

## 1. SI-Einheitensystem

Das Messen ist eine der wichtigsten Aufgaben in der Technik sowie im täglichen Leben.

Damit Meßergebnisse bewertet und interpretiert werden können, werden Einheiten benötigt. Ein Meßwert ohne eine Einheit läßt allenfalls eine Tendenz erkennen, aber eine qualitative Aussage ist nicht möglich.

### Messen heißt vergleichen!

Messen heißt, den Meßwert mit einer entsprechenden Einheit oder einer zusammengesetzten Einheit zu vergleichen. Dabei kommt der Definition des Vergleichswertes eine besondere Bedeutung zu.

Damit ein Vergleich auch international möglich ist, wurde 1960 das

### Système International d`Unités (abgekürzt SI)

international vereinbart. Dieses „Internationale Einheitensystem“ wird in allen Sprachen der Welt mit SI abgekürzt, seine Einheiten werden als **SI-Einheiten** bezeichnet.

#### 1.1 Basiseinheiten (Grundeinheiten) des SI

Das SI-Einheitensystem baut auf 7 Basiseinheiten auch Grundeinheiten genannt auf:

Einheit der Länge	das Meter	(m)
Einheit der Zeit	die Sekunde	(s)
Einheit der Masse	das Kilogramm	(kg)
Einheit der elektr. Stromstärke	das Ampere	(A)
Einheit der Temperatur	das Kelvin	(K)
Einheit der Stoffmenge	das Mol	(mol)
Einheit der Lichtstärke	die Candela	(cd)

## 1.2 Definitionen der Basiseinheiten

- 1 Meter** ist das 1650763,73 fache der Wellenlänge der von Atomen des Nuklids  $^{86}\text{Kr}$  beim Übergang in den Zustand  $5d_5$  zum Zustand  $2p_{10}$  ausgesandten sich im Vakuum ausbreitenden Strahlung. **D.h. die Länge der Strecke, die Licht im Vakuum während der Dauer von 1/299792458 Sekunden durchläuft (1960)**
- 1 Kilogramm** ist die Masse des Internationalen Kilogrammprototyps (1889).  
**Urkilogramm**, Bez. für das Normal der Masseneinheit Kilogramm, das in Sèvres bei Paris aufbewahrt wird: Ein Zylinder aus Platin-Iridium von etwa 39 mm Durchmesser und 39 mm Höhe.
- 1 Sekunde** ist das 9192631770 fache der Periodendauer der dem Übergang zwischen den beiden Hyperfeinstruktur-niveaus des Grundzustands von Atomen des Nuklids  $^{133}\text{Cs}$  entsprechenden Strahlung (1967)
- 1 Ampere** nach A. M. Ampère, Einheit der elektr. Stromstärke, Einheitenzeichen A; die Stärke eines konstanten elektr. Stromes, der durch zwei parallele, geradlinige, unendl. lange und im Vakuum im Abstand von 1 Meter voneinander angeordnete Leiter von vernachlässigbar kleinem, kreisförmigem Querschnitt fließend, zw. diesen Leitern je 1 Meter Leiterlänge die Kraft  $2 \cdot 10^{-7} \text{ N}$  ( $1\text{N}=1 \text{ kgm/s}^2$ ) hervorrufen würde (1948).
- 1 Kelvin** Kelvin ist der 273,16te Teil der thermodynamischen Temperatur des Tripelpunktes des Wassers (1967).
- 1 Candela** ist die Lichtstärke, mit der  $(1/600000)\text{m}^2$  der Oberfläche eines Schwarzen Strahlers bei der Temperatur des beim Druck  $101325 \text{ N/m}^2$  erstarrenden Platins senkrecht zu seiner Oberfläche leuchtet (1967).
- 1 Mol** Mol [gekürzt aus Molekulargewicht], Einheitenzeichen mol; diejenige Stoffmenge einer Substanz, die aus ebenso vielen Teilchen besteht, wie Atome in 12 Gramm des Kohlenstoffnuklids  $^{12}\text{C}$  enthalten sind (das sind  $6,022045 \cdot 10^{23}$  Atome; Avogadro-Konstante) (1971)

**Nuklid** | Atomekerne eines Elementes können eine unterschiedliche Anzahl von Neutronen besitzen. Man bezeichnet sie als Isotope Nuklide oder kurz als Isotope dieses Elementes.

**Schwarzer Strahler** (schwarzer Körper, Planckscher Strahler), ein idealer Temperaturstrahler, der auftretende elektromagnet. Strahlung aller Wellenlängen vollständig absorbiert und selbst Strahlung (die *schwarze Strahlung*) entsprechend seiner absoluten Temperatur gemäß den Strahlungsgesetzen abstrahlt.

### 1.3 *Abgeleitete SI-Einheiten*

Werden SI-Einheiten als Potenzprodukt aus den Basiseinheiten ohne Verwendung von Zahlenfaktoren abgeleitet, so spricht man von

#### **„kohärenten“ Einheiten**

Alle Einheiten die nicht wie vorher beschrieben abgeleitet werden können, bezeichnet man als

#### **„inkohärente“ Einheiten**

Diese Einheiten sind nicht Bestandteil des SI-Einheitensystems.

**Beispiel:** Das Watt ist eine kohärente Leistungseinheit, da es sich wie folgt ableiten läßt:

$$1\text{W} = 1\text{kg} \times \text{m}^2 / \text{s}^3$$

Das Watt kann also ohne Zahlenfaktor abgeleitet werden!

Das Kilowatt (kW) ist eine inkohärente Leistungseinheit, das es mit Hilfe eines Zahlenfaktors abgeleitet wird.

$$1\text{kW} = 10^3\text{kg} \times \text{m}^2 / \text{s}^3$$

### 1.4 *Dezimale Vielfache und Teile von SI-Einheiten*

Um bei den SI-Einheiten unter Umständen recht umständliche Zahlenwerte zu vermeiden, dürfen durch dezimale Vorsätze neue vergrößerte oder verkleinerte Einheiten gebildet werden. Die gebildeten Einheiten sind dann allerdings nicht mehr kohärent.

Die folgende Tabelle zeigt die genormten Vorsätze zur Bezeichnung von dezimalen Vielfachen und Teilen von Einheiten:

Vorsatz	Zeichen	Zahlenwert	Vorsatz	Zeichen	Zahlenwert
Exa-	E	$10^{18}$	Dezi-	d	$10^{-1}$
Peta-	P	$10^{15}$	Zenti-	c	$10^{-2}$
Tera-	T	$10^{12}$	Milli-	m	$10^{-3}$
Giga-	G	$10^9$	Mikro-	$\mu$	$10^{-6}$
Mega-	M	$10^6$	Nano-	n	$10^{-9}$
Kilo-	k	$10^3$	Piko-	p	$10^{-12}$
Hekto-	h	$10^2$	Femto-	f	$10^{-15}$
Deka-	da	10	Atto-	a	$10^{-18}$

### 1.5 *SI-fremde Einheiten*

Sie sind inkohärent abgeleitet und wegen ihrer Bedeutung in Wissenschaft, Technik und Wirtschaft für dauernd oder zeitlich begrenzt zugelassen. Einige von ihnen sind nur in Spezialgebieten zulässig.

### 1.6 *Gesetzliche Einheiten*

Mit dem „Gesetz über Einheiten im Meßwesen“ vom 2.7.1969 in der Fassung des Gesetzes zur Änderung des Gesetzes über Einheiten im Meßwesen vom 6.7.1973 und der „Ausführungsverordnung“ zu diesem Gesetz vom 26.6.1970 wurde festgelegt, daß in Deutschland gesetzliche Einheiten sind:

- » die Basiseinheiten des SI
- » die abgeleiteten SI-Einheiten
- » die dezimalen Vielfachen und Teile von SI-Einheiten
- » bestimmte SI-fremde Einheiten, z.T. mit eingeschränktem Anwendungsbereich Für eine Reihe von Einheiten wurde die Gültigkeit befristet.

<b>RFH</b> Rheinische Fachhochschule Köln	<b>Meßtechnik für Elektrotechnik</b>	Fachbereich: Elektrotechnik Studiengang: Allgemeine E-Technik Dipl.-Ing. M. Trier
--	--------------------------------------	--

## **1.7 Einheiten der wichtigsten physikalischen Größenarten**

## 2 Fehlerrechnung

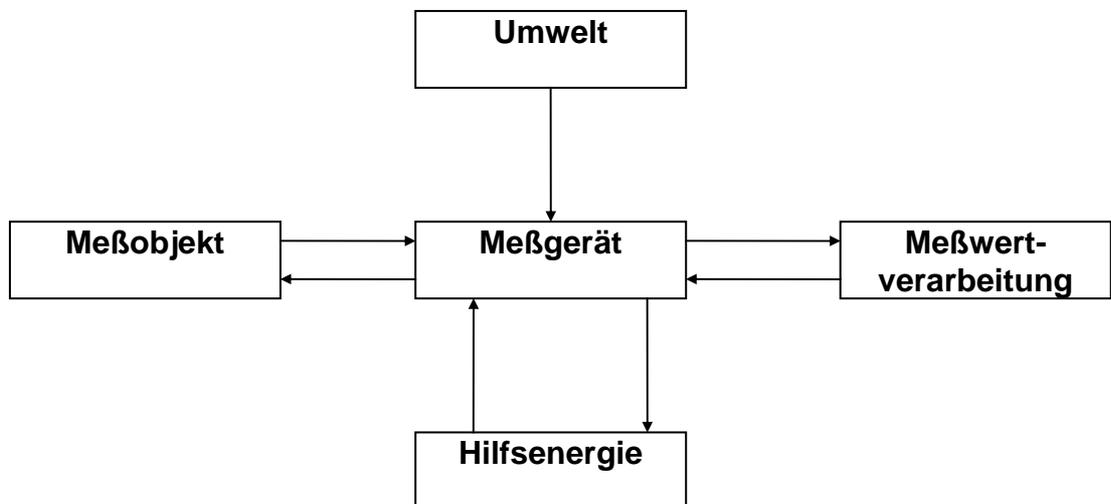
### 2.1 Wechselwirkung zwischen Meßobjekt und Meßgerät

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.



## 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  $\Delta x$  bezeichnet:

$$\Delta x = x - x_w$$

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 Meßanordnung beseitigt werden.

Als Beispiel für systematische Fehler sei hier genannt:

**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:

**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:

$$\text{Abs. Fehler} = \text{Istwert} - \text{Sollwert} \quad \text{d.h.}$$

$$\Delta x = x - x_w$$

Der absolute Fehler  $\Delta x$  wird unter der Verwendung der Einheit vom Hersteller angegeben.

Der relative Fehler wird wie folgt definiert:

$$\text{Rel. Fehler} = 100\% \cdot (\text{Istwert} - \text{Sollwert}) / \text{Sollwert} \quad \text{d.h.}$$

$$\text{Rel. Fehler} = 100\% \cdot (x - x_w) / x_w = 100\% \cdot \Delta x / x_w$$

Beispiel:

Gegeben:  $x = 10,23\text{V}$   
 $x_w = 9,98\text{V}$

Gesucht: Absoluter Fehler ?  
Relativer Fehler ?

$$\text{Abs. Fehler} = 10,23\text{V} - 9,98\text{V} = \underline{\underline{0,25\text{V}}}$$

$$\text{Rel. Fehler} = 100\% \cdot (10,23\text{V} - 9,98\text{V}) / 9,98\text{V} = \underline{\underline{2,50\%}}$$

## 2.4 Garantiefehlergrenze

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:

$$\text{Rel. Fehler} = 100\% \cdot x \cdot (\text{Istwert} - \text{Sollwert}) / \text{Meßbereichsendwert}$$

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.

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

	Feinmeßgeräte			Betriebsmeßgeräte			
<b>Elektrische Meßgeräte</b>	0,1	0,2	0,5	1	1,5	2,5	5
<b>Meßwandler</b>	0,1	0,2	0,5	1		3,0	
<b>Druckmeßgeräte</b>		0,3	0,6	1	1,6	2,5	4

Die Angaben in der Tabelle sind %-Angaben.

## 2.5 Gerätekenzeichnungen

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

senkrechte Betriebslage

waagerechte Betriebslage

schräge Betriebslage

Weitere Symbole sind:

Prüfspannung 5KV  
senkrechte Gebrauchslage  
Frequenz max. 50Hz (auf 50Hz  
kalibriert)  
Klassengenauigkeit 1,5  
Gleich- und Wechselstrom  
(Sinus)  
Gleichrichter  
Drehspulmeßinstrument

## 2.6 *Schaltungsfehler*

Aus der Praxis kann man feststellen, daß die häufigsten Fehler beim Aufbau einer elektrischen Meßschaltung unter Verwendung eines elektrischen Meßgerätes für die direkte Messung von Strom und Spannung folgende Fehler sind:

Falscher Meßbereich  
Meßgerät mit schlechter Klassengenauigkeit  
Meßgeräte mit schlecht dimensionierten Innenwiderständen

Bei analogen oder digitalen elektrischen Meßinstrumenten ist die Größe des Innenwiderstandes besonders wichtig.

### **Die Meßleistung ist möglichst klein zu halten !**

Das heißt:  $P_M = U^2 / R_M$     oder     $P_M = I^2 \cdot R_M$

Der Innenwiderstand eines Spannungsmeßgerätes sollte möglichst gegen unendlich streben, wohin der Innenwiderstand eines Strommeßgerätes möglichst gegen Null streben sollte.

Beispiel:

<b>RFH</b> Rheinische Fachhochschule Köln	<b>Meßtechnik für Elektrotechnik</b>	Fachbereich: Elektrotechnik Studiengang: Allgemeine E-Technik  Dipl.-Ing. M. Trier
--	--------------------------------------	--

## 2.7 Zufällige Fehler

Zufällige Fehler werden hervorgerufen durch nicht erfaßbare und nicht beeinflussbare Änderungen der Meßgeräte, des Beobachters und der Umwelt.

Betrag und Vorzeichen dieser definitionsgemäß nicht vorhersehbaren Fehler können im einzelnen nicht angegeben werden.

Die Folge ist, daß die wiederholte Messung ein und derselben Meßgröße unterschiedliche, streuende Meßwerte ergibt. In diesen Fällen wird aus dem Meßwert  $x_i$  der Mittelwert  $\bar{x}$  gebildet und dieser wird als der Erwartungswert der Meßgröße, als der wahre Meßwert  $x_w$  angesehen:

Waren genügend viele voneinander unabhängige Einflußgrößen wirksam und wurden genügend viele Einzelmessungen durchgeführt, so sind die Meßwerte normalverteilt.

**RFH**Rheinische  
Fachhochschule  
Köln**Meßtechnik für Elektrotechnik**Fachbereich: Elektrotechnik  
Studiengang: Allgemeine  
E-Technik

Dipl.-Ing. M. Trier