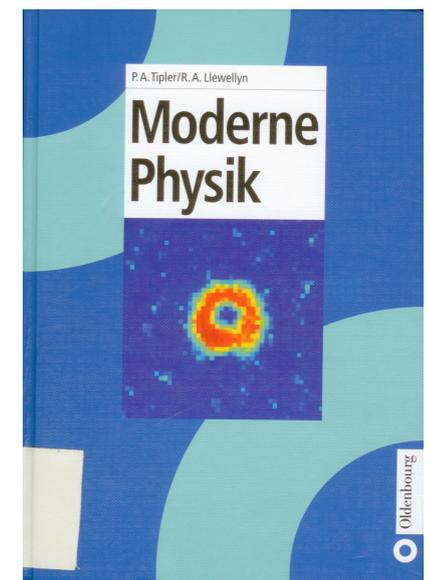
$T > T_{\text{krit}}$ : Material ist normalleitend und kann von Magnetfeld durchdrungen werden



$T < T_{\text{krit}}$ : Material ist supraleitend und verdrängt Magnetfeld



Theorie der Supraleitung: BCS 1957; 'leichte' Darstellung →



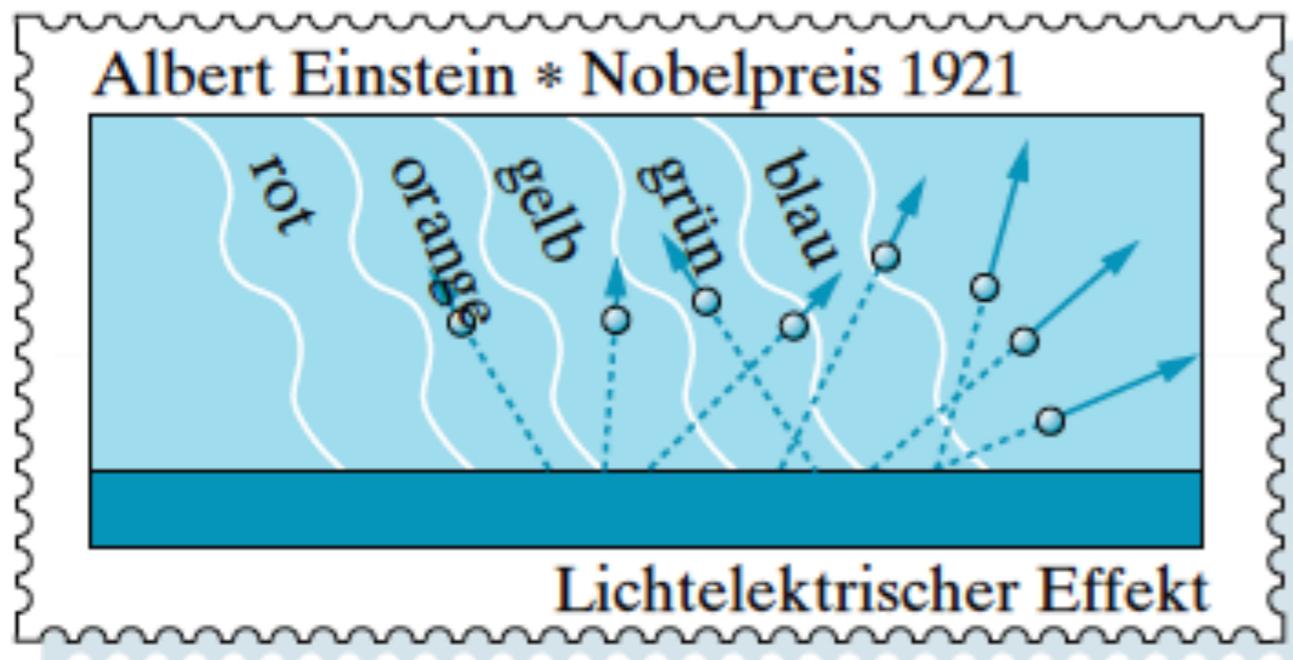


Abb. 6.74. Äußerer Photoeffekt: Die einzelnen Frequenzen (hier alle mit gleicher Wellenlänge gezeichnet) lösen Elektronen verschiedener Energie aus. Unterhalb der Grenzfrequenz gelingt gar keine Auslösung

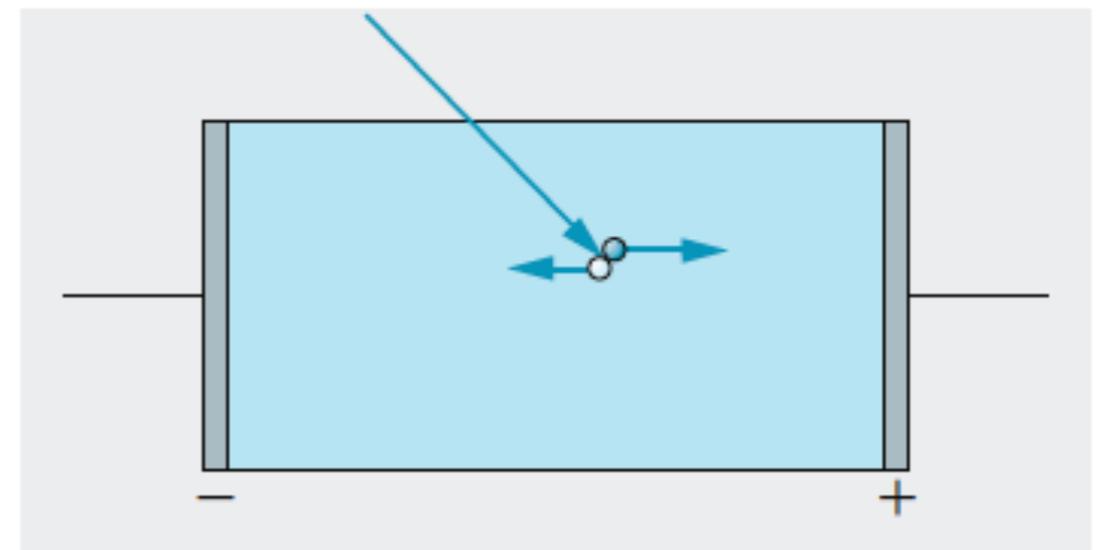


Abb. 6.75. Photoleiter oder Halbleiter-Detektor. Licht oder ionisierende Strahlung erzeugt Ladungsträger im Kristall, meist paarweise (innerer Photoeffekt). Das angelegte Feld trennt die Ladungsträger: Photostrom

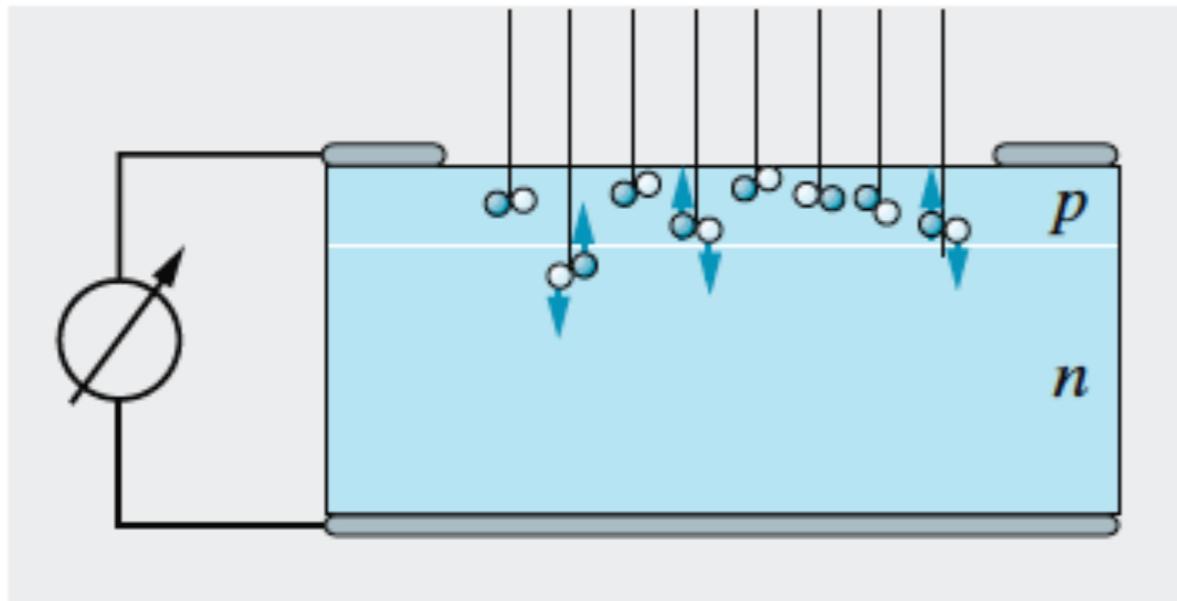


Abb. 6.76. Photodiode. Licht hinreichender Frequenz erzeugt Elektron-Loch-Paare, die i. Allg. bald wieder rekombinieren, außer in der Nähe der p-n-Grenzschicht, deren starkes Feld sie auseinander reißt. Die entstehende Aufladung fließt über den Verbraucher ab, wenn dessen Widerstand kleiner ist als der der Grenzschicht

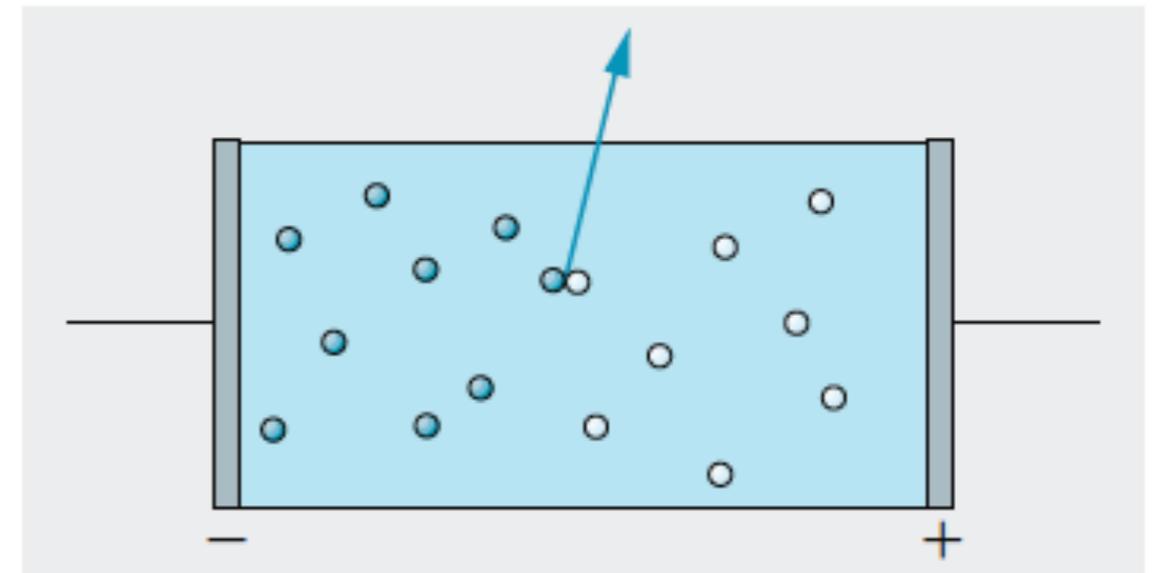


Abb. 6.77. Leuchtdiode (LED = light emitting diode). Von einer Seite werden Elektronen in den Kristall injiziert, von der anderen Defektelektronen oder Löcher. Die Trägersorten vernichten einander paarweise, die Vernichtungsenergie wird als Licht emittiert

# Photomultiplier

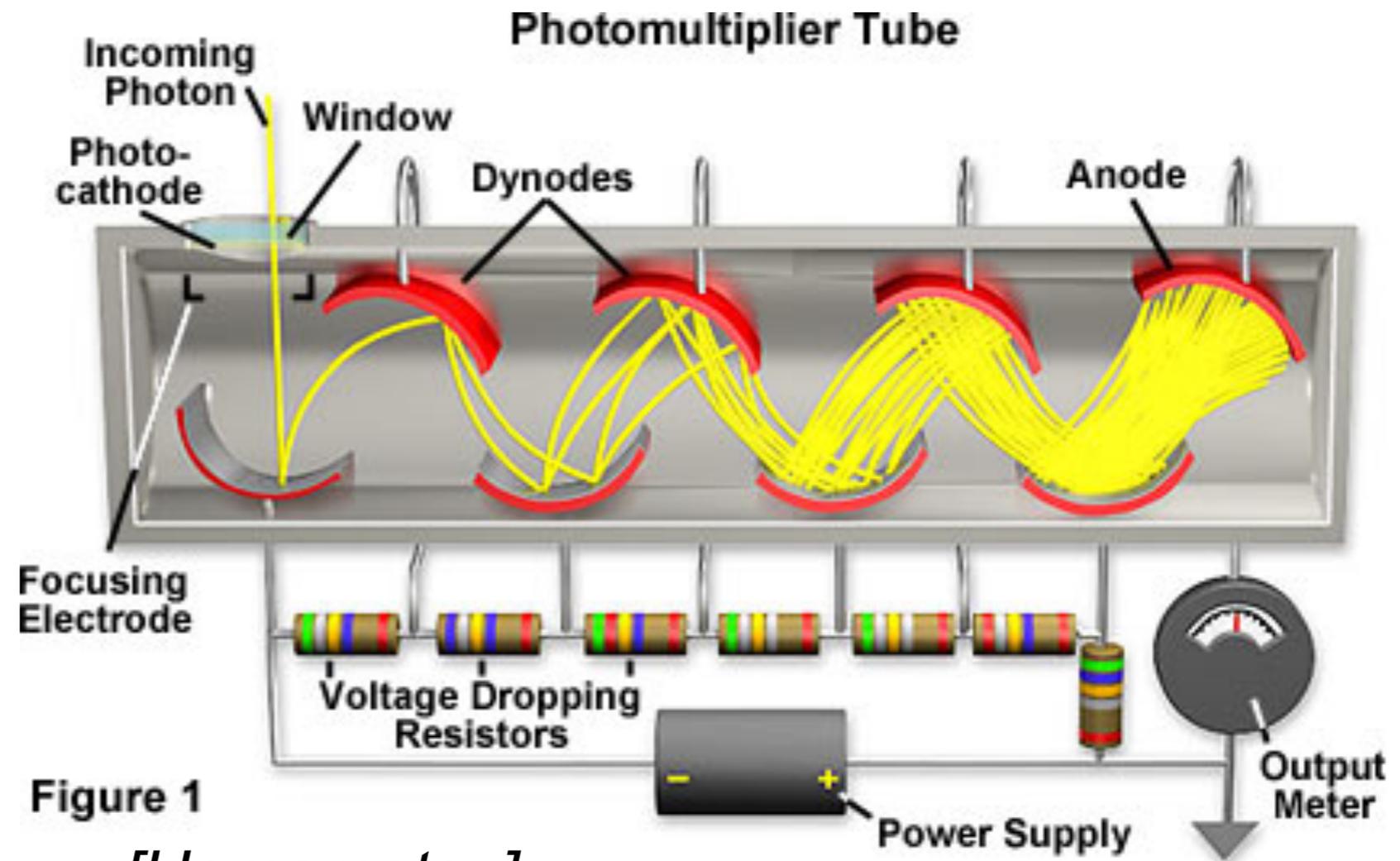
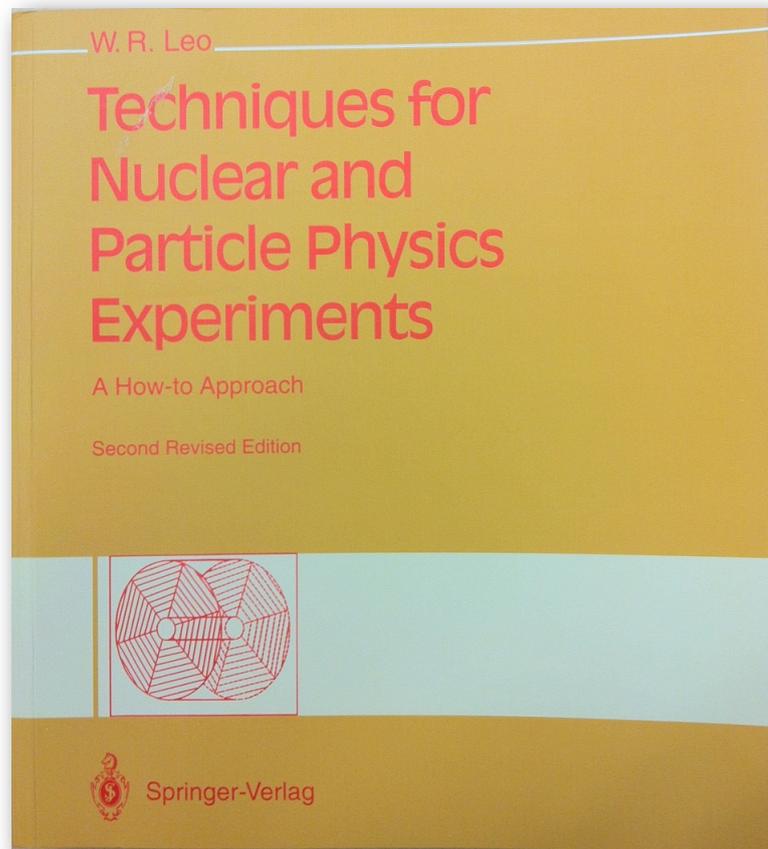


Figure 1

[Hamamatsu]



*wenn man wissen will, wie es wirklich funktioniert...*

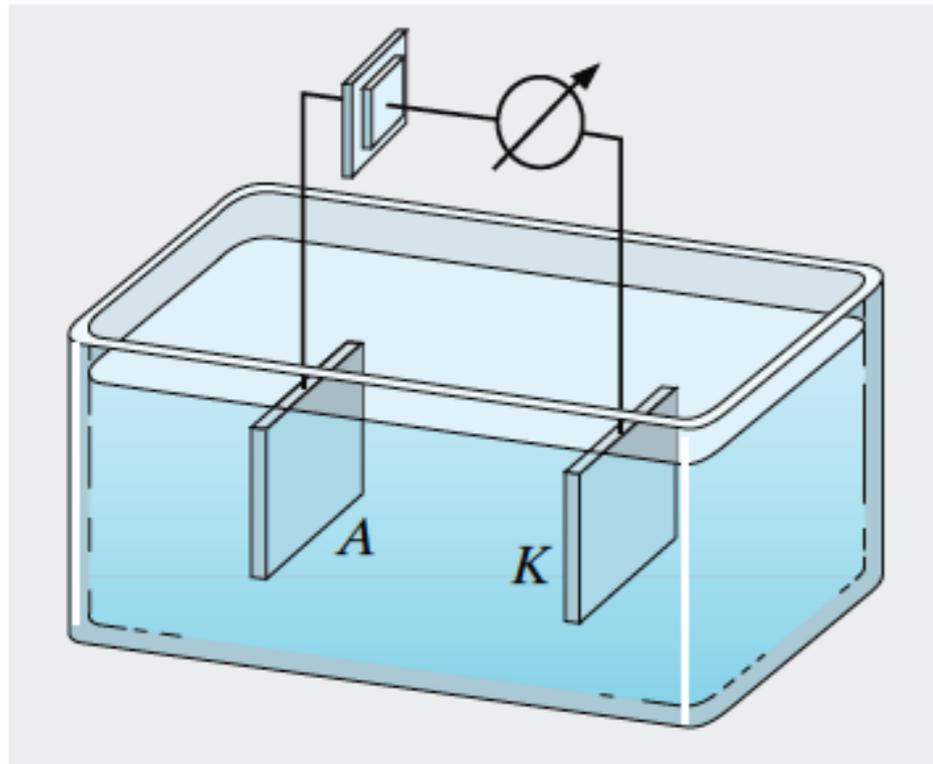


Abb. 6.78. Stromdurchgang durch eine elektrolytische Lösung

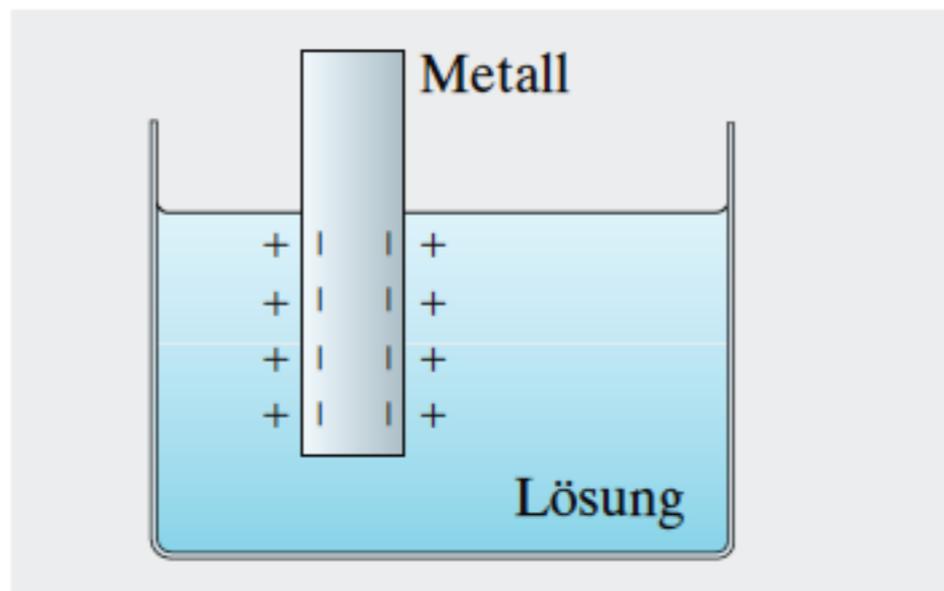


Abb. 6.87. Aus einem Metall treten so viele Ionen in das Lösungsmittel, bis das Feld der entstehenden Doppelschicht den weiteren Austritt verhindert

Tabelle 6.7. Spannungsreihe einiger chemischer Elemente und ihre Normalspannungen gegen die Normal-Wasserstoffelektrode (Konzentration der Elektrolytlösungen: 1 mol Ionen/l)

Elektrode	$U/V$
Li	-3,02
K	-2,92
Na	-2,71
Mg	-2,35
Zn	-0,762
Fe	-0,44
Cd	-0,402
Ni	-0,25
Pb	-0,126
H <sub>2</sub>	0
Cu	+0,345
Ag	+0,80
Hg	+0,86
Au	+1,5

# Batterie

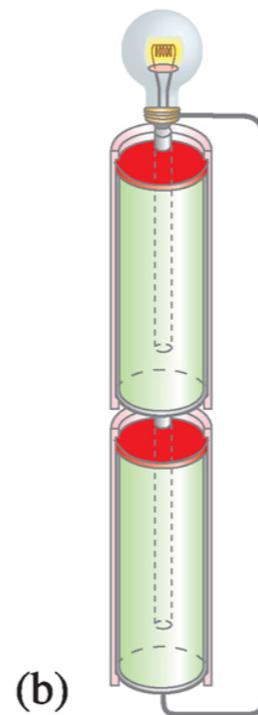
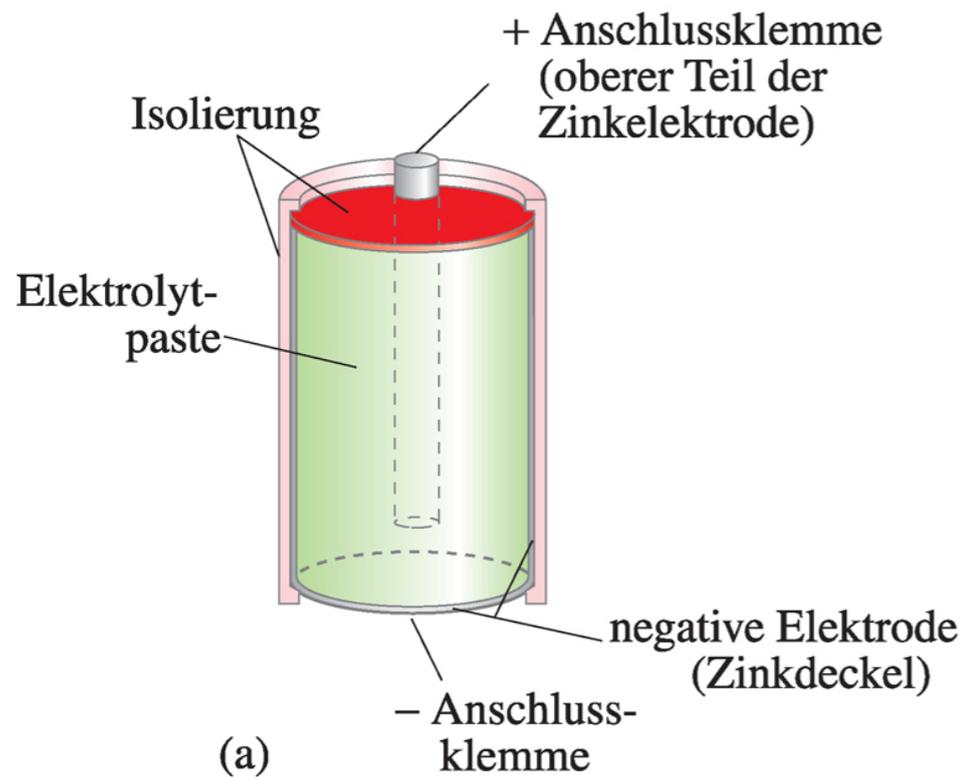
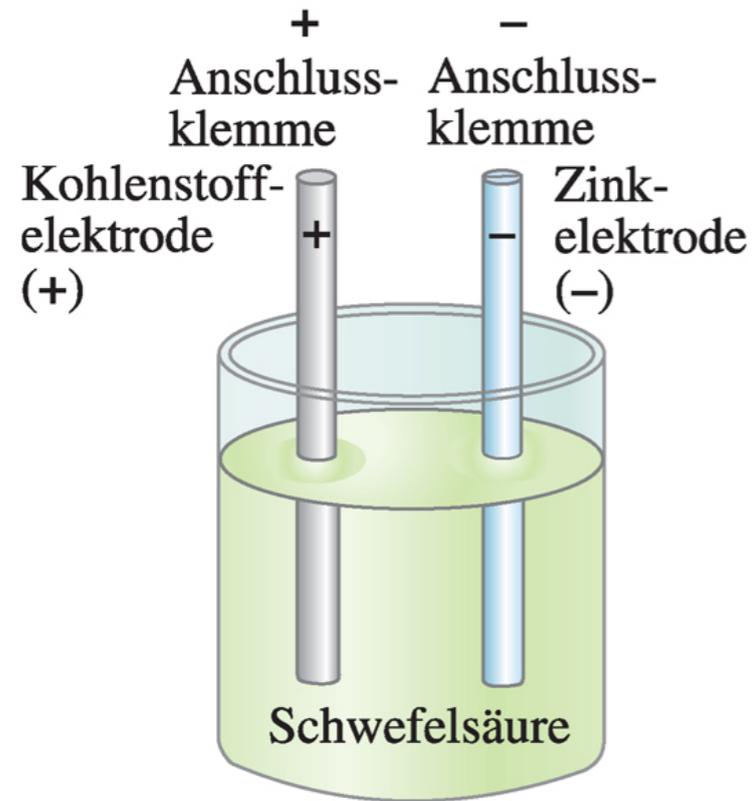


Abbildung 25.1 Dieses Gemälde zeigt Alessandro Volta, wie er im Jahre 1801 Napoleon seine Batterie vorführt.

[Giancoli]

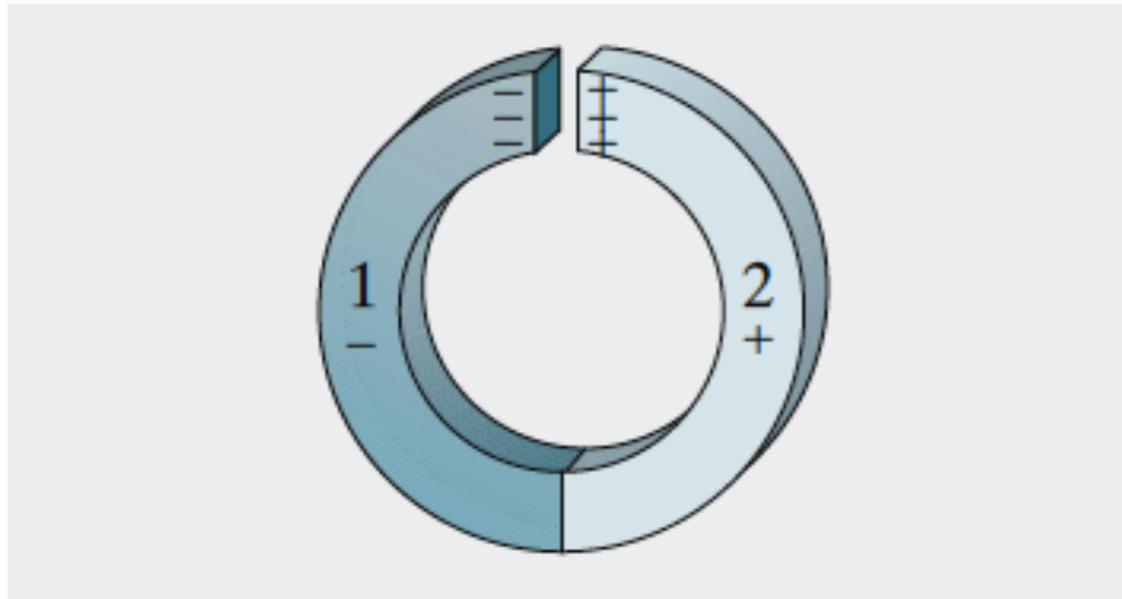


Abb. 6.96. Kontaktspannung zwischen zwei sich berührenden Metallen

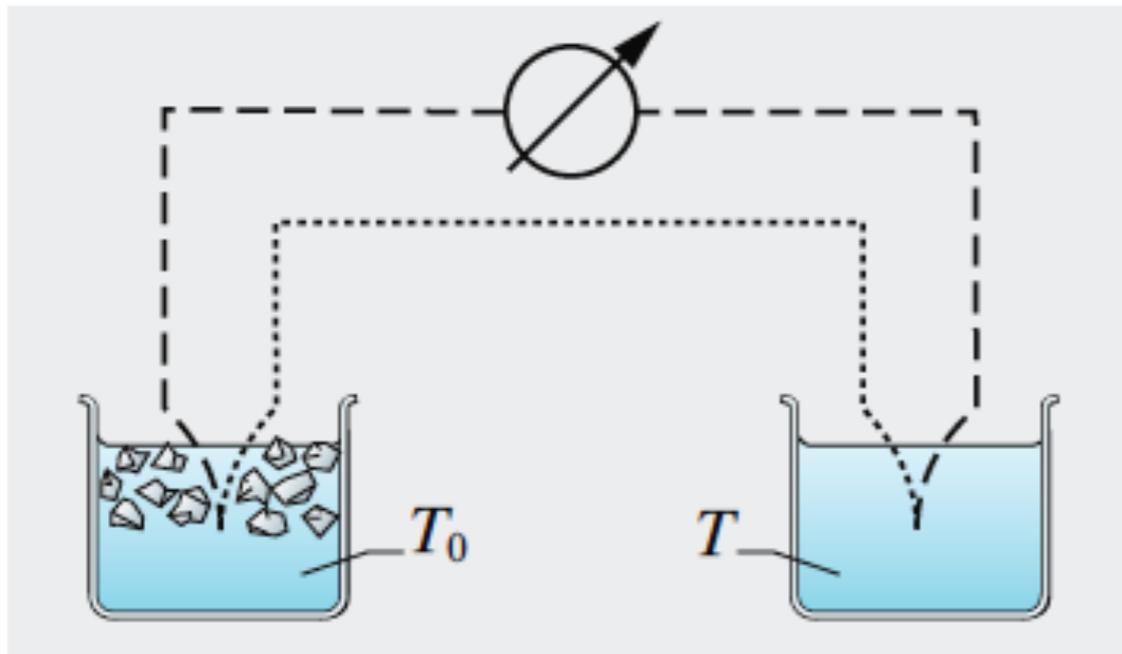


Abb. 6.97. Temperaturmessung mittels Thermoelement

Tabelle 6.8. Stellung einiger Elemente in der thermoelektrischen Spannungsreihe bei der Temperatur 0 °C. (Für Pb ist die Thermokraft willkürlich gleich Null gesetzt)

Element	Thermokraft $\mu\text{m V K}^{-1}$
Sb	+35
Fe	+16
Zn	+ 3
Cu	+ 2,8
Ag	+ 2,7
Pb	0
Al	- 0,5
Pt	- 3,1
Ni	-19
Bi	-70