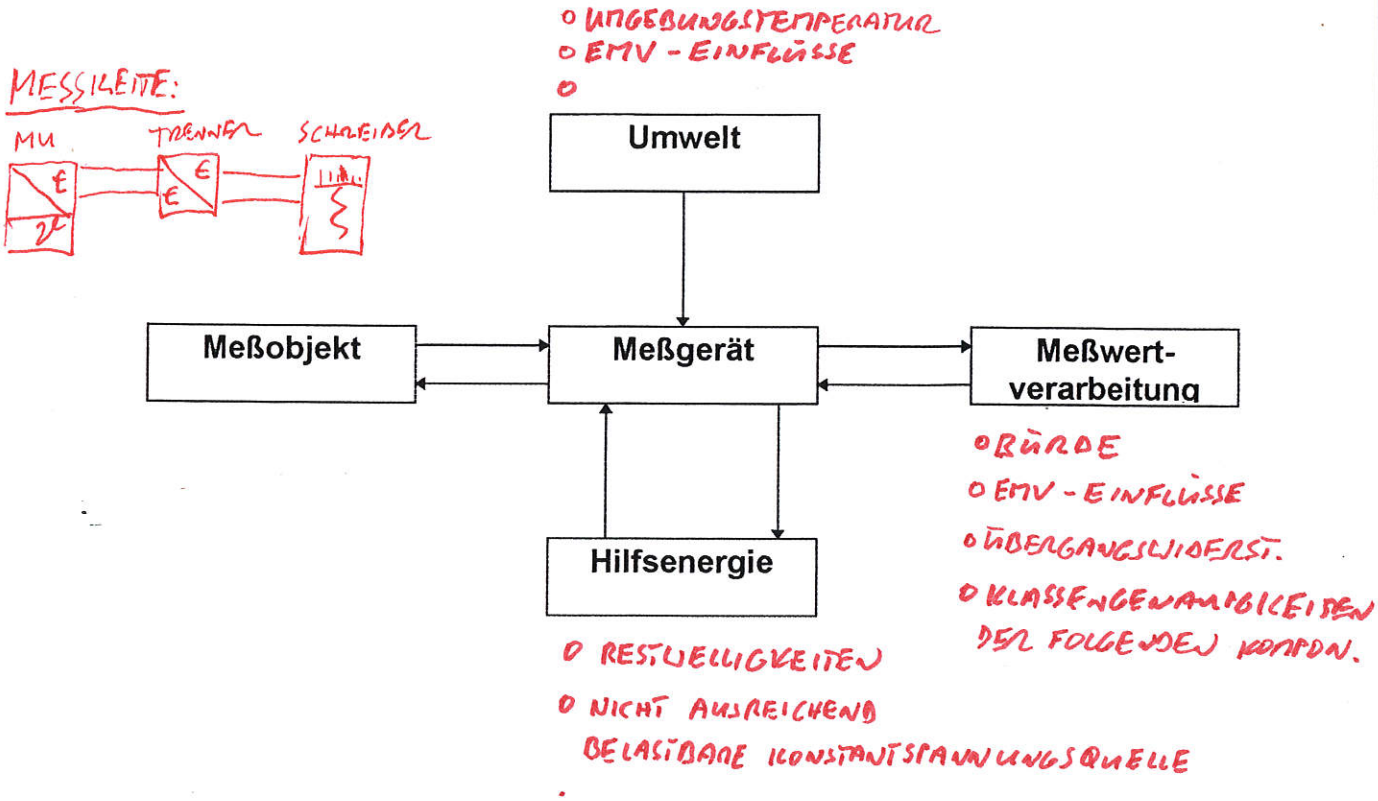
2 Fehlerrechnung

2.1 *Wechselwirkung zwischen Meßobjekt und Meßgerät*

Eine Messung ist immer mit einem Energie- bzw. Informationsfluß vom Meßobjekt zum Meßgerät verbunden.
Damit eine Messung auch als exakt und fehlerfrei gelten kann, muß bei jeder Meßanordnung darauf geachtet werden, daß das Meßgerät durch seinen Einbau das Meßergebnis nicht verfälschen kann.
Eine Rückwirkung vom Meßgerät auf das Meßobjekt ist unbedingt zu vermeiden.
Die Praxis zeigt aber, daß sich eine Rückwirkung nie ganz vermeiden läßt.

Die folgende Grafik zeigt möglich Verursacher von Rückwirkungen auf das Meßergebnis.



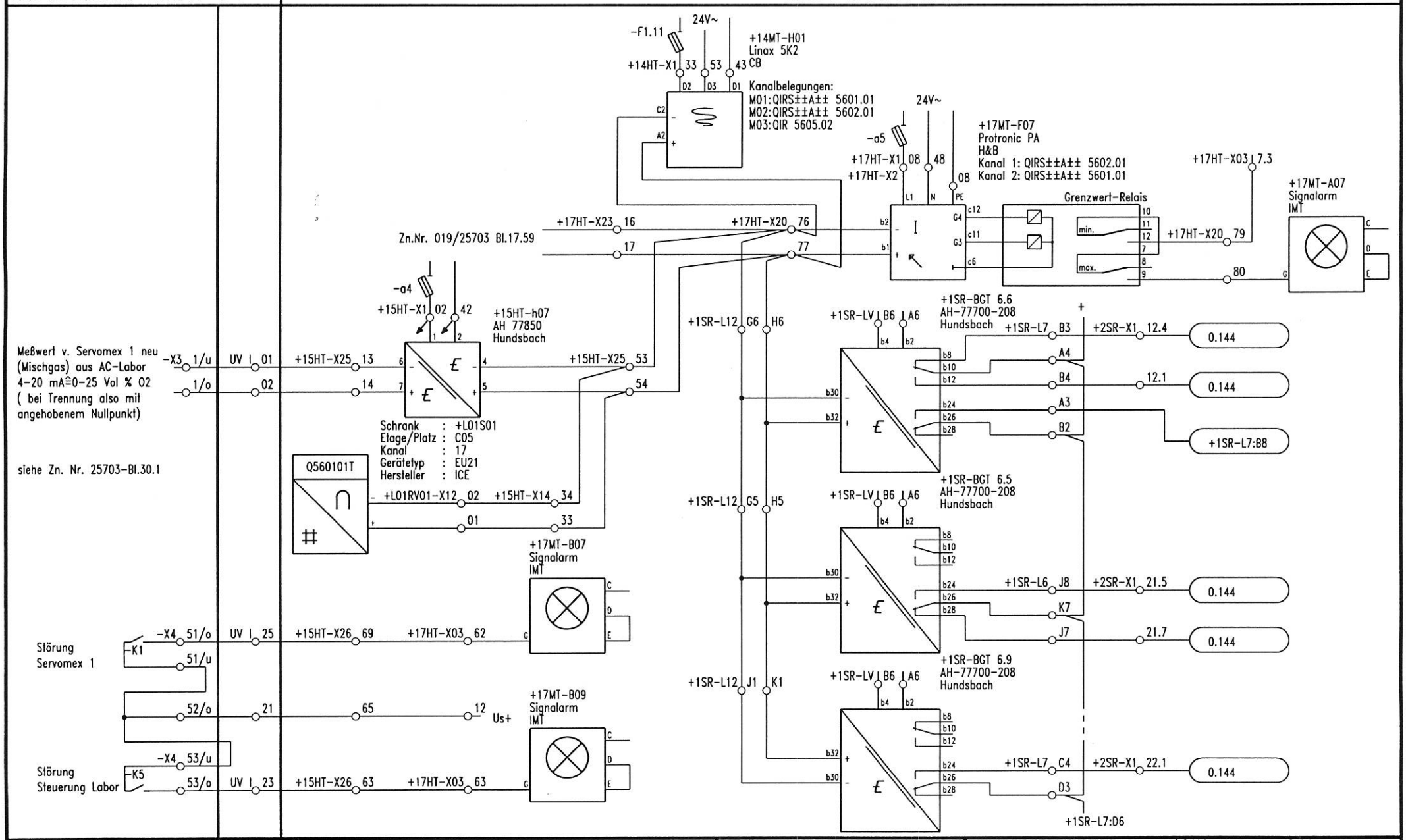
o DIE SORGFÄLTIGE AUSWERTUNG EINER MESSUNG IST EBENSO WICHTIG WIE DIE DURCHFÜHRUNG DER MESSUNG SELBST.

o

G:\AC_ANLAG\ZEICHNG\3WIRK\AC4\560101.DWG/09.06.97

Steuerschr. Labor UV

MESSWARTE M01



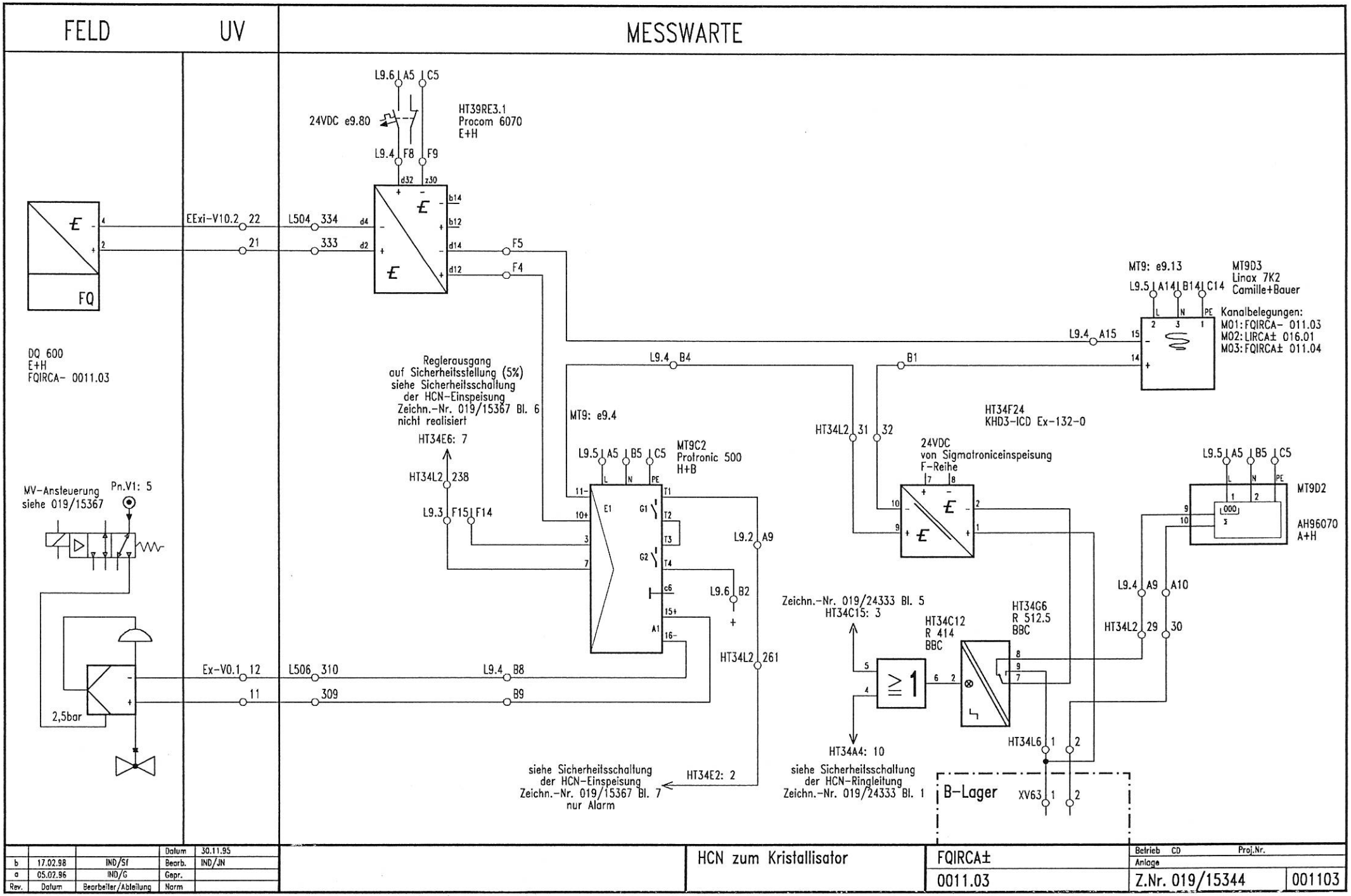
			Datum	09.06.97
			Bearb.	W.Conrath TA/PLT
			Gepr.	
Rev.	Datum	Bearbeiter/Abteilung	Norm	

02 Analyse
Servomex 1

QIRS±±A±±
5601.01

Betrieb AC Proj.Nr.
Anlage AC4
Z.Nr. 019/...3

G:\CD\ZEICHNG\3WIRK\CD\001103.DWG/17.02.1998



			Datum	30.11.95
b	17.02.98	IND/Sf	Bearb.	IND/JN
a	05.02.96	IND/G	Gepr.	
Rev.	Datum	Bearbeiter/Abteilung	Norm	

HCN zum Kristallisator

FQIRCA±
0011.03

Betrieb CD Proj.Nr.
Anlage
Z.Nr. 019/15344 001103

4. Auswertung von Messungen

Die sorgfältige Auswertung einer Messung ist ebensowichtig wie die Durchführung der Messung selbst. Im wesentlichen sind dabei vier Probleme zu lösen:

1. Mit welcher Abbildungskonstante K_{Ab} ist die an der Skale des Meßgeräts abgelesene Abbildungsgröße zu multiplizieren, damit man den Meßwert M erhält?
2. Wie bekommt man aus dem Flächeninhalt A eines Schreibdiagramms unter Berücksichtigung der Zeichenmaßstäbe den gesuchten Meßwert M?
3. Wie kann man aus dem grafischen Verlauf der Meßgröße M eine mathematische Beziehung gewinnen?
4. Wie groß ist der Fehler des Meßergebnisses, und wie gehen die Fehler der einzelnen Meßgrößen darin ein?

Die nachstehenden Betrachtungen beziehen sich gleichermaßen auf Messungen zur Betriebskontrolle wie auf Messungen für Untersuchungen.

4.1. Messungen mit analogen oder digitalen Anzeigegeräten

Der einfachste Fall einer Auswertung liegt vor, wenn die Meßgröße direkt gemessen wird, wobei die Skale des Geräts in Einheiten der Meßgröße kalibriert ist.
Komplizierter wird die Auswertung, wenn das Meßgerät einen umschaltbaren Meßbereich aufweist. Die Skale ist dann meist mit einer Zahlenteilung versehen. Mit Hilfe der Skalenkonstanten K_{sk} muß der Wert jeder Meßgröße berechnet werden.
Vielfach liegt eine indirekte Messung vor. Es finden ein oder mehrere Meßwandler Verwendung, die die Meßgröße in eine Abbildungsgröße umwandeln. Das Anzeigegerät kann nun in Einheiten der Abbildungsgröße kalibriert sein, oder es hat eine Zahlenskale.
Im Fall einer linearen statischen Kennlinie kann man daraus die Abbildungskonstante $K_{Ab} = \Delta M / \Delta M_{Ab}$ entnehmen, mit der die Abbildungsgröße zu multiplizieren ist. Ansonsten muß die statische Kennlinie bzw. die Eichkurve zur Umrechnung jedes Wertes herangezogen werden [1].

$\Delta M = \Delta M_{AB} \cdot K_{AB}$

ΔM = ÄNDERUNG DES MESSWERTES
K_{AB} = ABBILDUNGSKONSTANTE
ΔM_{AB} = ÄNDERUNG DER ABBILDUNGSGRÖSSE

4.2. Messungen mit analogen Registriergeräten

Zeitlich veränderliche Meßgrößen werden i.allg. nicht nur angezeigt, sondern auch registriert. Besondere Schreibgeräte ermöglichen eine gleichzeitige Erfassung verschiedener Meßgrößen.
Um die Auswertung möglichst einfach zu gestalten, wird angenommen, daß das Aufschreiben linear und auf bandförmigen Streifen erfolgt.

Kalibrierte Diagrammstreifen. Betriebsmeßgeräte haben meist Schreibstreifen mit einer geeigneten Linierung und Markierung. Zwecks universeller Anwendbarkeit ist der Diagrammstreifen über seine Breite in 0 bis 100% geteilt (Bild 4.1). Befindet sich der Streifen noch im Gerät, dann kann man die einzelnen Meßwerte wie Maximum oder Minimum in Verbindung mit der Skalenteilung ablesen. Wird jedoch der Streifen erst später ausgewertet, muß die Wertigkeit der Hilfslinienteilung bekannt sein.

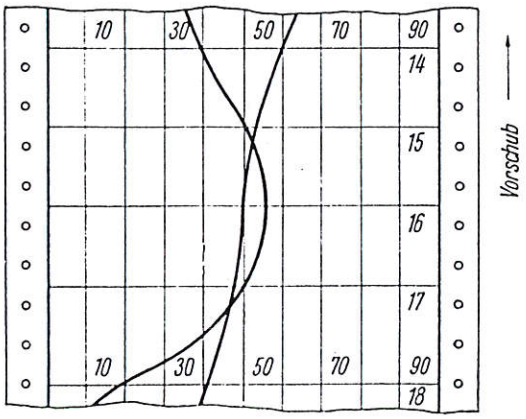


Bild 4.1
Kalibrierter Diagrammstreifen

- HEUTIGE HYBRID-SCHREIBER KÖNNEN SCHREIBEN UND DRUCKEN ODER DATEN SPEICHERN (MEMORY-CARDS)
- TFT-DISPLAYS ↔ KEIN PAPIER

Die 10-%-Linie hat bei linearer Teilung die Wertigkeit $M_{\mathrm{Ber}/10}$. Zur Vermeidung von Verwechslungen ist auf dem Streifen zu vermerken: Nummer der Meßstelle, Nummer des Registriergeräts, Lage der Nullinie, Meßbereich, Datum und Name.
Hat das Registriergerät mehrere umschaltbare Meßbereiche, empfiehlt sich eine Ablesehilfe in Form eines Lineals mit der Länge der Streifenbreite und mit Teilungen, die den einzelnen Meßbereichen entsprechen.
Bei der Auswertung eines sehr unregelmäßigen Verlaufs kann auch nach dem Mittelwert gefragt werden. Der arithmetische Mittelwert bzw. der Durchschnitt läßt sich bestimmen, indem man mit Hilfe eines geeigneten Verfahrens (Simpsonsche Regel, Planimetrieren od. a.) den Flächeninhalt unter der Kurve von Nullinie bis Kurvenverlauf für den zu untersuchenden Abschnitt ermittelt. Teilt man den Flächeninhalt durch die Länge des Diagrammstreifens, so erhält man die mittlere Höhe des Meßausschlags. Sind die Diagrammstreifen sehr lang, kann man diese in eine Anzahl gleicher Teilstreifen zerlegen.
Komplizierter wird die Auswertung, wenn der Flächeninhalt des Schreibdiagramms von Bedeutung ist (s. Abschn. 3.5.6.). Als typischer Anwendungsfall sei das Schreibdiagramm einer Durchflußmeßeinrichtung $Q = f(t)$ genannt. Der Flächeninhalt stellt die im betrachteten Zeitraum hindurchgeflossene Menge V dar. Nachdem der Flächeninhalt nach den beschriebenen Methoden bestimmt wurde, errechnet sich die neue Meßgröße zu

$$M_2 = K_A K_O A_D; \qquad (4.1)$$

ALLGEMEIN

M_2 Wert der neuen Meßgröße, K_A Umrechnungsfaktor für die Abszisse, K_O Umrechnungsfaktor für die Ordinate, A_D Flächeninhalt des Schreibdiagramms.

Die Umrechnungsfaktoren K_A und K_O kann man entweder aus den Zeichenmaßstäben

$$1\ \mathrm{cm} \mathrel{\hat{=}} a\,\mathrm{m^3/h} \qquad K_O = a\,\frac{\mathrm{m^3/h}}{\mathrm{cm}}$$

oder

$$1\ \text{cm} \mathrel{\hat{=}} b\ \text{h} \qquad K_A = b\,\frac{\text{h}}{\text{cm}}$$

gewinnen. Besser ist es, die Streifenabmessungen mit in die Rechnung einzubeziehen:

$$K_A = \frac{\Delta t}{l_D}$$ UMRECHNUNGSFAKTOR ABSZISSE (X-ACHSE)

$$K_O = \frac{M_{1\,\text{Ber}}}{b_D}\,;$$ " ORDINATE (Y-ACHSE) (4.2)

l_D Diagrammlänge, b_D Diagrammbreite, Δt die der Diagrammlänge entsprechende Zeit, $M_{1\,\text{Ber}}$ Meßbereich des Anzeigegeräts.

Beispiel

Eine Kesselwasser-Speiseanlage hat eine Volumenstrommeßeinrichtung mit einem Meßbereich von 0 bis 20 m³/h. Die Diagrammbreite beträgt 100 mm. Wie groß ist die innerhalb von 24 h eingespeiste Wassermenge, wenn der Flächeninhalt des Schreibdiagramms 200 cm² und die Länge des Diagramms 480 mm betragen?

Lösung

Mit Gl. (4.2) lassen sich die Umrechnungsfaktoren für die Abszisse und für die Ordinate bestimmen:

$$K_A = \frac{\Delta t}{l_D} = \frac{24\ \text{h}}{48\ \text{cm}} = 0{,}5\ \text{h/cm}$$

$$K_O = \frac{M_{1\,\text{Ber}}}{b_D} = \frac{20\ \text{m}^3/\text{h}}{10\ \text{cm}} = 2\,\frac{\text{m}^3/\text{h}}{\text{cm}}.$$

Mit Gl. (4.1) läßt sich die Wassermenge bestimmen:

$$M_2 = K_A K_O A_D = 0{,}5\,\frac{\text{h}}{\text{cm}} \cdot 2\,\frac{\text{m}^3/\text{h}}{\text{cm}} \cdot 200\ \text{cm}^2$$

$$M_2 = V = 200\ \text{m}^3.$$

4.3. Mathematische Darstellung von Meßergebnissen

Um das Meßergebnis diskutieren zu können, muß es grafisch dargestellt werden. Üblicherweise wird hierzu ein rechtwinkliges Koordinatensystem verwendet. Naturgemäß unterliegen die Meßpunkte einer gewissen Streuung. Demzufolge ist eine direkte Verbindung der einzelnen Meßpunkte wenig sinnvoll. Unter Umgehung der exakten Methoden der Ausgleichsrechnung wird folgendes vereinfachendes Verfahren vorgeschlagen: Man zeichnet eine ausgleichende Kurve, so, daß etwa die gleiche Anzahl der Meßpunkte zu beiden Seiten der Kurve liegt (Bild 4.3). „Ausreißer" scheiden aus.

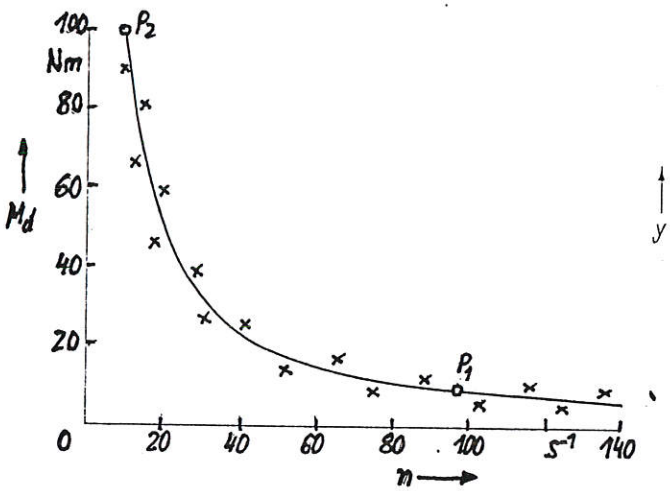


Bild 4.3. Experimentell gefundene Kurve

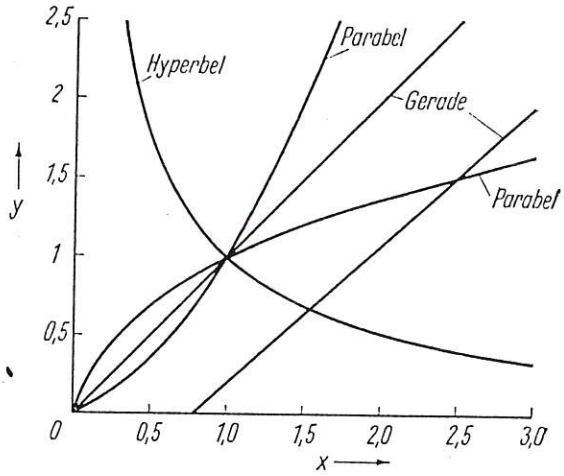


Bild 4.4. Typische Kurven zur numerischen Auswertung

Wird z.B. ein Motor auf dem Prüfstand bei konstanter Leistung durch unterschiedliche Momente belastet, ergibt sich der dargestellte Verlauf $M_d = f(n)$. Bevor mit der numerischen Auswertung begonnen werden kann, ist der Gleichungstyp zu wählen. Als Hilfe soll die Zusammenstellung im Bild 4.4 dienen. Es gelten für die Gerade, die Parabel und die Hyperbel folgende Beziehungen:

$$y = mx + b \qquad \text{GERADE}$$

$$y = a + bx^2 + cx^3 \qquad \text{PARABEL} \qquad (4.4)$$

$$y = a + b/x. \qquad \text{HYPERBEL}$$

Micro Motion
PO BOX 56
3903 AB VEENENDAAL
NETHERLANDS
TEL : +31 318 - 549549
FAX : +31 318 - 549559

MASS FLOWMETER CALIBRATION CERTIFICATE

The calibration results, corrected for Buoyancy, are obtained by means of applicable calibration procedures.
The calibration Curve is based on the frequency output.
The calibration System is certified by the Dutch Weights & Measures Authority : Nederlands Meetinstituut
The calibration Weighing references are traceable to the National Standards.

Certificate no. : 03121999942

Micro Motion Order # : 49020547- 1- 1-0
Customer Reference : TUI-45611685/19P
Date : 3-12-1999 / 14:39
Remarks : SENSOR ONLY

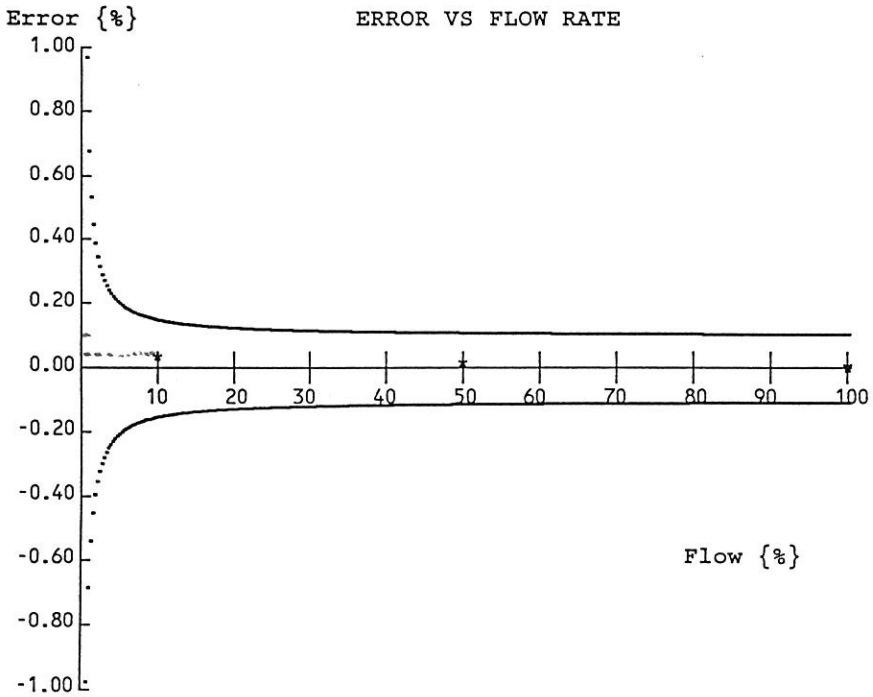
Sensor Model # : CMF300M391NB
Sensor Serial # : 356698
Sensor Tag :

Electronics Model # : RFT9739 TEST
Electronics Serial # :
Electronics Tag :

Accessory Model # :
Accessory Serial # :
Accessory Tag :

Calibration : Comparison With Scale
Test Stand Used : 1
Test Stand Toolno. : 32227/01
Calibration Uncertainty : < 0.03 % (95 % confidence level)
Fluid : Water
Fluid Temperature : 23.3 °C
100 % Flow Rate : 2268.00000 kg/min
Inlet pressure at 100 % : p_e = 0.76 bar

Flow (%)	Nominal Flow Rate (kg/min)	Meter Total (kg)	Scale Total (kg)	Error (%)	Spec (±%)
100	2268.00	2549.10	2548.82	0.01	0.11
10	226.80	235.76	235.67	0.04	0.15
50	1134.00	1272.12	1271.83	0.02	0.11
100	2268.00	2544.23	2544.12	0.00	0.11



Calibrator : RBV GP 36 Wittnessed by : WT

ABSOLUTER FEHLER

ISTWERT
SOLLWERT

$$\Delta x = I - S$$

ODER

ANGEZEIGTER W.
WAHRER W.

$$\Delta x = A - W$$

Z.B.: FLOW = 10%

$$\Delta x = 235{,}76\ kg - 235{,}67\ kg = 0{,}09\ kg$$

RELATIVER FEHLER

$$f\% = \frac{I - S}{S} \cdot 100\% \quad \vee \quad f\% = \frac{A - W}{W} \cdot 100\%$$

Z.B.: FLOW = 10%

$$f\% = \frac{235{,}76\ kg - 235{,}67\ kg}{235{,}67\ kg} \cdot 100\%$$

$$f\% = 0{,}038\ \%$$

Micro Motion
PO BOX 56
3903 AB VEENENDAAL
NETHERLANDS

MASS FLOWMETER CALIBRATION CERTIFICATE

Certificate no. : 03121999942

XMTR Info

	[Tag]	:
	[Des]	: 49020547-1-1-0
	[Msg]	:

Charize

	[Flow Cal Factor]	: 625.604.26
9739	[Dens 1]	: 0.00119
	[K1]	: 11462.64
	[Dens 2]	: 0.99757
	[K2]	: 13508.59
	[FD]	: 280.00000
	[Dens Temp Coef]	: 4.26
	[Xmtr S/N]	:
9701/03/12/29	[Dens Cal Factor]	: 11460135134.26

Chng I/O

Current Output 1) (4 - 20 mA)

[1) LRV]	: 0.00000 kg/hr
[1) URV]	: 136080.00000 kg/hr
[1) PV is]	: MASS FLOW RATE
[1) Cutoff]	: 0.00000 kg/hr
[1) Added Damp]	: 0.00 sec

Current Output 2) (4 - 20 mA)

[2) LRV]	: 800.00000 kg/CuMtr
[2) URV]	: 1200.00000 kg/CuMtr
[2) SV is]	: DENSITY
[2) Cutoff]	: N.A.
[2) Added Damp]	: 0.00 sec

Freq Output

[3) TV is]	: MASS FLOW RATE
[3) Freq]	: 10000 Hz
[3) Rate]	: 136080.00000 kg/hr
[3) Puls width]	: 0.50 sec

Control Output

[Option]	: Fault

Xmtr Variable

[Mass Flow Unit]	: kg/hr
[Spcl Mass Flow Unit]	:
[Base Mass Flow Unit]	: kg
[Mass Conversion no.]	: 1.00000
[Mass Time Base Unit]	: min
[Spcl Mass Flow Rate Unit]	:
[Mass Flow Cutoff]]	: 60.00000 kg/hr
[Vol Flow Unit]	: l/hr
[Spcl Vol Flow Unit]	:
[Base Vol Flow Unit]	: CuMtr
[Vol Conversion no.]	: 1.00000
[Vol Time Base Unit]	: min
[Spcl Vol Flow Rate Unit]	:
[Vol Flow Cutoff]	: 60.00000 l/hr
[Flow Dir]	: Forward only
[Flow Damp]	: 1.60 sec
[Dens Unit]	: kg/CuMtr
[Dens lo]	: 0.00
[Dens hi]	: 5.00
[Dens Damp]	: 4.0000 sec
[Temp Unit]	: degC
[Temp Damp]	: 4.0000 sec

Fault Output

[Fault Limit]	: Downscale

ROTA YOKOGAWA

Kalibrier - Zertifikat

Allgemeine Daten

Produkt:	ROTAMESSER
Modell:	RAMC02-D4SS-63S2-X65424*B/ID1/BG/P6/B0
Kom.-Nr.:	222193/005
Serien-Nr.:	
Meßstellen-Bez.:	Reserve

Schwebekörperdaten: D(s) = 27,00 mm M(s) = 274,4000 g rho(s) = 7,810 g/cm3

Abgleich Analog-Ausgang: 4 ... 20 mA = 0 - 2000 l/h

Meßbedingungen

	Kalibrierung (i.K.)		Betriebszustand (i.B.)	
Medium	Wasser		Lösungsmittel	
Temperatur	25	°C	45	°C
Druck (abs.)	1,000	bar	4,000	bar
Dichte	0,99700	kg/l	1,00000	kg/l
Viskosität	0,8870	mPas	1,0000	mPas
Meßbereich	247,0-2504,0	l/h	300-2500	l/h

Durchflußprüfung

Genauigkeit der Meßnormale: < 0.5 % v.M.

Meßnormal			Rotamesser	
Nr.	Qv i.K. [l/h]	Qv i.B. [l/h]	Skala [mm]	Meßunsich. [% v.M.]
6	247,0	246,6	17,4	5,3
6	569,0	568,0	23,4	3,0
6	888,0	886,5	29,8	2,3
6	1216,0	1214,0	37,8	2,0
6	1534,0	1531,0	44,1	1,9
6	1905,0	1902,0	51,2	1,7
6	2186,0	2182,0	57,0	1,7
6	2504,0	2500,0	64,8	1,6

Die Skala des Rotamessers wird bei ihrer Erstellung optimal der Durchflußanzeige des Meßnormals angepaßt. Deshalb reduziert sich die Abweichung zum Meßnormal allein auf die Unsicherheit, die beim Ablesen und bei der Umrechnung in den Betriebszustand besteht.
Weitere Abweichungen wie z.B. Linearitätsfehler sind wegen der verwendeten nicht-linearen Skala vernachlässigbar klein.
Die angegebene Meßunsicherheit entspricht den Berechnungsvorschriften nach VDI/VDE 3513 .

!

DER RELATIVE FEHLER BEZOGEN AUF DEN ZEIGERAUSSCHLAG UND DIE VERGLEICHSNORMALE (MESSNORMALE Qv i.B. NUR RELEVANT)

Kalibrierergebnis

Die Meßunsicherheit des ROTAMESSERs entspricht unter Kalibrierbedingungen der Genauigkeitsklasse 1,6 nach VDI/VDE 3513. Die Kalibrierung beruht auf der Skalenanzeige des ROTAMESSERs. Der Ruhepunkt des Schwebekörpers liegt bei (12,2+-0.5) mm .

Wehr, den 09.06.98

Prüfer

QIC-GC RA23b

Die Kalibrieranlagen ROTA YOKOGAWA sind ausnahmslos rückführbar auf die nationalen Normale der Bundesrepublik Deutschland. ROTA YOKOGAWA ist Mitglied des Deutschen Kalibrierdienstes (DKD-K-03901) und untersteht damit der direkten Aufsicht der Physikalisch-Technischen Bundesanstalt (PTB).

2.2 *Definition der Fehler*

Auch bei einer rückwirkungsfreien und bestimmungsgemäßen Anwendung der Meßgeräte ist das Ergebnis nicht völlig richtig.
Der jeweilige Unterschied zwischen dem gemessenen, angezeigten Wert x und dem wahren wert x_w der Meßgröße wird als Fehler Δx bezeichnet:

$$\Delta x = x - x_w$$

$\Delta x = A - W$

Es gibt zwei Kategorien von Fehlern. Dies sind zum Einen die

systematischen Fehler und die

zufälligen Fehler

Systematische Fehler erscheinen bei jeder Wiederholung des Meßvorganges mit gleichem Wert und gleichem Vorzeichen. Sie lassen sich korrigieren. Umwelteinflüsse können ggf. durch Abschirmung, Temperieren der Meßanordung beseitigt werden.

Als Beispiel für systematische Fehler sei hier genannt:

"MESSUNRICHTIGKEIT"

Gerätefehler
Fehler der Meßmethode
Eichfehler / Justierfehler
Umwelteinflüsse

Zufällige Fehler wechseln nach Betrag und Vorzeichen. Umwelteinflüsse können stark schwanken und sind dann nicht mehr erfaßbar.

Als Beispiel für zufällige Fehler sei hier genannt:

"MESSUNSICHERHEIT"

Ablesefehler: Parallaxe
Irrtümer
Umwelteinflüsse

2.3 *Systematische Fehler*

Es gibt zwei Arten von systematischen Fehlern die in der Herstellerangabe „Garantiefehlergrenze" bereits enthalten sind:

Absoluter Fehler und

Relativer Fehler

Der absolute Fehler wird wie folgt definiert:

Abs. Fehler = Istwert - Sollwert d.h.

$\Delta x = x - x_w$ = (A) − (W) [DIMENSIONBEHAFTET]

Der absolute Fehler Δx wird unter der Verwendung der Einheit vom Hersteller angegeben.

Der relative Fehler wird wie folgt definiert:

Rel. Fehler = 100% • (Istwert - Sollwert) / Sollwert d.h. in [%]

f% = **Rel. Fehler = 100% • $(x - x_w) / x_w$ = 100% • $\Delta x / x_w$**

<u>Beispiel:</u>

Gegeben: x = 10,23V
x_w = 9,98V

Gesucht: Absoluter Fehler ?
Relativer Fehler ?

Abs. Fehler = 10,23V-9,98V = **<u>0,25V</u>**

Rel. Fehler = 100% • (10,23V-9,98V) / 9,98V = **<u>2,50%</u>**

f% =

2.4 *Garantiefehlergrenze* / KLASSENGENAUIGKEIT

Die gebräuchlichste Herstellerangabe für die Definition der Meßgenauigkeit ist die. Garantiefehlergrenze. Bei dieser Angabe gibt der Hersteller relativen Fehler seines Meßgerätes aber bezogen auf den Meßbereichsendwert an. Diese Fehlerangabe wird wie folgt definiert:

Rel. Fehler = 100% x (Istwert - Sollwert) / Meßbereichsendwert

Die Einflußgrößen die auftreten können und die in der Angabe der Garantiefehlergrenze (Klassengenauigkeit) berücksichtigt werden müssen sind sind genormt. Betriebslage, Temperatur, Frequenz des Meßsignals, Hilfsspannung, Fremdfeld sind einige Einflußgrößen.

DIN 43780

4.4.1. Systematischer Fehler

Der systematische Fehler ist naturgemäß gleichbleibend. Er hat ein bestimmtes Vorzeichen + oder −. Meßgeräte und Meßeinrichtungen, die einen systematischen Fehler zeigen, sind durchaus brauchbar. Sie müssen nur mit systemfehlerfreien Meßgeräten verglichen, also „geeicht" werden. Mit Hilfe der Berichtigung kann der Richtigwert ermittelt werden. JUSTIERT

Die Darstellung des Prüfergebnisses erfolgt in einem Eichschaubild (Bild 4.6). Für den Betriebsgebrauch wird meist das daraus gewonnene Fehlerdiagramm verwendet. Systematische Fehler werden durch die Unvollkommenheit der Meßverfahren, des Meßgegenstands, der Meßgeräte, der Maßverkörperungen und der erfaßbaren Umwelteinflüsse sowie der persönlichen Einflüsse des Beobachters hervorgerufen. Systematische Fehler können z. B. auftreten, wenn bei der Temperaturmessung mit einem Thermoelement die vorhandene Vergleichsstellentemperatur von dem vorgeschriebenen Wert abweicht. Die Differenz kann mit Hilfe eines Glasthermometers genau erfaßt und die am Gerät angezeigte Temperatur daraufhin berichtigt werden. Ein weiterer leicht erkennbarer systematischer Fehler liegt vor, wenn der Zeiger eines Meßgeräts im unangeschlossenen Zustand nicht auf Null einspielt. Durch Drehen der Nulleinstellung läßt sich die Zeigerstellung korrigieren.

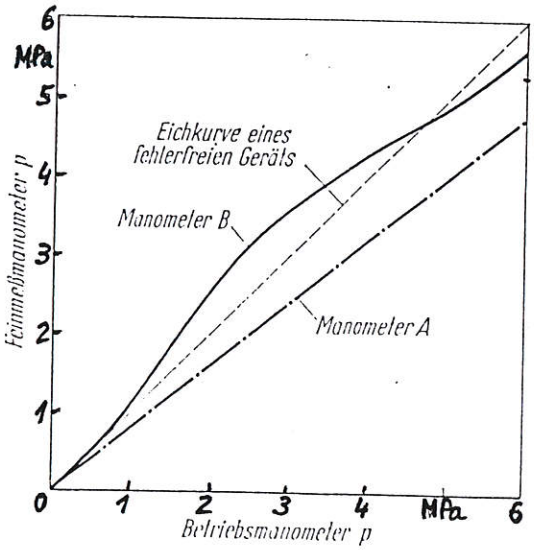
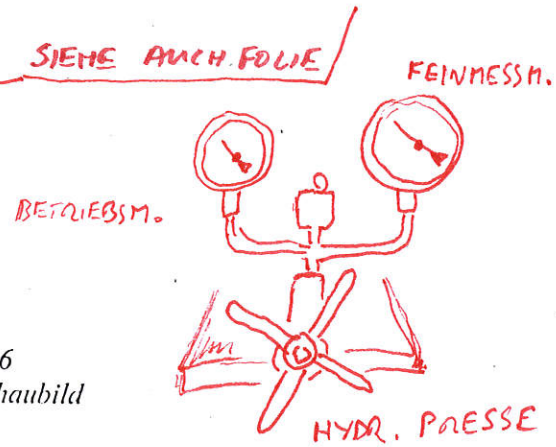


Bild 4.6
Eichschaubild

SIEHE AUCH FOLIE



Die Erfassung systematischer Fehler ist u. U. mit großem Aufwand verbunden, der sich für praktische Messungen nicht vertreten läßt. Unter diesen Umständen bezeichnet man den Fehler als nicht erfaßbar. Trotzdem ist eine Fehlereinschätzung hinsichtlich der Größe und des Vorzeichens zweckmäßig und auch möglich.

4.4.2. Zufälliger Fehler

Meßtechnisch nicht erfaßbare und beeinflußbare Änderungen verursachen einen zufälligen Fehler. Bei einer Wiederholung der Messung unter gleichen Bedingungen werden die einzelnen Meßwerte immer voneinander abweichen. Man spricht von einer Streuung der Meßwerte oder von einer Meßunsicherheit (im Gegensatz zur Meßunrichtigkeit beim systematischen Fehler). Die Abweichung ist nicht in der Richtung erfaßbar. Deshalb erhält der Fehler das Doppelvorzeichen $\pm$. Eine Aussage über die Größe ist nur dann möglich, wenn eine Anzahl Messungen (d.h. wenigstens 10) unter gleichen Bedingungen durchgeführt und den nach Methoden der Wahrscheinlichkeitsrechnung ausgewertet werden. Zufällige Fehler können ihre Ursachen in der unvermeidlichen Reibung in Verbindung mit mechanischen Meßgeräten haben. Demzufolge wird sich der Zeiger bei steigender Anzeige jeweils auf einen zu kleinen und bei fallender Anzeige auf einen zu großen Wert einstellen. In diesem Zusammenhang spricht man auch von einer steigenden und fallenden Eichung. Nach Standard wird die Differenz der beiden Anzeigen für einen bestimmten Meßwert als Umkehrspanne bezeichnet. Sie ist in der Angabe der Fehlergrenze enthalten [3].

ZEIGERREIBUNG

Zufällige Fehler können auch durch unkontrollierbare Einwirkung der Umwelt entstehen. Unvermeidliche Temperaturschwankungen der Meßleitung einer Meßeinrichtung mit Thermoelement und Drehspulgerät rufen z.B. unkontrollierbare Spannungsabfälle und damit eine Unsicherheit in der Meßwertanzeige hervor.
Weitere subjektive Fehler entstehen durch die Mitwirkung des Menschen (z.B. bei der Betätigung einer Stoppuhr zwecks Zeitmessung oder bei dem Ablesen von Meßwerten an analogen Anzeigegeräten).

Ein oft auftretender subjektiver Fehler ist das Verschätzen der Unterteilung eines Skalenschritts. Dabei wird der Fehler oft durch einseitige Beleuchtung und durch nicht senkrechtes Ablesen (parallaktischer Fehler) vergrößert. Präzisionsgeräte haben deshalb unter der Skale einen Spiegel. Deckt sich das Zeigerbild mit dem Spiegelbild, hat das Auge des Beobachters die richtige Stellung. Eine Verbesserung des Ablesens kann durch die Verwendung eines Nonius oder einer Ableselupe erreicht werden. Es hat aber wenig Sinn, die Ablesung hinsichtlich des möglichen Fehlers zu übertreiben. Der Ablesefehler sollte sich etwa in der Größenordnung der Fehlergrenze bewegen.
Bei den Betriebsmeßmitteln ist die Trennung in systematische und zufällige Fehler zur Angabe der Korrektur und der Meßunsicherheit meist nicht möglich. Zur Fehlerabschätzung geht man von der Fehlergrenze δ_g und dem möglichen Zusatzfehler aus, der durch vom Nennbetrieb abweichende Einsatzbedingungen entsteht.

ZUFÄLLIGER FEHLER = STREUNG DER MESSWERTE = MESS UNSICHERHEIT

SYSTEMATISCHER FEHLER = MESSUNRICHTIGKEIT

DIN 43 780 und VDE-Bestimmungen für elektrische Meßgeräte

Unsere Meßgeräte entsprechen den Genauigkeitsanforderungen nach DIN 43 780 und den Sicherheitsbestimmungen nach DIN VDE 0410.

Nachstehend sind die wichtigsten Bestimmungen dieser Vorschriften für den Bau sowie die Eigenschaften elektrischer Meßgeräte erläutert.

Genauigkeit

Die Genauigkeit eines Meßinstrumentes oder eines Zubehörs ist gegeben durch die Grenzen von Grundfehlern und Einflußeffekten.

Ein Fehler, der bestimmt wird, wenn das Instrument und/oder das Zubehör sich unter Referenzbedingungen (Tab. III DIN 43 780) befindet (befinden), wird als Grundfehler bezeichnet, im Gegensatz zum Einflußeffekt, wenn sich das Instrument nicht unter Referenzbedingungen, sondern in den Grenzen des Nenngebrauchsbereiches (Tab. VI DIN 43 780) befindet.

Unsere Meßgeräte und MESSCONTACTER entsprechen der Klasse 1,5, wenn nicht bei einzelnen Typen eine andere Klassengenauigkeit angegeben ist. Soweit möglich, können die Meßgeräte in Sonderausführung auch für höhere Klassengenauigkeit (Klasse 1 oder Klasse 0,5) gefertigt werden.

Die Klasse ist auf der Skala angegeben, z. B.

1,5 Klassenzeichen für Anzeigefehler, ausgedrückt in Prozent des Bezugswertes.

Der Bezugswert entspricht im allgemeinen dem Meßbereichendwert mit folgenden Ausnahmen:

Der Bezugswert entspricht:
der Summe der elektrischen Werte, die den beiden Grenzen des Meßbereiches entsprechen, unabhängig dem Vorzeichen, wenn sowohl der mechanische als auch der elektrische Nullpunkt innerhalb der Skala liegen;

einem Quadranten bei Phasenmessern;

der Differenz der Widerstandswerte der beiden Grenzen des Meßbereiches für Widerstandsmesser mit linearer Skala;

der Skalenlänge bei Instrumenten (z. B. Widerstandsmessern) mit nichtlinearer gedrängter Skala, die keine separaten linearen Skalen haben;

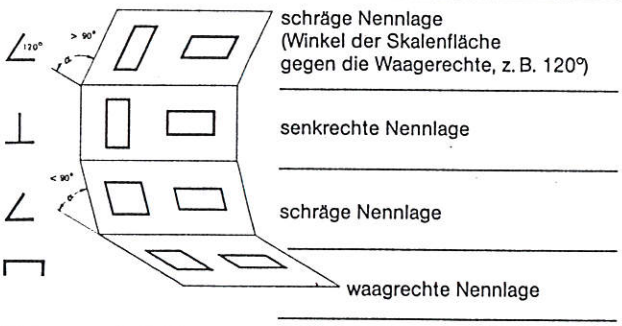
dem Nennwert für Zubehör

Referenzwerte und Einflußeffekte

Gebrauchslage

Im allgemeinen ist die Nennlage durch ein Lagezeichen gekennzeichnet. Für Instrumente ohne Lagezeichen ist der Referenzbereich jede Lage zwischen waagrecht und senkrecht.

Als Nenn-Gebrauchsbereich gilt ±5° der angegebenen Nennlage, wobei der Einflußeffekt (zusätzlich zum Anzeigefehler) nicht größer als der entsprechende Klassenfehler sein darf.



Es kann auch ein Nennlage-Bereich angegeben werden, z. B.
∠45° ... ⊥ schräge (45°) bis senkrechte Nennlage

Einflußeffekt durch Einbau in ferromagnetische Tafeln

Die Angabe der Schalttafeldicke bei Schalttafeln aus ferromagnetischem Material ist bei Drehspul-Meßgeräten erforderlich, die in dieser Liste besonders gekennzeichnet sind, damit beim Abgleich der Einbaueinfluß berücksichtigt werden kann.

Arbeitstemperaturbereich

Falls nicht anders angegeben, müssen Instrumente der Klassen 0,5 bis 5 bei Umgebungstemperaturen zwischen −25 und + 40°C im Dauerbetrieb ohne bleibenden Schaden zu nehmen arbeiten.

Temperatureinfluß

Falls nicht anders angegeben, ist die Referenztemperatur 20°C mit Toleranzen ±2 K für Instrumente der Klasse 0,5 bis 5. Nenn-Gebrauchsbereich ist Referenztemperatur ±10 K. Der zusätzliche Fehler innerhalb dieses Temperaturbereiches darf nicht größer als der Klassenfehler sein.

Schüttelfestigkeit und Mechanische Stoßfestigkeit

Einflußbedingungen für Schütteln und Stoßen sind in DIN 43 780 nicht festgelegt. Unsere Meßgeräte entsprechen daher den bisherigen Forderungen von VDE 0410/3.68:

Schüttelfestigkeit

Vom Hersteller werden die Meßgeräte der Klasse 1 bis 5 einer Typenprüfung gemäß § 27 unterworfen. Sie soll mit ±0,25 mm Amplitude und einer Frequenz von 50 Hz (2,5fache Erdbeschleunigung) in drei aufeinander senkrecht stehenden Ebenen und einer Prüfzeit von je 20 Minuten erfolgen.

Nach der Schüttelprüfung muß der halbe Unterschied zwischen steigender und fallender Anzeige, abgelesen ohne zu klopfen, innerhalb der Klassengenauigkeit liegen

Mechanische Stoßfestigkeit

Auch diese Prüfung ist eine Typenprüfung für Meßgeräte der Klassen 1 bis 5. Dabei soll der Prüfling auf einer geeigneten Stoßeinrichtung in drei aufeinander senkrecht stehenden Richtungen je 5 Stöße mit einer Beschleunigung von 15 g erhalten (g = 9,81 m/s²).

Zum Schutze des beweglichen Organs der Meßgeräte gegen grobe Stöße sind die Lagersteine federnd montiert (gefederte Lagersteine).

Prüfspannung

Nennisolationsspannung des/der Meßkreis(e) V	Prüfspannung V_{eff}	Prüfspannungszeichen
50	500	☆
250	1500	☆1,5
650	2000	☆2
1000	3000	☆3
2000	5000	☆5

Bei MESSCONTACTERN sind die Schutzmaßnahmen nach DIN VDE 0411 durchgeführt, und zwar entsprechen die MESSCONTACTER f 4 der Schutzklasse I (Schutzleiteranschluß) und alle anderen MESSCONTACTER der Schutzklasse II (Schutzisolierung).

Für die Serien DIGEM und DINALOG gelten ebenfalls die Sicherheitsbestimmungen nach DIN VDE 0411. Diese Geräte werden jedoch nur in Schutzklasse I ausgeführt.

Schutzart nach DIN 40 050

Unsere Meßgeräte und MESSCONTACTER entsprechen, soweit nicht anders angegeben, folgender Schutzart nach DIN 40 050
IP 50 für Gehäuse
IP 00 für Klemmen.

BEISPIEL:

GEG.: KLASSENGENAUIGKEIT 1,5 => 1,5 % VOM $MB_{ENDW.}$

a) FÜR EINEN MESSBEREICHSENDWERT VON 75 FOLGT:

$$F_{ISG} = \frac{1{,}5\,\% \cdot 75}{100} = \pm 1{,}125$$

b) BETRÄGT DER MESSWERT NUN 10 LIEGT DER WAHRE WERT ZWISCHEN $10 \pm 1{,}125$ → $10 - 1{,}125 = 8{,}875$

→ $10 + 1{,}125 = 11{,}125$

BEZOGEN AUF DEN MW FOLGT DAS DIES EINER ABWEICHUNG VON

$$f_{\%} = \frac{\pm 1{,}125 \cdot 100\,\%}{10} = 11{,}25\,\%$$

c) BETRÄGT DER MESSWERT NUN 50 LIEGT DER WAHRE WERT ZWISCHEN $50 \pm 1{,}125$ → $50 - 1{,}125 = 48{,}875$

→ $50 + 1{,}125 = 51{,}125$

BEZOGEN AUF DEN MW FOLGT DAS DIES EINER ABWEICHUNG VON

$$f_{\%} = \frac{\pm 1{,}125 \cdot 100\,\%}{50} = 2{,}25\,\%$$

FAZIT: SO NAH WIE MÖGLICH AM MESSBEREICHSENDWERT MESSEN (LETZTES SKALENDRITTEL)

Genauigkeit

Die Genauigkeit eines Multimeters gibt den maximalen Meßfehler an, der unter bestimmten äußeren Bedingungen auftreten kann.
Sie zeigt mit anderen Worten, wie nahe man an den wahren Wert, der nicht bekannt ist, herankommt.
Bei digitalen Multimetern wird die Genauigkeit in Prozent in bezug auf den aktuellen Meßwert angegeben.
Beispiel: Eine Genauigkeit von 1 % bei einem angezeigten Meßwert von 100,0 bedeutet, daß der wahre Meßwert zwischen 99,0 und 101,0 liegen kann. } UNSICHERHEITSBEREICH
Zusätzlich muß bei digitalen Multimetern ein konstanter Wert, der sich aus der Umwandlung von Analog auf Digital ergibt, hinzugefügt werden. Dieser Wert betrifft das niederwertigste Digit. } QUANTISIERUNGSFEHLER
Die Genauigkeit wird dann z.B. wie folgt angegeben: ± (1 % vom Meßwert + 2 Digits), was für den wahren Wert bedeutet, er liegt zwischen 98,8 und 101,2.

Bei analogen Multimetern sind die Genauigkeiten immer auf den Meßbereichsendwert bezogen. Die Multimeter werden in Genauigkeitsklassen eingeteilt. Das bedeutet, unabhängig vom abgelesenen Meßwert muß immer der gleiche Fehler hinzugefügt werden. Deshalb verringert sich der prozentuale Fehler, je näher der Meßwert dem Meßbereichsendwert kommt.

Beispiel: Genauigkeitsklasse 1,5 bedeutet, der Fehler beträgt in einem Meßbereich ± 1,5%, bezogen auf den Meßbereichsendwert.

ABSOLUTER F.

Ist der Meßbereichsendwert 75, beträgt der maximale Fehler ± 1,5 % von 75, das sind ± 1,125.

BEISPIEL 1

Beträgt der Meßwert nun 10, liegt der wahre Wert zwischen 8,875 (10 – 1,125) und 11,125 (+1,125), das entspricht einer Abweichung, bezogen auf den Meßwert, von ± 11,25 %. MB 75

BEISPIEL 2

Beträgt der Meßwert 50, liegt der wahre Wert zwischen 48, 875 (50 – 1,125) und 51,125 (50 + 1,125), das sind, bezogen auf den Meßwert, 2,25 %.

1. FÜR DEN EINFLUSS AUF DEN ANGEZEIGTEN MESSWERT

2. ALS BEISPIEL FÜR DAS MESSEN IM LETZTEN SKALENDRITTEL

GERÄTEVERGLEICH:

ANALOG-MESSGERÄTE

+ MIT EINEM BLICK GESAMTER MESSBEREICH ERFASST
+ RELATIVE GRÖSSE DES MESSWERTES BEZOGEN AUF DEN MB-ENDWERT KANN DIREKT EINGESCHÄTZT WERDEN
+ MESSWERTSCHWANKUNGEN: MINIMA UND MAXIMA KÖNNEN BESSER ERKANNT WERDEN
+ FÜR STROM- UND SPANNUNGSMESSUNG KEINE BATTERIE NÖTIG

- STOSSEMPFINDLICH
- GEBRAUCHSLAGE / REIBUNG => FEHLER
- MEHRFACH BELEGTE SKALA => FEHLER IN DER ABLESUNG
- QUALITÄTSVIELFACH-MG's SIND SEHR TEUER

DIGITAL-MESSGERÄTE

+ UNABHÄNGIGE GEBRAUCHSLAGE
+ DIREKTE ABLESUNG DES MESSWERTES MIT KOMMA, POLARITÄT UND EINHEIT
+ ROBUSTERER AUFBAU
+ DATENEXPORT DA ANALOGWERT SCHON DIGITALISIERT
+ PREIS-/LEISTUNGSVERHÄLTNIS
- IMMER HILFSENERGIE NÖTIG (BATTERIE)
- (SIEHE + PUNKTE DES ANALOG-MW.)

Die Klassengenauigkeit von Meßgeräten wird in der Praxis wie folgt unterteilt:

	Feinmeßgeräte			Betriebsmeßgeräte			
Elektrische Meßgeräte	0,1	0,2	0,5	1	1,5	2,5	5
Meßwandler	0,1	02	0,5	1		3,0	
Druckmeß-geräte		0,3	0,6	1	1,6	2,5	4

Die Angaben in der Tabelle sind %-Angaben.

2.5 *Gerätekennzeichnungen*

Neben der Angabe der Klassengenauigkeit findet man bei Analoginstrumenten weitere Angabe auf der Meßskala, die der Benutzer berücksichtigen muß damit er möglichst fehlerarme Meßergebnisse erhält.

Bei analogen Meßgeräten spielt die Betriebslage eine große Rolle für die Meßgenauigkeit. Die Lage in der das Meßgerät zu betreiben ist

*UMKEHRSPANNE

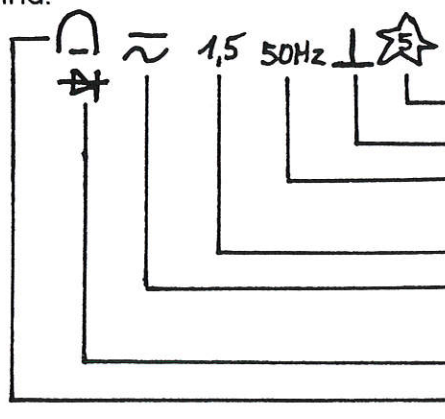
⊥ senkrechte Betriebslage

⊓ waagerechte Betriebslage

∠60° ∠ schräge Betriebslage

DIN-NORM 43802

Weitere Symbole sind:



Messung mit Zeigermeßgeräten

ME 1.1

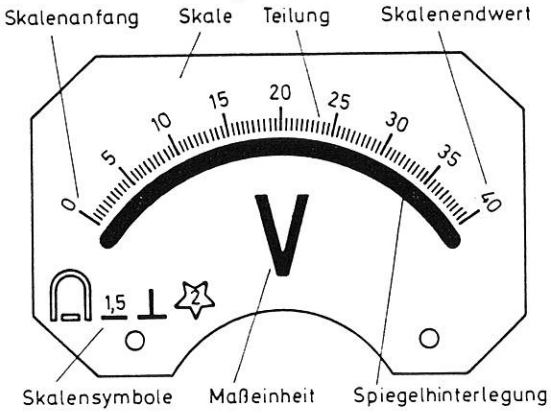
Begriffe zu einzelnen Meßverfahren

Messen – Tatsächliches Ermitteln der Meßgröße mit Hilfe geeichter (kalibrierter) Meßgeräte oder Meßeinrichtungen.
Prüfen – Feststellen der Funktionsfähigkeit einer Anlage mit Hilfe von Meßgeräten
Eichen (kalibrieren) – Anpassung eines Meßgerätes oder einer Meßeinrichtung an die tatsächlich zu messende Meßgröße.

Vorschriften

VDE 0410 – Regeln für elektrische Meßgeräte
VDE 0411 – Bestimmungen für elektrische Meßgeräte und Regler
VDE 0418 – Bestimmungen für Elektrizitätszähler
DIN 1319 – Grundbegriffe der Meßtechnik; Messen, Prüfen, Zählen

Skalenbeschriftung



Skalenbeschriftung enthält

Sinnbilder für	und Angaben über
Stromart	Meßgeräteklasse
Meßwerk	Innenwiderstand
Gebrauchslage	Einheit der Meßgröße
Prüfspannung	Ursprung

Meßgeräteklassen

	Feinmeßgeräte			Betriebsmeßgeräte			
Klasse	0,1	0,2	0,5	1	1,5	2,5	5
Anzeigefehler ± %	0,1	0,2	0,5	1	1,5	2,5	5

Die Zahlenwerte geben den maximal zulässigen Fehler eines Zeigermeßgeräts bezogen auf den Skalenendwert an.

Skalensinnbilder

- — für Gleichstrom
- für Gleich- und Wechselstrom
- ~ für Wechselstrom
- für Drehstrom mit einem Meßwerk
- für Drehstrom mit zwei Meßwerken
- für Drehstrom mit drei Meßwerken
- 1,5 Klassenzeichen, bezogen auf Meßbereich-Endwert
- 1,5 Klassenzeichen, bezogen auf Skalenlänge bzw. Schreibbreite
- (1,5) Klassenzeichen, bezogen auf richtigen Wert
- ⊥ Senkrechte Nennlage
- Waagerechte Nennlage
- 60° Schräge Nennlage (mit Neigungswinkelangabe)
- 2 Prüfspannung
- Hinweis auf getrennten Nebenwiderstand
- Hinweis auf getrennten Vorwiderstand
- Magnetischer Schirm (Eisenschirm)
- Elektrostatischer Schirm
- ast Astatisches Meßwerk
- Achtung (Gebrauchsanleitung beachten)!
- Drehspulmeßwerk
- Zusatz zu: als Gleichrichter; Thermoumformer; isol. Thermoumformer
- Drehspul-Quotientenmeßwerk
- Drehmagnetmeßwerk
- Drehmagnet-Quotientenmeßwerk
- Dreheisenmeßwerk
- Dreheisen-Quotientenmeßwerk
- Elektrodynamisches Meßwerk (eisenlos)
- Elektrodynamisches Quotientenmeßwerk (eisenlos)
- Elektrodynamisches Meßwerk (eisengeschlossen)
- Elektrodynamisches Quotientenmeßwerk (eisengeschlossen)
- Induktionsmeßwerk
- Induktions-Quotientenmeßwerk
- Hitzdrahtmeßwerk
- Bimetallmeßwerk
- Elektrostatisches Meßwerk
- Vibrationsmeßwerk
- mit eingebautem Verstärker

Bei Meßgeräten mit mehreren Meßpfaden müssen die einzelnen Meßpfade gegeneinander und gegen Erde geprüft werden. Die Größe der Prüfspannung ist abhängig von der Größe der Nennspannung des Meßgerätes.

Nennspannung		bis 40 V	Prüfspannung 500 V	Stern, ohne Zahl
Nennspannung	40 V	bis 650 V	Prüfspannung 2000 V	Stern, Zahl = 2
Nennspannung	650 V	bis 1000 V	Prüfspannung 3000 V	Stern, Zahl = 3

Bildzeichen für Meßgeräte

Um einen einfachen Umgang mit dem Meßgerät zu gewährleisten, sind seine wichtigsten Merkmale in Form von Bildzeichen auf der Skale aufgedruckt. Die nach DIN 43802 genormten Zeichen betreffen analoge Geräte. Bei Digitalmeßgeräten ist die Beschriftung meist englisch, sie kann je nach Hersteller verschieden sein.

Symbole für Analogmeßgeräte, Auswahl

Stromart

- Gleichstrom
- Wechselstrom
- Gleich- und Wechselstrom
- Drehstrom
- Drehstrom, mit einem Meßwerk

Nennlage

- senkrechte Nennlage
- waagrechte Nennlage
- 60° schräge Nennlage, mit Angabe des Winkels

Prüfspannung

- Prüfspannung 500 V
- 2 Prüfspannung 2 kV

Allgemeines

- Gebrauchsanweisung beachten!
- Zeiger-nullstellvorrichtung

Meßwerke

- Drehspulmeßwerk mit Dauermagnet
- Drehspulmeßwerk mit Gleichrichter
- mit Thermoumformer
- Dreheisen-meßwerk
- Elektrodynamisches Meßwerk, eisenlos
- Bimetallmeßwerk
- Elektrostatisches Meßwerk
- Vibrationsmeßwerk
- Meßwerk mit magn. Abschirmung, Sinnbild für den Schirm
- Meßgerät mit elektronischer Anordnung (z.B. Verstärker)

Symbole für Digitalmeßgeräte, Auswahl

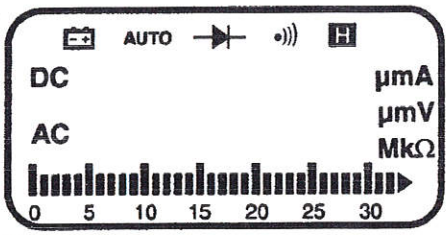
RMS	Root Mean Square, Effektivwert; gemessen wird der Effektivwert des Wechselanteils
TRMS	True Root Mean Square, wahrer Effektivwert; gemessen wird der Effektivwert der gesamten Mischgröße oder der Effektivwert des Wechselanteils (Handbuch befragen!)
RANGE	Meßbereich; kann meist mit Taste **AUT/MAN** von Automatikbetrieb auf Handbetrieb umgeschaltet werden
HOLD, MEM	Meßwert wird in Digitalanzeige gespeichert. Viele Geräte unterscheiden zwischen DATA-HOLD und PEAK-HOLD (Speicherung des Spitzenwertes)
EXTR	Minimal- und Maximalwert werden gespeichert
TIME	Meßwertspeicherung in vorgegebenen Zeitintervallen
STO	Speicherung mehrerer gleicher oder verschiedener Meßwerte mit Einheit und Polarität
ZOOM, EXPAND	Lupenfunktion bei Analog-Digital-Multimetern; die Analogskale kann in mehreren Stufen gedehnt werden
REL	Ein vorgegebener Wert dient als Referenzwert, die Abweichung vom Referenzwert wird angezeigt
LIM	Grenzwertvorgabe, alle Grenzwertüberschreitungen werden akustisch und optisch gemeldet
dB	Pegelmessung
BEEP	Ein- und Ausschaltung des Summers
♪	Durchgangsprüfung, Summer
▷|	Halbleitermessung, Diodenmessung

Analoge Multimeter

Prinzipiell gibt es zwei Typen von Multimetern: analoge und digitale Geräte. Bei analogen Multimetern wird der Meßwert durch einen Zeiger auf einer oder mehreren Skalen angezeigt.
Dadurch kann auf einen Blick der gesamte Meßbereich erfaßt und die relative Größe des Meßwertes zum Meßbereichsendwert sofort abgeschätzt werden. Meßwertschwankungen werden leicht erkannt und die minimalen bzw. maximalen Werte festgestellt.
Durch die Verwendung von Drehspulmeßwerken wird die Spannungsversorgung durch Batterien überflüssig, es sei denn, daß zur Steigerung der Empfindlichkeit ein Meßverstärker oder bei einem Widerstandsmeßbereich eine Spannungsquelle benötigt wird.

Balkenanzeige

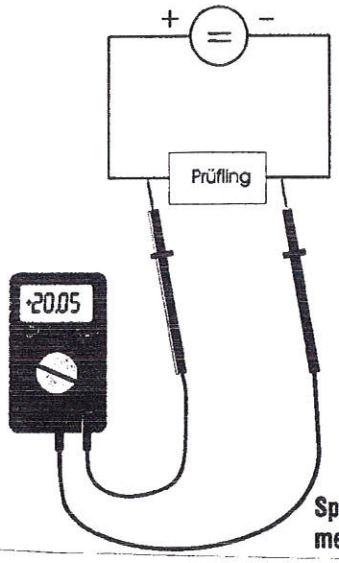
Als Ergänzung zur Digitalanzeige besitzen viele UNITEST Multimeter einen Bargraph, der ähnlich wie eine analoge Anzeige in der Lage ist, schwankende Meßwerte schneller anzuzeigen. Die Balkenanzeige wird ca. zehnmal in der Sekunde aktualisiert, so daß das dynamische Verhalten dem eines analogen Meßgerätes gleicht.



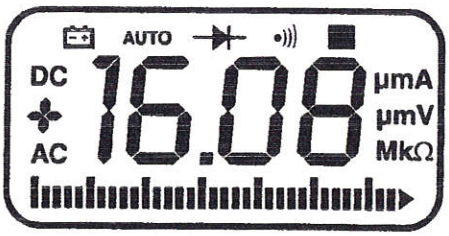
Balkenanzeige

Digitale Multimeter

Digitale Multimeter erlauben die direkte, einfache und eindeutige Anzeige des Meßwertes. Der Wert wird direkt als Zahl mit Komma, Polarität und Einheit ausgegeben. Während der Messung braucht die Lage des Meßgerätes nicht beachtet zu werden, da keine mechanischen Teile zur Meßwertbildung beitragen. Digitale Multimeter sind wegen ihres Aufbaus robuster und weisen bessere Genauigkeiten auf.



Spannungsmessung



Digitale Anzeige