

Alle Messgeräte zeigen Messwerte nur in einer bestimmten Genauigkeit an. Toleranzen in den Geräten verhindern eine exakte Messwertermittlung. Bei analogen Geräten wird dennoch immer wieder versucht, den Messwert durch besonders gefinkelt ablesen der Zeigerposition weit über der vom Hersteller vorgegebenen Präzision zu bestimmen. Bei digitalen Messgeräten herrscht die Meinung vor, die digitale Anzeige sei „genau“, was als Exaktheit des Messergebnisses interpretiert wird, die aber meist nicht gegeben ist.

Technisch spricht man von Messabweichungen (früher Messfehler), die ein übliches Messgerät aufweisen kann und deren Grenzen vom Hersteller angegeben sind. Weiters sind viele andere Einflüsse auf das System Messgerät – Messobjekt wirksam, die das Messergebnis verfälschen können.

Die frühere Bezeichnung „Messfehler“ suggeriert einen Irrtum, was aber nicht stimmt. Der Messwert ist nicht „falsch“, sondern er weicht vom Sollwert mehr oder weniger ab, was in der Natur des Messens selbst liegt.

1 Arten von Messungen

Je nach Art der Messung ergibt sich ein bestimmter Umgang mit den unvermeidlichen Abweichungen. Es muss jedem Messtechniker bewusst sein, dass es eine absolut „genaue“ Messung nicht gibt.

Manuelle Messungen:

- der Messtechniker „sieht“ sofort grobe Abweichungen
- er kann eine Plausibilitätsprüfung durchführen (kann das stimmen ?)
- stark schwankende Werte fallen sofort auf, die Messung kann wiederholt werden
- unübliches Verhalten der Schaltungen wird sofort bemerkt.

Automatische Messungen:

- Messabweichungen fallen nicht auf, wenn keine Sicherheitsmaßnahmen gesetzt sind.
- In Messprogrammen sind daher Sicherheitsprüfungen einzubauen:
 - mehrmaliges Messen und Vergleichen der Werte
 - Plausibilität prüfen
 - Sollwerte mit Toleranzen vorgeben

Kritische Messungen:

- besonders sorgfältig durchführen
- mit alternativen Messmethoden bestätigen
- mit Berechnungen und Servicedaten vergleichen
- bei Sicherheitsentscheidungen
- bei Messungen die als Entscheidungsbasis dienen.

2 Arten von Messabweichungen

Nach der Art ihrer Entstehung und der Möglichkeit zu Korrektur unterscheidet man zwischen zufälligen und systematischen Messabweichungen.

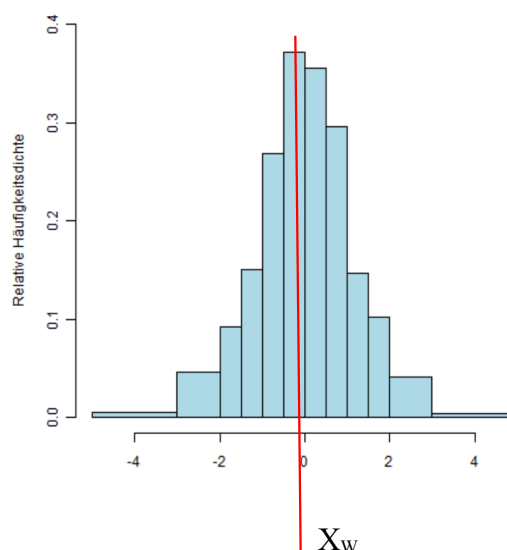
Art	Zufällige Messabweichungen	Systematische Messabweichungen
Ursachen	Fremdfelder, Störungen, Kontaktfehler, natürliche Schwankungen	Messschaltung, Messaufbau, Messgeräteauswahl, Rückwirkung auf das Messobjekt
Behebung	Korrektur nicht möglich. Mit einer statistischen Auswertung kann die Verteilung der Messwerte ermittelt werden. Am einfachsten ist dabei das Häufigkeitsdiagramm (Histogramm) zu handhaben.	Korrektur möglich: normgerechter Aufbau, Messgeräte nach Spezifikation einsetzen, Rückwirkungen berechnen, Abgleichen und Kalibrieren der Messgeräte

2.1 Messwertstatistik, Histogramm

Aus einer Vielzahl von Messungen wird eine Häufigkeitsverteilung (Histogramm) der Messwerte erstellt. Diese kann mit den üblichen statistischen Methoden ausgewertet werden. Neben der Ermittlung von Mittelwert und Varianz (Streuung) können aus der Art der Verteilung wichtige Hinweise über die der Verteilung zu Grunde liegenden Mechanismen abgeleitet werden.

Vor allem im Fertigungsbereich wird diese Technik zur Kontrolle der Fertigungsprozesse in der begleitenden Qualitätssicherung eingesetzt.

Je schmäler die Verteilung ist, um so stabiler und ungestörter ist die Messung. Ergibt sich ein eindeutiger Mittelwert, kann dieser als „wahrer Wert“ X_w angesehen werden.



2.2 Abgleich von Messgeräten

Um das zuverlässige Arbeiten eines Messgerätes sicher zu stellen, sind einige Maßnahmen erforderlich. Dabei gelten aber immer auch die Vorgaben des Herstellers über die Handhabung, den Betrieb und die Wartung des Messgerätes. Man unterscheidet verschiedene Vorgänge, die in der Literatur unterschiedlich bezeichnet und gerne vermischt werden.

2.2.1 Justieren, Nullabgleich

Bei **jeder** Inbetriebnahme eines Messgerätes ist ein Nullabgleich durchzuführen. Dies kann manuell durch den Benutzer oder auch automatisch durch das Messgerät während des Einschaltvorganges

selbst geschehen (Selftest, AutoCal,...). Das Messgerät ist auf offensichtliche Mängel und Beschädigungen zu überprüfen.

Ein Abgleich hat nach den Vorgaben des Herstellers zu erfolgen, die Abgleichprozedur ist einzuhalten. Der Abgleich stellt die **Funktionsfähigkeit** des Messgerätes sicher.

In vielen Dokumenten wird die Justierung fälschlich als Kalibrierung oder gar Eichung bezeichnet.

Beispiele: Nullabgleich bei Widerstandsmessung
 Abgleich von Hochfrequenzmessgeräten (Kurzschluss, Leerlauf, Abschluss)
 Nullstellung eines analogen Zeigerinstrumentes

2.2.2 Kalibrieren, Vergleich mit Messnormal

In regelmäßigen, vom Hersteller vorgegebenen Abständen sind die Messgeräte einer Kalibrierung zu unterziehen. Dabei wird die **Einhaltung der Messgerätespezifikation** überprüft. Damit werden Abweichungen und schleichende Verschlechterungen der Gerätefunktion entdeckt.

Bei der Kalibrierung wird dem Messgerät ein genau bekannter Messwert mit einem Messnormal vorgegeben. Die Genauigkeit des Messnormals sollte mindestens um einen Faktor Zehn besser sein als die Genauigkeit des zu prüfenden Messgeräts. Der angezeigte Messwert muss sich dann innerhalb der vom Hersteller vorgegebenen Genauigkeitsgrenzen befinden.

Die Durchführung erfolgt entweder durch eine Qualitätssicherungsstelle, durch ein spezialisiertes „Testhaus“ oder durch den Hersteller. Meist wird ein Zertifikat ausgestellt, das die Eignung des Messgerätes dokumentiert. Bei ISO 900x- Zertifizierung ist die regelmäßige Kalibrierung der Messgeräte Pflicht. In vielen Dokumenten wird die Kalibrierung fälschlich als Eichung bezeichnet.

2.2.3 Eichen

Eine Eichung ist eine amtlich vom Eichamt oder betrauten Stellen durchgeführte Kalibrierung. Dazu gibt es eine amtliche Dokumentation (Zertifikat). Mit geeichten Geräten können rechtsverbindliche Messungen durchgeführt werden. Das Maß- und Eichgesetz regelt die Art und den Umfang notwendiger Eichungen. Im technischen Bereich werden geeichte Messgeräte von Ziviltechnikern und gerichtlich beeideten Sachverständigen eingesetzt. Die Eichung ist in den angegebenen Intervallen zu wiederholen, das Messgerät muss eichfähig sein.

Beispiele: Entscheidungsmessungen bei Produktmängeln
 Lärmmessungen, Umweltmessungen, ...
 Eichung von Waagen im Verkauf

2.2.4 Funktionstest

Bei sicherheitsrelevanten Messungen muss das verwendete Messgerät vor der Messung auf einwandfreie Funktion geprüft werden. Darunter versteht man die Prüfung, ob die Messung auch zu den gewünschten Messergebnissen führt. Dieser Funktionstest ist mehr als das Justieren, aber keinesfalls so aufwendig wie eine Kalibrierung. Es genügt die Kontrolle auf das richtige Arbeiten des Gerätes. Dieser Test ist vor jeder sicherheitsrelevanten Messung durchzuführen.

Beispiel: Prüfen auf Spannungsfreiheit
 vor dem Messvorgang wird die Funktion des Messgerätes an einer Quelle bekannter Größe geprüft.

3 Genauigkeitsklassen analoger Messgeräte

Analoge Messgeräte haben wegen der Toleranzen und des Verhaltens der eingesetzten Mechanik eine Fehlercharakteristik, die sich am Vollausschlag des Messwerkes orientiert. Die zulässige Abweichung wird in Prozent vom Skalenendwert bzw. vom Messbereich MB angegeben. Dieser Prozentwert wird als Genauigkeitsklasse F_k bezeichnet und vom Hersteller garantiert.

Aus der Genauigkeitsklasse F_k und dem jeweiligen Messbereich MB kann man die Messabweichung berechnen.

$$F_{\max} = \pm \frac{F_k}{100} \cdot MB$$

Die Messabweichung ist unabhängig vom aktuell abgelesenen Wert X_A , d.h. die absolute Genauigkeit ist konstant.

Die so berechnete Abweichung wird bei der Kalibrierung des Messgerätes verwendet. Dabei wird ein mit einer Kalibrierquelle (z.B. Präzisionsspannungsquelle) exakt vorgegebener Messwert X_E gemessen. Der Ablesewert X_A muss dann zwischen den Grenzen liegen:

$$X_E - F_{\max} \leq X_A \leq X_E + F_{\max}$$

Die Annahme, dass bei einer praktischen Messung der wahre Wert X_W sich im Bereich $X_W = X_A \pm F_{\max}$ befindet, ist problematisch und nur als Näherung zu sehen, weil ja die Lage von X_A im Toleranzband unbekannt ist und ein Wert X_E ja nicht vorliegt.

Die relative, auf den jeweiligen Messwert X_M bezogene Genauigkeit ist

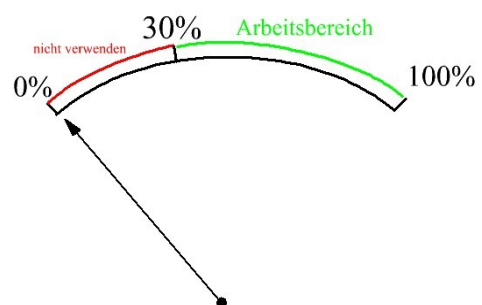
$$F_{\text{rel}} = \pm \frac{F_{\max}}{X_M} = \pm \frac{F_k}{100} \cdot \frac{MB}{X_M}$$

Für $X_M = MB$ wird die relative Abweichung gleich der Genauigkeitsklasse, für kleiner werdendes X_M steigt sie stark an. Bei einem Drittel des Vollausschlags ist die relative Abweichung 3 mal so groß wie die Klasse angibt. Analoge Geräte sollen daher immer im kleinstmöglichen Messbereich betrieben werden.

Für die Stufungen der Messbereichumschaltung gibt es folgende Zahlensysteme:

- 1 – 3 – 10 analoge Multimeter
- 1 – 2 – 5 Oszilloskope
- 1,5 – 5 (selten) für einfache dB- Rechnung (+/- 10 dB je Umschaltung).
- 1 – 10 für Sondermessungen (Widerstand, Kapazität, ...) und DMM

Messinstrument	Klasse	Anzeigefehler
Feinmessinstrument	0,1	$\pm 0,1\%$
	0,2	$\pm 0,2\%$
	0,5	$\pm 0,5\%$
Betriebsmessinstrumente	1	$\pm 1\%$
	1,5	$\pm 1,5\%$
	2,5	$\pm 2,5\%$
	5	$\pm 5\%$



Man kann daher ein analoges Multimeter fast immer bei etwa einem Drittel des Vollausschlags auf den nächst niedrigeren Messbereich umschalten. In der Literatur wird gerne falsch, aber um so

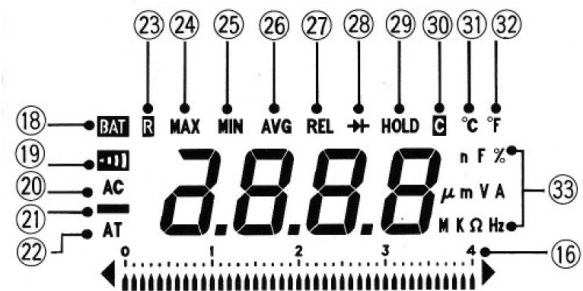
konsequenter angegeben, dass man ein analoges Messgerät immer im oberen Drittel der Skala ablesen soll, was aber mit den üblichen Stufungen der Messbereiche nicht vereinbar ist.

4 Genauigkeit digitaler Messgeräte

4.1 Zifferndarstellung digitaler Messgeräte

Das Display digitaler Messgeräte hat eine von der Bauart bedingte Anzahl von Stellen, die meist in Siebensegmentdarstellung angezeigt werden. Die Stellenzahl richtet sich nach der Genauigkeit des Gerätes, weil es keinen Sinn macht, Stellen anzuzeigen, die ohnehin nicht stimmen.

Die führende Stelle bildet eine Ausnahme. Sie ist meist nicht vollwertig ausgeführt. Sie kann 1/2-wertig (Darstellung nur von 1 oder Blank) oder 3/4-wertig (Darstellung nur von 1, 2, 3 oder Blank) sein. Danach richten sich die Messbereichsendwerte des Gerätes.



Die Bezeichnung des Displays enthält die Anzahl der ganzen Stellen und die Art der nicht vollwertigen Stelle. Entsprechend sind die darstellbaren Zahlen verschieden:

3 ½ stellig	Zahlen von 0 1999	Messbereichsendwerte 2000
3 ¾ stellig	Zahlen von 0 3999	Messbereichsendwerte 4000

Zu diesen Ziffern kommt noch der Dezimalpunkt, der an sich nach jeder Stelle eingesetzt werden kann und damit die Messbereichsendwerte definiert:

3 ½ stellig	19,99	Zahlen von 0 19,99	Messbereich 20
3 ¾ stellig	399,9	Zahlen von 0 399,9	Messbereich 400

Vervollständigt wird die Anzeige durch die Angabe der Einheit mit einem Multiplikator:

mA , V , kΩ , nF ,

Zusätzlich ist für gepolte Werte ein Vorzeichen vorgesehen. Das Messergebnis entsteht durch Zusammensetzen der Anzeige (z.B. 3 ½ stellig):

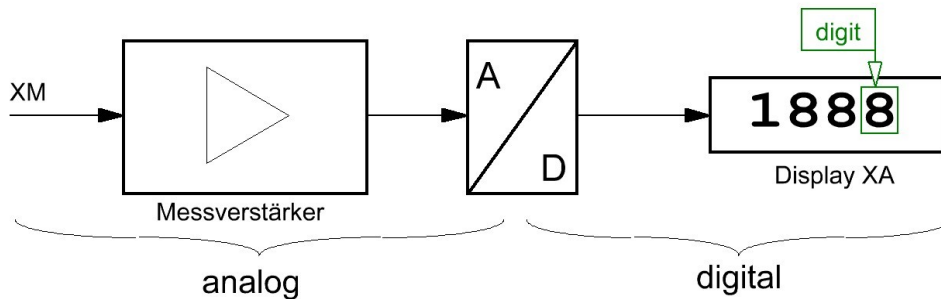
Messwert	2,36 mA	-16,48 V	15,08 kΩ	3,69 nF
digit	0,01 mA	0,01 V	0,01 kΩ	0,01 nF

Die Wertigkeit der letzten Stelle wird als Auflösung oder englisch **digit** (mit Einheit) bezeichnet.

4.2 Genauigkeitsformel digitaler Messgeräte

Im Gegensatz zu den analogen Messgeräten wird bei digitalen Messgeräten eine Formel zur Berechnung der Messabweichung verwendet. Zum Verständnis dieser Genauigkeitsformel ist die

Kenntnis des inneren Aufbaus der Messgeräte erforderlich.



Der Analogteil besteht aus aktiven und passiven Bauteilen. Die wahren Bauteilwerte ergeben sich aus den Nennwerten und den Toleranzen, die in Prozent der Nennwerte angegeben sind. Damit stellt sich die gesamte analoge Verstärkung auch als Nennwert mit prozentueller Toleranz dar. Der Beitrag des Analogteils zur gesamten Messabweichung ist daher ein Prozentwert vom aktuellen Ablesewert (engl. **reading**).

Im Digitalteil ist der ADC das bestimmende Bauteil. Er liefert als Ergebnis eine Zahl, die nur um ganze Ziffern „falsch“ sein kann. Dabei wird der Wert der geringstwertigen Stelle der Anzeige (engl. **digit**) als Maß herangezogen.

Ein weiterer Fehlermechanismus hängt von der Linearität der gesamten Schaltung des Messgerätes ab und stellt sich als Prozentwert in Abhängigkeit vom jeweiligen Messbereich (engl. **range**) dar. Die Hersteller digitaler Messgeräte geben die Auswirkungen aller oder bestimmter Fehlermechanismen in einer Formel an, mit der sich die jeweilige Messabweichung berechnen lässt. Als aufwendigste Formel erhält man mit p_1 und p_2 als Prozentwerte, n als ganzer Zahl

$$F_{\max} = \pm p_1 \text{ reading} \pm p_2 \text{ range} \pm n \text{ digit}$$

Die Formel kann für verschiedene Messfunktionen und Messbereiche unterschiedlich sein. Es müssen nicht alle Parameter vorkommen. Sie ist immer im Handbuch nachzusehen.

Die so berechnete Abweichung wird bei der Kalibrierung des Messgerätes verwendet. Dabei wird ein mit einer Kalibrierquelle (z.B. Präzisionsspannungsquelle) exakt vorgegebener Messwert X_E gemessen. Der Ablesewert X_A muss dann zwischen den Grenzen liegen:

$$X_E - F_{\max} \leq X_A \leq X_E + F_{\max}$$

Die Annahme, dass bei einer praktischen Messung der wahre Wert X_W sich im Bereich $X_W = X_A \pm F_{\max}$ befindet, ist problematisch und nur als Näherung zu sehen, weil ja die Lage von X_A im Toleranzband unbekannt ist und ein Wert X_E ja nicht vorliegt.

Specifications

Function	Range	Accuracy
Voltage		
DC Volts		
Ranges	400 mV, 4 V, 40 V, 400 V, 1000 V	$\pm (0.5 \% \text{ rdg} + 1 \text{ dgt})$
AC Volts (45 Hz to 500 Hz)		
Ranges	400 mV (45 Hz to 100 Hz) 4 V, 40 V, 400 V, 750 V	$\pm (1.5 \% \text{ rdg} + 5 \text{ dgts})$ $\pm (1.5 \% \text{ rdg} + 5 \text{ dgts})$
Resolution	100 μV	
Input Impedance	400 mV: $>100 \text{ M}\Omega$; 4 V: $10 \text{ M}\Omega$; 40 V to 1000 V: $9.1 \text{ M}\Omega$	
Overload Protection	1000 V DC or 750 V AC RMS	

Der Ausschnitt aus einer Spezifikation eines digitalen Messgerätes mit einem 3 3/4-stelligen Display zeigt die praktische Handhabung der Genauigkeitsformel.

4.3 Messbereichswahl

Das Messgerät ist für das Erreichen der vollen Genauigkeit immer so einzustellen, dass der Messwert den Messbereich immer möglichst ausnützt. Digitale Messgeräte stellen den Messbereich oft selbst ein (Autoranging).

manuelle Messbereichseinstellung:

- kürzere Wartezeiten bei Messung
- Gefahr von Überlauf (Overload)

automatische Messbereichseinstellung:

- längere Einstellzeiten bei Messung
- Optimale Messbereichswahl

Bei digitalen Messgeräten ergibt sich das Problem, dass der Crestfaktor der Messgröße den Messbereich bestimmt. Deswegen kann bei extremen Crestfaktoren die automatische Messbereichswahl eine ungünstige Ablesung ergeben, wenn wegen der Übersteuerungssicherheit ein großer Bereich gewählt wird. Dadurch kann die Auflösung verschlechtert werden. Die Hersteller geben daher einen maximal zulässigen Crestfaktor an.