

## Zusammenfassung v08 vom 16. Mai 2013

**Gleichstrom** Elektrischer Strom ist definiert als die Ladungsmenge  $dQ$ , die in der Zeit  $dt$  durch eine Fläche tritt:

$$I = dQ/dt = \dot{Q} \quad (38)$$

Die Einheit des Stroms ist das Ampere (A):  $1 \text{ A} = 1 \text{ C/s}$ . Als Konvention gilt, dass die technische Stromrichtung die Bewegung positiver Ladungsträger beschreibt. Für Gleichstrom gilt  $I = \text{const.}$  bzw.  $\dot{I} = 0$ .

Tritt der Strom  $I$  durch die Fläche  $A$ , so liegt eine (mittlere) Stromdichte  $j = I/A$  vor.

**Ladungstransport** Ein mikroskopisches Bild des Ladungstransports in Leitern geht davon aus, dass die Ladungsträger (Elektronen) quasi frei beweglich sind; im Mittel trägt etwa ein (1) Elektron pro Atom zur Leitfähigkeit bei. Der thermischen, ungeordneten Bewegung der Elektronen ist eine gerichtete allgemeine Driftbewegung mit der Geschwindigkeit  $\vec{v}_D$  überlagert, die vom angelegten elektrischen Feld  $\vec{E}$  bzw. der Spannung herrührt. Die mittlere Driftgeschwindigkeit lässt sich dann mit Hilfe der mittleren Zeit  $\tau$  zwischen Stößen von Elektronen am Gitter bzw. Gitterfehlern durch  $\langle v_D \rangle = qE/m \cdot \tau$  ausdrücken.

Sei  $n$  die Ladungsträgeranzahldichte, dann gilt für die Stromdichte und den Strom:

$$\vec{j} = nq\vec{v} = \rho_e\vec{v} \quad (39)$$

$$I = nq\vec{A} \cdot \vec{v} \quad (40)$$

Daraus folgt das differentielle Ohm'sche Gesetz  $\vec{j} = \sigma_e\vec{E}$ , worin  $\sigma_e = nq^2\tau/m$  die Leitfähigkeit ist. Der makroskopische Widerstand eines Leiters der Länge  $L$  mit dem Querschnitt  $A$  ist dann  $R = L/(\sigma_e A)$ . Es gilt das Ohm'sche Gesetz

$$I = \frac{U}{R} \quad U = RI \quad R = \frac{U}{I} \quad (41)$$

Die Einheit des elektrischen Widerstands ist das Ohm ( $\Omega$ ):  $1 \Omega = 1 \text{ Volt/Ampere}$ . Als *Leitwert*  $G$  wird der inverse Widerstand bezeichnet.

Der lineare Zusammenhang zwischen Strom und Spannung muss nicht für alle Materialien gelten, es gibt 'nicht-ohmsche' Leiter. Im Versuch wurden Glühbirne,  $200 \Omega$  Widerstand und eine nicht-lineare Diode gezeigt.

Entlang ohm'scher Leiter tritt ein Potenzialgefälle (Spannungsdifferenz) auf. Reale Leiter können als ideale Leiter mit einem Widerstand betrachtet werden (Ersatzschaltbild).

**Elektrischer Widerstand** kann teilweise dramatisch von der Temperatur abhängen; Demonstrationsversuch: gezeigt wird die Spannung, die zum Erhalt von  $70 \text{ mA}$  Strom erforderlich ist; die Spannung ist nach  $U = RI$  dem Widerstand  $R$  proportional. Es wird zwischen der Temperatur von flüssigem Stickstoff und kochendem Wasser variiert:

- Kupferspule:  $R$  variiert x10, klein bei tiefen Temperaturen
- Halbleiter: grosse Variation,  $R$  gross bei tiefen Temperaturen
- Manganin: keine nennenswerte Temperaturabhängigkeit

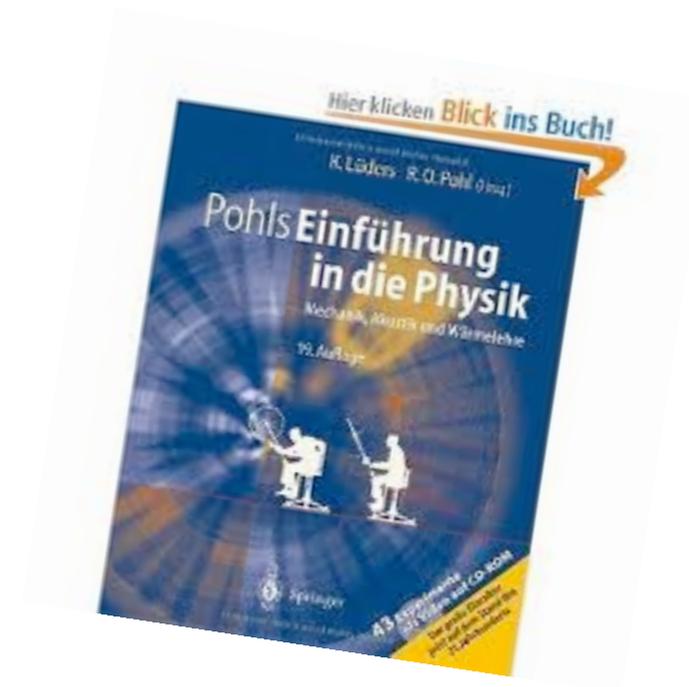
K. Lüders · R.O. Pohl (Hrsg.)

# Pohls Einführung in die Physik

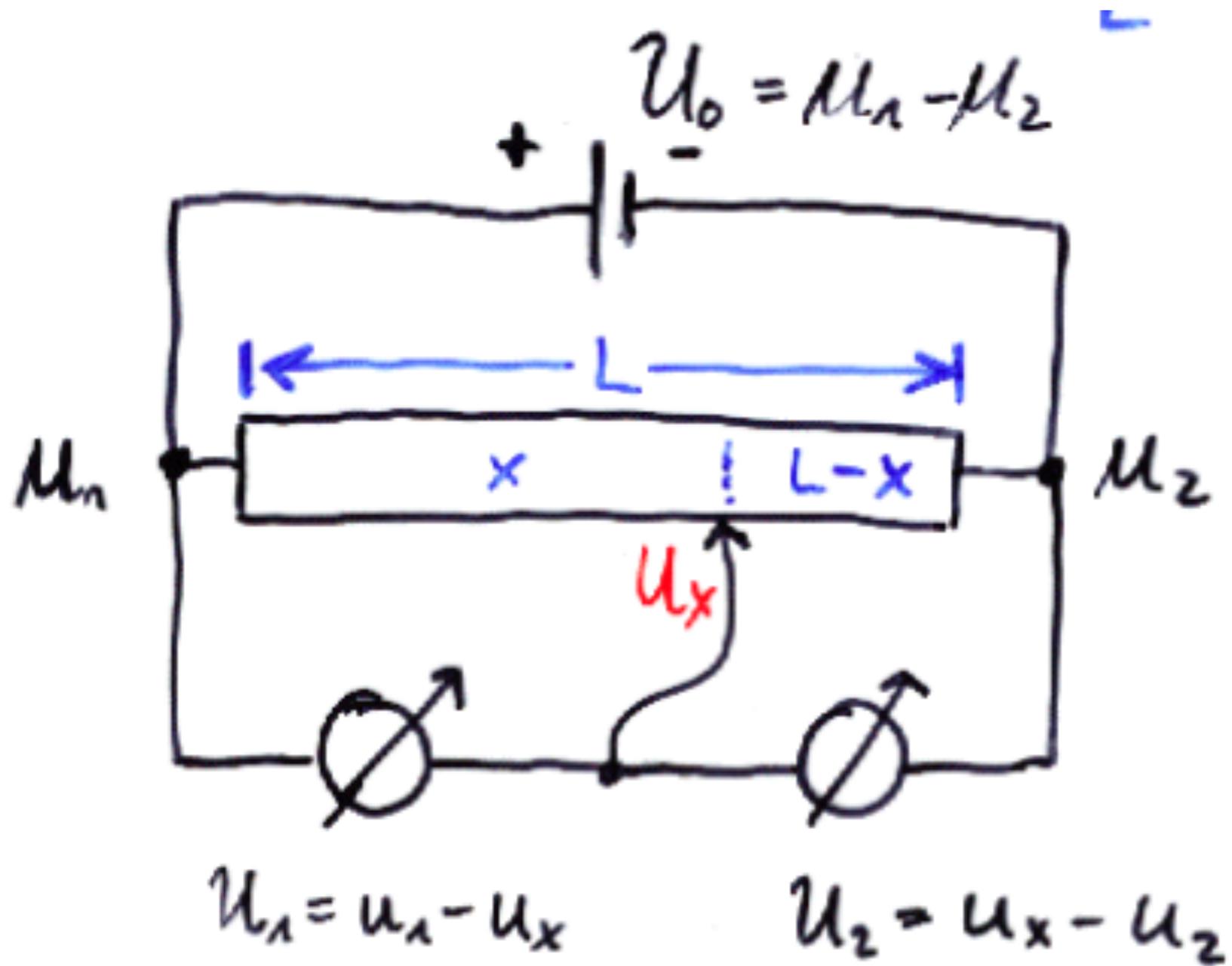
Band 2:  
Elektrizitätslehre und Optik

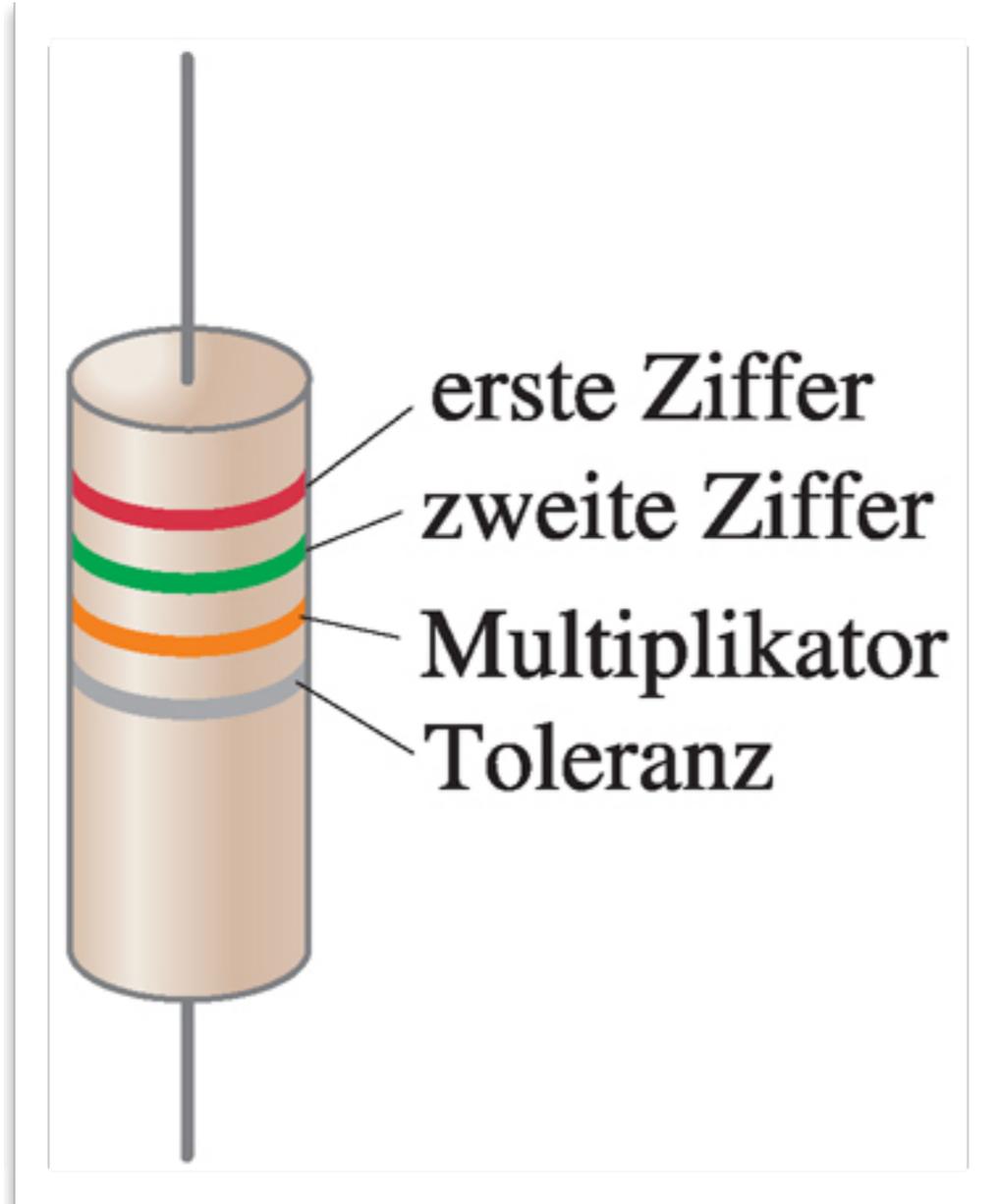
23., neu bearbeitete und mit Kommentaren  
und Aufgaben versehene Auflage  
mit historischer Filmdokumentation von Ekkehard Sieker  
und 36 Videofilmen auf DVD sowie 632 Abbildungen

 Springer



# Ohmscher Widerstand





## Widerstände: Farbcodes

Farbe	Nummer	Faktor	Toleranz
schwarz	0	1	
braun	1	$10^1$	
rot	2	$10^2$	
orange	3	$10^3$	
gelb	4	$10^4$	
grün	5	$10^5$	
blau	6	$10^6$	
violett	7	$10^7$	
grau	8	$10^8$	
weiß	9	$10^9$	
gold		$10^{-1}$	5%
silber		$10^{-2}$	10%
keine Farbe			20%



## Spezifischer elektrischer Widerstand und Temperaturkoeffizienten (bei 20°C)

Material	spezifischer elektrischer Widerstand $\rho$ (in $\Omega \cdot m$ )	Temperaturkoeffizient $\alpha$ (in $(^\circ C)^{-1}$ )
<i>Leiter</i>		
Silber	$1,59 \cdot 10^{-8}$	0,0061
Kupfer	$1,68 \cdot 10^{-8}$	0,0068
Gold	$2,44 \cdot 10^{-8}$	0,0034
Aluminium	$2,65 \cdot 10^{-8}$	0,00429
Wolfram	$5,6 \cdot 10^{-8}$	0,0045
Eisen	$9,71 \cdot 10^{-8}$	0,00651
Platin	$10,6 \cdot 10^{-8}$	0,003927
Quecksilber	$98 \cdot 10^{-8}$	0,0009
Nickelchrom (Legierung aus Ni, Fe, Cr)	$100 \cdot 10^{-8}$	0,0004
<i>Halbleiter<sup>a</sup></i>		
Kohlenstoff (Graphit)	$(3-60)10^{-5}$	-0,0005
Germanium	$(1-500)10^{-3}$	-0,05
Silizium	0,1-60	-0,07
<i>Isolatoren</i>		
Glas	$10^9-10^{12}$	
Hartgummi	$10^{13}-10^{15}$	

<sup>a</sup> Die angegebenen Werte sind stark abhängig von Verunreinigungen.

# Einheiten und Interpretation

Tabelle 25.2

*Chart junk*

Einheiten	
Strom	$1 \text{ A} = 1 \text{ C/s}$
Potenzialdifferenz	$1 \text{ V} = 1 \text{ J/C}$
Leistung	$1 \text{ W} = 1 \text{ J/s}$
Ohm'scher Widerstand	$1 \Omega = 1 \text{ V/A}$

**Ampere:** Strom ist **bewegte Ladungsmenge pro Zeit**; die Ladungsmenge ist gequantelt,  $1 e = 1.6 \times 10^{-19} \text{ C}$ ; technische Stromrichtung: Bewegung von positiven Ladungen

**Volt:** (normierte) Potenzialdifferenz = Spannung (Nullpunkt im Unendlichen); gibt den ( $\pm$ ) **Energieaufwand pro verschobener Ladungsmenge** an

**Watt:** Leistung ist die **Energiemenge, die pro Zeiteinheit umgesetzt wird**

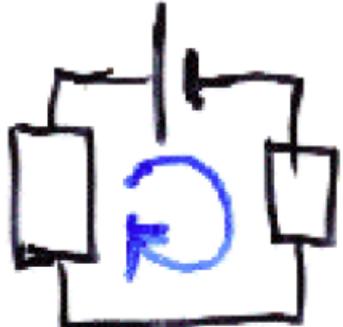
**Widerstand:** gibt die **Potenzialdifferenz pro Stromstärke** an, die aufgebracht werden muss, damit ein bestimmter Strom (durch einen ohm'schen Widerstand) fließt

# Kirchhoff'sche Regeln, Widerstandsaltungen



$\sum I_k = 0$

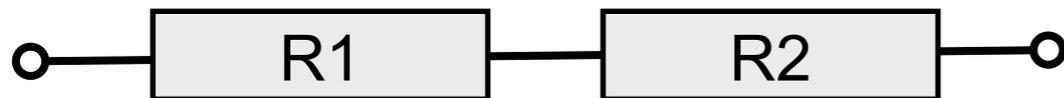
Knotenregel:  
Ladung häuft sich nicht an



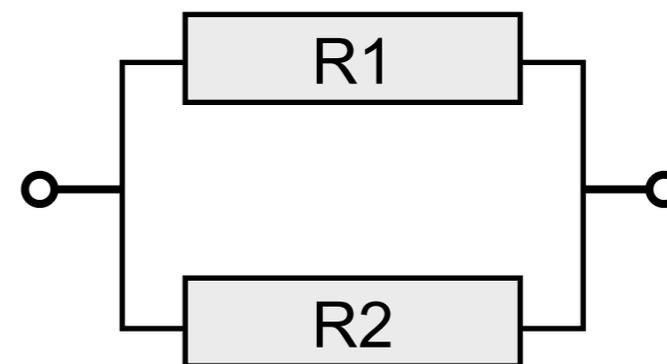
$\sum U_i = 0$

Maschenregel:  
Energieerhaltg.

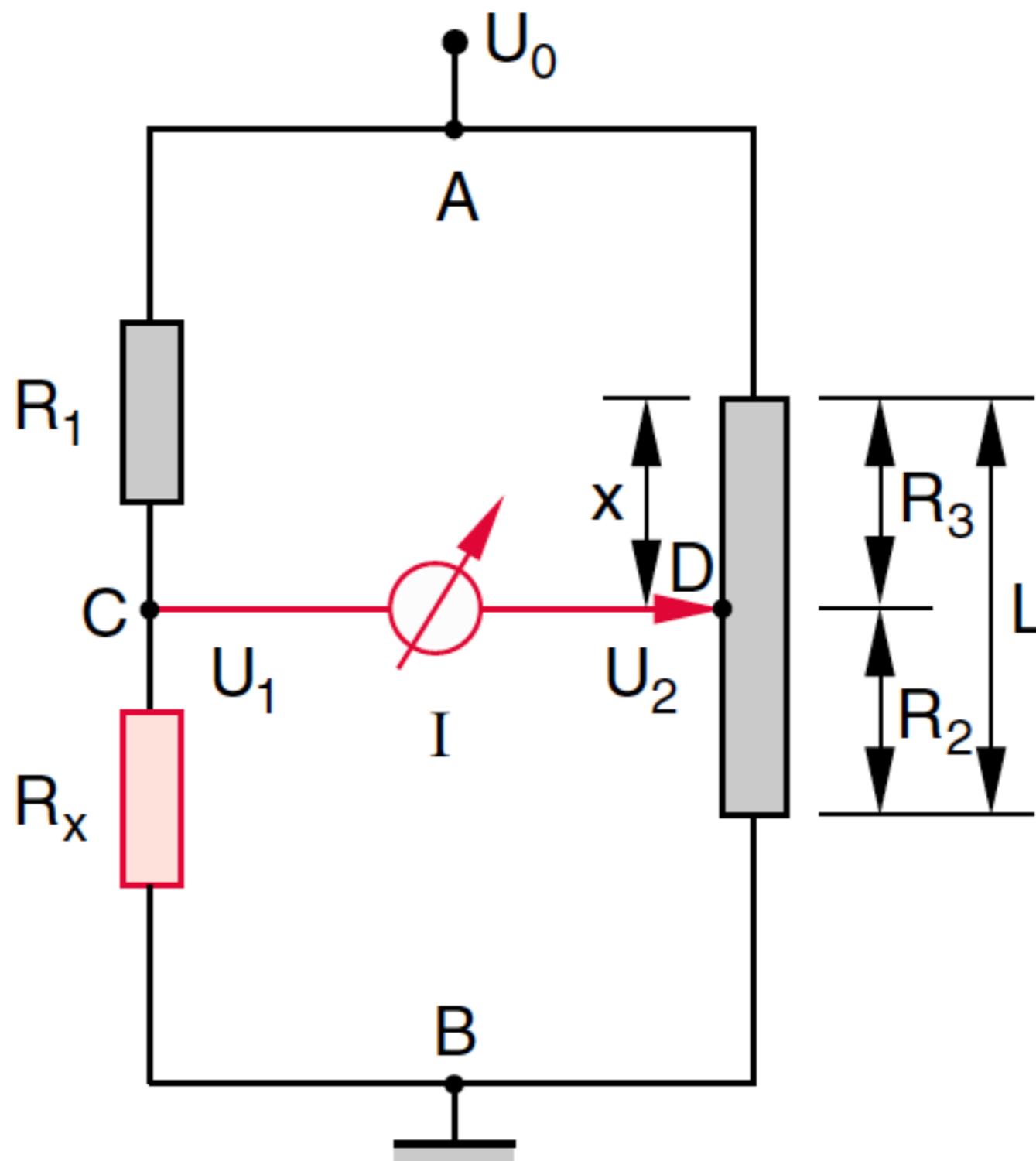
Serienschaltung



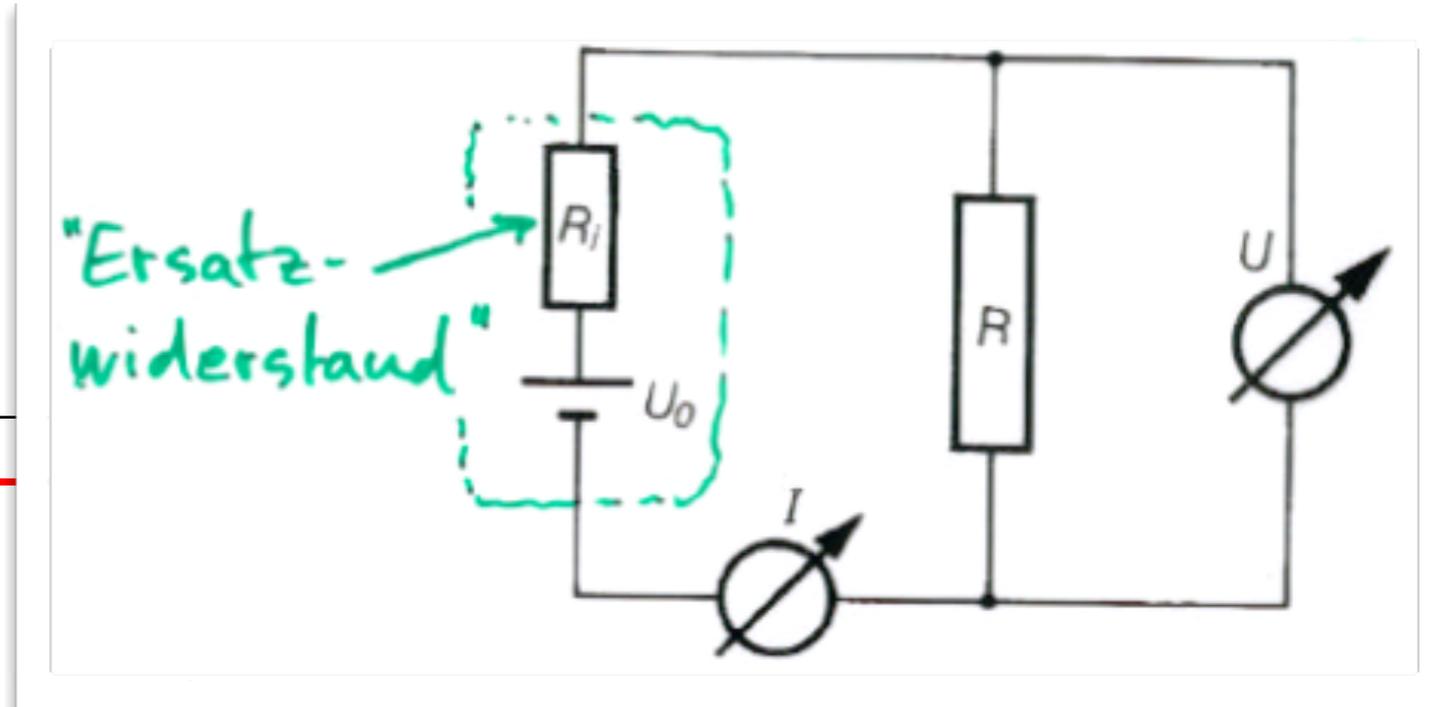
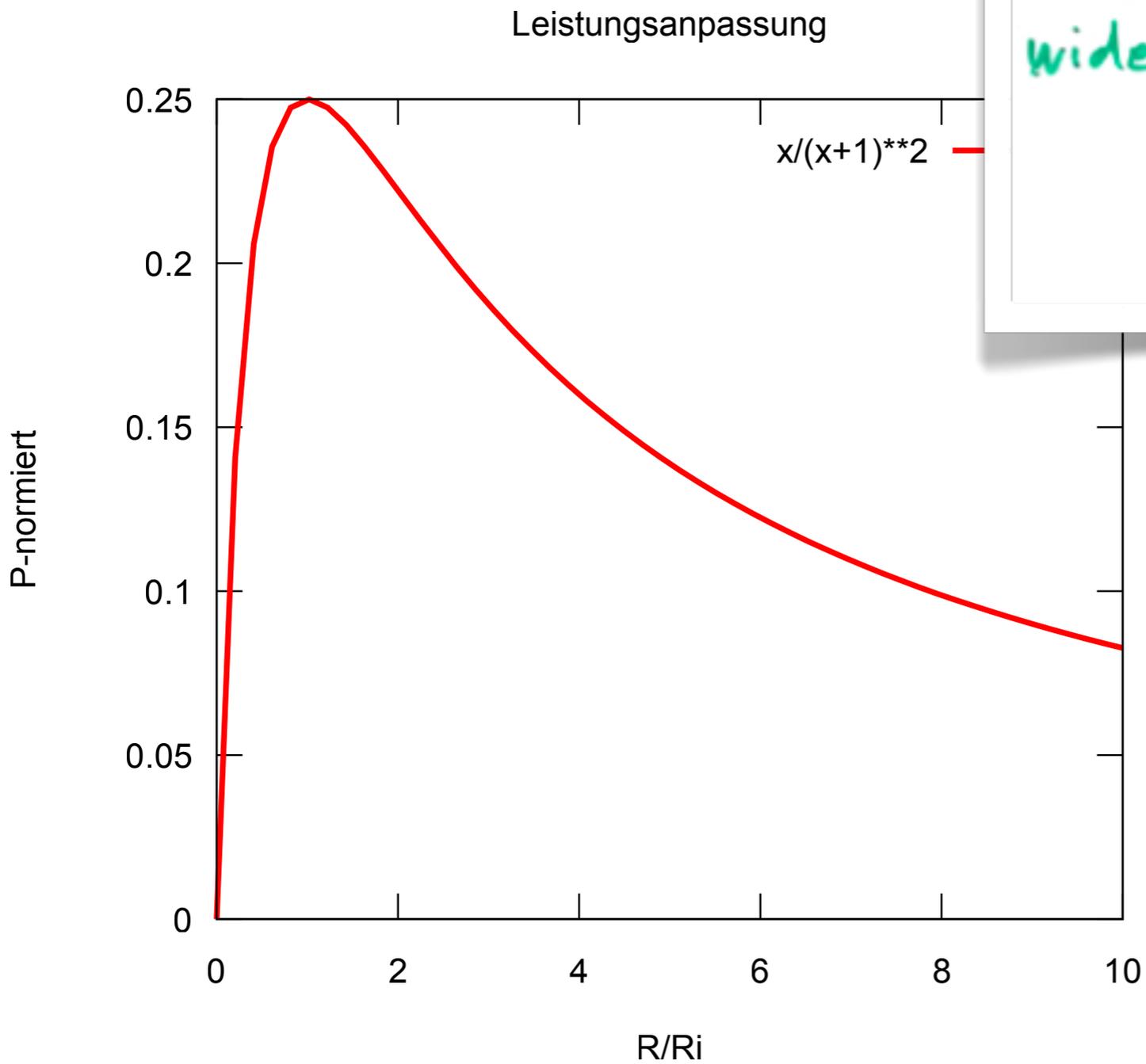
Parallelschaltung



# Wheatstone'sche Brücke



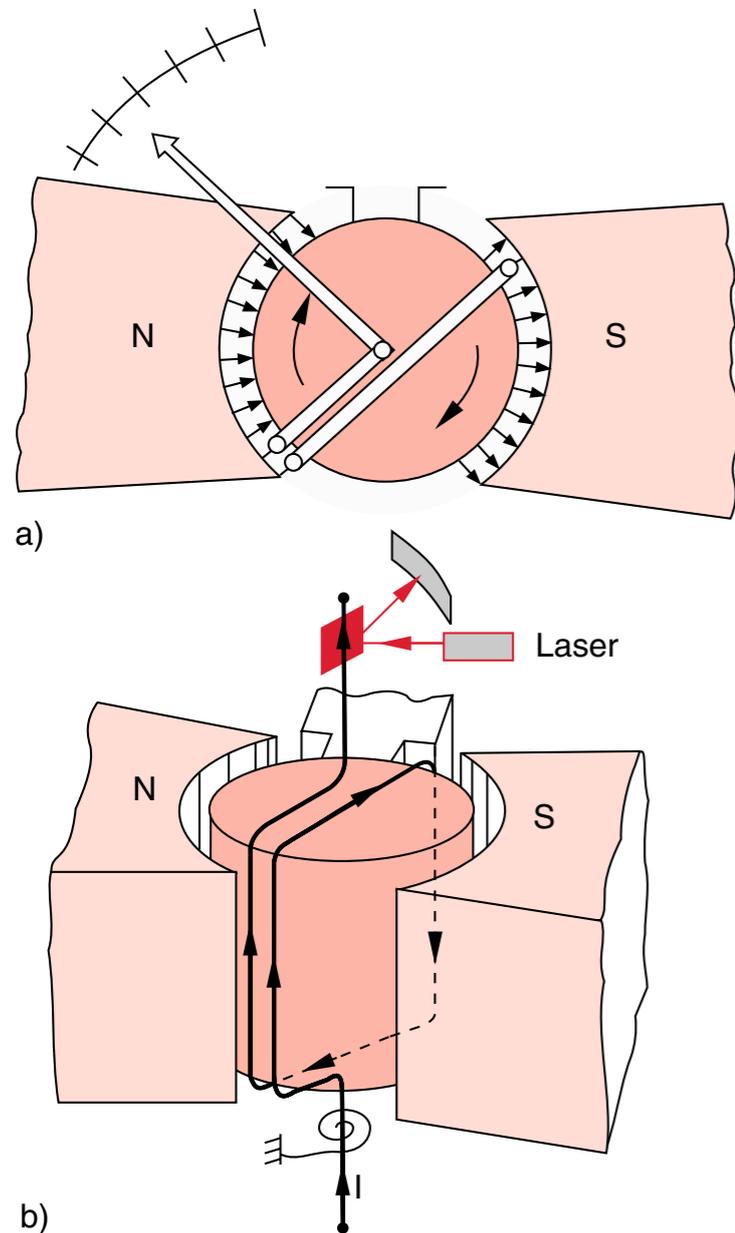
# Leistungsanpassung einer Stromquelle



**b) Strommessung durch Ausnutzung magnetischer Wirkungen**

Elektrische Ströme erzeugen Magnetfelder (siehe Kap. 3), welche Kräfte oder Drehmomente auf magnetische Dipole bewirken. Dies wird zur mechanischen Bewegung von Zeigern ausgenutzt.

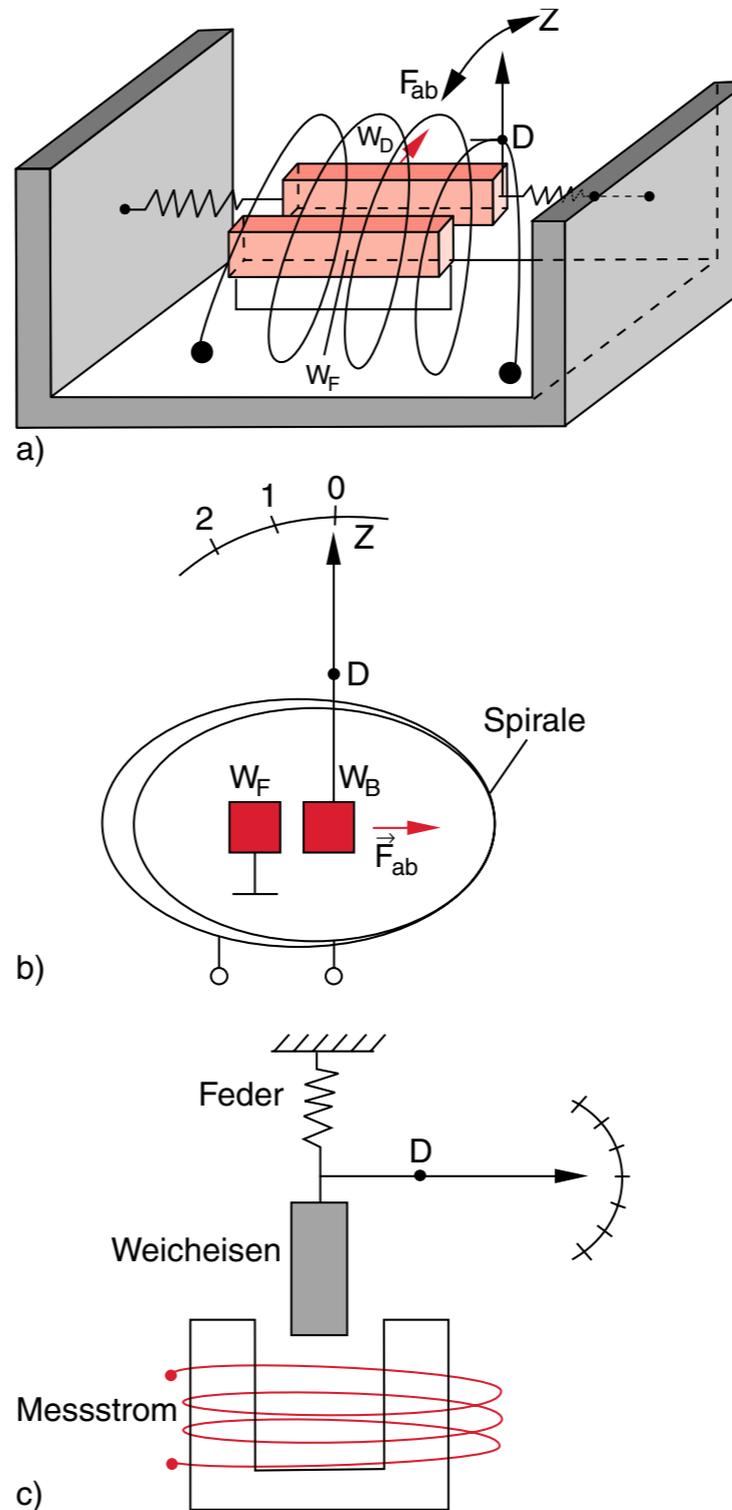
Im **Drehspul-Ampereometer** (Abb. 2.26) wird das zum Strom proportionale Drehmoment auf eine vom



**Abb. 2.26.** (a) Drehspul-Zeiger-Instrument (Sicht von oben), (b) Spiegelgalvanosystem (Seitenansicht)

# Strommessung

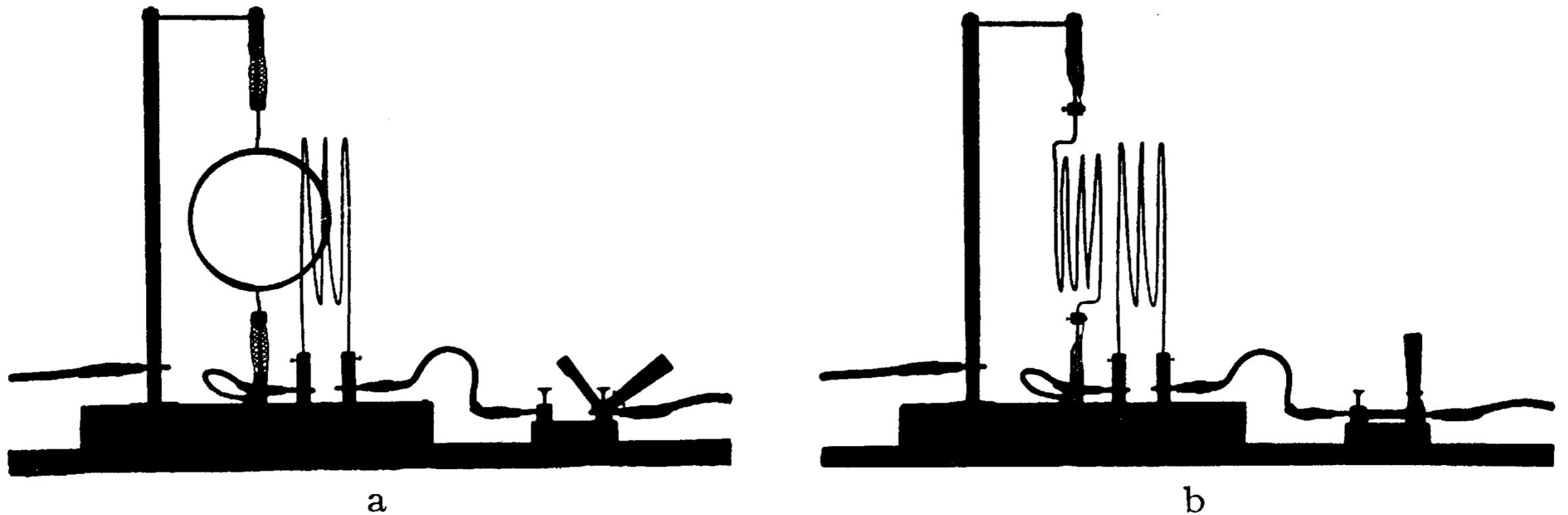
[Demtröder]



**Abb. 2.27a–c.** Vereinfachtes Modell des Weicheiseninstrumentes. (a) perspektivische Ansicht; (b) Seitenansicht  $W_F$  = feststehendes Weicheisen,  $W_B$  = bewegliches Weicheisen,  $D$  = Drehpunkt für Zeiger  $Z$ ,  $F_{ab}$  = abstoßende Kraft zwischen  $W_F$  und  $W_B$ ; (c) Ein Weicheisenzylinder wird in das Magnetfeld hineingezogen

# Strommessung [Pohl]

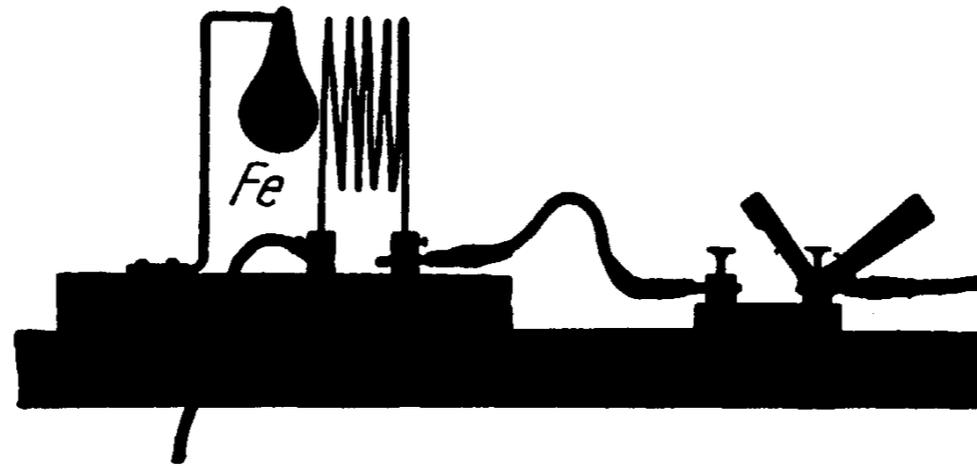
Abb. 10 zeigt eine oft technisch ausgenutzte Variante dieses Versuches. Die beiden beweglichen Bänder sind durch eine feste und eine drehbare Spule ersetzt. Beide werden vom gleichen Strom durchflossen (Abb. 10a). Die bewegliche Spule stellt sich parallel zur festen Spule (Abb. 10b).



**Abb. 10.** Rechts eine feste, links eine drehbare Spule. Zuleitungen zur „Drehspule“ aus gewebtem Metallband, zugleich Schema der Drehspul-Messinstrumente für Strom und Spannung, auch für Wechselströme (§ 72).

# Strommessung [Pohl]

f) Endlich nehmen wir (in Analogie zu Abb. 3) in Abb. 11 ein Stück weiches Eisen  $Fe$ . Es wird in das Magnetfeld eines aufgespulten Leiters hineingezogen. — Soweit unsere Beispiele für mechanische Bewegungen im Magnetfeld eines Stromes.



**Abb. 11.** Feststehende Spule und drehbar aufgehängtes weiches Eisen  $Fe$

# Strommessung [Pohl]

2. *Der vom Strom durchflossene Leiter wird erwärmt.* Er kann bis zur Weißglut erhitzt werden. Das zeigt jede Glühlampe. Abb. 12 zeigt in einem einfachen Schauversuch, wie sich ein Draht infolge der Stromwärme („*JOULE'sche Wärme*“, siehe § 12) ausdehnt. — Das alles bezog sich auf feste Leiter, wir haben Metalldrähte benutzt.

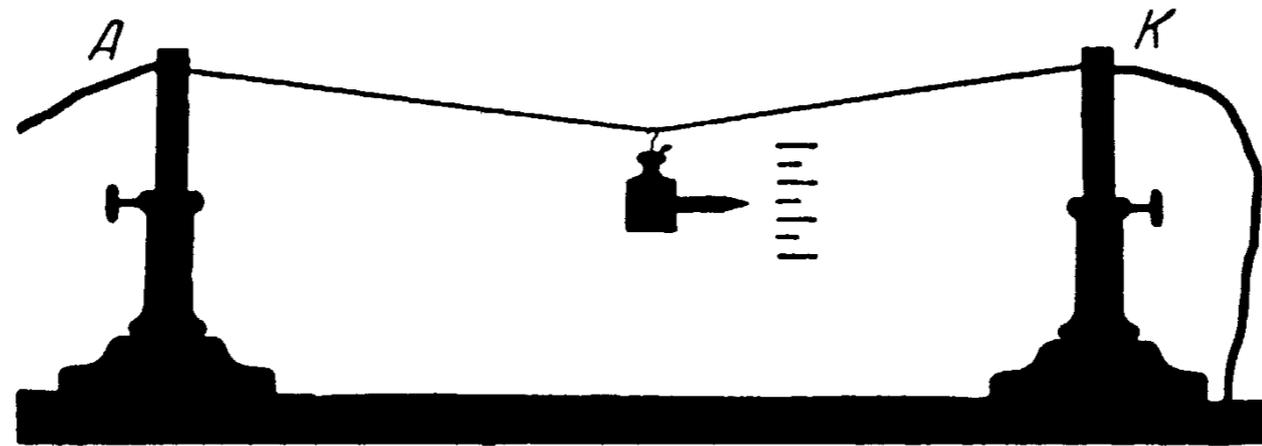


Abb. 12. Längenausdehnung eines vom Strom erwärmten Drahtes *KA*