

Messtechnik

Prof. Dr. Martin Jogwich – Elektro- und Medientechnik

DEGGENDORF UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Vorlesungsinhalte: **Messtechnik**

- 1. Einleitung**
- 2. Grundlagen**
- 3. Messung elektrischer Größen**
- 4. Komponenten**
- 5. Messung nicht-elektrischer Größen**

1. Einleitung: **Vorlesungsinhalte**

- 1.1 Organisatorisches**
- 1.2 Literaturhinweise**
- 1.3 Physikalische Größen, Einheiten und Vorsätze**

1. Einleitung:

1.2 Literatur zur Vorlesung:

1.2.1 Bücherauswahl

Autor	Titel	Verlag
W.-J. Becker, K. W. Bonfig, K. Höing	Handbuch Elektrische Messtechnik	Hüthig Verlag
K. Bergmann	Elektrische Messtechnik	Vieweg + Teubner
R. Felderhoff, U. Freyer	Elektrische und elektronische Messtechnik	Hanser Verlag
G. Heyne	Elektronische Messtechnik	Oldenbourg Verlag
R. Lerch	Elektrische Messtechnik	Springer Verlag
Th. Mühl	Einführung in die elektrische Messtechnik	Vieweg + Teubner
J. Niebuhr, G. Lindner	Physikalische Messtechnik mit Sensoren	Oldenbourg Verlag
R. Parthier	Messtechnik	Vieweg + Teubner
W. Pfeiffer	Elektrische Messtechnik	VDE Verlag
E. Schrüfer	Elektrische Messtechnik	Hanser Verlag
N. Weichert, M. Wülker	Messtechnik und Messdatenerfassung	Oldenbourg Verlag

1. Einleitung:

1.2 Literatur zur Vorlesung:

1.2.2 Normen (IEC 60617, Auszug)

	Ideale Stromquelle		Voltmeter
	Ideale Spannungsquelle		Amperemeter (für Blindstrom)
	Spannungswandler, allg.		Veränderbarer Widerstand
	Diode		Induktivität

1. Einleitung:

1.3 Physikalische Größen, Einheiten u. Vorsätze:

1.3.1 Basisgrößen

Größe	Formel-zeichen	Basis-einheit	Abk. d. Einheit	Definition der Basiseinheit
Zeit	t	Sekunde	s	Vielfaches der Periodendauer eines atomaren Übergangs
Masse	m	Kilogramm	kg	Masse eines Eichkörpers
Länge	l	Meter	m	Streckenlänge, die Licht in def. Zeit zurücklegt
Temperatur	T	Kelvin	K	Bruchteil der Wassertemperatur am Tripelpunkt
Stromstärke	I	Ampere	A	Stromstärke, die zwischen 2 Leitern def. Kraft erzeugt
Lichtstärke	I_L	Candela	cd	Lichtstärke einer Strahlungsquelle mit def. Frequenz und Strahlstärke
Stoffmenge	n	Mol	mol	Stoffmenge wie Atomanzahl in def. Masse vom ^{12}C

1. Einleitung:

1.3 Physikalische Größen, Einheiten u. Vorsätze:

1.3.2 Vorsätze > 1

Faktor	Vorsatz	Vorsatz-zeichen	Beispiele
10^1	Deka	da	
10^2	Hekto	h	Durchschnittlicher jährlicher Bierkonsum pro Kopf in Bayern = 1,554 hl
10^3	Kilo	k	Gesamtlänge der deutschen Autobahn = 12700 km
10^6	Mega	M	Nettoleistung Isar II = 1410 MW
10^9	Giga	G	durchschnittliche Energie eines Blitzes = 1,5 GJ
10^{12}	Tera	T	Abstand Sonne – Saturn = 1,4 Tm
10^{15}	Peta	P	Jährlicher Primärenergieverbrauch in Bayern = 1978 PJ
10^{18}	Exa	E	Jährlicher Primärenergieverbrauch in Deutschland = 13,842 EJ

1. Einleitung:

1.3 Physikalische Größen, Einheiten u. Vorsätze: 1.3.3 Vorsätze < 1

Faktor	Vorsatz	Vorsatz-zeichen	Beispiele
10^{-1}	Dezi	d	Maximal zugelassene Breite und Tiefe von Fußballtorpfosten = 1,2 dm
10^{-2}	Centi	c	Durchmesser der 1-€-Münze = 2,325 cm
10^{-3}	Milli	m	Dicke der 1-€-Münze = 2,33 mm
10^{-6}	Mikro	µ	Größe von Bakterien $\sim \mu\text{m}$
10^{-9}	Nano	n	typische Größe von organischen Molekülen = 20 nm
10^{-12}	Piko	p	Kapazität von Kondensatoren $\sim \text{pF}$
10^{-15}	Femto	f	Pulsdauer von Hochleistungslaser = 100 fs
10^{-18}	Atto	a	Dauer ultrakurzer Lichtpulse = 650 as

1. Einleitung:

1.3 Physikalische Größen, Einheiten u. Vorsätze: 1.3.4 Abgeleitete Größen (Elektromagnetismus/ Auswahl)

Größe	Formel-zeichen	Kohärente Einheiten	Basis-Einheiten	Bemerkungen
Ladung	q, Q	C	$A \cdot s$	q : Ladung eines Ladungsträgers, Q : Gesamtladung
Spannung	u, U	$V = \frac{W}{A}$	$\frac{kg \cdot m^2}{s^3 \cdot A}$	u : t -abh. Spannung $u(t)$; U : Spannungswert
(Ohmscher) Widerstand	R	$\Omega = \frac{V}{A}$	$\frac{kg \cdot m^2}{s^3 \cdot A^2}$	
Arbeit, Energie	W	$J = V \cdot A \cdot s = W \cdot s$	$\frac{kg \cdot m^2}{s^2}$	$1 \text{ eV} = 1,6022 \cdot 10^{-19} \text{ J}$
Leistung	P	$W = V \cdot A = \frac{J}{s}$	$\frac{kg \cdot m^2}{s^3}$	
Elektrische Feldstärke	E	$\frac{N}{C} = \frac{V}{m}$	$\frac{kg}{A \cdot s^3}$	
Kapazität	C	$F = \frac{C}{V}$	$\frac{A^2 \cdot s^4}{m^2 \cdot kg}$	
Magnetische Feldstärke	B	$T = \frac{N \cdot s}{C \cdot m} = \frac{V \cdot s}{m^2}$	$\frac{kg}{A \cdot s^2}$	$1 \text{ G} = 10^{-4} \text{ T}$
Magnetischer Fluss	Φ	$Wb = V \cdot s = T \cdot m^2$	$\frac{kg \cdot m^2}{A \cdot s^4}$	
Induktivität	L	$H = \frac{V \cdot s}{A} = \frac{Wb}{A}$	$\frac{kg \cdot m^2}{A^2 \cdot s^4}$	

1. Einleitung:

1.3 Physikalische Größen, Einheiten u. Vorsätze:

1.3.5 Griechische Buchstaben

Name	Buch-staben	Verwendung
Alpha	A , α	Winkel, Winkelbeschleunigung
Beta	B , β	Winkel
Gamma	Γ , γ	Winkel, Wichte
Delta	Δ , δ	Winkel
Epsilon	E , ϵ	Influenzkonstante, Dehnung
Zeta	Z , ζ	Widerstandsbeiwert
Eta	H , η	Wirkungsgrad
Theta	Θ , ϑ	Winkel
Jota	I , ι	
Kappa	K , κ	Adiabatenexponent
Lambda	Λ , λ	Wellenlänge
My	M , μ	Induktionskonstante

Name	Buch-staben	Verwendung
Ny	N , ν	Frequenz
Xi	Ξ , ξ	Schall- auslenkung
Omikron	O , o	
Pi	Π , π	
Rho	P , ρ	Dichte
Sigma	Σ , σ	Stefan- Boltzmann- Konstante
Tau	T, τ	Zeit
Ypsilon	Y , υ	
Phi	Φ , φ	Winkel
Chi	X , χ	Suszeptibilität
Psi	Ψ , ψ	
Omega	Ω , ω	Kreisfrequenz

2. Grundlagen: Vorlesungsinhalte

- 2.1 Elektrotechnische Grundlagen**
- 2.2 Grundstruktur von Messeinrichtungen**
- 2.3 Genauigkeitskriterien**
- 2.4 Übertragungsverhalten von Messgliedern**

2. Grundlagen:

2.1 Elektrotechnische Grundlagen: 2.1.1 Wiederholung (Auswahl)

- **Knotensatz** (1. Kirchhoffsches Gesetz, Gesetz von der Stromsumme):

$$\sum_{i=1}^n I_i = 0$$

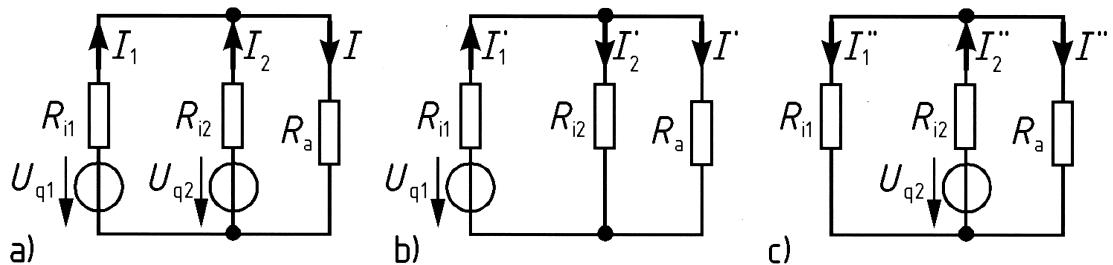
- **Maschensatz** (2. Kirchhoffsches Gesetz, Gesetz von der Spannungssumme):

$$\sum_{i=1}^n U_i = 0$$

- **Überlagerungsverfahren** (Superpositionsverfahren)

2. Grundlagen:

2.1 Elektrotechnische Grundlagen: 2.1.1 Wiederholung (Überlagerungsverfahren)



Überlagerungssatz / Anwendungsbeispiel

a) Schaltung, b) Teilschaltung 1, c) Teilschaltung 2

(aus: H. Frohne et al: Moeller Grundlagen der Elektrotechnik)

2. Grundlagen:

2.2 Grundstruktur von Messeinrichtungen:

2.2.1 Definitionen

Messen: experimenteller Vorgang, durch den ein spezieller **Wert einer physikalischen Größe** als **Vielfaches einer Einheit** oder eines Bezugswertes ermittelt wird [DIN 1319]

Messgröße: physikalische Größe, deren Wert durch eine Messung ermittelt werden soll [VDI/VDE 2600]

Messwert: gemessener spezieller **Wert einer Messgröße**, Angabe als Produkt aus Zahlenwert und Einheit [DIN 1319]

Messergebnis: ein aus mehreren Messwerten einer physikalischen Größe (oder aus Messwerten für verschiedene Größen) nach einer festgelegten Beziehung **ermittelter Wert** (oder Werteverlauf) [VDI/VDE 2600]

Messprinzip: charakteristische **physikalische Erscheinung**, die bei der Messung benutzt wird [DIN 1319]

Messverfahren (-methode): spezielle **Art der Anwendung** eines Messprinzips [VDI/VDE 2600]

Messgerät: liefert oder verkörpert Messwerte (bzw. Verknüpfung von Messwerten) [DIN 1319]

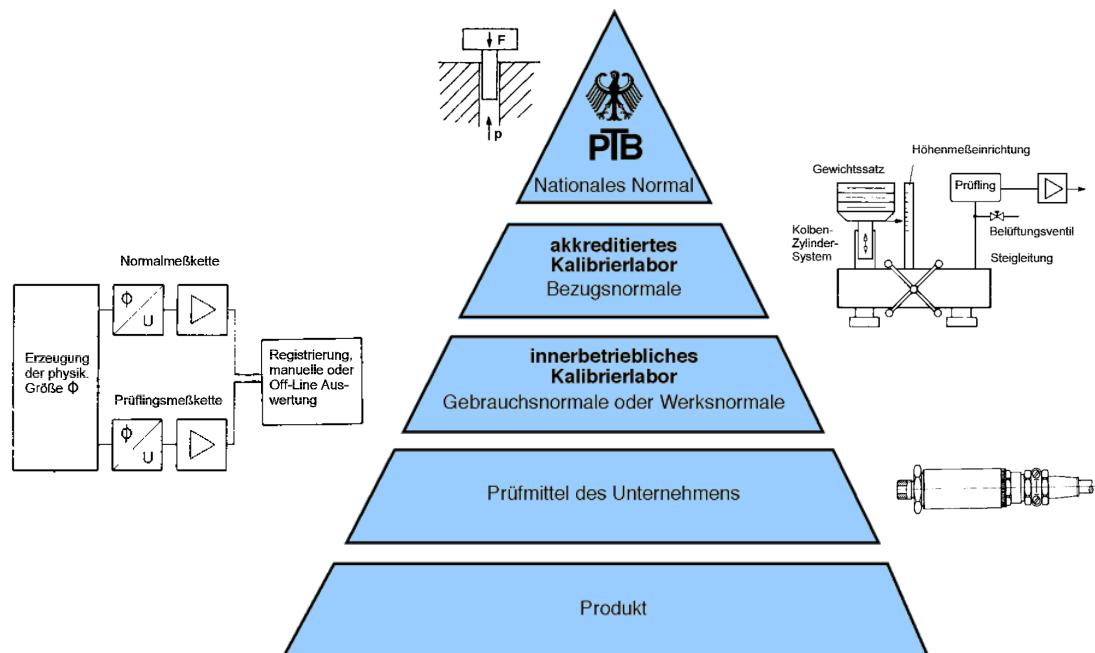
Messeinrichtung: **Messgerät** (oder mehrere zusammenhängende Messgeräte) mit zusätzlichen Einrichtungen, z.B. Hilfsgeräten [DIN 1319]

Messsignale: Darstellung von **Messgrößen** im Signalflussweg einer Messeinrichtung durch **zugeordnete physikalische Größen** (gleicher oder anderer Art) [VDI/VDE 2600]

2. Grundlagen:

2.2 Grundstruktur von Messeinrichtungen:

2.2.2 Hierarchie der Mess- und Prüfmittel



© DKD, PTB

2. Grundlagen:

2.2 Grundstruktur von Messeinrichtungen:

2.2.3 Normale

physikalische Größe	Primärnormal	typische Genauigkeit	Referenznormal	typische Genauigkeit
Spannung	Weston-Normalelement ($U = 1,0186\text{V}$)	$\frac{\Delta U}{U} = \pm 5 \cdot 10^{-6}$	Dioden-Transistor-Referenzspannungsquelle	$\frac{\Delta U}{U} = \pm 10^{-5}$
Widerstand	Manganinwiderstand (hermetisch abgeschlossen, $R = 1\Omega$)	$\frac{\Delta R}{R} \geq \pm 10^{-7}$	Manganinwiderstände im Bereich von 1Ω bis $1\text{M}\Omega$ oder Widerstandsdekaden	$\frac{\Delta R}{R} \geq \pm 10^{-5}$
Kapazität	Berechenbarer Kondensator aus vier Stäben genauer Länge $C = 10\text{pF}$ oder 1pF	$\frac{\Delta C}{C} \geq \pm 10^{-7}$	Glas- oder Glimmerkondensator $C = 100\text{pF} \dots 1\text{nF}$	$\frac{\Delta C}{C} \geq \pm 10^{-5}$
Induktivität	Lange dünne Luftspule $L = 1 \dots 10\text{mH}$	$\frac{\Delta L}{L} \geq \pm 10^{-6}$	Zylinderspulen, Eisenkernspulen $L = 0,1\text{mH} \dots 10\text{H}$	$\frac{\Delta L}{L} \geq \pm 10^{-4}$
Zeit	„Atomuhr“, Cäsiumresonator mit nachfolgender Pulsgewinnung und Frequenzteiler auf 1s	$\frac{\Delta t}{t} \geq \pm 10^{-13}$	Normfrequenzsender DCF77, sendet auf 77,5 kHz BCD-kodierte Zeitinformation	$\frac{\Delta t}{t} \geq \pm 10^{-13}$
Frequenz	„Atomuhr“, Cäsiumresonator	$\frac{\Delta f}{f} \geq \pm 10^{-13}$	Quarzoszillator (temperaturstabilisiert)	$\frac{\Delta f}{f} \geq \pm 10^{-10}$

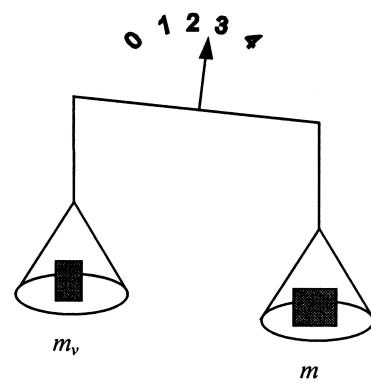
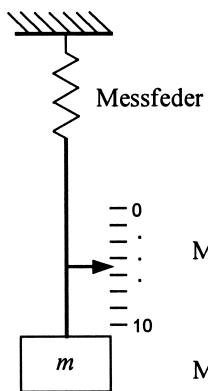
Primär- und Referenznormale

(aus: R. Parthier: Messtechnik)

2. Grundlagen:

2.2 Grundstruktur von Messeinrichtungen:

2.2.4 Messmethoden (1)



Ausschlagmethode

(aus: R. Parthier: Messtechnik)

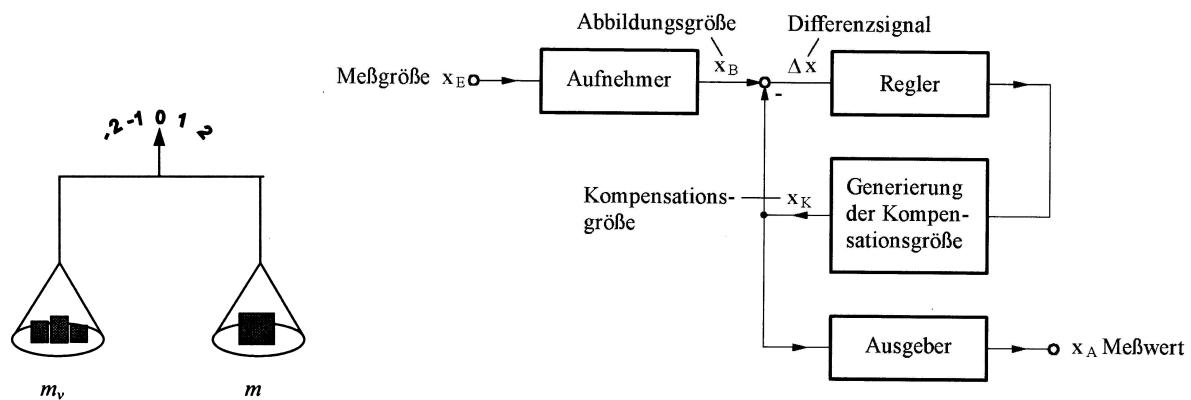
Differenzmethode

Messgröße m , konstante
Vergleichsmasse m_v
(aus: R. Parthier: Messtechnik)

2. Grundlagen:

2.2 Grundstruktur von Messeinrichtungen:

2.2.4 Messmethoden (2)



Kompensationsmethode

Messgröße m , variable
Vergleichsmasse m_v
(aus: R. Parthier: Messtechnik)

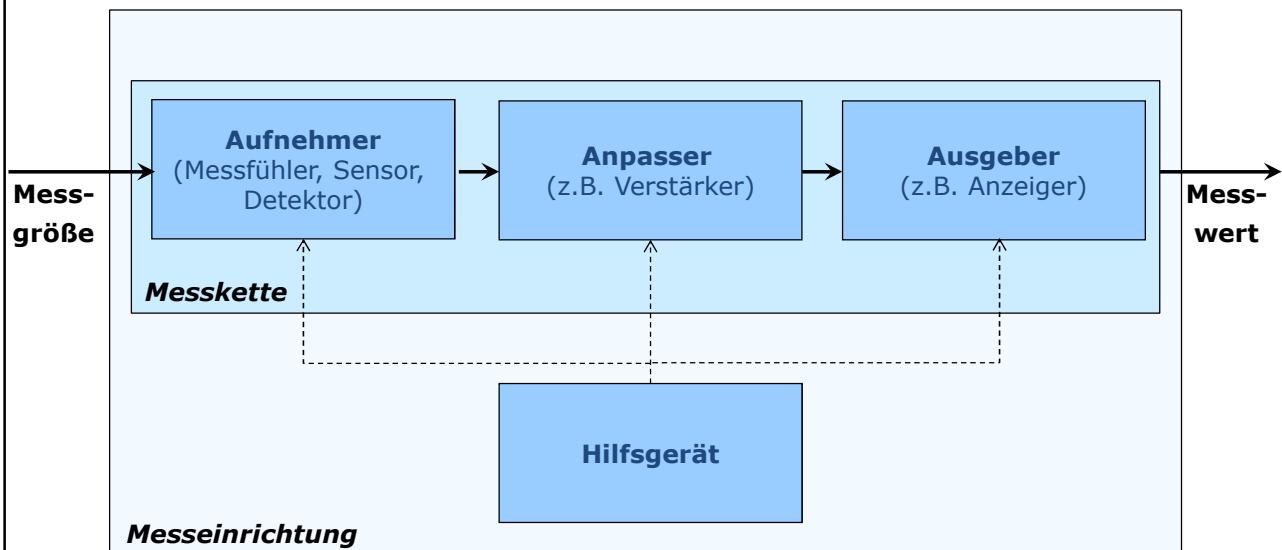
Signalfluss bei der Kompensationsmethode

(aus: R. Lerch: Elektrische Messtechnik)

2. Grundlagen:

2.2 Grundstruktur von Messeinrichtungen:

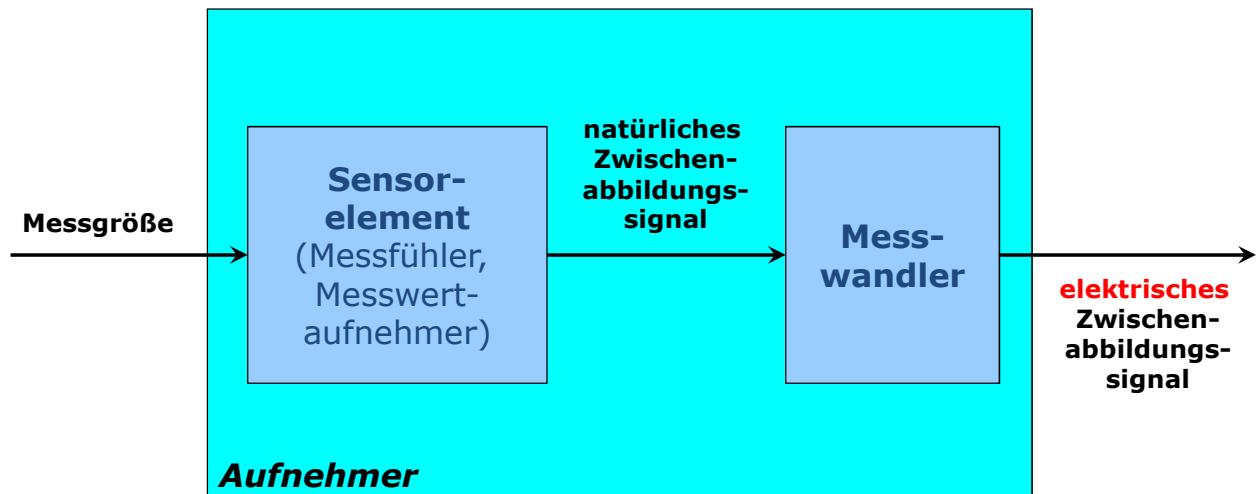
2.2.5 Struktur nach VDI/VDI 2600



2. Grundlagen:

2.2 Grundstruktur von Messeinrichtungen:

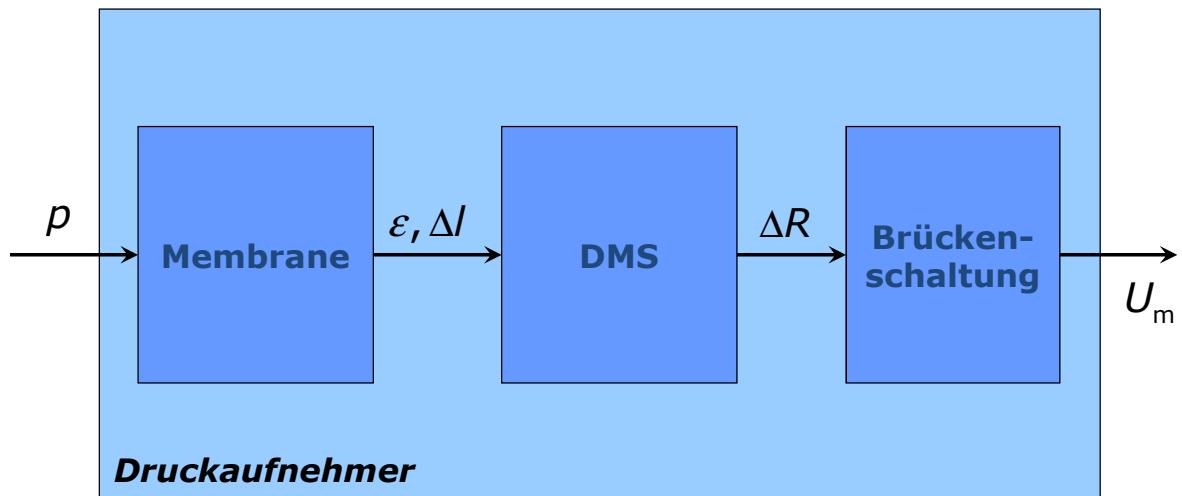
2.2.6 Aufnehmer (Struktur)



2. Grundlagen:

2.2 Grundstruktur von Messeinrichtungen

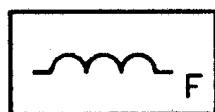
2.2.6 Aufnehmer (Beispiel)



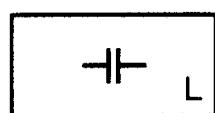
2. Grundlagen:

2.2 Grundstruktur von Messeinrichtungen

2.2.6 Aufnehmer (Typen)

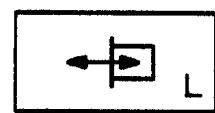


Induktiver
Durchfluß-
aufnehmer



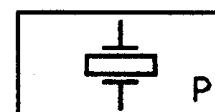
Kapazitiver
Aufnehmer für
Stand

06516A



Aufnehmer für
Stand,
akustisch

06523A



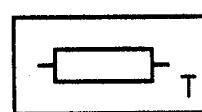
Piezoelektrischer
Aufnehmer
für Druck

P



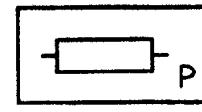
Thermoelement
Messgröße

06510A



Widerstands-
thermometer

05511A



Widerstandsauf-
nehmer
für Druck

06513A



Membranauf-
nehmer
für Druck

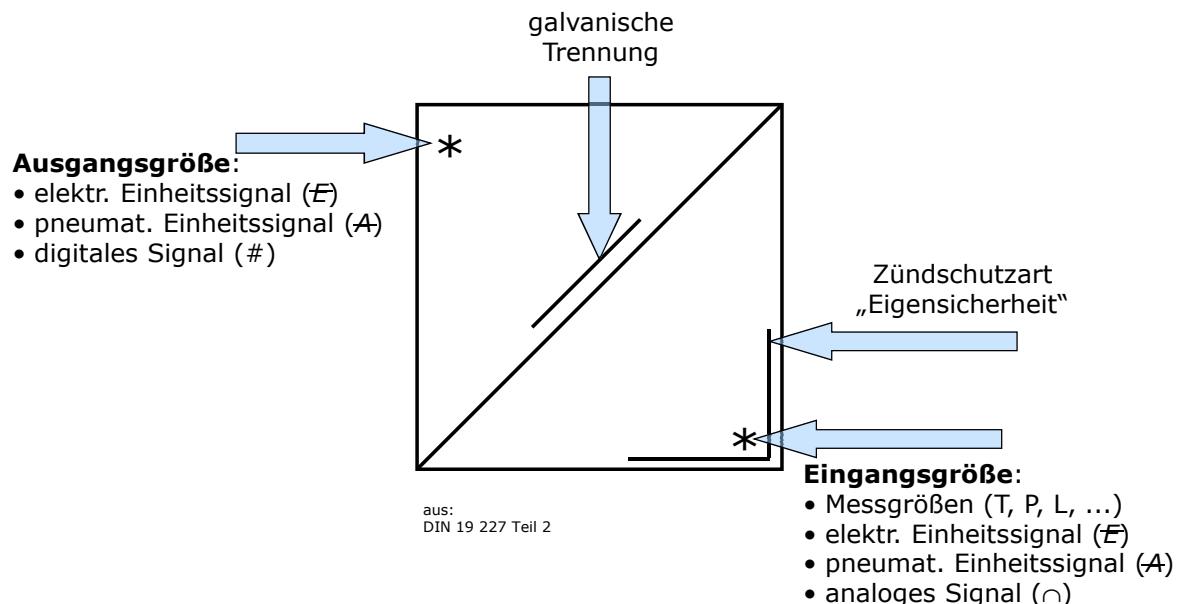
06514A

aus:
DIN 19 227 Teil 2

2. Grundlagen:

2.2 Grundstruktur von Messeinrichtungen

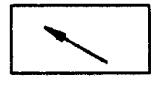
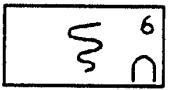
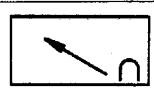
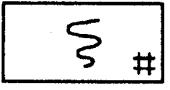
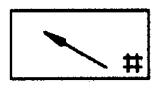
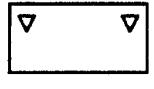
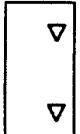
2.2.7 Anpasser



2. Grundlagen:

2.2 Grundstruktur von Messeinrichtungen:

2.2.8 Ausgeber

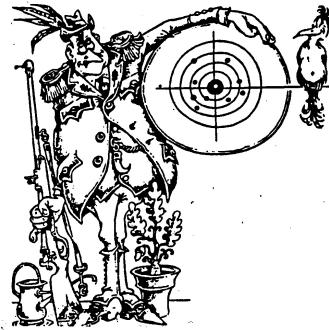
	Zähler		Basissymbol Anzeiger, allgemein
06555A		06551A	
	Schreiber, analog Anzahl der Kanäle als Ziffer, z. B. 6		Anzeiger, analog
06556A		06552A	
	Schreiber, digital		Anzeiger, digital
06557A		06553A	
	Drucker		Grenzsignalgeber für unteren und oberen Grenzwert
		06554A	<p>▽ links: unterer Grenzwert ▽ rechts: oberer Grenzwert ▽ oben: oberer Grenzwert ▽ unten: unterer Grenzwert</p>
			
		06554AA	
aus: DIN 19 227 Teil 2			

2. Grundlagen:

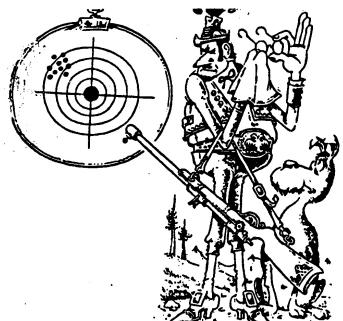
2.3 Genauigkeitskriterien einer Messung



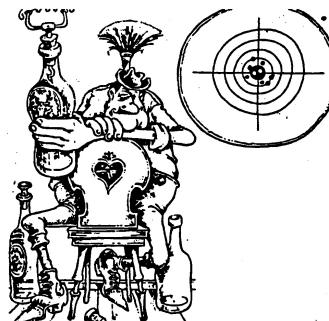
unpräzise - unrichtig



unpräzise - richtig



präzise - unrichtig



präzise - richtig

ISAS:
aus „Statistische Bewertung
von Analyseverfahren
und -ergebnissen“

2. Grundlagen:

2.3 Genauigkeitskriterien einer Messung

2.3.1 Kriterium Richtigkeit

Formel-zeichen	Größe	Formeln
x_w	wahrer Wert [true value], richtiger Wert x_r , auch: W	
x	gemessener Wert [measured value], Messwert, Anzeigewert (auch: A , x_f)	
\bar{x}	gemessener (arithmetischer) Mittelwert (Durchschnitt) aus n Einzelmessungen [mean value]	$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i$
u	Messunsicherheit, -fehler [measuring error]	$u = u_z + u_s$
u_z	zufällige (statistische) Abweichung	$u_z = \frac{t \cdot s}{\sqrt{n}}$
u_s	systematische konstante Abweichung [systematic error], abs. systemat. Fehler, abs. Messfehler, abs. Abweichung, abs. auch: e	$u_s = \Delta x = x_f - x_w$
f	relative Abweichung, relativer Fehler (auch: f)	$f = \frac{\Delta x}{x_w} \approx \frac{\Delta x}{x}$
\bar{x}_E	berichtigter Mittelwert, beste „Schätzung des Wertes“	$\bar{x}_E = \bar{x} + k$
k	Korrektion	$k = -u_s$
ε	relative Messunsicherheit, -abweichung [measuring error]	$\varepsilon = \frac{u}{\bar{x}_E}$

2. Grundlagen:

2.3 Genauigkeitskriterien einer Messung:

2.3.2 Kriterium Präzision

Formel-zeichen	Größe	Formeln
x_i	Wert der i-ten Messung (v. n Einzelmessg.) einer Stichprobe / Messreihe	
\bar{x}	gemessener (arithmetischer, empirischer) Mittelwert (Durchschnitt, [mean value]) aus Stichprobe mit Umfang n aus Grundgesamtheit (mit ∞ vielen Werten)	$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i$
μ	Schätzwert des Erwartungswerts des Mittelwerts, Schwerpunkt der Verteilungsdichtefunktion $h(x)$	$\bar{x} \xrightarrow{n \rightarrow \infty} \mu$
s^2	Empirische Varianz, Varianz der Stichprobe	$s^2 = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2$
σ^2	Schätzwert des Parameters der Verteilungsdichtefunktion $h(x)$, Varianz	$s^2 \xrightarrow{n \rightarrow \infty} \sigma^2$
s	empirische Standardabweichung, empirische Streuung, Streuungsmaß, Streuung der Stichprobe [scattering of observation]	$s = \sqrt{s^2}$
σ	Schätzwert der Standardabweichung [standard deviation] der Grundgesamtheit, mittl. quadrat. Fehler	$s \xrightarrow{n \rightarrow \infty} \sigma$
v	empirischer Variationskoeffizient [coefficient of variation]	$v = \frac{s}{\bar{x}}$
s_{ges}	empirische Standardabweichung der Mittelwerte	$s_{\text{ges}} = \frac{\sqrt{s^2}}{\sqrt{n}}$

2. Grundlagen:

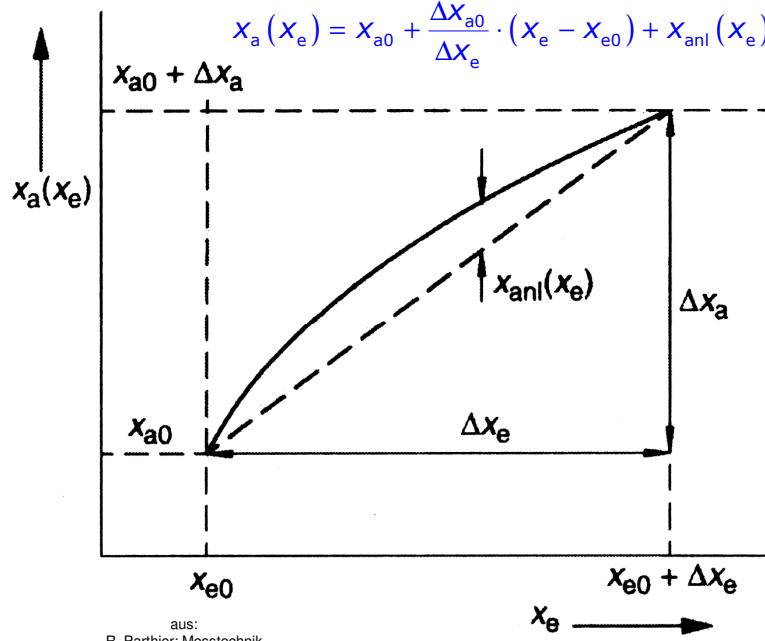
2.3 Genauigkeitskriterien einer Messung: 2.3.3 Toleranzklassen (Beispiel Druckmessgeräte)

Toleranz-klasse	Verkehrs-fehlergrenze	Eich-fehlergrenze
Klasse 0,1	$\pm 0,1 \%$	$\pm 0,08 \%$
Klasse 0,2	$\pm 0,2 \%$	$\pm 0,16 \%$
Klasse 0,3	$\pm 0,3 \%$	$\pm 0,25 \%$
Klasse 0,6	$\pm 0,6 \%$	$\pm 0,5 \%$
Klasse 1,0	$\pm 1,0 \%$	$\pm 0,8 \%$
Klasse 1,6	$\pm 1,6 \%$	$\pm 1,3 \%$
Klasse 2,5	$\pm 2,5 \%$	$\pm 2 \%$
Klasse 4,0	$\pm 4,0 \%$	$\pm 3 \%$

2. Grundlagen:

2.3 Genauigkeitskriterien einer Messung:

2.3.4 Statische Kenngrößen (Begriffe)



Spezialfall: lineare Kennlinie

$$x_a(x_e) = x_{a0} + \frac{\Delta x_{a0}}{\Delta x_e} \cdot (x_e - x_{e0})$$

$$\text{Übertragungsfaktor } k = \frac{\Delta x_a}{\Delta x_e}$$

$$\text{Empfindlichkeit } E = \frac{dx_a}{dx_e}$$

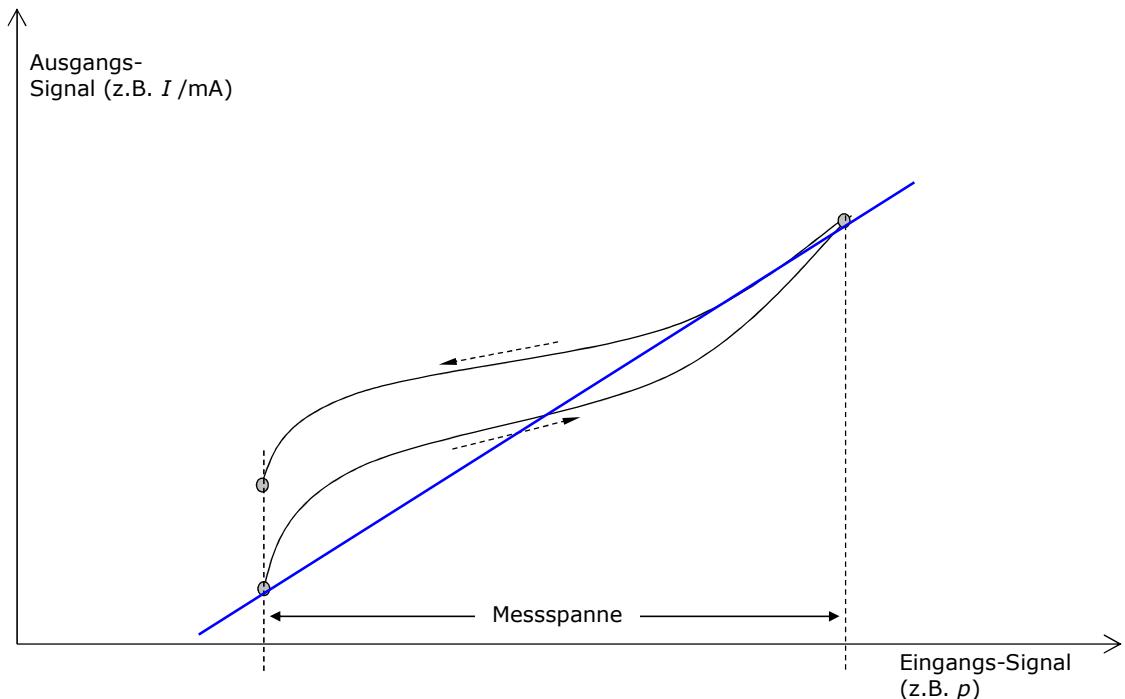
Spezialfall: lineare Kennlinie

$$\text{Empfindlichkeit } E = \frac{\Delta x_a}{\Delta x_e}$$

2. Grundlagen:

2.3 Genauigkeitskriterien einer Messung:

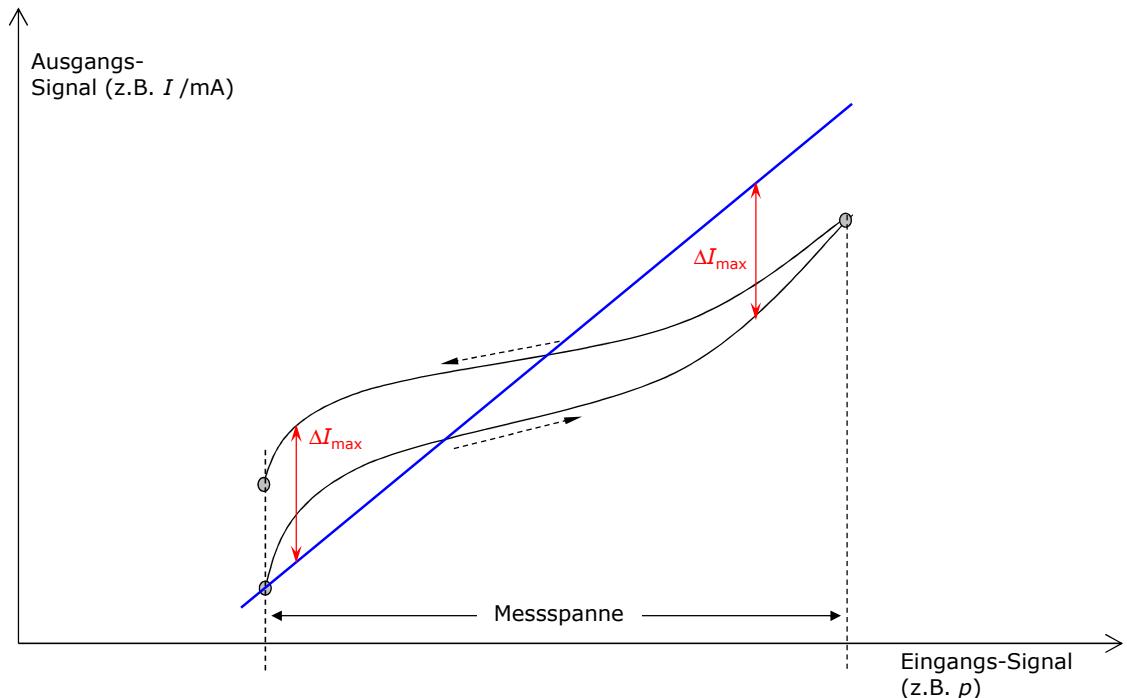
2.3.4 Statische Kenngrößen (Festpunkt-, Grenzpunkteinstellung)



2. Grundlagen:

2.3 Genauigkeitskriterien einer Messung:

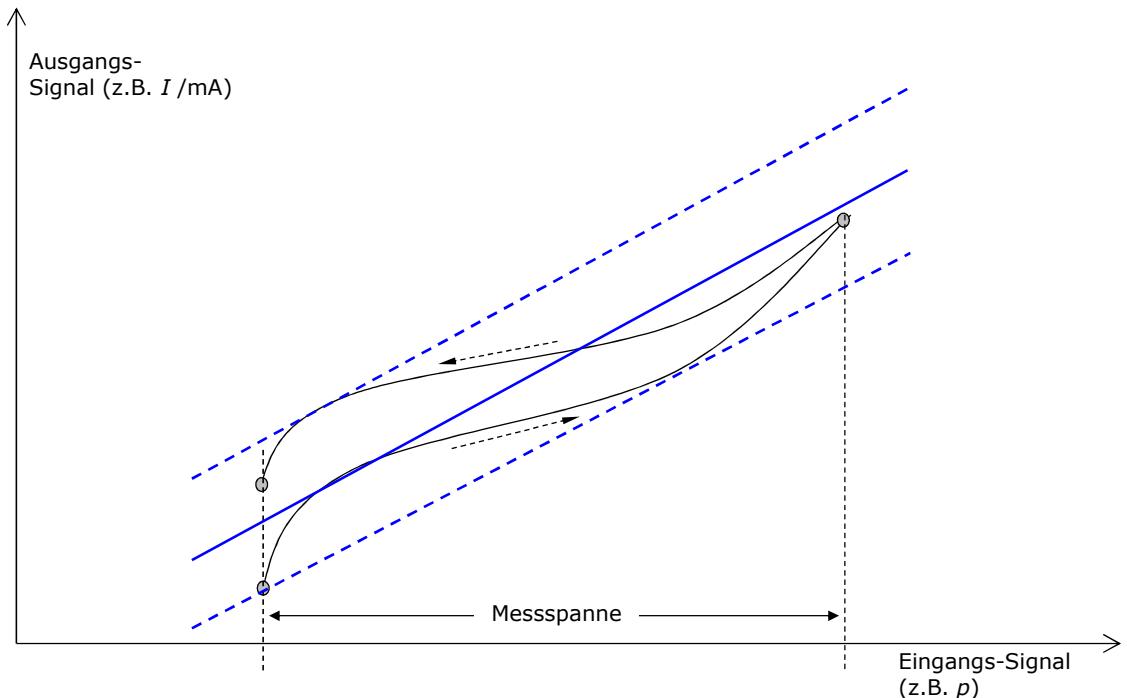
2.3.4 Statische Kenngrößen (Anfangspunkt-, Nullpunkteinstellung)



2. Grundlagen:

2.3 Genauigkeitskriterien einer Messung:

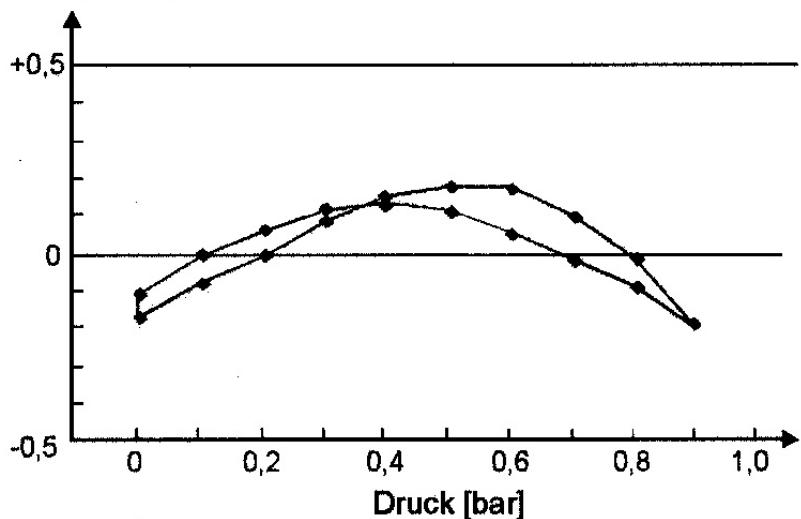
2.3.4 Statische Kenngrößen (Kleinstwert-, Toleranzbandeinstellung)



2. Grundlagen:

2.3 Genauigkeitskriterien einer Messung: 2.3.4 Statische Kenngrößen (Nichtlinearität, Beispiel)

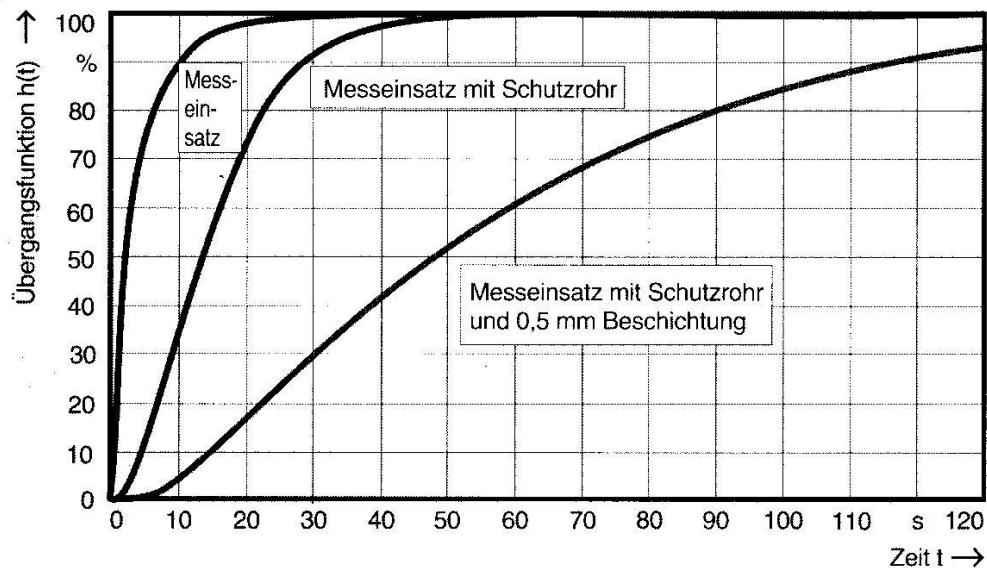
Fehler [%FSO]



Nichtlinearität einer piezoresistiven Druckmesszelle
(Analog Microelectronics)

2. Grundlagen:

2.3 Genauigkeitskriterien einer Messung: 2.3.5 Dynamische Kenngrößen (Zeitverhalten, Beispiel)



Zeitverhalten von Widerstandsthermometern

(Messbedingungen in Wasser: $v_w = 0,4 \text{ m/s} \pm 0,05 \text{ m/s}$; $\vartheta_w = 25 \text{ }^\circ\text{C}$)
(aus ABB: Praxis der industriellen Temperaturmessung)

3. Messung elektrischer Größen: Vorlesungsinhalte

- 3.1 Messung von Stromstärke und Spannung**
- 3.2 Messung von Wirkwiderständen**
- 3.3 Messung von Blindwiderständen**

3. Messung elektrischer Größen:

3.1 Messung von Stromstärke und Spannung: Vorlesungsinhalte

3.1.1 Gleichstrom- und Gleichspannungsmessung

3.1.1.1 Gleichstrommessung

3.1.1.2

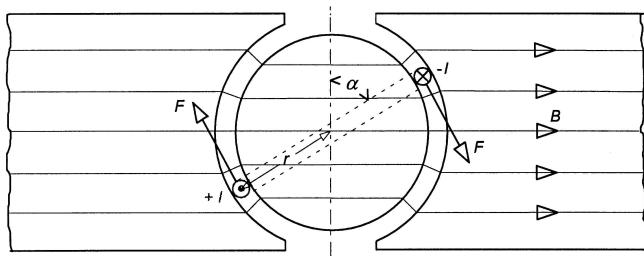
3.2 Messung von Wirkwiderständen

3.3 Messung von Blindwiderständen

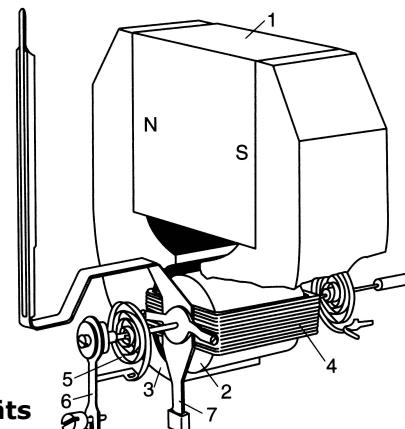
3. Messung elektrischer Größen:

3.1 Messung von Stromstärke und Spannung:

3.1.1 Gleichstrom- und Gleichspannungsmessung



Prinzip eines Drehspulmessgeräts
(aus: W. Pfeiffer: Elektrische Messtechnik)

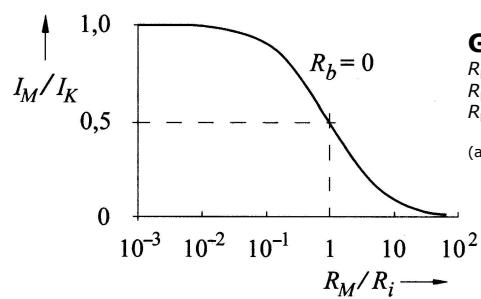
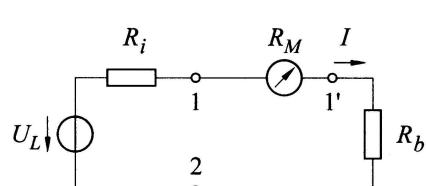


Aufbau eines Drehspulmessgeräts
1: Permanentmagnet
2: Weicheisenkern
3: Polschuhe
4: Drehspule
5: Spiralfeder, Stromzuführung
6: Nullpunkteinstellung
7: Äquilibrierarm
(aus: J. Niebuhr, G. Lindner: Physikalische Messtechnik mit Sensoren)

3. Messung elektrischer Größen:

3.1 Messung von Stromstärke und Spannung:

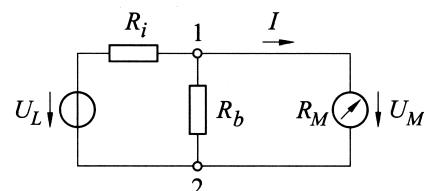
3.1.1 Gleichstrom- und Gleichspannungsmessung



Gleichstrommessung

R_i : Innenwiderstand
 R_M : Widerstand d. Strommessgeräts
 R_b : Lastwiderstand

(aus: E. Schrüfer: Elektrische Messtechnik)



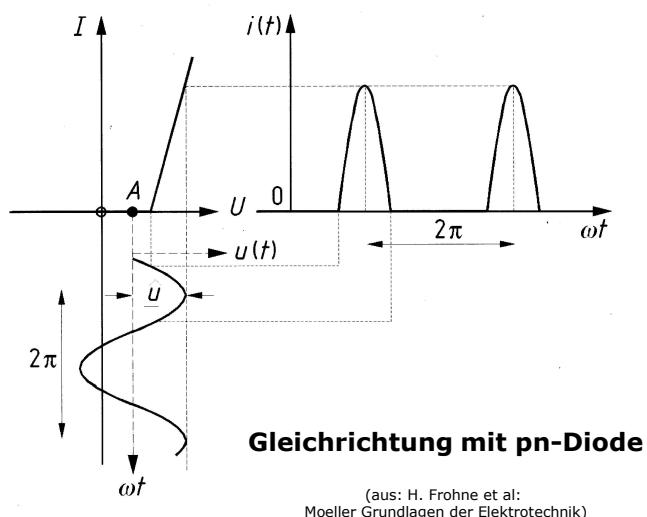
Gleichspannungsmessung

(aus: E. Schrüfer: Elektrische Messtechnik)

3. Messung elektrischer Größen:

3.1 Messung von Stromstärke und Spannung:

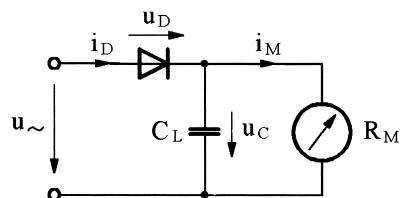
3.1.2 Wechselstrom- und Wechselspannungsmessung (1)



3. Messung elektrischer Größen:

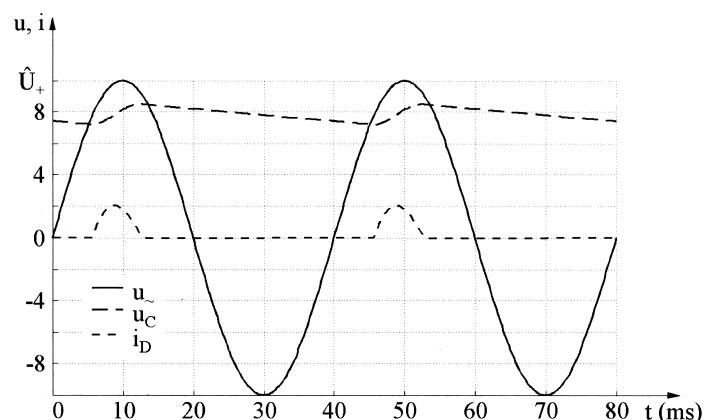
3.1 Messung von Stromstärke und Spannung:

3.1.2 Wechselstrom- und Wechselspannungsmessung (2)



Spitzenwert-Gleichrichtungs-Schaltung

(aus: R. Lerch: Elektrische Messtechnik)



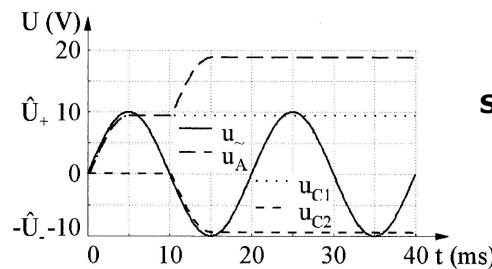
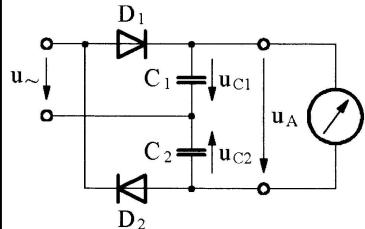
**Spitzenwert-Gleichrichtung
(Spannungs- und Stromverlauf)**

(aus: R. Lerch: Elektrische Messtechnik)

3. Messung elektrischer Größen:

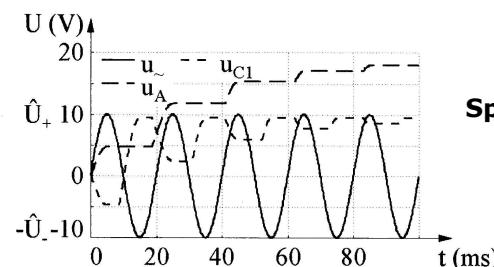
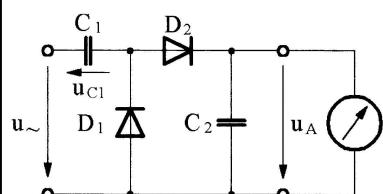
3.1 Messung von Stromstärke und Spannung:

3.1.2 Wechselstrom- und Wechselspannungsmessung (3)



Spitzenwertmessung mit Delon-Schaltung

(aus: R. Lerch: Elektrische Messtechnik)



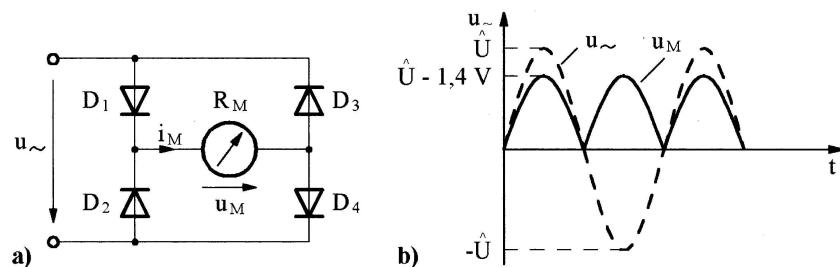
Spitzenwertmessung mit Villard-Schaltung

(aus: R. Lerch: Elektrische Messtechnik)

3. Messung elektrischer Größen:

3.1 Messung von Stromstärke und Spannung:

3.1.2 Wechselstrom- und Wechselspannungsmessung (4)



**Doppelweg-Gleichrichtung
mit Graetz-Schaltung**

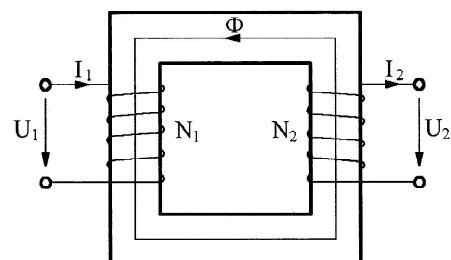
a: Schaltung, b: Spannungsverlauf

(aus: R. Lerch: Elektrische Messtechnik)

3. Messung elektrischer Größen:

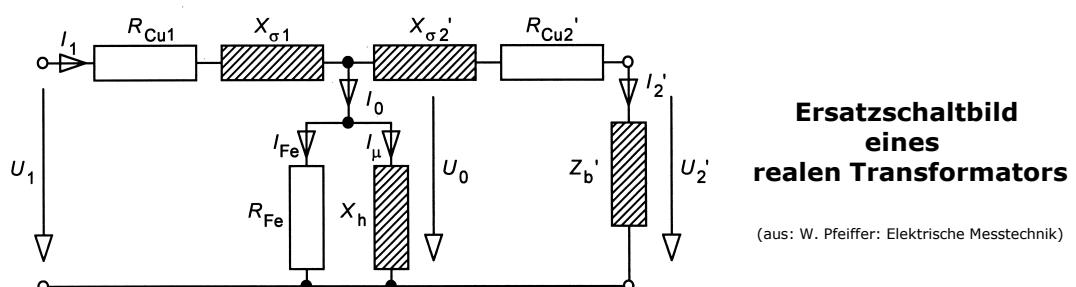
3.1 Messung von Stromstärke und Spannung:

3.1.2 Wechselstrom- und Wechselspannungsmessung (Messwandler 1)



Idealer Transformator

(aus: R. Lerch: Elektrische Messtechnik)



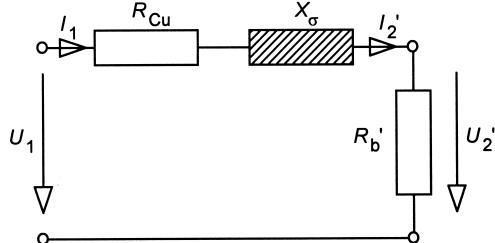
**Ersatzschaltbild
eines
realen Transformators**

(aus: W. Pfeiffer: Elektrische Messtechnik)

3. Messung elektrischer Größen:

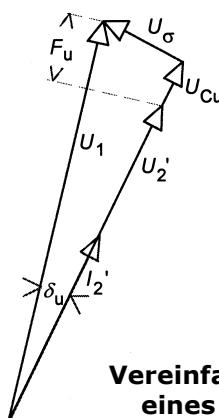
3.1 Messung von Stromstärke und Spannung:

3.1.2 Wechselstrom- und Wechselspannungsmessung (Messwandler 2)



**Vereinfachtes Ersatzschaltbild
eines Spannungswandlers**

(aus: W. Pfeiffer: Elektrische Messtechnik)



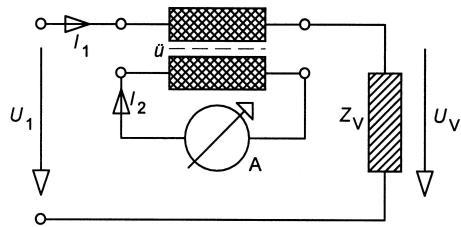
**Vereinfachtes Zeigerdiagramm
eines Spannungswandlers**

(aus: W. Pfeiffer: Elektrische Messtechnik)

3. Messung elektrischer Größen:

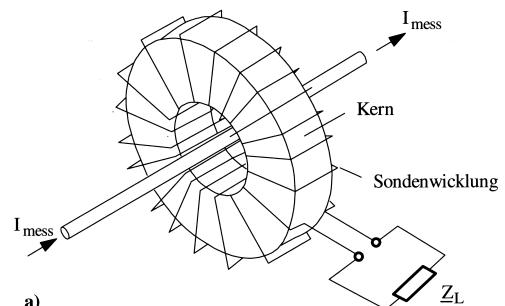
3.1 Messung von Stromstärke und Spannung:

3.1.2 Wechselstrom- und Wechselspannungsmessung (Messwandler 3)

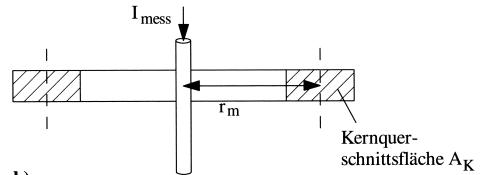


Stromwandlerschaltung

(aus: W. Pfeiffer: Elektrische Messtechnik)



a)



b)

Strommesszange

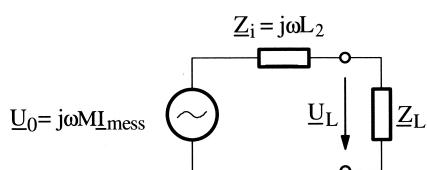
a: prinzipielle Anordnung,
b: Querschnittsgeometrie

(aus: R. Lerch: Elektrische Messtechnik)

3. Messung elektrischer Größen:

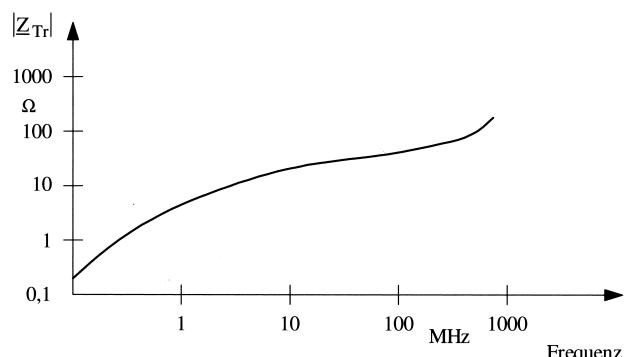
3.1 Messung von Stromstärke und Spannung:

3.1.2 Wechselstrom- und Wechselspannungsmessung (Messwandler 4)



**Ersatzschaltbild
einer Strommesszange
(sekundärseitig)**

(aus: R. Lerch: Elektrische Messtechnik)



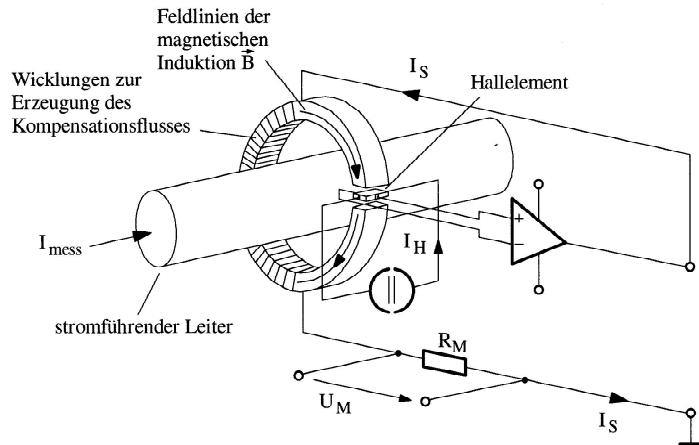
Transferimpedanz einer Strommesszange

(aus: R. Lerch: Elektrische Messtechnik)

3. Messung elektrischer Größen:

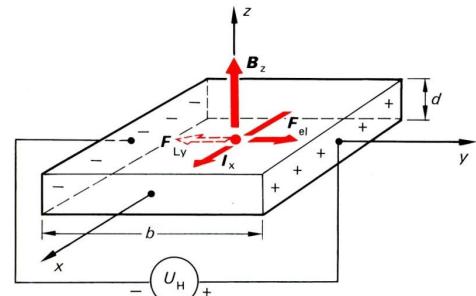
3.1 Messung von Stromstärke und Spannung:

3.1.2 Wechselstrom- und Wechselspannungsmessung (Messwandler 5)



Prinzip einer Gleichstrommesszange

(aus: R. Lerch: Elektrische Messtechnik)



Prinzip eines Hallelements

(aus: E. Hering, R. Martin, M. Stohrer: Physik für Ingenieure)

3. Messung elektrischer Größen:

3.2 Messung von Wirkwiderständen: Vorlesungsinhalte

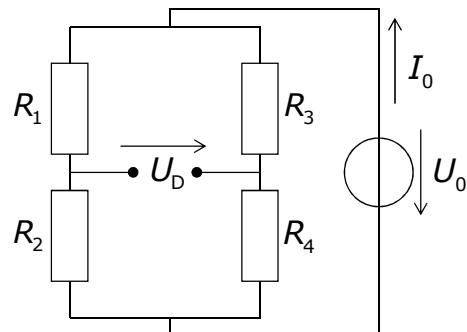
- 3.2.1 Wirkwiderstandsbestimmung mit Spannungsmessung**
- 3.2.2 Wirkwiderstandsbestimmung mit gleichzeitiger Spannungs- und Strommessung**
- 3.2.3 Wirkwiderstandsbestimmung durch Vergleich mit Referenzwiderstand**
- 3.2.4 Wirkwiderstandsbestimmung mit Gleichspannungsbrückenschaltungen**
- 3.2.5 Wirkwiderstandsbestimmung mit Gleichstrombrückenschaltungen**

3. Messung elektrischer Größen:

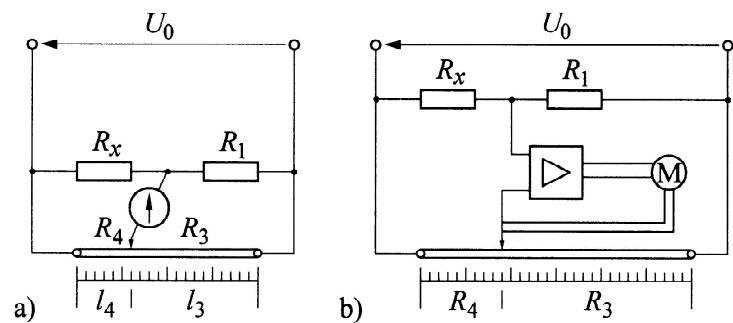
3.2 Messung von Wirkwiderständen:

3.2.4 Messung mit Gleichspannungsbrückenschaltungen:

3.2.4.1 Spannungsgespeiste Abgleich-Widerstandsmessbrücke



**Prinzip einer
Gleichspannungs-
brückenschaltung**



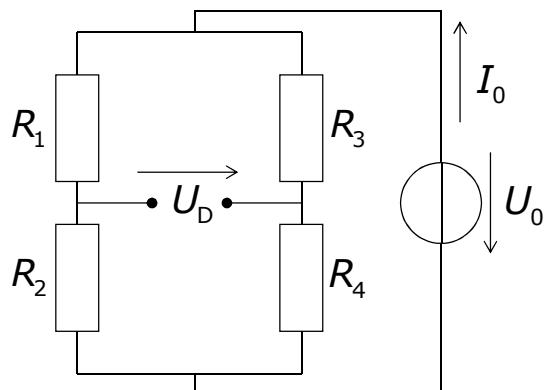
**Schleifdrahtmessbrücke
mit manuellem Abgleich (a)
bzw. automatischem Abgleich (b)**

(E. Schrüfer: Elektrische Messtechnik)

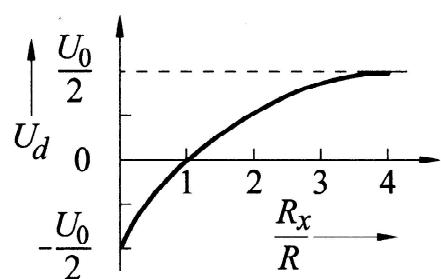
3. Messung elektrischer Größen:

3.2 Messung von Wirkwiderständen:

3.2.4 Messung mit Gleichspannungsbrückenschaltungen: 3.2.4.2 Spannungsgespeiste Ausschlags-Widerstandsmessbrücke



Prinzip einer
Gleichspannungsbrückenschaltung



Kennlinie einer
Gleichspannungsbrückenschaltung

(E. Schrüfer: Elektrische Messtechnik)

3. Messung elektrischer Größen:

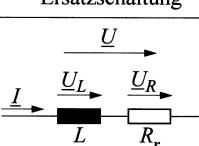
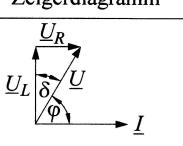
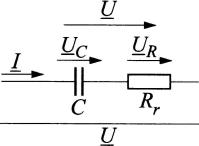
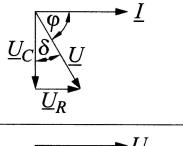
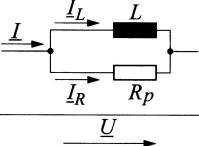
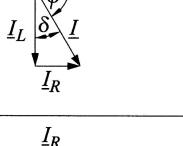
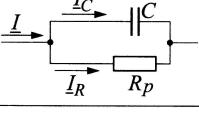
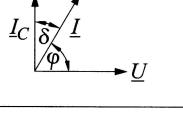
3.3 Messung von Blindwiderständen: Vorlesungsinhalte

- 3.3.1 Komplexe Darstellung von Blindwiderständen**
- 3.3.2 Ersatzschaltungen verlustbehafteter Blindwiderstände (Reihenschaltung)**
- 3.3.3 Ersatzschaltungen verlustbehafteter Blindwiderstände (Parallelschaltung)**
- 3.3.4 Blindwiderstandsbestimmung durch Wechselstrom- und Wechselspannungsmessungen**
- 3.3.5 Blindwiderstandsbestimmung durch Vergleich mit Referenzelement**
- 3.3.6 Blindwiderstandsbestimmung durch Resonanzverfahren**
- 3.3.7 Blindwiderstandsbestimmung durch Dreispannungsmessmethode**
- 3.3.8 Blindwiderstandsbestimmung mit Wechselspannungsbrückenschaltungen**

3. Messung elektrischer Größen:

3.3 Messung von Blindwiderständen:

3.3.2 Ersatzschaltungen verlustbehafteter Wirkwiderstände

Ersatzschaltung	Zeigerdiagramm	$\tan\delta$
		$\frac{U_R}{U_L}$ $\frac{R_r}{\omega L}$
		$\frac{U_R}{U_C}$ $R_r \omega C$
		$\frac{I_R}{I_L}$ $\frac{\omega L}{R_p}$
		$\frac{I_R}{I_C}$ $\frac{1}{R_p \omega C}$

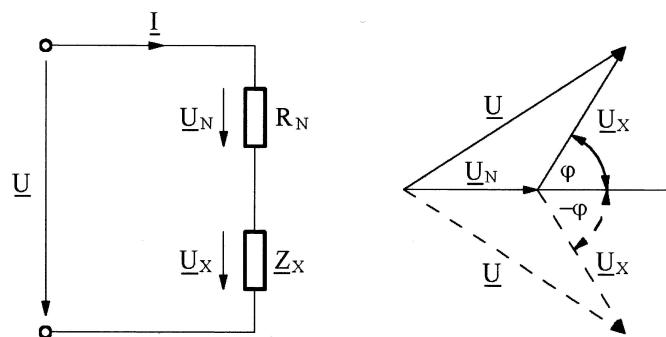
**Reihen- und Parallel-
Ersatzschaltungen
verlustbehafteter
Wirkwiderstände**

(E. Schrüfer: Elektrische Messtechnik)

3. Messung elektrischer Größen:

3.3 Messung von Blindwiderständen:

3.3.7 Drei-Spannungsmesser-Methode



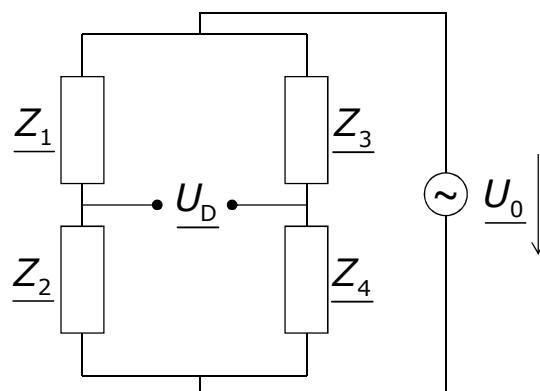
Messaufbau und Zeigerdiagramm

(R. Lerch: Elektrische Messtechnik)

3. Messung elektrischer Größen:

3.3 Messung von Blindwiderständen:

3.3.8 Blindwiderstandsbestimmung mit Wechselstrombrückenschaltungen



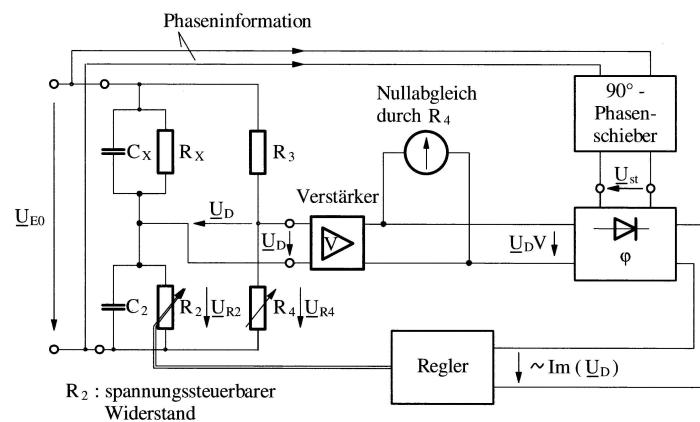
**Prinzip einer
Wechselspannungs-
brückenschaltung**

3. Messung elektrischer Größen:

3.3 Messung von Blindwiderständen:

3.3.8 Blindwiderstandsbestimmung mit Wechselstrombrückenschaltungen /

3.3.8.1 Abgleich-Widerstandsmessbrücken



**Halbautomatisch
abgleichbare Wien-Brücke**

(R. Lerch: Elektrische Messtechnik)