

# Grundlagen der elektrischen Meßtechnik

## Allgemeines

Physikalische Phänomene (Körper, Vorgänge, Zustände) werden durch physikalische Größen, kurz auch nur Größen genannt, qualitativ und quantitativ beschrieben. Größen der Elektrotechnik sind beispielsweise Stromstärke, elektrische Spannung und elektrischer Widerstand. Zwischen den Größen bestehen Zusammenhänge, die durch physikalische Gesetze ausgedrückt werden; für die Beziehung zwischen den genannten elektrischen Größen gilt das Ohmsche Gesetz  $U = I \cdot R$ .

Ein Größensystem entsteht dadurch, daß man von einigen Basisgrößen ausgeht und von diesen mit Hilfe der physikalischen Gesetze alle weiteren Größen ableitet (abgeleitete Größen). Das internationale Einheitensystem SI, das den gesetzlichen Einheiten zugrunde liegt, geht von einem Größensystem mit 7 Basisgrößen aus.

Für die Basisgrößen wurden Basiseinheiten festgelegt, von denen die Einheiten der abgeleiteten Größen abgeleitet werden (abgeleitete Einheiten). Auf diese Weise ist ein Einheitensystem entstanden (internationales Einheitensystem, SI).

Der spezielle Wert einer Größe, zB 3 m, 4 kg, 10 V, 3,5 A, heißt Größenwert.

Die geplante Tätigkeit zum quantitativen Vergleich einer physikalischen Größe mit einer Einheit wird als Messung bezeichnet. Dabei ist die physikalische Größe, der die Messung gilt, die Meßgröße. Der Größenwert, der zur Meßgröße gehört, heißt Meßwert.

Es gilt allgemein:                      Größenwert = Zahlenwert mal Einheit  
Im Bereich der Meßtechnik:        Meßwert =     Zahlenwert mal Einheit

Beispiel:     Ergebnis einer Spannungsmessung: 6 mal Einheit der Spannung 1 V = 6 V.

## Basisgrößen und Basiseinheiten

<u>Basisgröße</u>	<u>Basiseinheit</u>	<u>Einheitszeichen</u>
Länge	Meter	m
Masse	Kilogramm	kg
Zeit	Sekunde	s
Elektrische Stromstärke	Ampere	A
Temperatur	Kelvin	K
Lichtstärke	Candela	cd
Stoffmenge	Mol	mol

Meßgeräte, bei denen die Anzeige auf einer Skale durch einen Zeiger erfolgt und der Wert der zu messenden Größe aufgrund der Zeigerstellung abgelesen wird, heißen Analogmeßgeräte. Geräte, die den Messwert in einer Ziffernfolge darstellen und anzeigen, heißen Digitalmeßgeräte.

In der klassischen Meßtechnik waren analog arbeitende Meßgeräte meist Zeigermeßgeräte, die außer der Mechanik keine Schaltungsteile mit elektrischer Stromversorgung enthielten. Heute erfolgt in der Regel in elektronischen Meßgeräten eine Umformung der Meßgröße in den anzeigenden Meßwert. Das gilt gleichermaßen für Analogmeßgeräte und Digitalmeßgeräte sowohl bei der Messung rein elektrischer Größen

als auch bei der Messung nichtelektrischer Größen. Insbesondere werden elektronische Bauelemente der integrierten Schaltungstechnik verwendet. Meßgeräte dieser Art heißen darum elektronische Meßgeräte.

Meßgerät nennt man ein Gerät, das allein oder in Verbindung mit anderen Einrichtungen für die Messung einer Meßgröße vorgesehen ist. Dazu gehören beispielsweise ein eingebauter Vor- oder Nebenwiderstand, die elektrische Stromversorgung des Gerätes (zB eingebaute Batterien), usw.

### **Darstellung von Meßgrößen**

In der Praxis erhält man bei elektronischen Meßgeräten aufgrund der vielseitigen Bauformen und Meßgerätetypen unterschiedliche Darstellungen der zu messenden Größen:

Bei **analogen** Meßgeräten wird der Meßwert zB dargestellt

**d i r e k t**

am Meßgerät (zB an Zeiger und Skale des Ziffernmeßgeräts),

am Schreiber (zB mit Aufzeichnung auf Papier),

am Oszilloskop (zB auf dem Leuchtschirm) oder

**i n d i r e k t**

auf einen Datenträger (zB als Aufzeichnung).

Bei **digitalen** Meßgeräten wird der Meßwert zB dargestellt

**d i r e k t**

als Ziffernanzeige (an einem LED- oder LCD-Display),

mit einem Zeilendrucker (Ausdruck der Meßwerte),

am Bildschirm (Zahlendarstellung auf einen Monitor) oder

**i n d i r e k t**

in einem Speicher (digital in einem Halbleiter- oder Magnetplattenspeicher festgehalten).

Mit elektronischen Meßgeräten können natürlich auch nicht elektronische Größen gemessen werden, wie Druck, Drehzahl, Feuchtigkeit, Temperatur, Länge, Dicke, usw.

Die zu messende nichtelektrische Größe wird mit Hilfe eines Meßgrößenaufnehmers (kurz Aufnehmer genannt) in eine elektrische Größe umgewandelt und danach wie eine elektrische Größe dargestellt.

Jedes elektrische oder elektronische Meßgerät braucht zur Anzeige des Meßwerts elektrische Energie, die es am Meßort aufnimmt. Der dadurch entstehende Meßfehler soll natürlich klein sein. Es ist darum immer anzustreben, Meßgeräte mit geringem Eigenverbrauch einzusetzen.

## Von Basiseinheiten abgeleitet Einheiten (Beispiele)

Abgeleitete Größe	Einheit	Zeichen	Einheitengleichung
Frequenz	Hertz	Hz	1/s
Energie, Arbeit	Joule	J	N · m
Leistung	Watt	W	J · s <sup>-1</sup>
Elektr. Ladung	Coulomb	C	A · s
Elektr. Spannung	Volt	V	W · A <sup>-1</sup>
Elektr. Widerst.	Ohm	Ω	V · A <sup>-1</sup>
Elektr. Leitwert	Siemens	S	Ω <sup>-1</sup>
Magn. Fluß	Weber	Wb	V · s
Magn. Induktion	Tesla	T	Wb · m <sup>-2</sup>
Induktivität	Henry	H	Wb · A <sup>-1</sup>
Lichtstrom	Lumen	lm	cd · sr
Beleuchtungsstärke	Lux	lx	lm · m <sup>-2</sup>

## Grundsätzliches zur Meßtechnik

Jede Meßeinrichtung besitzt eine bestimmte Toleranz, wodurch jeder ermittelte Meßwert mit einem bestimmten Fehler behaftet ist. Bei sehr hochwertigen Meßgeräten ist dieser Fehler relativ klein. Ebenso kann ein geringerer Fehler bei Meßeinrichtungen angenommen werden, die nur in bestimmten Zeitabständen einer Eichung unterzogen werden. Die Eichung jedes Meßinstrumentes sollte in bestimmten Abständen überprüft, und wenn nötig korrigiert werden.

Zu Beginn einer Messung stellt sich die Frage nach der physikalischen Größe, die gemessen werden soll. Danach ist das entsprechende Meßmittel auszuwählen. Da die in der Elektronik vorkommenden Meßgrößen nach Art und Wert sehr verschieden sind, sind zwangsläufig universell verwendbare Meßgeräte mit vielen Bereichen, also mit einem großen Meßbereichsumfang erwünscht.

Ein weiteres Hauptaugenmerk gilt der Eingangs- und Ausgangsimpedanz. Meistens bestehen die Eingänge von Meßgeräten aus der Parrallelschaltung eines Widerstandes und einer Kapazität. Der Eingangswiderstand eines Meßgerätes ist für die, aus dem Meßobjekt aufgenommene Leistung bestimmend. Wird einem Meßobjekt zu viel Energie entnommen, so wird die Funktion der Schaltung durch die Messung in unzulässiger Weise gestört.

Die Eingangskapazität eines Meßgerätes verursacht eine kapazitive Belastung des Meßobjektes, was unter Umständen zu einer unzuverlässigen Messung führen kann. Ebenso ist die Ausgangsimpedanz von Meßgeräten bedeutungsvoll, die als Signalquellen dienen. Im Allgemeinen ist eine niedrige Ausgangsimpedanz erwünscht, weil dadurch die Ausgangsspannung eines derartigen Gerätes, auch bei unterschiedlichen Belastungen hinreichend konstant bleibt.

Bei HF-Meßgeräten müssen Eingangs- und Ausgangsimpedanzen zur Erzielung optimaler Energieübertragung immer entsprechend angepasst sein.

Ein Meßgerät sollte mechanisch und elektrisch immer derart konstruiert sein, daß seine Bedienung so einfach wie möglich ist. Ein Minimum an Bedienungsorganen und eine gleichermaßen deutliche, wie auch eindeutige Beschriftung von Einstellern, Schaltern und Anschlüssen sparen Zeit beim Messen und verhindern Irrtümer in der Handhabung.

## **Prüfen, Messen, Eichen**

Richtig angewandte Meßtechnik beruht auf der richtigen Auswahl von Meßgerät und Meßmethode, der korrekten Auswertung von Meßergebnissen und der korrekten Bewertung von möglichen Fehlerursachen. Zunächst sollen die entscheidenden Begriffe Messen, Prüfen und Eichen kurz beschrieben werden.

### **Prüfen**

Unter dem Begriff Prüfen versteht der Techniker das Feststellen der Funktion eines Bauteil oder einer Anlage mit Hilfe von Meßgeräten. Bei der Prüfung von Bauteilen kann zB ein Widerstand mit einem Ohmmeter auf seine grundsätzliche Funktion geprüft werden. Die exakte Feststellung seines Wertes fällt dann allerdings unter die Rubrik Messen. Ein Kondensator läßt sich auf Kurzschluß, eine Induktivität auf Unterbrechung prüfen. Auch hier ist die Feststellung des Wertes nur durch eine Messung festzustellen. Es handelt sich also bei der Prüfung eines Bauteils um eine Prüfung der grundsätzlichen Funktionsfähigkeit.

Die Prüfung der Empfangsfähigkeit eines Funkempfängers kann mittels eines Prüfsenders oder eines vorhandenen Antennesignal erfolgen. Dabei handelt es sich um die grundsätzliche Funktion des Empfangsgerätes ohne eine Aussage über die Qualität des Empfangs zu machen. Ebenso verhält es sich bei der Prüfung der prinzipiellen Funktion jedes anderen Gerätes, zB eines Senders.

Wird als Ergebnis festgestellt, daß die Funktion des Bauteils oder des Gerätes gestört bzw. defekt ist, muß die Ursache mittels Messungen ermittelt werden.

### **Messen**

Messen ist das tatsächliche Ermitteln einer Meßgröße mit Hilfe geeichter (kalibrierter) Meßgeräte oder Meßeinrichtungen. Dazu gehört zB das Feststellen der exakten Größe einer vorhandenen Spannung, eines Stromes oder der Betriebsdaten einer Baugruppe, einer Stufe oder eines Gerätes.

Ebenso werden durch Messungen physikalische Größen wie Kapazität, Widerstand, Induktivität, Frequenz usw ermittelt und ausgewertet. Es werden also zahlenmäßig die Werte von physikalischen Einheiten festgestellt, die bei richtiger Größe, die exakte Funktion eines Bauteil, einer Baugruppe oder eines Gerätes sicherstellen.

Werden bei Meßergebnissen Abweichungen vom Sollwert ermittelt, die über den tolerierbaren Grenzen liegen, kann unter Umständen an Hand des Meßergebnisses auf eine Fehlerursache geschlossen werden. Voraussetzung für eine möglichst korrekte Messung ist immer ein Meßgerät, daß in seiner Eichung stimmt, dh. möglichst frei von Meßfehlern die präzisen Werte einer Messung anzeigt.

## **Eichen**

Eichen oder kalibrieren ist das Anpassen eines Meßgerätes oder einer Meßeinrichtung an die tatsächlichen Werte einer zu messenden Meßgröße.

Dabei werden die Maßeinheiten zB auf der Skala eines Meßgerätes möglichst genau festgelegt. Bei der Kalibrierung eines Meßgerätes werden naturgemäß sehr unterschiedliche Anforderungen gestellt. Das Eichen mit extrem genauer Anpassung an ein Meßnormal bis zur Einstellung der entsprechenden Klassengenauigkeit durch Vergleichsmessungen ist je nach Anwendungsfall gegeben. So kann zB. ein Spannungsmeßgerät mit der Güteklasse 2,5 durchaus über ein Spannungsmeßgerät der Güteklasse 0,5 geeicht werden, wenn das Bezugsgerät verlässlich genau ist. Bei höheren Anforderungen ist die Benutzung eines Spannungsnormals anzuraten.

Ein HF-Meßsender oder der Steuersender einer Funkanlage können mit einem temperaturstabilisierten Quarzoszillator entsprechender Genauigkeit überprüft werden. Werden häufig Frequenzmessungen vorgenommen ist der Besitz eines Frequenznormals lohnend. Frequenznormale mit unterschiedlicher Toleranz kann der Anwender sich leicht selbst fertigen, wobei oft der Frequenzvergleich mit einem Normalfrequenz- oder Zeitzeichensender vorgenommen wird.

Grundsätzlich sollte bei der Eichung eines Meßgerätes immer eine möglichst hohe Genauigkeit angestrebt werden. Extrem hohe Genauigkeit wird nur bei Geräten, die für öffentliche Anwendungen, wie zB. eine Waage oder Tankstellen-Zapfsäule benutzt werden, ist die Eichung durch das zuständige Eichamt vorgeschrieben. Die Eichämter eichen ihre Normale wiederum bei der Physikalisch-Technischen Bundesanstalt in Braunschweig, die für die Exaktheit aller in Deutschland benutzten Normale verantwortlich ist.

## **Fehler beim Messen**

### **Meßfehler**

Die Genauigkeit einer Messung ist im Wesentlichen von den verwendeten Meßgeräten und von der angewendeten Meßmethode abhängig. Der Funkamateurliebling, der sein Hobby anspruchsvoll gestaltet, wird sich immer moderner Meßmittel und Meßmethoden bedienen, wenn er qualifizierte Angaben bzw. Aussagen machen will. Trotzdem kann es immer wieder vorkommen, daß Fehler unterschiedlichster Art auftreten. Grundsätzlich unterscheidet man zwischen Gerätefehlern, methodischen Fehlern und persönlichen Fehlern.

### **Gerätefehler**

Unter Gerätefehler fallen sämtliche Fehler der benutzten Meßgeräte zu denen Anzeigefehler, Einstellfehler, Eichfehler usw. gehören. Die Hersteller von Meßgeräten geben den maximalen Fehler als Garantiewert an, so daß dieser gegebenenfalls einkalkuliert werden kann. Eventuell vorzunehmende Grundeinstellungen zB bei Widerstandsmessungen ect können zu erheblichen Fehlern führen.

Außerdem ist die Eichung eines Meßgerätes meistens nur über eine bestimmte Zeit als gegeben anzusehen, dh, daß die Genauigkeit von Zeit zu Zeit überprüft werden und das Meßgerät eventuell neu geeicht werden muß. Bei der Eichung wird die Anzeige des

einzustellenden Meßgerätes mit einem möglichst genauen Meßnormal verglichen und das Gerät unter Umständen entsprechend neu justiert. Das Eichen von Meßeinrichtungen sollte immer nur von Personen mit einschlägiger Sachkenntnis und Erfahrung vorgenommen werden.

### **Methodische Fehler**

Methodische Fehler sind Fehler, die dadurch entstehen, daß die Meßmethode den Betriebszustand eines Meßobjektes unter Umständen verändert. So kann ein Voltmeter mit zu niedrigem Innenwiderstand die Eigenschaften einer Schaltung so verändern, daß keine verlässlichen Meßergebnisse gewonnen werden können. Gleiches gilt sinngemäß auch für das Messen von Strömen.

Bei Messungen an Schwingkreisen und anderen frequenzabhängigen Schaltungen kann es außerdem zu Resonanzverschiebungen kommen. Auch der Einfluß elektromagnetischer Felder muß gegebenenfalls berücksichtigt werden. Grundsätzlich kann die Beeinflussung des Meßergebnisses wegen methodischer Fehler durch den Gebrauch der richtigen Meßgeräte und die Anwendung der passenden Meßmethode klein gehalten werden.

### **Persönliche Fehler**

Persönliche Fehler sind stets in der unterschiedlichen Wahrnehmung von verschiedenen Personen begründet. Auch durch Unachtsamkeit, Denkfehler ect treten häufig Fehler auf. Deshalb sollte mit Ruhe und Überlegung gemessen und Meßergebnisse immer schriftlich festgehalten werden. Nur wenn Meßergebnisse reproduzierbar sind, kann man davon ausgehen, daß die gemessenen Werte richtig sind.