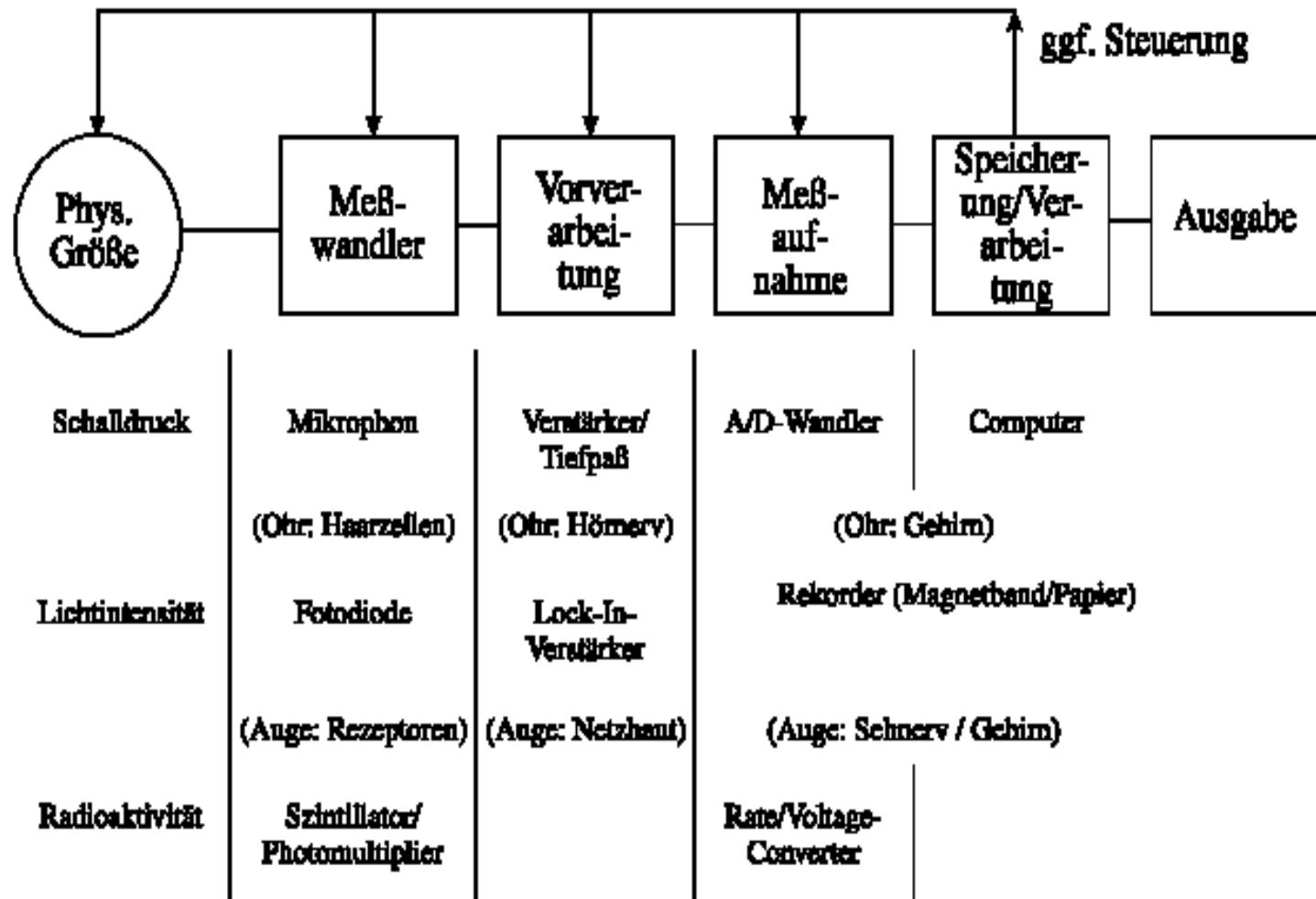


Erfassen physikalischer Signale

Birger Kollmeier

* mit Auszügen aus: Tietze-Schenk, Keithley-Instruments, A.Kittel:
Skript zur Vorlesung

Typischer Meßaufbau

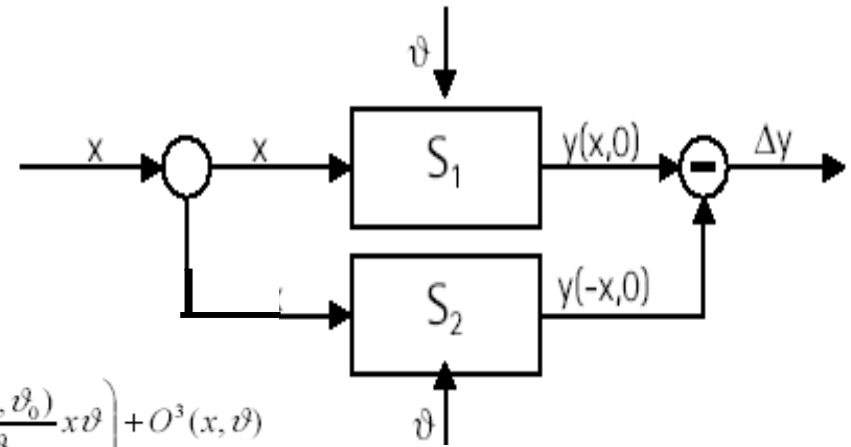


Linearisierung der Kennlinie durch Differenzbildung

Meßgröße x , $-x$

Ausgangsgröße $y=F(x)$

Störgröße ϑ



$$y(x_0 \pm x, \vartheta_0 \pm \vartheta) = y(x_0, \vartheta_0) + \left(\pm \frac{\partial y(x_0, \vartheta_0)}{\partial x} x + \frac{\partial y(x_0, \vartheta_0)}{\partial \vartheta} \vartheta \right) + \frac{1}{2} \left(\frac{\partial^2 y(x_0, \vartheta_0)}{\partial x^2} x^2 + \frac{\partial^2 y(x_0, \vartheta_0)}{\partial \vartheta^2} \vartheta^2 \pm 2 \frac{\partial^2 y(x_0, \vartheta_0)}{\partial x \partial \vartheta} x \vartheta \right) + O^3(x, \vartheta)$$

$$\Delta y(x, \vartheta) = y(x, \vartheta) - y(-x, \vartheta) = 2 \left(\frac{\partial y(x_0, \vartheta_0)}{\partial x} x + \frac{\partial^2 y(x_0, \vartheta_0)}{\partial x \partial \vartheta} x \vartheta \right) + O^3(x, \vartheta)$$

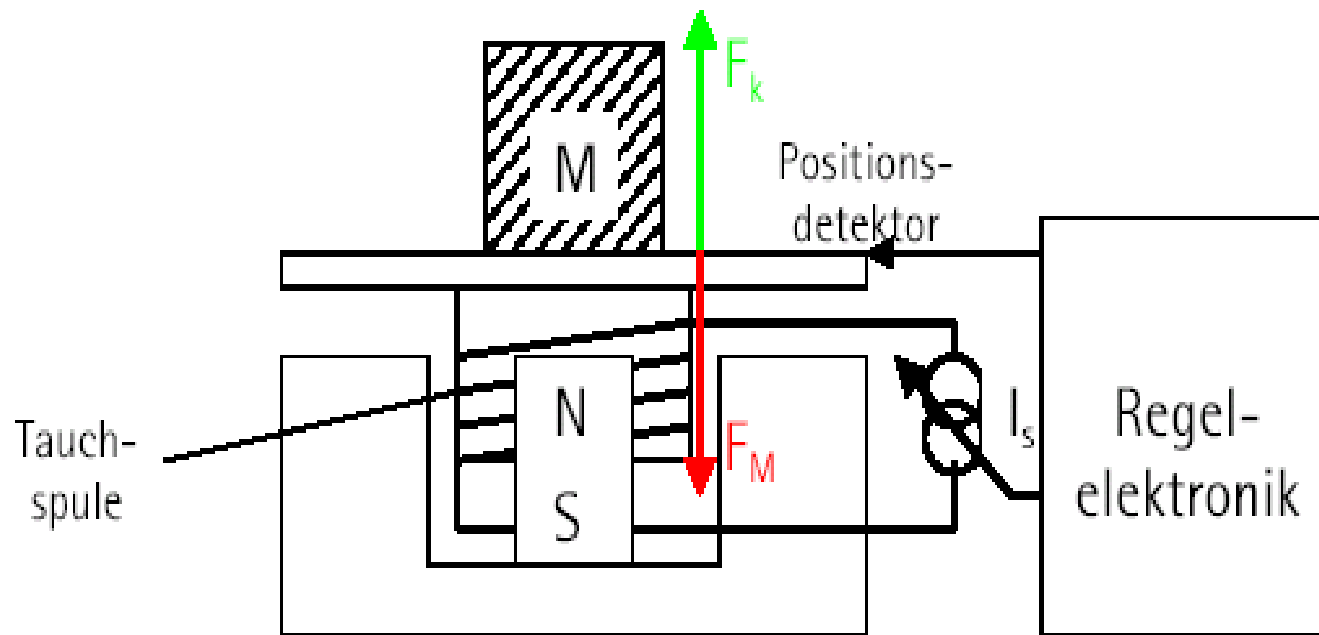
- Empfindlichkeit ist verdoppelt
- Nur gemischt quadratisches Glied bleiben übrig
- Rein quadratische Glieder entfallen
- Lineares Einflussglied entfällt

Beispiele:

- Laser-Doppler-Anemometer
- Laser-Vibrometer
-

Linearisierung durch Gegenkopplung

Beispiel: Kraftmessung durch Kompensation mit
Gegenkraft (linear in I_s)

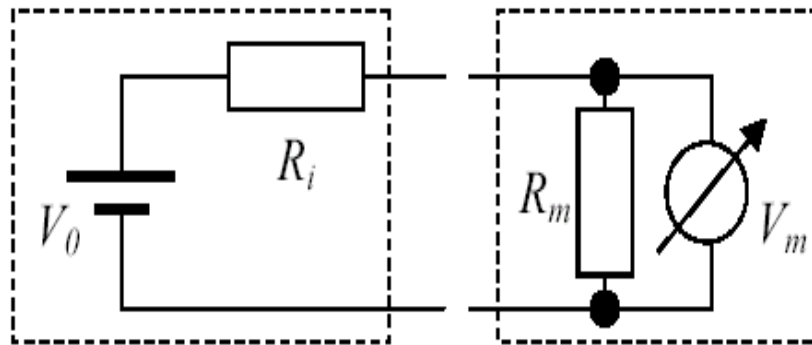


Der Strom I_s ist proportional zur Masse, wenn $F_k(I) \propto I_s$.

Beispiel für einige Anwendungen:

- STM, AFM (im *constant current/force mode*)
- Hitzdrahtanemometer
- Beschleunigungssensoren
- SQUID-Magnetometer in einer *flux-locked loop*

Spannungsmessung



Spannungsquelle

Spannungsmessinstrument

Für die gemessene Spannung V_m gilt:

$$V_m = \frac{R_m}{R_m + R_i} V_0$$

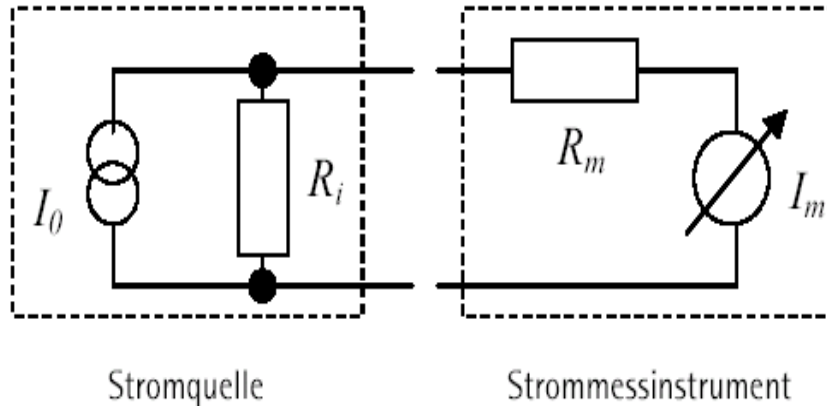
Mindestforderung:

$$R_m \gg R_i$$

Typische Innenwiderstände einiger Spannungsmessinstrumente:

Analoges Spannungsmessinstrument	20 k Ω /Volt Vollausschlag
Handmultimeter	20M Ω
Labormultimeter	1G Ω
Elektrometer	10T $\Omega = 10^{13}\Omega$

Strommessung



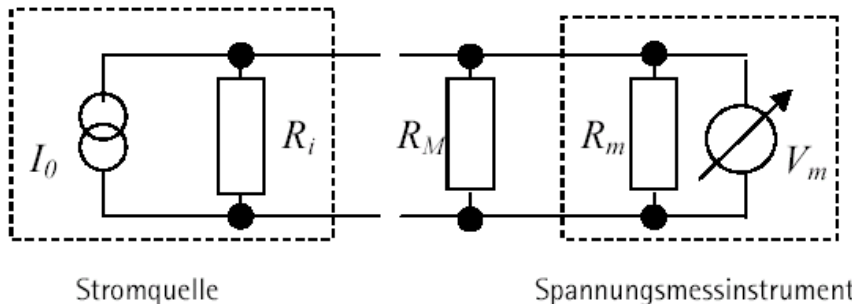
Für die gemessene Strom I_m gilt:

$$I_m = I_0 - I_i = \frac{V_0}{R_m} = \frac{R_m R_i}{R_m + R_i} I_0 \frac{1}{R_m} = \frac{R_i}{R_m + R_i} I_0 = \frac{I_0}{1 + \frac{R_m}{R_i}}$$

Mindestforderung:

$$R_m \ll R_i$$

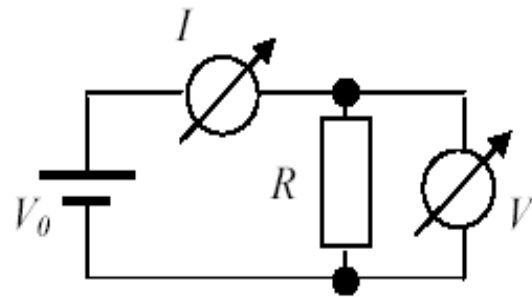
Alternativ:



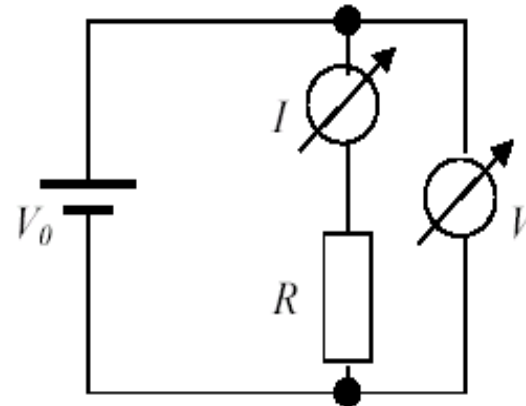
Damit ergibt sich für den Messwiderstand R_M :

$$R_M \ll R_i$$

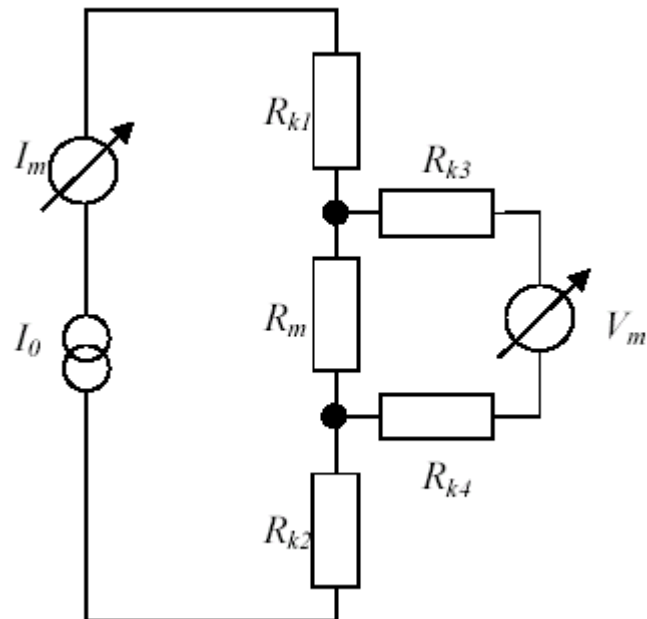
Widerstandsmessung



Stromfehlerschaltung



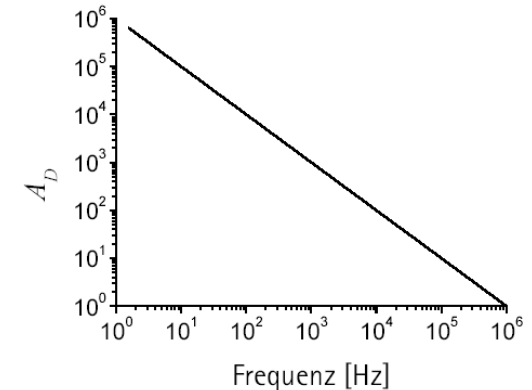
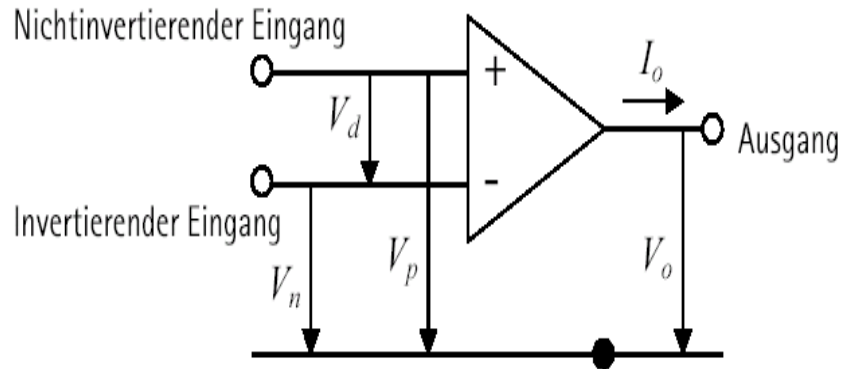
Spannungfehlerschaltung



Vierpunktmessung:
geeignet für kleine
Widerstände,
Kabelwiderstände
spielen keine Rolle!

$$R_m = V_m / I_m$$

Operationsverstärker

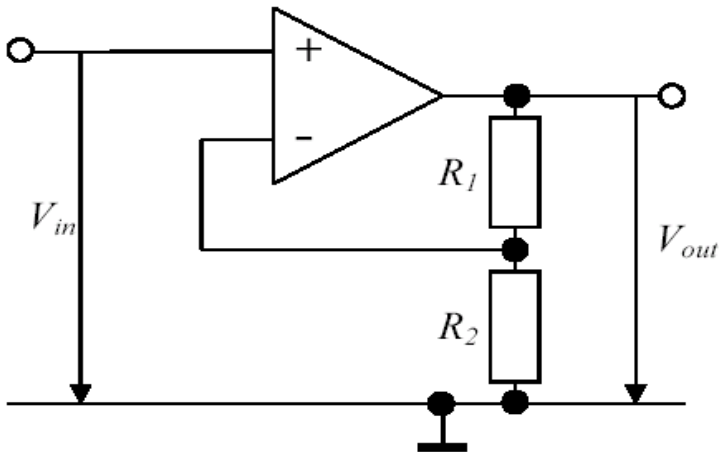


Begrenzung, um
Phasendrehung
< 180 Grad zu
gewährleisten

Parameter	Symbol	μ A741 (bipolar)	TL 081 (FET)
Differenzverstärkung	A_D	10^5	$2 \cdot 10^5$
Gleichtaktunterdrückung	G	$3 \cdot 10^4$	$2 \cdot 10^4$
3dB-Bandbreite (untere Grenzfrequenz)	f_{gA}	10Hz	30Hz
Verstärkungs-Bandbreit- Produkt	f_i	1MHz	3MHz
Differenzeingangswiderstand	r_D	$10^6 \Omega$	$10^{12} \Omega$
Gleichtakteingangswiderstand	r_{GI}	$10^9 \Omega$	$10^{14} \Omega$
Eingangsruhestrom	I_B	80nA	30pA
Offsetspannung	V_O	1mV	5mV
Offsetspannungsdrift	$\Delta V_O / \vartheta$	6 μ V/K	10 μ V/K
Betriebsspannungsdurchgriff	$\Delta V_O / \Delta V_b$	15 μ V/V	50 μ V/V
Gleichtaktaussteuerbarkeit	$V_{GI,max}$	± 13 V	14,5V ; -12V
Ausgangsaussteuerbarkeit	$V_{a,max}$	± 13 V	± 13 V
Maximaler Ausgangsstrom	$I_{a,max}$	± 20 mA	± 20 mA
Ausgangswiderstand	r_a	1k Ω	100 Ω
Betriebsstromaufnahme	I_b	1,7mA	1,4mA

Beschaltung OP-Amp

3.3.2 Nicht-invertierender Verstärker

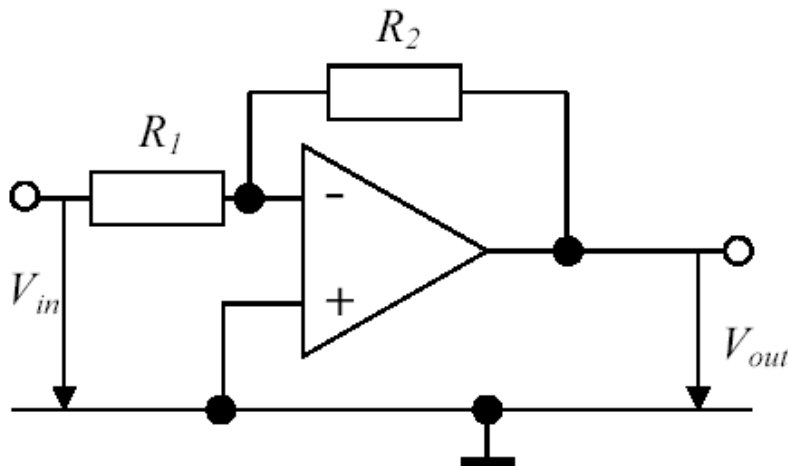


$$A = \frac{V_{out}}{V_{in}} = \frac{R_1 + R_2}{R_2} = \frac{R_2}{R_1} + 1$$

$$R_{in} = r_D + R_2$$

$$R_{out} = r_a$$

3.3.3 Invertierender Verstärker



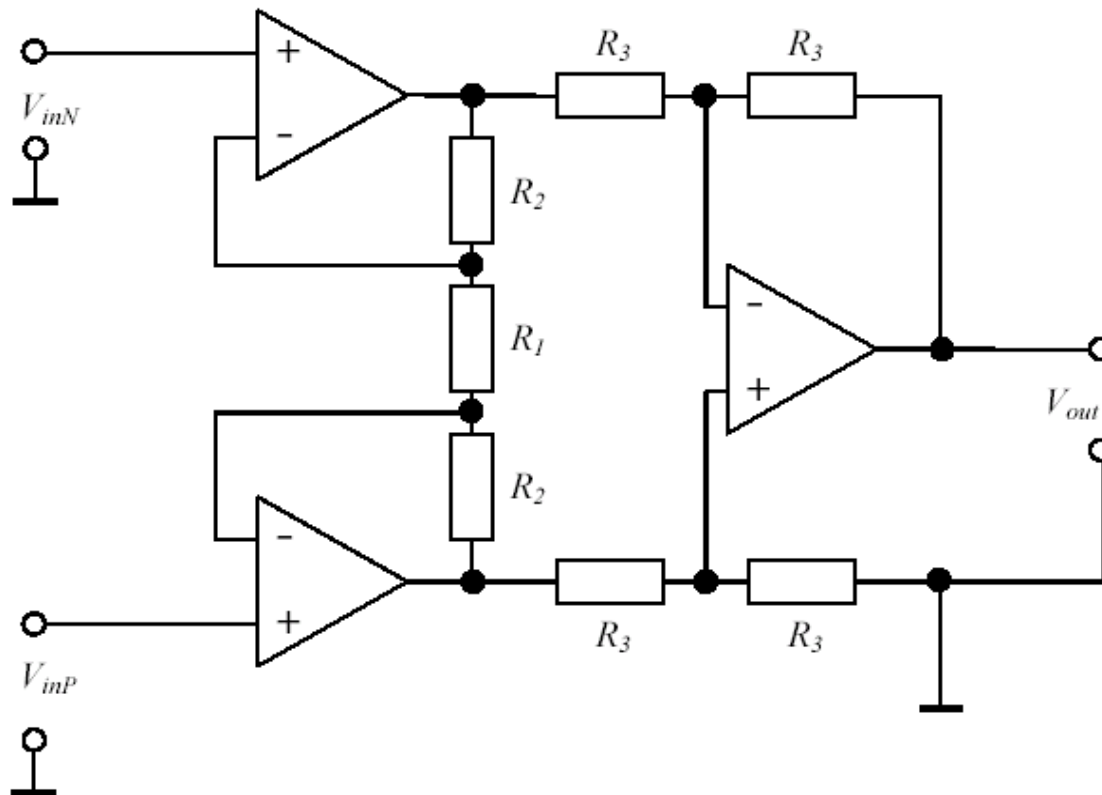
$$A = \frac{V_{out}}{V_{in}} = -\frac{R_2}{R_1}$$

$$R_{in} = R_1$$

$$R_{out} = r_a$$

Instrumentations-Verstärker

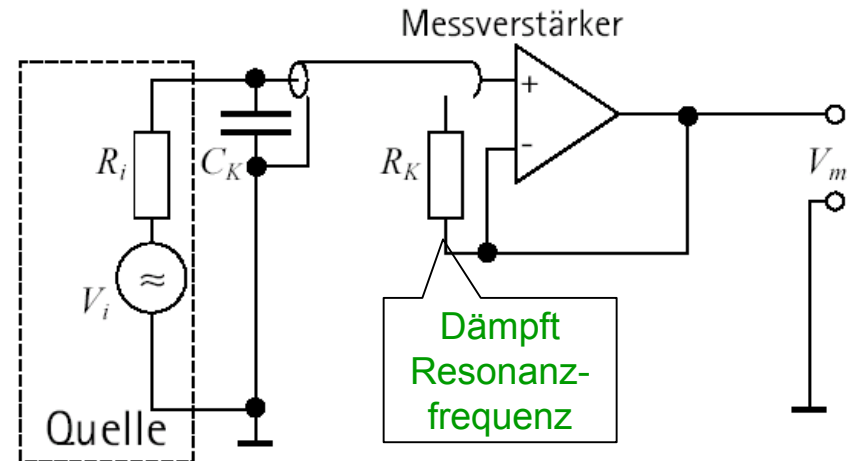
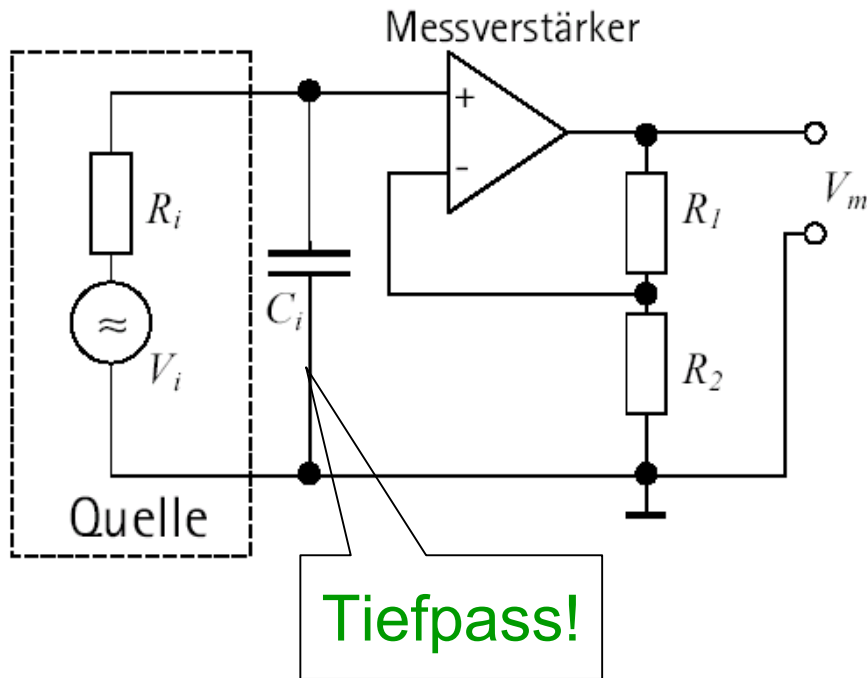
3.3.10 Instrumentenverstärker



Ein Instrumentenverstärker besitzt einen hohen Eingangswiderstand ($R_{in} \approx r_D$) und die Ausgangsspannung ist proportional zur Differenz der Eingangsspannungen:

$$V_{out} = (V_{inP} - V_{inN}) \left(1 + 2 \frac{R_2}{R_1} \right)$$

Wechselstrom/spannungs- Messung



Durch diese Maßnahme erhöht sich die Bandbreite bis in die Nähe von ca. 10MHz.

Lösung: $f_0 = 10 \text{ MHz!}$

**(z.B. Tastkopf f.
Oszilloskop)**

Beispiel

Ein 50Ω -Koaxialkabel hat eine Kapazität von 100pF/m . Bei einem Innenwiderstand der Quelle ergibt sich als Grenzfrequenz:

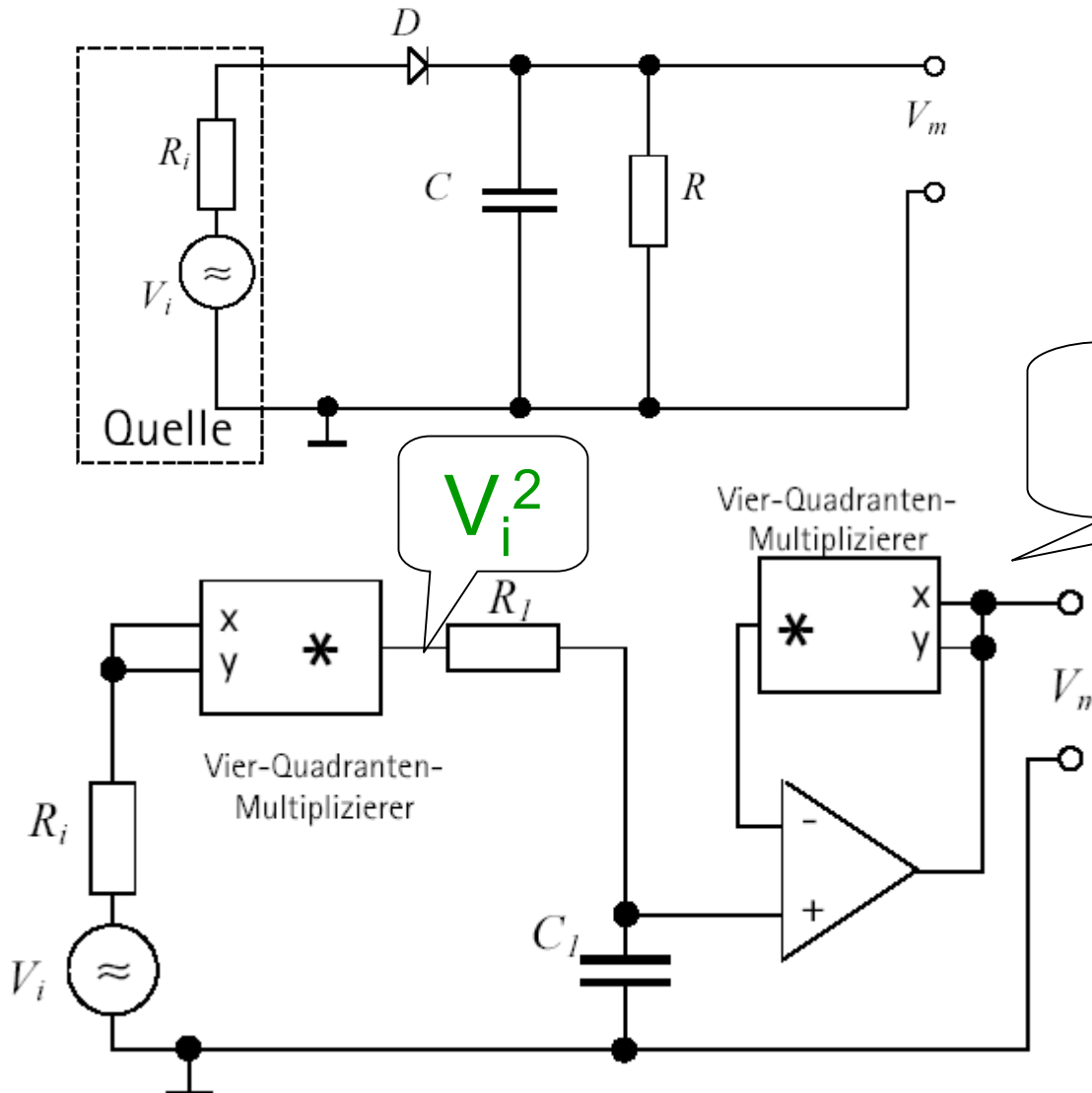
$$f_0 = \frac{1}{2\pi RC} = \frac{0,16}{10^5 \Omega \cdot 10^{-10} \text{ F}} = 16 \text{ kHz}$$

Spitzenwert/RMS-Wert-Messung

Halbwellengleichrichtung
+ Tiefpaß:

V_m = Spitzenwert

Ausgang² =
Eingang, d.h.
Wurzelziehen!



V_i^2

$$V_{rms} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T V^2(t) dt}$$

Dynamisches Mikrophon

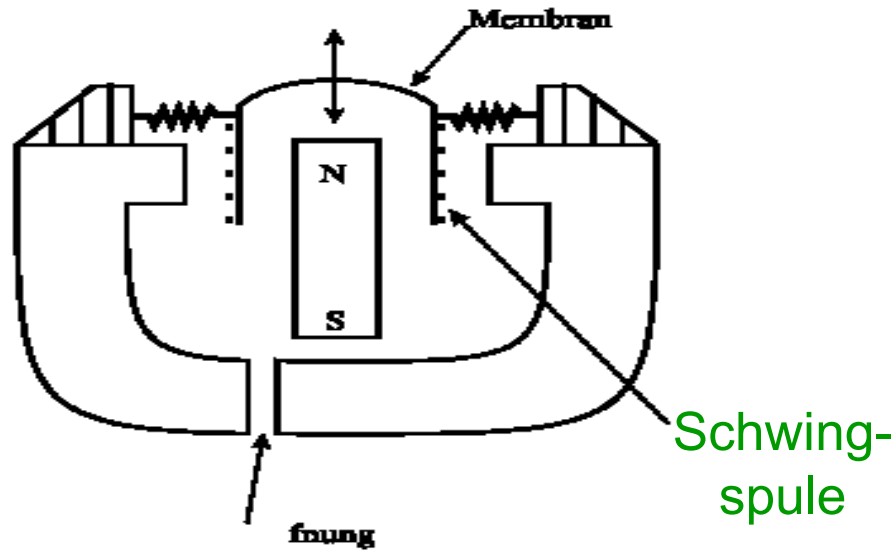
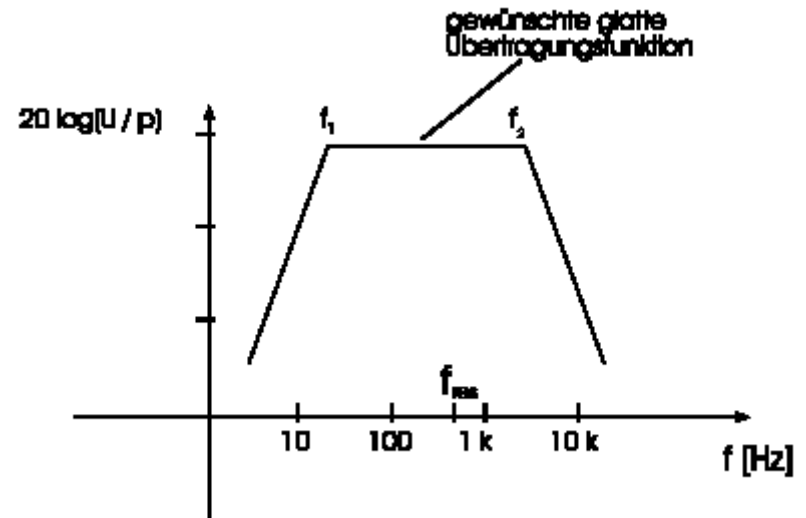
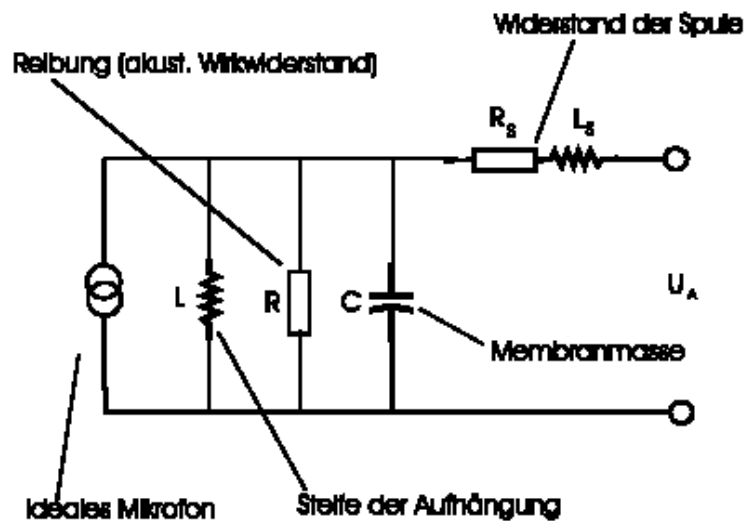
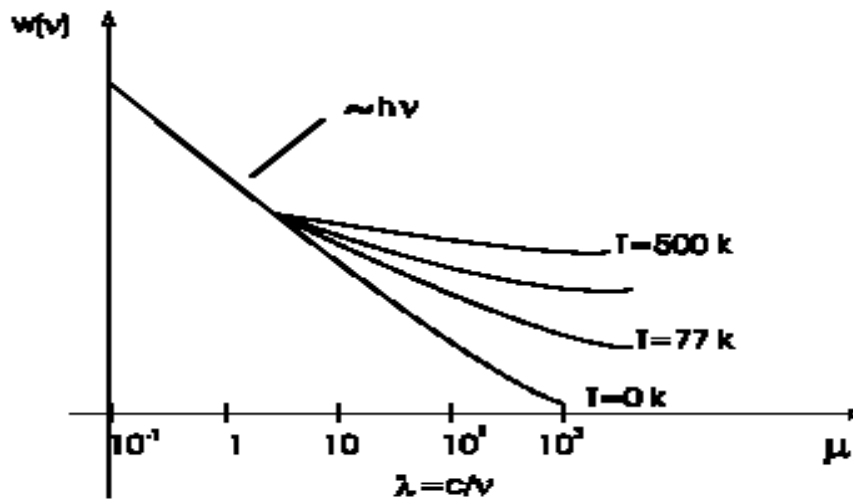


Abb. 3.2: Dynamisches Mikrophon



Fotodiode



$$W(\nu) = h \cdot \nu + \frac{h\nu}{e^{\frac{h\nu}{kT}} - 1} \quad (\text{Bose-Einstein-Statistik})$$

$$\rightarrow h\nu \text{ f\u00fcr } T \gg \frac{h\nu}{k}$$

Abb. 3.5: Leistungsdichte des Quantenrauschens

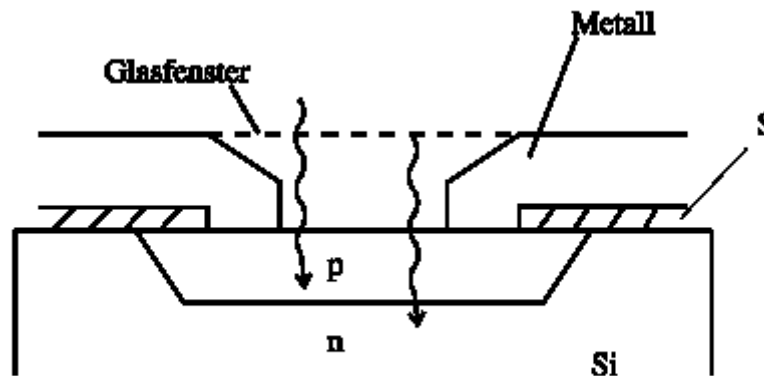


Abb. 3.6: pn-Fotodiode

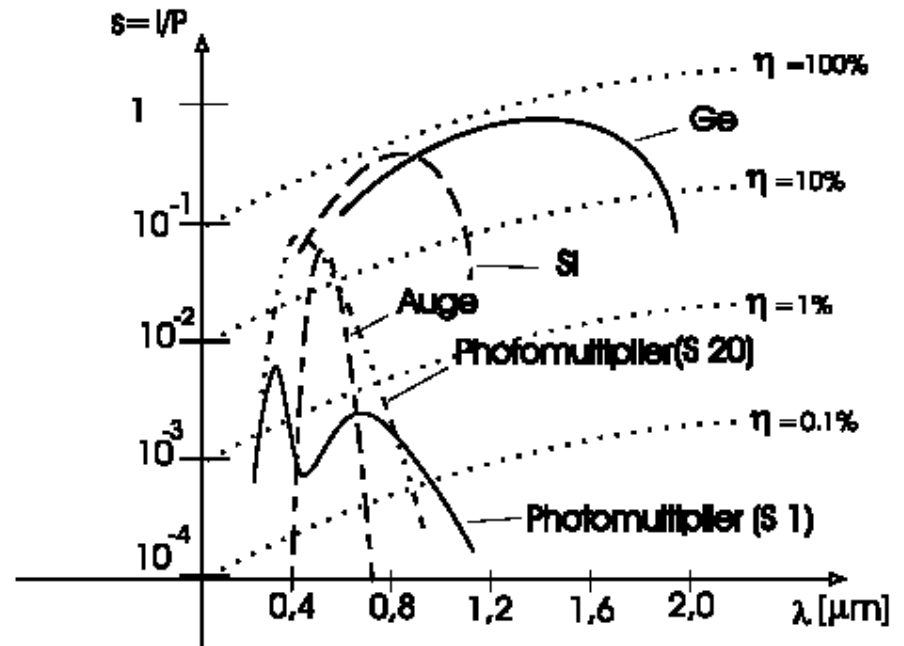
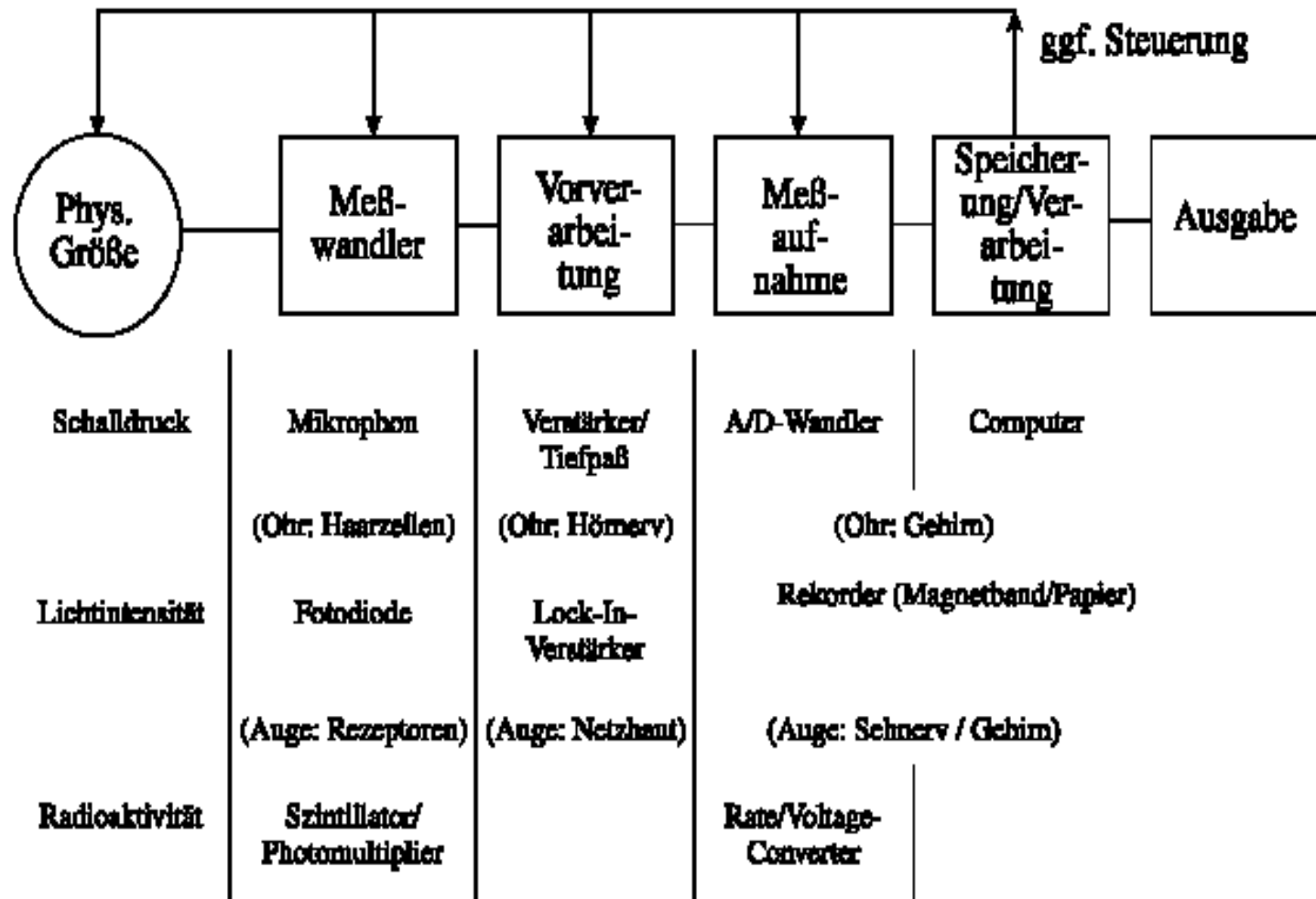


Abb. 3.7: Empfindlichkeit $s=I/P$

Typischer Meßaufbau



Lock-In-Verstärker

