

2 Allgemeine Grundlagen und Grundbegriffe der elektrischen Messtechnik

Überblick

- Historie und Beispiele
- Aufgaben der Messtechnik
- Begriffe und Normen
 - Normen, Vorschriften
 - Definitionen von wichtigen Begriffen
 - Messtechnische Tätigkeiten
 - Methoden
- Einheiten und Normale
 - Maßsysteme
 - SI als Einheitensystem
 - Normale

Historie

- Antike: Gewicht von Waren, Entfernungen (in Fuß, Spanne, Elle, Klafter)
- „Wiegen“ schon lang vor Christus (Ware-Geld-Beziehung)
- Babylonisches Maßsystem: Länge, Fläche, Volumen, Gewicht
- 1799: Längeneinheit Meter erstmals definiert (Frankreich, später Preussen, Sachsen)
- angelsächsische Längenmaßeinheiten
- bis 19.Jh. vorwiegend Messung geometrischer, mechanischer, thermischer Größen

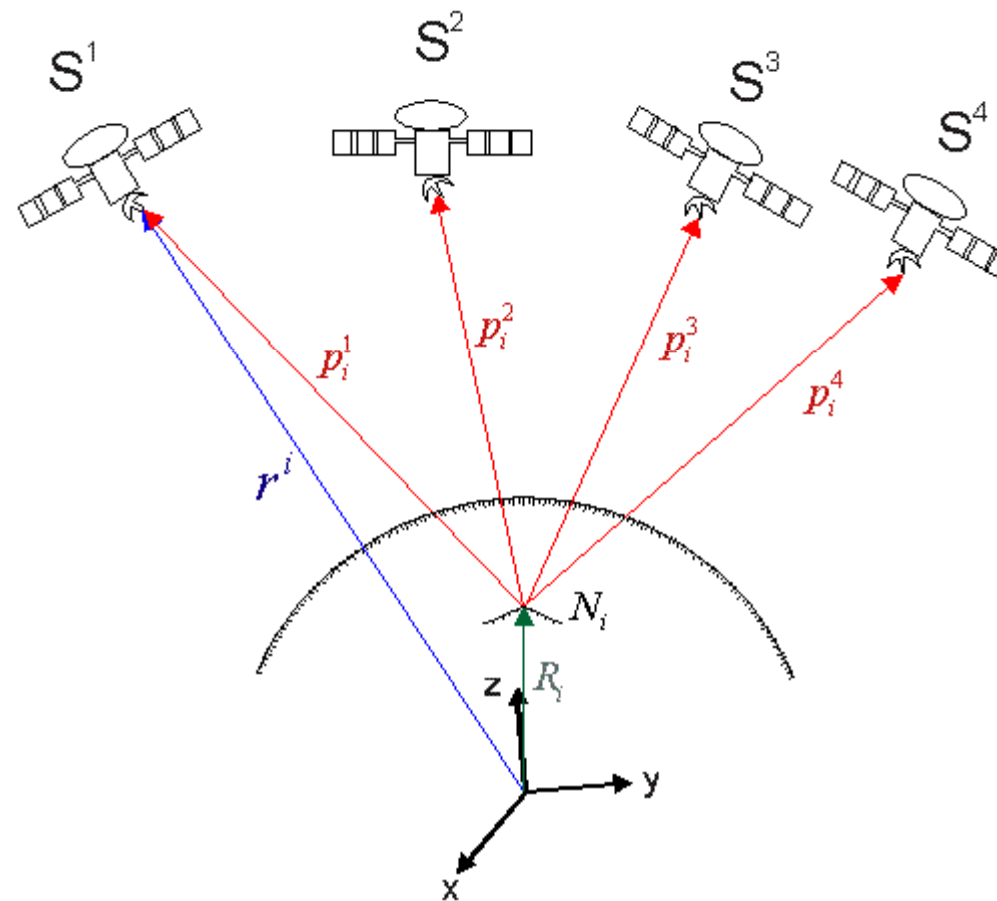
Historie

- Messtechnik → wesentlicher Anteil an Weiterentwicklung der modernen Naturwissenschaften und Technik
- heute:
 - Warenaustausch
 - Forschung- und Entwicklung
 - Fertigung
 - Qualitätssicherung
 - Prozessmesstechnik (Automatisierung)
 - Umweltschutz, Arbeitssicherheit

Historie

- allgemeiner Trend: Messaufnehmer, Sensoren für nichtelektrische Größen, welche elektrische Größen liefern, welche zu messen sind
- großer Vorteil der elektrischen Messtechnik: elektrische Signale, z.B. Spannung, Strom, Ladung, Phase lassen sich hochpräzise messen, verarbeiten, speichern, darstellen.
- weiteres Beispiel: Frequenz und Zeit → hochgenau messbar → GPS

GPS

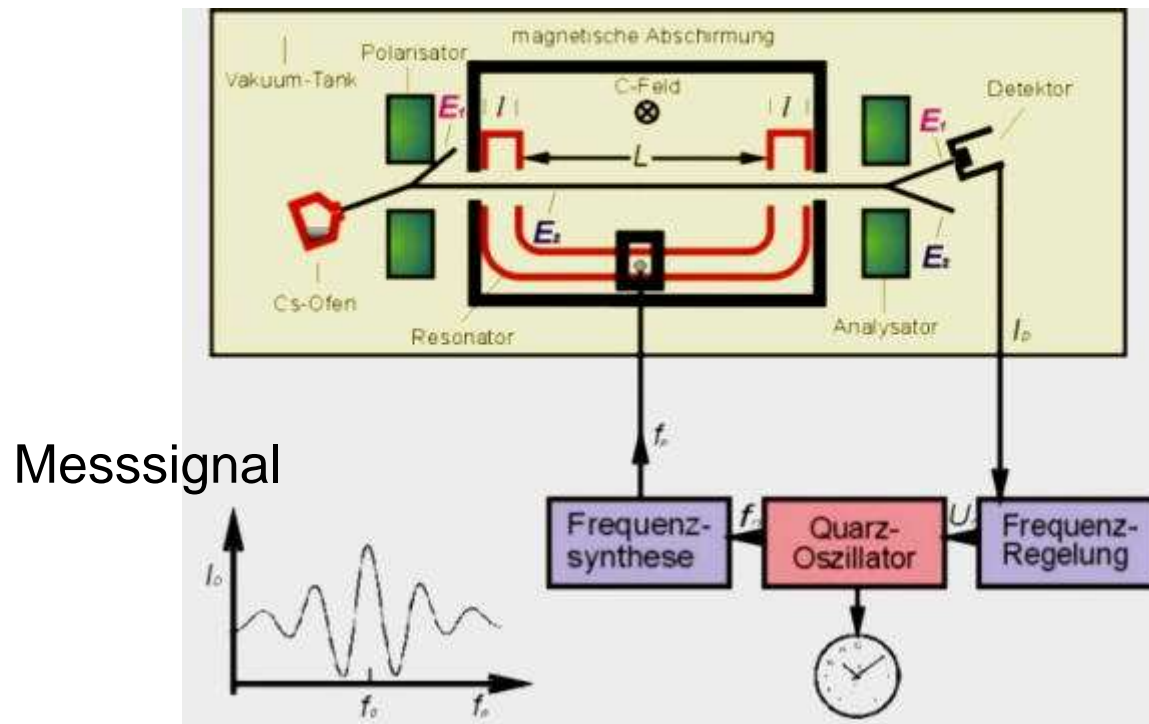


Anderes „beliebte“ Messinstrumente zur Geschwindigkeitsmessung



Darstellung der SI-Sekunde

CS-Atomuhr der PTB in Braunschweig



Genauigkeit: 10^{-13} s

Überblick: Aufgaben der Messtechnik

- Messen = quantitatives Erfassen einer Größe
- Erweiterung unseres Wahrnehmungsbereichs
 - z.B. Optik: sichtbares Licht: 380 – 780 nm
 - Strahlenmessgeräte für verschiedenste Wellenlängenbereiche
- objektives und quantitatives Beobachten
- Forschung, Entwicklung, Produktion
- Austausch von Waren, Zuverlässigkeit und Sicherheit der Transportsysteme
- Umweltschutz, Medizin

Aufgaben der Messtechnik

- objektive, reproduzierbare und quantitative Erfassung einer physikalischen Größe
- „objektiv“:
 - von unseren Sinnen unabhängig
- „reproduzierbar“:
 - wiederholbar und kontrollierbar
- „quantitativ“:
 - mit einer Zahl als Ergebnis

Umfang der elektrischen Messtechnik

Messung elektrischer Größen, wie z.B.

- Spannung
- Ladung und Strom
- Widerstand, Induktivität, Kapazität
- Phasenwinkel
- Frequenz

Verarbeitung der Messsignale (z.B. Verstärkung)

Anzeige, Speicherung

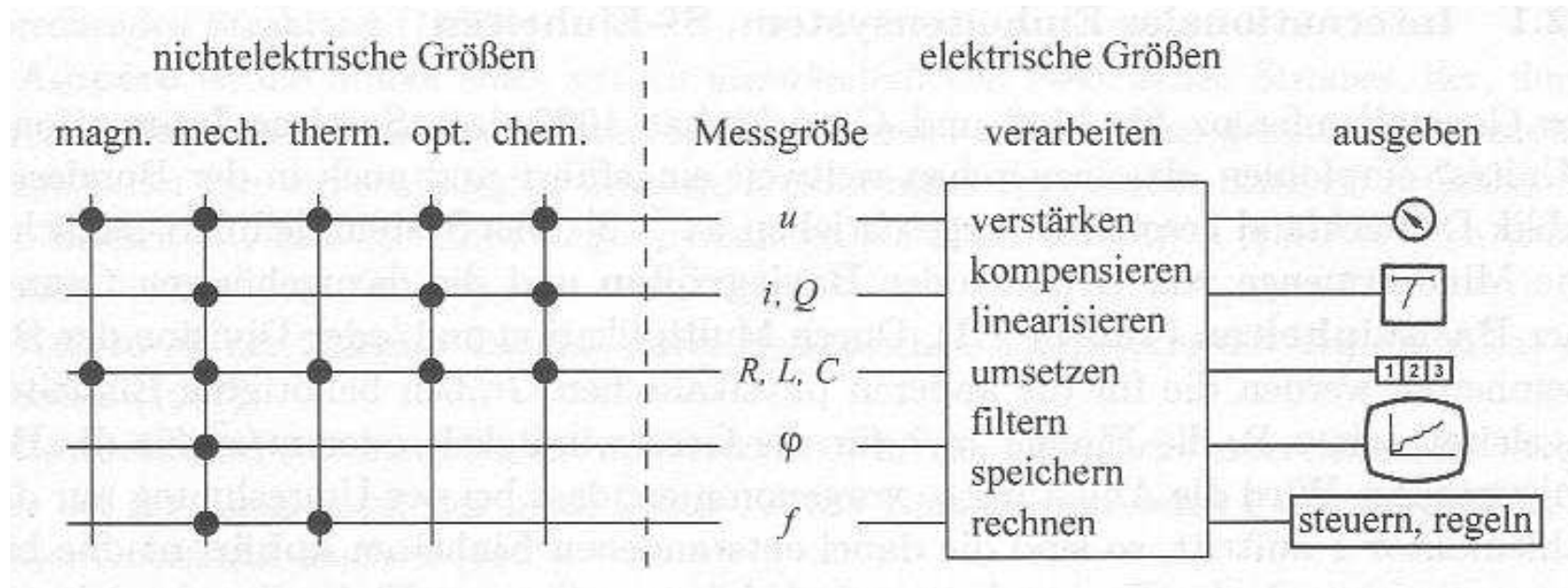
Weitergabe der Signale an Steuerungen bzw.
Regelungen

Wichtigste aktuelle Trends in der elektrischen Messtechnik

- zunehmender Einsatz von elektrischen Messegeräten zur Erfassung von nichtelektrischen Größen
- digitale Messverfahren
- computerbasierte Erfassung und Verarbeitung von Messsignalen

Messung nichtelektrischer Größen

- Aufnehmer, Sensoren, Detektoren, Fühler



Elektrische Messtechnik

- Inhalt:
 - Gewinnung des elektrischen Messsignals
 - Struktur der Messeinrichtung
 - Eigenschaften der Signalformen
 - Übertragung und Verarbeitung der Messsignale
 - Ausgabe und Darstellung der gewonnenen Informationen
- Vorteile der elektrischen Messtechnik:
 - leistungsarme bzw. -lose Messwerterfassung
 - hohes Auflösungsvermögen
 - gutes dynamische Verhalten
 - stete Messbereitschaft
 - Übertragbarkeit der Messsignale über weite Entfernungen
 - leichte Verarbeitung von Messdaten

Normen

- DIN 1301: Einheiten
- DIN 1304: Formelzeichen
- DIN 1313: Physikalische Größen und Gleichungen
- DIN 1319: Grundbegriffe der Messtechnik
- VDI/VDE 2600: Metrologie
- ISO 1000: SI-Einheiten

Normenbildende Organisationen und Standardisierungsgremien

- DIN: Deutsches Institut für Normung e.V.
- VDE: Verband der Elektrotechnik Elektronik und Informationstechnik e.V.
- CENELEC: Comite Europeen de Coordination des Normes Electriques
- ICE: International Electrotechnical Comission
- IEEE: Insitute of Electrical and Electronics Enigneers
- ANSI: American National Standards Institute
- ISO: International Standards Organisation
- ETSI: European Telecommunication Standards Institute
- ITU: International Telecommunication Union

Begriffe

- Messgröße: physikalische Größe, welche durch die Messung bestimmt werden soll.
- Messgerät: Gerät, welches zur Messung vorgesehen ist.
- Messeinrichtung: System, welches aus einem oder mehreren Messgeräten incl. der Neben- bzw. Hilfsgeräte besteht.
- Messgrößenaufnehmer: auch Messfühler, Detektor, Sensor, erstes Glied einer Messkette, welches direkt auf die Messgröße anspricht.
- Messwert x_i : gemessener Wert der Messgröße
- Wahrer Wert x_w : existierender Wert der Messgröße (nicht erfassbar)
- Richtiger Wert x_r : bekannter Wert mit vernachlässigbarer Differenz zum wahren Wert
- Messabweichung: e : $e = x - x_w$
- Messergebnis: einzelner Messwert oder mittels Rechenvorschrift aus mehreren Messwerten ermittelter Wert
- Messunsicherheit u : Intervall um den Messwert in dem der wahre Wert mit einer bestimmten Wahrscheinlichkeit zu finden ist.

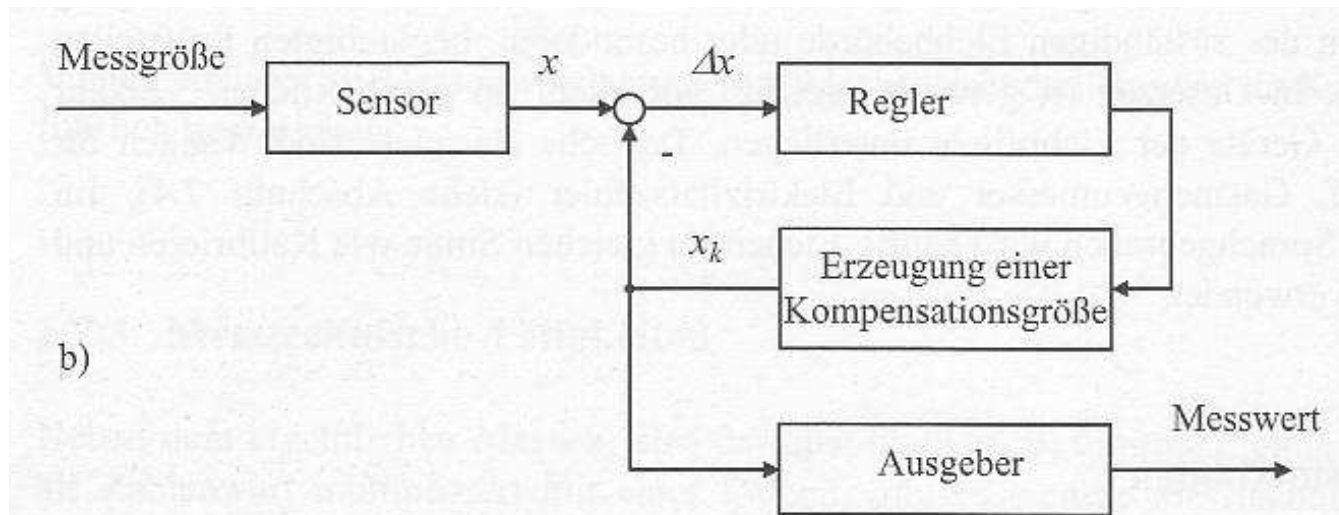
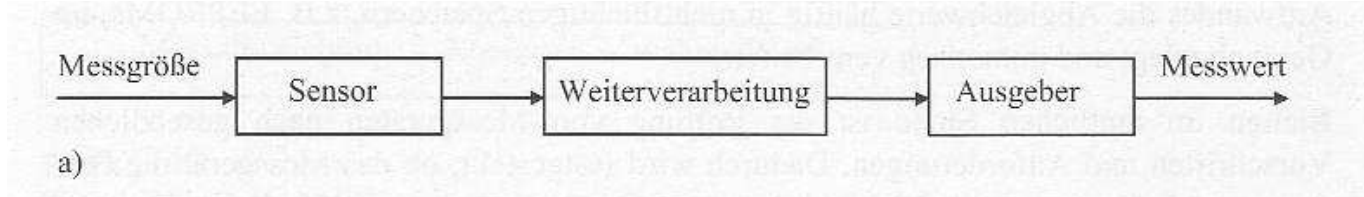
Messtechnische Tätigkeiten

- Messen: Quantitative Bestimmung einer Messgröße
- Prüfen: Feststellen, ob Messobjekt eine oder mehrere Bedingungen erfüllt.
- Kalibrieren: Bestimmung der Messabweichung, kein Eingriff in das Messgerät, Erstellung einer Korrekturtabelle (Kalibrationskurve).
- Justieren: Abgleich einer Messeinrichtung durch Veränderung der Messeinrichtung.
- Eichen: amtliches Prüfen und Abgleichen von Messgeräten.

Messmethoden

- Messprinzip: physikalische Grundlage der Messung.
- Messmethode: Spezielle Vorgehensweise bei Durchführung der Messung. Einteilung in:
 - analoge Messmethoden.
 - digitale Messmethoden.
 - Ausschlagmethoden.
 - Kompensationsmethoden.
 - Direkte Methoden.
 - Indirekte Methoden.

Ausschlag- und Kompensationsmethoden



a) Ausschlagmethode

b) Kompensationsmethode

Einheiten und Normale

- Messung: Vergleich mit Maßeinheit
- Größenwert = Zahlenwert x Einheit
- Maßsysteme: Einheitensystem möglichst unabhängig von Ort, Zeit und Menschen, durch Experimente jederzeit nachvollziehbar und darstellbar.

SI Einheitensystem

Basisgrößen und Basiseinheiten

- SI: Internationales Einheitensystem (Système International d'Unités), in Deutschland verbindlich seit 1969
- Basiseinheiten/Basisgrößen des SI Systems

<u>Basisgröße</u>	Zeichen	<u>Basiseinheit</u>	Zeichen der Einheit
Länge	l (kleines L)	Meter	m
Masse	m	Kilogramm	kg
Zeit	t	Sekunde	s
elektrische Stromstärke	I (großes i)	Ampere	A
Temperatur	T	Kelvin	K
Stoffmenge	n	Mol	mol
Lichtstärke	I _v	Candela	Cd

Abgeleitete Einheiten

- „kohärente“ Einheiten, wenn Umrechnungsfaktor = 1

Größe	Zeichen	Einheit	Umrechnung
elektrische Spannung	U	Volt	$1 \text{ V} = 1 \text{ W/A} = 1 \text{ kg m}^2 / (\text{A s}^3)$
elektrische Leistung	P	Watt	$1 \text{ W} = 1 \text{ VA} = 1 \text{ kg m}^2 / \text{s}^3$
Widerstand	R	Ohm	$1 \Omega = 1 \text{ V/A} = 1 \text{ kg m}^2 / (\text{A}^2 \text{s}^3)$
Leitwert	G	Siemens	$1 \text{ G} = 1 / \text{R} = 1 \text{ A/V} = 1 \text{ A}^2 \text{s}^3 / (\text{kg m}^2)$
Energie, Arbeit	E	Joule	$1 \text{ J} = 1 \text{ Nm} = 1 \text{ VAs} = 1 \text{ kg m}^2 / \text{s}^2$
Kraft	F	Newton	$1 \text{ N} = 1 \text{ kg m} / \text{s}^2$
Druck	p	Pascal	$1 \text{ Pa} = 1 \text{ N/m}^2$
Frequenz	f	Hertz	$1 \text{ Hz} = 1 / \text{s}$
Kapazität	C	Farad	$1 \text{ F} = 1 \text{ As/V} = 1 \text{ A}^2 \text{ s}^4 / (\text{kg m}^2)$
Induktivität	L	Henry	$1 \text{ H} = 1 \text{ Vs/A} = 1 \text{ kg m}^2 / (\text{A}^2 \text{s}^2)$
Ladung	Q	Coulomb	$1 \text{ C} = 1 \text{ As}$
elektrische Flussdichte	D	C / m ²	$1 \text{ C} / \text{m}^2 = 1 \text{ As} / \text{m}^2$
magnetischer Fluss	Φ_M	Weber	$1 \text{ Wb} = 1 \text{ Vs}$
magnetische Flussdichte	B	Tesla	$1 \text{ T} = 1 \text{ Vs/m}^2$
elektrische Feldstärke	E	V / m	$1 \text{ V} / \text{m}$
ebener Winkel	α	Radian	$1 \text{ rad} = 1 \text{ m/m}$ (Vollwinkel = 2π rad)
Raumwinkel	Ω	Steradian	$1 \text{ sr} = 1 \text{ m}^2 / \text{m}^2$ (Vollraumwinkel = 4π sr)

genormte Vorsätze → vergrößerte bzw. verkleinerte Einheiten

- neue Einheiten wie MW, cm, mV, μA nicht mehr „kohärent“

Vorsatz	Zeichen	Multiplikator
Exa-	E	10^{18}
Peta-	P	10^{15}
Tera-	T	10^{12}
Giga-	G	10^9
Mega-	M	10^6
Kilo-	k	10^3
Hekto-	h	10^2
Deka-	da	10^1

Vorsatz	Zeichen	Multiplikator
Dezi-	d	10^{-1}
Zenti-	c	10^{-2}
Milli-	m	10^{-3}
Mikro-	μ	10^{-6}
Nano-	n	10^{-9}
Piko-	p	10^{-12}
Femto-	f	10^{-15}
Atto-	a	10^{-18}

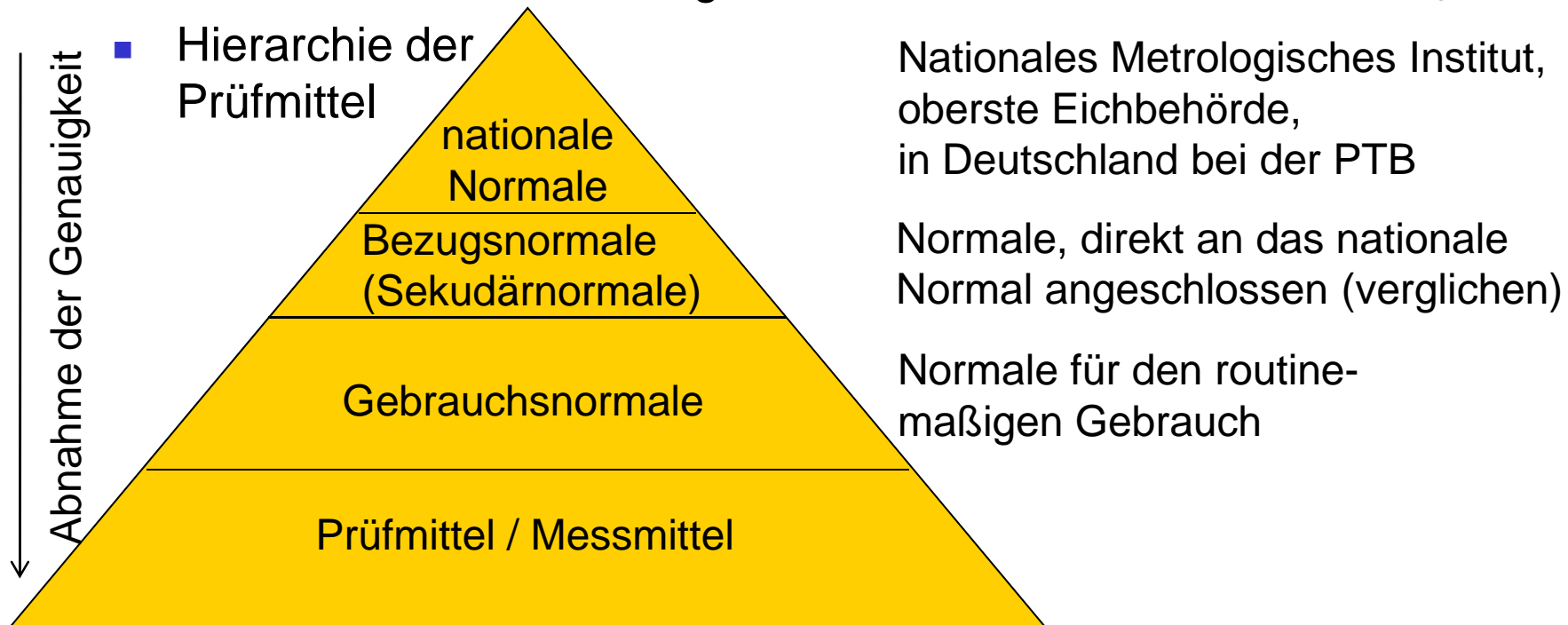
Naturkonstanten

- Zahlenwerte und Einheiten hängen vom Einheitensystem ab.

Konstante	Zeichen	Zahlenwert	Einheit
elektrische Elementarladung	e_0	$1,6022 \times 10^{-19}$	As
Vakuum-Lichtgeschwindigkeit	c_0	299.792.458	m/s
elektrische Feldkonstante	ϵ_0	$8,8542 \times 10^{-12}$	As/Vm
magnetische Feldkonstante	μ_0	$1,2566 \times 10^{-6}$	Vs/Am
Plancksches Wirkungsquantum	h	$6,6262 \times 10^{-34}$	Js
Ruhemasse des Elektrons	m_0	$9,1095 \times 10^{-31}$	kg
Boltzmannkonstante	k_B	$1,380 \times 10^{-23}$	J/K

Rückführbarkeit („traceability“)

- Vergleichbarkeit des durch ein Mess- bzw. Prüfmittel gewonnenen Wertes mit einem internationalen Normal für die entsprechende Größe.
- Kalibrierung von Messgeräten durch akkreditierte Kalibrierungslabors Deutschen Akkreditierungsstelle GmbH <http://www.dakks.de/metrologie>



Größen- und Zahlenwertgleichungen

■ Größengleichungen:

- beschreiben den Zusammenhang zwischen physikalischen Größen (Beispiel: el. Energie).

$$E = 1 \times UIt \quad [1Ws] = [1VAs]$$

- unabhängig von den Einheiten
- kohärente Einheiten → „links“ und „rechts“ der Gleichung die gleiche Einheit (Zahlenwert 1)

■ Zahlenwertgleichungen:

- Verknüpfung von Größen mit nichtkohärenten Einheiten (Umrechnungsfaktoren)

$$E[\text{kWh}] = 0,28 \times 10^{-6} U[\text{V}][\text{A}]t[\text{s}]$$

■ Einheitenprobe machen !

Lernziele Kapitel 2

- Aufgaben der Messtechnik
- Begriffe und Normen
 - Normen, Vorschriften
 - Definitionen von wichtigen Begriffen
 - Messtechnische Tätigkeiten
 - Methoden
- Einheiten und Normale
 - Maßsysteme
 - SI als Einheitensystem
 - Normale