

Einführung in die Messtechnik

Messtechnische Grundbegriffe (Terminologie)

Wolfgang Kessel
Braunschweig



"...Das Wesen der physikalischen Gesetzlichkeit und der Inhalt der physikalischen Gesetze lässt sich nicht durch reines Nachdenken erschließen. Es gibt hierfür keinen anderen Weg, als den, sich vor allem an die Natur zu wenden, in ihr möglichst zahlreiche und vielseitige Erfahrungen zu sammeln, dieselben miteinander in Vergleich zu bringen und zu möglichst einfachen und weittragenden Sätzen zu verallgemeinern.

Da der Inhalt einer Erfahrung um so reicher ist, je genauer die Messungen sind, die ihr zugrunde liegen, so versteht sich von selbst, dass der Fortschritt aller physikalischen Erkenntnis auf das Engste verknüpft ist mit der Verfeinerung der physikalischen Instrumente und mit der Technik des Messens... "

Max Planck 1929, Rede über die "Physikalische Gesetzlichkeit"

Was ist eigentlich „Messen“?

1 Messen ist die quantitative Bestimmung von Größen

2 Messen ist Vergleichen

SCHLUSSFOLGERUNG: Messen ist die Gesamtheit der Tätigkeiten oder Vorgänge, mit denen unter Verwendung experimenteller Hilfsmittel durch einen Vergleich der Wert einer Größe ermittelt, also festgestellt wird, wie oft die Einheit in der zu messenden Größe enthalten ist. Dazu wird die jeweilige Größe mit einer geeigneten Verkörperung (Realisierung) der Einheit (Maßverkörperung) verglichen.

Der Wert einer Größe X wird dargestellt als Produkt aus Zahlenwert $\{X\}$ und Einheit $[X]$

$$X = \{X\} \cdot [X]$$

Einheit,
auf die sich der Wert bezieht

Zahlenwert

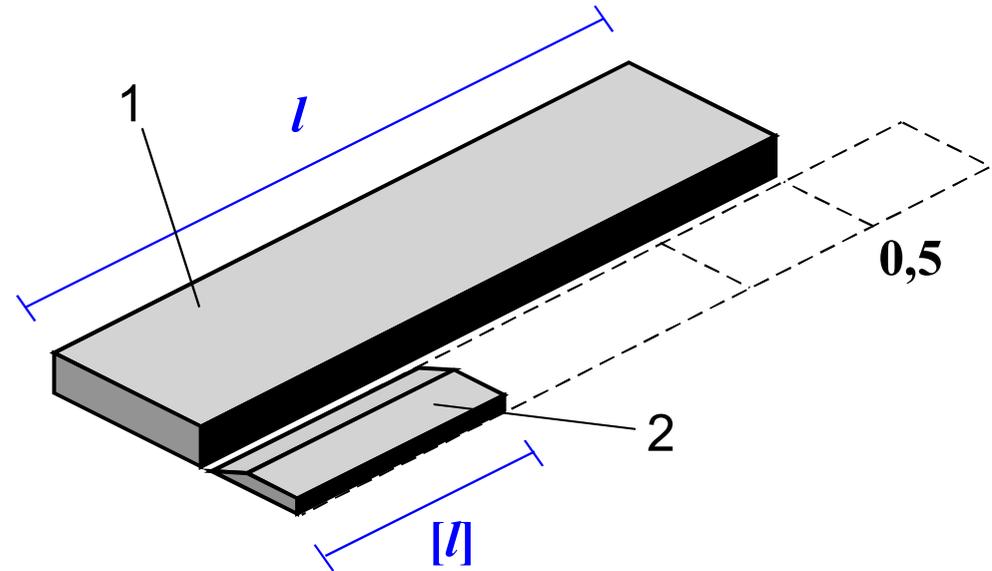
Größe

Messen als Vergleich

Vergleich der Länge des Messobjektes (Größe l) mit der Länge der Maßverkörperung (Größe $[l]$).

1 - Messobjekt;

2 - Maßverkörperung



Der Vergleich der Länge l des Messobjektes mit der Länge $[l]$ der Maßverkörperung (lokale Einheit der Länge) zeigt, dass letztere 2,5 mal in der ersteren enthalten ist, d.h. der Zahlenwert der gesuchten Länge beträgt in der gewählten Einheit

$$\{l\} = 2,5$$

oder als Größengleichung geschrieben

$$l = 2,5 \cdot [l]$$

ANMERKUNGEN

1 Auch *Zählen* ist ein Messen durch Vergleich.

X_{COUNT} - Zählgröße;

$\{X_{\text{COUNT}}\}$ - Zahlenwert, Anzahl der gleichartigen Objekte (oder Vorgänge);

$[X_{\text{COUNT}}]$ - (Zähl-)Einheit, Stück.

BEISPIEL **Anzahl der (Zähl-)Einheiten in einem Behältnis.**

- (1) Anzahl der Kartoffeln in einem Sack,
- (2) Anzahl der Kugeln in einer Urne (Zahlenlotto),
- (3) Anzahl der Pulse/Impulse in einer gegebenen Zeitspanne.

2 Die Grundidee „Messen ist quantitatives Vergleichen“ geht zurück auf **Archimedes** (griech. Naturphilosoph, ca. 287-212 v.Chr.).

Die quantitative Bestimmung eines Größenwertes durch Vergleich (Messung) benötigt neben der zu messenden Größe eine (zweite) *maß-gebende* Größe. Sie wird (stets) durch eine Verkörperung des Maßes realisiert.

Bei der Anzeige des Wertes einer Größe mit einem Messgerät spielt die Anzeige-Skale diese Rolle. Sie hält durch die Teilstriche der Skale eine Reihe von (*maß-gebenden*) Verkörperungen vor.

Verkörperungen stellen somit Größenwerte bereit, auf die man sich beziehen kann. Dabei bedeutet Verkörpern nicht nur Realisierung des Größenwertes durch ein Merkmal eines Körper, sondern allgemeiner "Realisierung durch ein definiertes Objekt", das mit Gegenstand der jeweiligen Messung sein kann.

BEISPIEL Maßverkörperungen.

- (1) Realisierung einer (bestimmten) **Masse** durch ein Gewichtsstück.
- (2) Realisierung einer (bestimmten) **Temperatur** durch den Zustand eines speziell konstruierten Objektes unter speziellen Bedingungen (**H₂O**-Tripelpunkt-Zelle)

- (3) Realisierung einer (bestimmten) **elektrischen Spannung** durch ein geeignetes galvanisches (chemisches) Element (Batterie).
- (4) Realisierung eines (bestimmten) **magnetischen Feldes** durch eine von einem bestimmten elektrischen Strom durchflossenen Spule spezieller Konstruktion – Helmholtz-Spule (*Herrmann von Helmholtz, 1821-1894*)
- (5) Realisierung einer (bestimmten) **Intensität elektro-magnetischer Strahlung** einer bestimmten spektralen Zusammensetzung durch einen schwarzen Strahler (das benutzte Objekt wird häufig "schwarzer Körper" genannt).

Änderung der Einheit (Transformation)

Der Zahlenwert $\{X\}$ einer Größe X ergibt sich umgekehrt als Quotient aus der Größe und der Einheit $[X]$

$$\{X\} = \frac{X}{[X]}$$

Misst man die gleiche Größe X in zwei verschiedenen Einheiten $[X]_1$ und $[X]_2$ (zwei verschiedene Maßverkörperungen), erhält man für die gleiche Größe die beiden Darstellungen

$$X = \{X\}_1 \cdot [X]_1 \quad \text{und} \quad X = \{X\}_2 \cdot [X]_2$$

also das Verhältnis

$$1 = \frac{X}{X} = \frac{\{X\}_2 \cdot [X]_2}{\{X\}_1 \cdot [X]_1}$$

Einheiten-freie Größe,
Produkt aus Zahlen-Verhältnis
und Einheiten-Verhältnis

Verhältnisgröße

Der Quotient $[X]_2/[X]_1$ ist die Maßzahl der Einheit $[X]_2$ gemessen in der (in Bezug auf die) Einheit $[X]_1$. Das kann auch in der für die Umrechnung von Einheiten günstigen Form

$$X = \{X\}_2 \cdot [X]_2 = \{X\}_2 \cdot \frac{[X]_2}{[X]_1} \cdot [X]_1$$

geschrieben werden.

BEMERKUNG **Kommensurable Einheiten**

Sind die beiden Einheiten $[X]_1$ und $[X]_2$ *kommensurabel*, d.h. stimmt eine ganze Anzahl m_1 der ersten Einheit mit einer ganzen Anzahl m_2 der zweiten Einheit überein (unterschiedliche Teilung zweier Skalen: Nonius des Messschieber)

$$m_1 \cdot [X]_1 = m_2 \cdot [X]_2$$

ergibt sich der Quotient als rationales Teilungsverhältnis der beiden Einheiten

$$\frac{[X]_1}{[X]_2} = \frac{m_2}{m_1}$$

BEISPIELE **Transformation der Einheit** (vgl. zugeschnittene Größengleichung).

(1) Die Länge l eines Stabes beträgt **5,38 m (Meter)**.

Sie ist in die Einheit **cm (Zentimeter)** umzurechnen

$$\begin{aligned} 1 \text{ m} &= 100 \text{ cm} \quad \Rightarrow \quad 5,38 \text{ m} = 5,38 \cdot 1 \text{ m} \\ &= 5,38 \cdot \frac{100 \text{ cm}}{1 \text{ m}} \cdot 1 \text{ m} \\ &= 5,38 \cdot 100 \text{ cm} \\ &= 0,538 \cdot 10^{-3} \text{ cm} \end{aligned}$$

(2) Die elektr. Spannung V eines Galvanischen Elementes beträgt **1,6 V (Volt)**.

Sie ist in die Einheit **mV (Millivolt)** umzurechnen

$$1 \text{ V} = 1\,000 \text{ mV} \quad \Rightarrow \quad 1,6 \text{ V} = 1\,600 \text{ mV} = 1,6 \cdot 10^3 \text{ mV}$$

(3) Die Masse m eines Bronzedenkmals beträgt **762 kg (Kilogramm)**.

Sie ist in die Einheit **t (Tonne)** umzurechnen

$$1 \text{ t} = 1\,000 \text{ kg} \Rightarrow 762 \text{ kg} = 0,762 \text{ t}$$

(4) Der Energieinhalt E eines Lebensmittels ist mit **1 340 J (Joule)** angegeben.

Sie ist in die Einheit **cal (Kalorie)** umzurechnen

$$1 \text{ cal} = 4,1868 \text{ J} \Rightarrow 1\,340 \text{ J} \cong 320 \text{ cal} = 0,32 \cdot 10^3 \text{ cal}$$

BEMERKUNG **Signifikante Stellen**

Bei der Umrechnung eines Größenwertes von einer Einheit in eine andere werden nur mit der für den jeweiligen Zweck sinnvollen Genauigkeit durchgeführt, d.h. es sind nur die signifikanten (i.Allg. drei) Stellen anzugeben.

Technisch-wissenschaftliche Notation

Angabe des Zahlenwertes einer Größe

$$\{X\} = m \cdot 10^{3 \cdot n}$$



REGEL

Wähle den Zehnerexponenten so, dass der Wert der Mantisse im Bereich
 $0,1 \leq m < 100$
liegt.

Die Angabe von **3** signifikanten Stellen (**3** Ziffern von denen die erste von NULL verschieden ist) in der Mantisse signalisiert eine Genauigkeit (meist weit) besser als **1‰**; Mess- und Rechenergebnisse sind i.Allg. auf diese (vernünftige) Stellenzahl mathematisch zu runden!

BEISPIELE **Messung eines Massenstrom**

Der Massendurchfluss wird mit einem Messgerät, das nach dem gyroskopischen Messprinzip arbeitet, zu

$$\dot{m} = 0,007\,5 \text{ kg} \cdot \text{s}^{-1}$$

mit einer maximal(en) (zulässigen) Abweichung von

$$\Delta\dot{m} = 0,000\,443\,75 \text{ kg} \cdot \text{s}^{-1}$$

ermittelt. Das Ergebnis ist in technisch-wissenschaftlicher Notation und die maximal (zulässige) Abweichung auch bezogen auf den Wert in **Prozent (%)** anzugeben.

Massendurchfluss
maximal (zulässige)
Abweichung

$$\dot{m} = 7,5 \cdot 10^{-3} \text{ kg} \cdot \text{s}^{-1} = 7,5 \text{ g} \cdot \text{s}^{-1}$$

$$\Delta\dot{m} \cong 0,444 \cdot 10^{-3} \text{ kg} \cdot \text{s}^{-1} = 0,444 \text{ g} \cdot \text{s}^{-1}$$

Messergebnis

$$\begin{aligned} \dot{m} &= 7,5 \text{ g} \cdot \text{s}^{-1} \pm 0,444 \text{ g} \cdot \text{s}^{-1} \\ &= (7,5 \pm 0,444) \text{ g} \cdot \text{s}^{-1} \end{aligned}$$

maximal (zulässige) Abweichung
bezogen auf den Wert

$$\frac{\Delta \dot{m}}{\dot{m}} = \frac{0,444 \text{ g} \cdot \text{s}^{-1}}{7,5 \text{ g} \cdot \text{s}^{-1}} = 0,0592 \cong 6\%$$

BEMERKUNG Man erhält das gleiche Ergebnis, wenn man den aus der Messung bekannten genaueren Wert

$$\Delta \dot{m} = 0,44375 \text{ g} \cdot \text{s}^{-1}$$

verwendet.

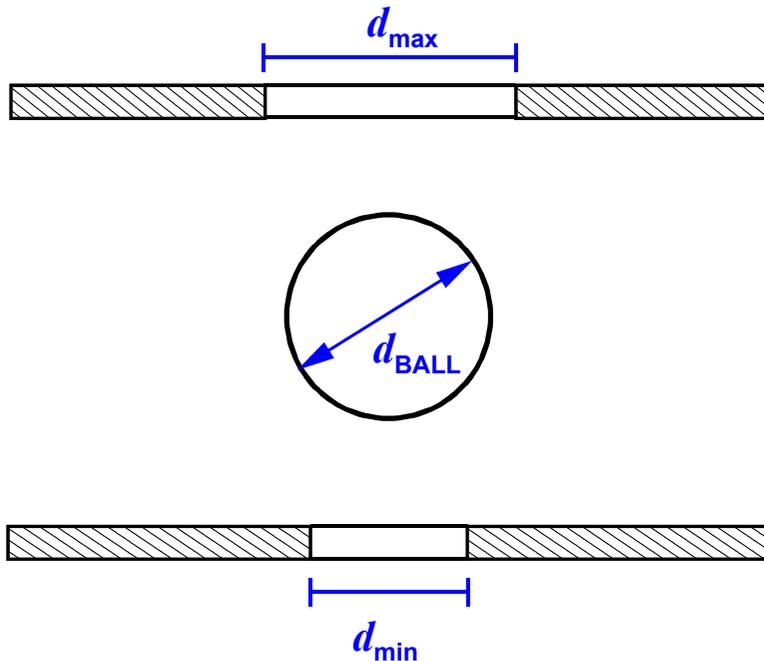
Was ist „Prüfen“?

Ziel des Prüfens ist es **nur**, festzustellen, ob eine bestimmte Eigenschaft (Merkmal) des zu prüfenden Objektes (Prüfling) vorgegebenen Forderungen entspricht, um daraus eine Entscheidung abzuleiten.

BEISPIEL Prüfung von Kugellager-Kugel auf Maßhaltigkeit.

Wird mit Hilfe zweier kreisrunder Öffnungen (sog. Lehren) mit den Durchmessern d_{\max} und d_{\min} geprüft, welche Prüflinge durch die erste (größere) Öffnung hindurch gehen, jedoch nicht durch die zweite (kleinere), so ergibt sich für die Kugeln, die diese Forderung erfüllen, die Feststellung, dass der Kugeldurchmesser d_{BALL} zwischen den Grenzwerten d_{\min} und d_{\max} liegt, in Formel

$$d_{\min} \leq d_{\text{BALL}} \leq d_{\max}$$



Der Prüfling (Kugel) mit dem nicht bekannten Wert des Durchmesser d_{BALL} geht durch die Öffnung der ersten Lehre (Durchmesser des Loches d_{\max}), aber nicht durch die Öffnung der zweiten Lehre (Durchmesser des Loches d_{\min}).

- 1 - Lehre für den größten zulässigen Kugeldurchmesser;
- 2 - Lehre für den kleinsten zulässigen Kugeldurchmesser;
- 3 – Prüfling.

Sind die Werte der Durchmesser der Lehren bekannt, d.h. die Zahlenwerte $\{d_{\min}\}$ und $\{d_{\max}\}$ für eine bestimmte Einheit gegeben, so liegt gleichzeitig auch fest, innerhalb welcher Grenzen der Zahlenwert $\{d_{\text{BALL}}\}$ des Durchmessers des jeweiligen Prüflings liegt

$$\{d_{\min}\} \leq \{d_{\text{BALL}}\} \leq \{d_{\max}\}$$

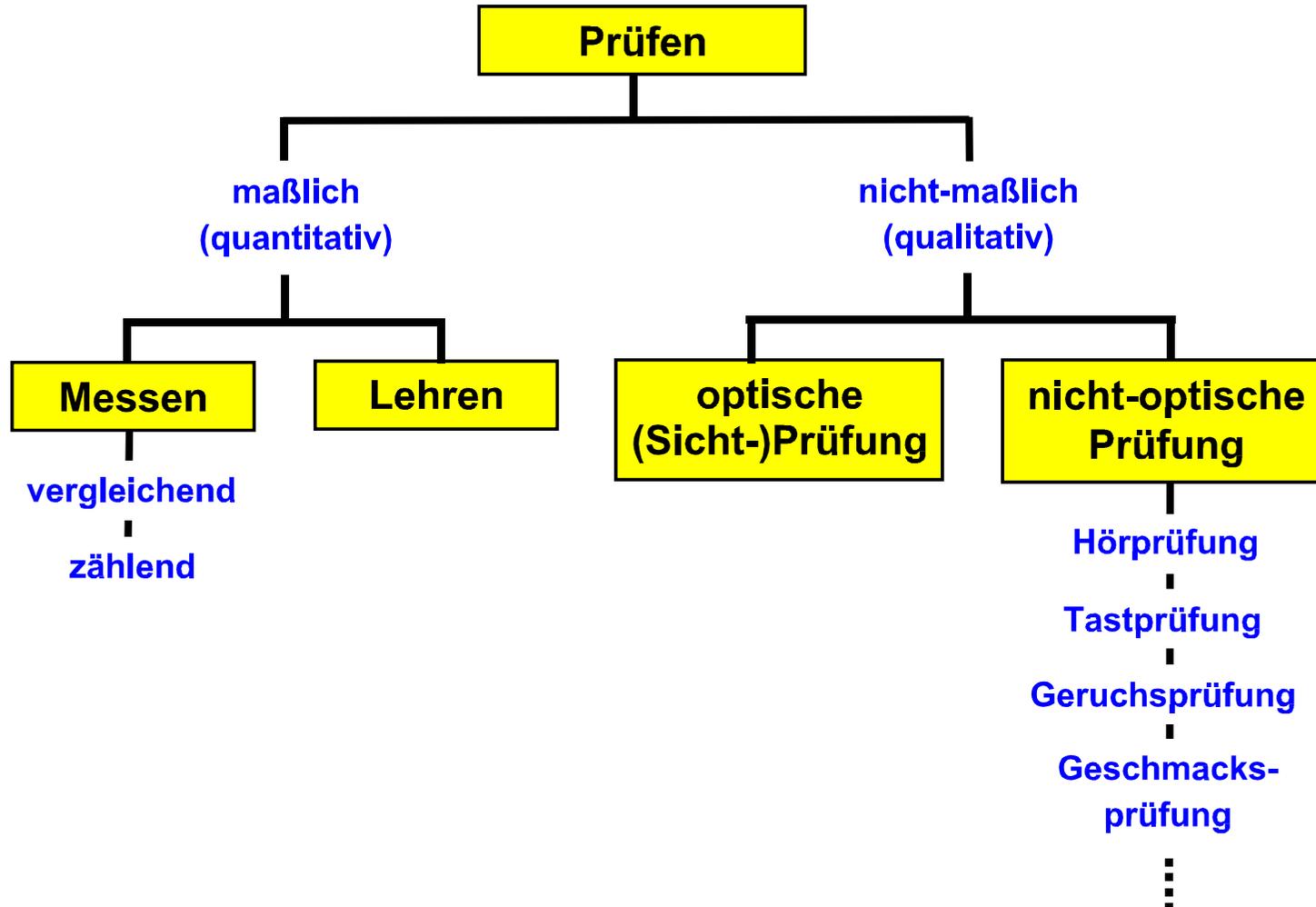
SCHLUSSFOLGERUNG: Das *maßliche Prüfen* ist im Prinzip ein Messvorgang, da der Durchmesser d_{BALL} des Prüflings ähnlich wie ein Messwert angegeben werden kann

$$d_{\text{BALL}} = \frac{d_{\text{max}} + d_{\text{min}}}{2} \pm \frac{d_{\text{max}} - d_{\text{min}}}{2}$$

Da in der Praxis für d_{max} und d_{min} keine Zahlenwerte angegeben werden müssen und man sich auf die Aussage beschränkt, ob der Durchmesser d_{BALL} des Prüflings zwischen ihnen liegt (JA/NEIN-Aussage), wird das *maßliche Prüfen* nicht als Messen im eigentlichen Sinne angesehen.

Dem *nicht-mäßlichen Prüfen* fehlt das entscheidende Kriterium des Messens, die quantitative Aussage. Es bezweckt – meist in Form einer Sichtprüfung – bestimmte nicht-quantifizierbare Merkmale des Prüflings (etwa Form, Farbe, Vollständigkeit) auf Einhaltung vorgegebener Forderungen zu kontrollieren.

Arten des Prüfens (Messen als Teilgebiet des Prüfens)



BEISPIEL Prüfung des Verhaltens von Mineralölen.

Das Verhalten von Mineralölen bei Kälteeinwirkung ist eine wichtige Gebrauchseigenschaft, die durch nicht-maßliches Prüfen, etwa durch Beobachtung des Schmierverhaltens bei niedrigen Temperaturen, beurteilt werden kann. Diese Methode ist wenig befriedigend, da "Schmierfähigkeit" bisher nicht quantitativ definiert werden konnte.

Ein Schritt in die Richtung zum Messen ist die Beschreibung des Kälteverhaltens durch andere messbare Eigenschaften: Stockpunkt, BPA-Punkt u.a.. Da diese "...punkte" bestimmte Temperaturen bezeichnen, kann man sie bereits als physikalische Größen betrachten. So ist der Stockpunkt die Temperatur, bei der ein abgekühltes Öl im ruhenden Zustand gerade zu fließen aufhört, und der BPA-Punkt die Temperatur des Beginns der Parafin-Ausscheidung.

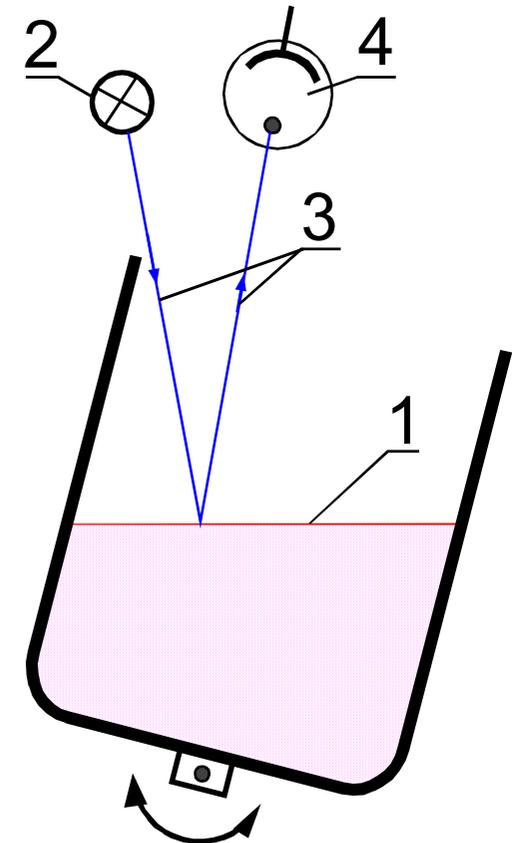
Die Stockpunkt-Bestimmung ist zum Teil noch eine Sichtprüfung, da das Aufhören des Fließens durch visuelle Beobachtung festgestellt wird.

Wird die Sichtprüfung einem Automaten übertragen, etwa durch Abtasten einer bewegten Oberfläche mit Hilfe eines Lichtstrahles, kann von einer Stockpunkt-Messung gesprochen werden.

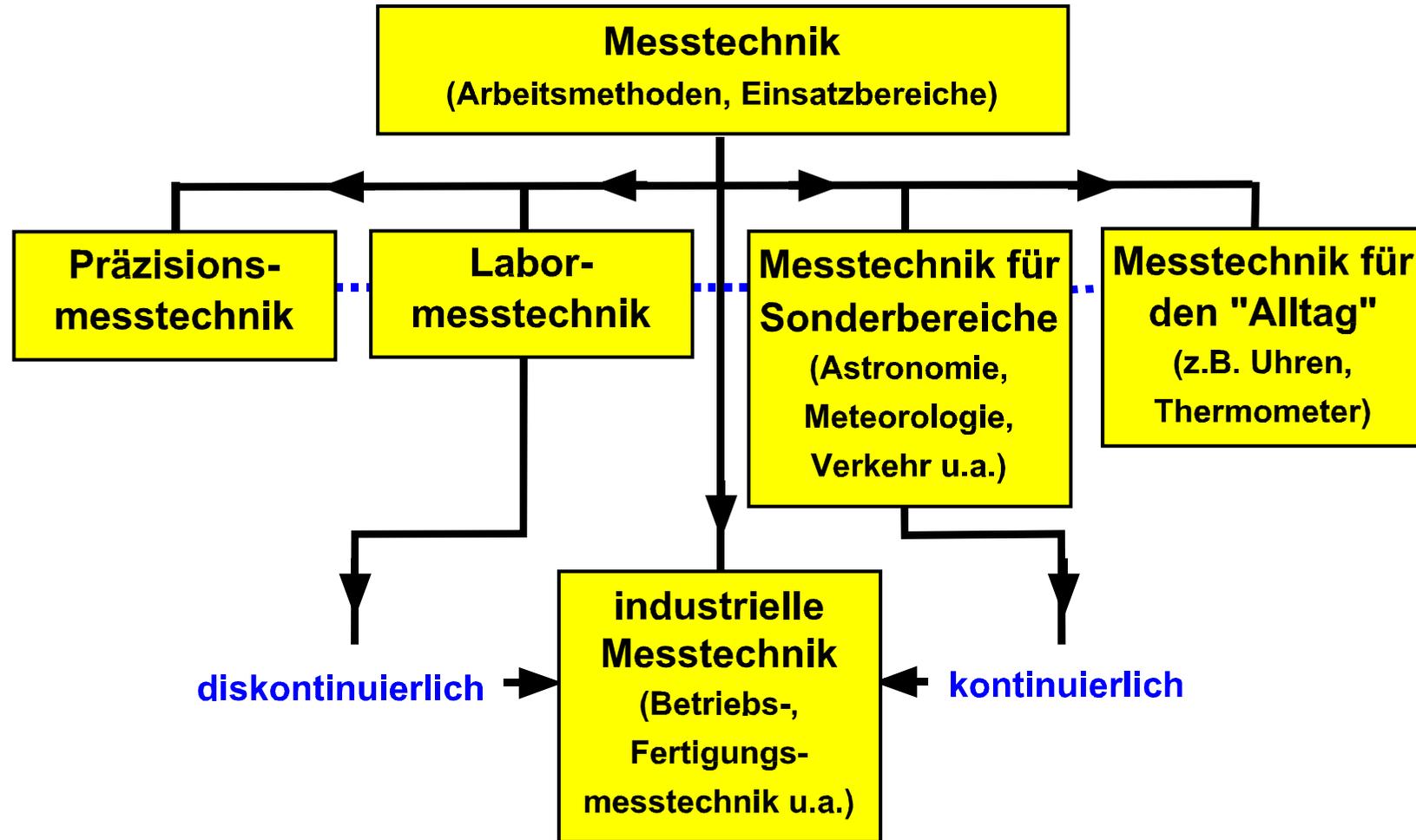
Dabei ist die Größe "Stockpunkt" nur durch das Messverfahren definiert. Ziel der Messtechnik ist es jedoch, die Eigenschaft "Kälteverhalten" als reproduzierbare Abhängigkeit von messbaren physikalischen Größen, z.B. der quantitativen Zusammensetzung und der Struktur des Öles, zu definieren.

Bestimmung des Stockpunktes eines Öles durch optisches Abtasten der Oberfläche in einem rhythmisch bewegtem Gefäß.

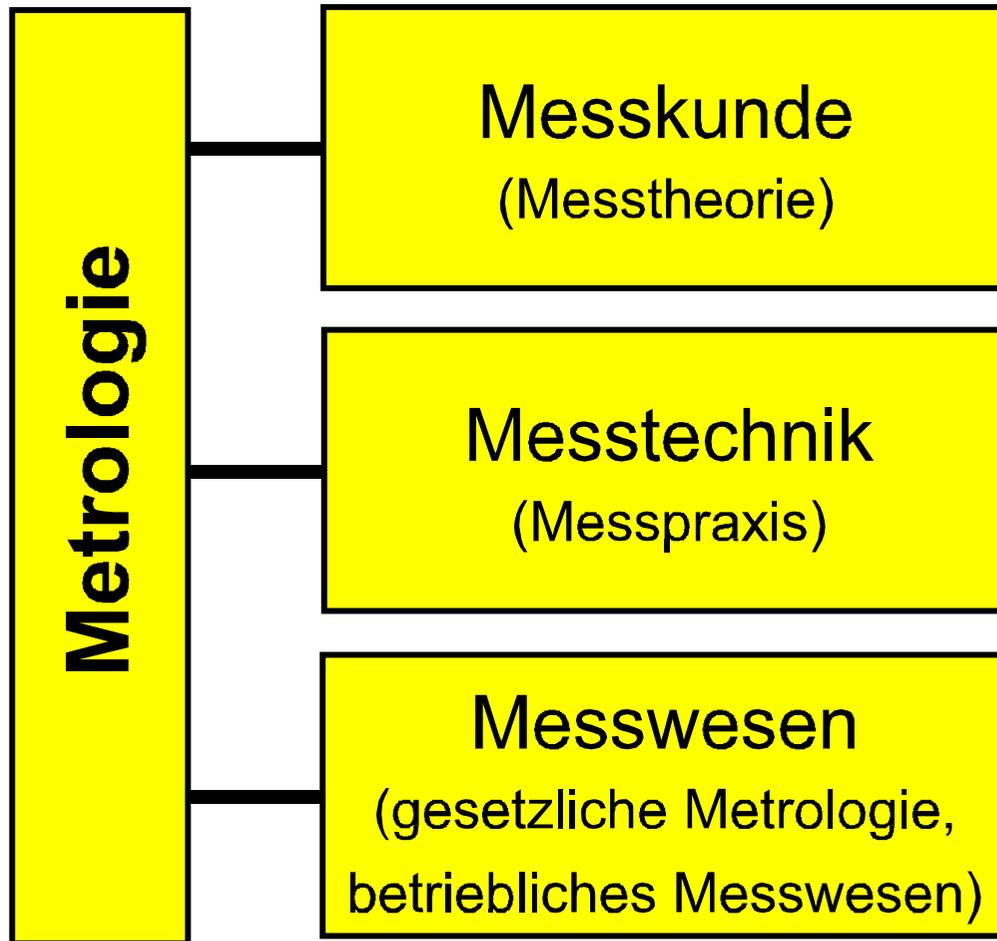
- 1 - Oberfläche des Öles;
- 2 - Lichtquelle;
- 3 - einfallender und reflektierter Lichtstrahl;
- 4 - Lichtempfänger.



Hauptgebiete der Messtechnik



Gliederung der Metrologie (Art der zu lösenden Aufgaben)



Theoretischer Aspekt

Grundbegriffe, Größen, Einheiten, Theorien und Arbeitsmethoden, Messdynamik, Unsicherheitsanalyse u.a.

Anwendungstechnischer Aspekt

Messverfahren, Messmittel und deren Einsatz, Messvorschriften, Durchführung und Auswertung von Messungen u.a.

Juristisch-organisatorischer und ökonomischer Aspekt

gesetzl. Vorschriften, Standardisierung, Organisation und Planung, Strukturen, Versorgung, Ökonomie, Qualitätskontrolle u.a.

Was sind messbare Eigenschaften (Merkmale)?

Die meisten Eigenschaften von Objekte sind messbar; es kommt nur darauf an, sie durch die Wahl eines geeigneten Maßstabes quantifizierbar zu machen.

Objekte:

- Gegenstände (z.B. Rundstabe, elektrischer Widerstand),
- Substanzen (z.B. Wasser, Wein)
- Zustände (z.B. Temperatur),
- Vorgänge (z.B. Lichtstrahlung)

Viele Eigenschaften sind unmittelbar quantifizierbar :

- geometrische Abmessungen;
- Volumen;
- Masse;
- Dichte;
- Temperatur.

andere auf Umwegen :

- Farbe einer Lichtstrahlung über die in ihr auftretenden Wellenlängen;
- Volumen über die Form und geometrischen Abmessungen des Gegenstandes oder Behälters.

einige Eigenschaften werden wohl immer unquantifizierbar bleiben :

- schön;
- angenehm.

- **(messbare) Größe** ((measurable) quantity) [VIM 1.1]^{+) quantifizierbare Eigenschaft.}
- **Messgröße** (measurand) [VIM 2.6]
Größe, die gemessen werden soll.
- **Einheit** (unit (of measurement)) [VIM 1.7]
Maßstab für die Quantifizierung.

^{+) [VIM – Vocabulaire Internationale de Métrologie, siehe Literaturverzeichnis]}

- **(Größen-)Wert** (value (of a quantity)) [VIM 1.18]
spezielle Größe, dargestellt als Produkt aus Zahlenwert und Einheit.

$$X = \{X\}[X]$$

The diagram illustrates the components of the equation $X = \{X\}[X]$. A bracket under $\{X\}$ points to the label 'Zahlenwert'. A bracket under $[X]$ points to the label 'Einheit'. A larger bracket under the entire expression $X = \{X\}[X]$ points to the label 'Größe'.

BEISPIELE

- Länge eines Stabes	5,38 m	538 cm
- Masse eines Bronzedenkmals	0,762 t	762 kg
- elektr. Spannung eines Galvanischen Elementes	1,6 V	1 600 mV

- **Zahlenwert (einer Größe)** (numerical value (of a quantity)) [VIM 1.21]
Quotient aus dem Größenwert und der Einheit in einer Größenangabe.

$$\underbrace{\{X\}}_{\text{Zahlenwert}} = \frac{X}{[X]} \quad \begin{array}{l} \text{Größe} \\ \text{Einheit} \end{array}$$

In den obigen Beispielen

- Länge eines Stabes	5,38	538
- Masse eines Bronzedenkmals	0,762	762
- elektr. Spannung eines Galvanischen Elementes	1,6	1 600

Ist eine Eigenschaft nicht direkt messbar oder nicht als Größe definiert, so genügt es auch, dass die betreffende Eigenschaft mit einer messbaren Größe in einem bekannten, gesetzmäßigen Zusammenhang steht. Dann kann diese Größe als Maß für die gesuchte Eigenschaft dienen (indirekte Ermittlung).

BEISPIEL Der Begriff „Menge“.

Der unspezifische Begriff "Menge" (nicht Stoffmenge) ist als Größe nicht definiert. Man verwendet statt dessen spezifischere Größen wie Masse, Volumen, Anzahl usw. als Maß und macht damit die Menge in dem jeweiligen Sinne quantifizierbar, das bedeutet "messbar".

- **Messobjekt** (measuring object) [DIN 1319-T1 1.2]
Objekt dessen Eigenschaft ermittelt werden soll (Träger der Messgröße).

ANMERKUNG

Messobjekte können Körper, Substanzen, Vorgänge oder Zustände sein.

BEISPIELE

- Für die Messgröße "Volumen eines vorliegenden Körpers" ist der *Körper* das Messobjekt.
- Für die Messgröße "Strahlungsleistung einer vorliegenden elektromagnetischen Strahlung" ist der Vorgang *Strahlung* das Messobjekt.
- Für die Messgröße "Flussdichte eines vorliegenden magnetischen Feldes" ist der Zustand *magnetischen Feld* das Messobjekt.

Messobjekte ohne definierte Form (Gase, Flüssigkeiten, Schüttgüter u.ä.) nennt man *Messgüter*, *Messmedien* oder *Messsubstanzen*.

Bei Messgütern großen Umfangs ist es oft unzweckmäßig, wenn nicht gar unmöglich die Gesamtmenge zu untersuchen. Man entnimmt eine Teilmenge, die *Messprobe*, und schliesst auf die Gesamtmenge (Probennahme-Problem).

- **Messergebnis** (result of a measurement) [nach VIM 3.1]
Einer Messgröße zugeordneter, durch Auswertung einer oder mehrerer Messungen gewonnener Wert.

ANMERKUNGEN

Wenn ein Messergebnis vorliegt, sollte klargestellt sein, ob es sich bezieht auf:

- die Anzeige,
 - das unberichtigte Messergebnis,
 - das berichtigte Messergebnis,
- und ob mehrere Werte ermittelt wurden.

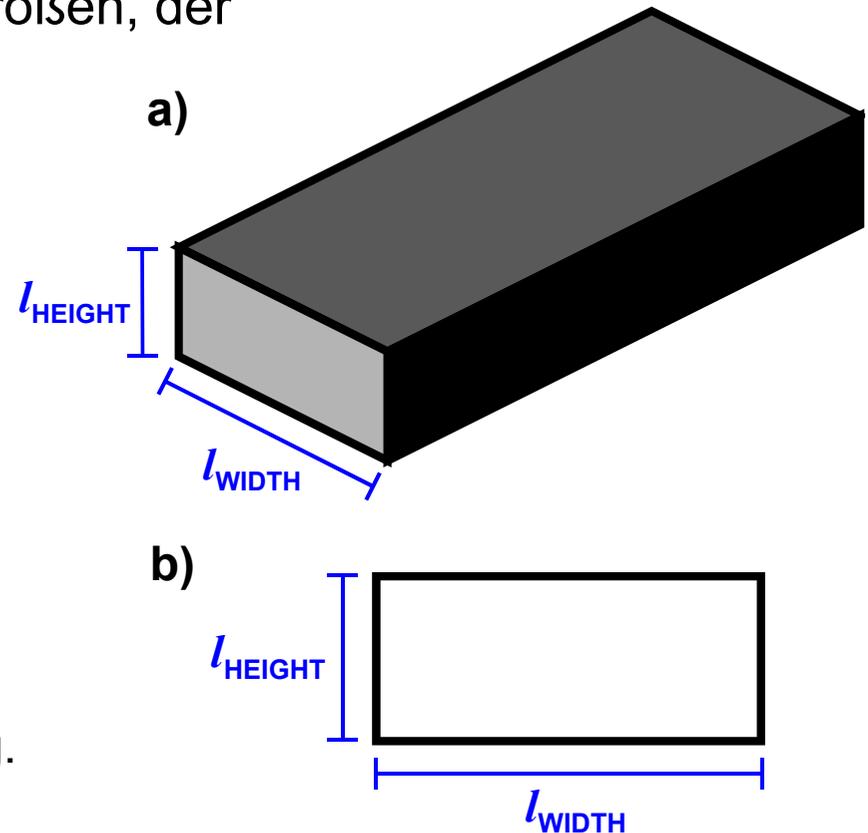
BEISPIEL Flächeninhalt einer rechteckigen Fläche.

Den Flächeninhalt A einer rechteckigen Fläche ermittelt man als Ergebnis der Multiplikation zweier Größen, der Breite l_{WIDTH} und der Höhe l_{HEIGHT} .

$$A = l_{\text{WIDTH}} \cdot l_{\text{HEIGHT}}$$

Ermittlung des Flächeninhaltes der Querschnitt-Fläche eines rechteckigen Stabes;

- a) reale Verhältnisse;
- b) geometrische Idealisierung.



BEISPIEL Volumen eines Rundstab-Materials.

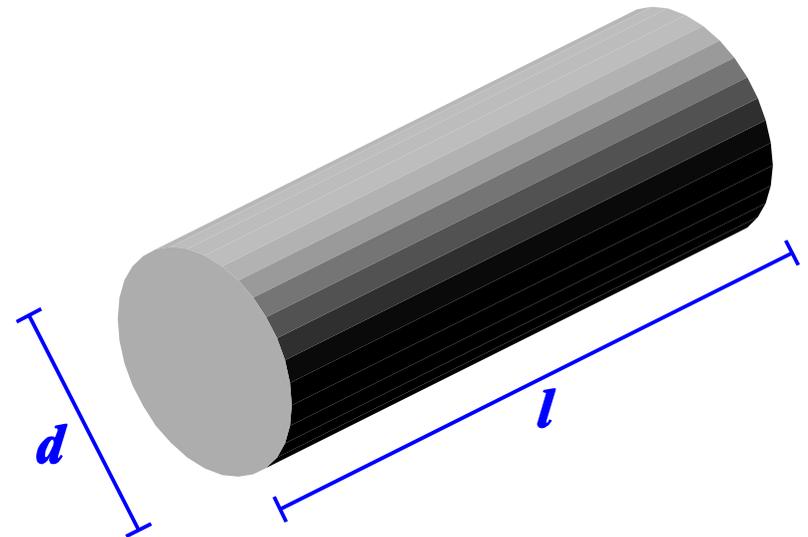
Das Volumen V eines (zylindrischen) Stabes mit konstantem kreisförmigen Querschnitt ermittelt man aus dem Durchmesser d der Querschnittsfläche und der Länge l des Stabes.

$$V = \pi \cdot \left(\frac{d}{2}\right)^2 \cdot l$$

Geometrische Parameter eines zylindrischen, runden Stabes.

d - Durchmesser der Querschnittsfläche;

l - Länge des Stabes.



Es kommt häufig vor, dass der Wert einer Größe interessiert, die Aufgabengröße jedoch

- nicht zugänglich ist,
- für sie kein geeignetes Messverfahren existiert oder
- ihre unmittelbare Messung einen zu hohen Aufwand erfordert.

Dann verwendet man i.Allg. als *Messgröße* eine andere, besser messbare Größe, die mit der gesuchte *Aufgabengröße* in einem bekannten, für die gewünschte Aussage ausreichend reproduzierbaren Zusammenhang steht, von der man auf die Aufgabengröße schliesst.

BEISPIEL Messung mit dem Fieberthermometer.

Wenn in einer Diagnose die Körpertemperatur mit dem Fieberthermometer in der Achselhöhle ermittelt werden soll, ist die so gemessene Temperatur eine Oberflächentemperatur, jedoch nicht die gesuchte Temperatur im Innern des Körpers.

Da der Zusammenhang zwischen der gesuchten Körper(innen)-Temperatur ϑ_{BODY} und der in der Achselhöhle gemessenen Temperatur $\vartheta_{\text{SURFACE}}$ mit ausreichender Genauigkeit bekannt ist

$$\vartheta_{\text{BODY}} \cong \vartheta_{\text{SURFACE}} + 0,5 \text{ K}$$

kann man aus der an der Oberfläche gemessenen Temperatur $\vartheta_{\text{SURFACE}}$ auf die gesuchte Temperatur ϑ_{BODY} schliessen.

Ob die Oberflächentemperatur $\vartheta_{\text{SURFACE}}$ in der Achselhöhle (realisierte Messgröße) als Messgröße im Sinne der Aufgabenstellung (Temperatur ϑ_{BODY} im Innern des Körpers) verwendet werden kann, hängt natürlich davon ab, wie stark die Temperaturdifferenz

$$\Delta \vartheta = \vartheta_{\text{SURFACE}} - \vartheta_{\text{BODY}}$$

von Patient zu Patient um den Wert **0,5 K** schwankt und wie genau, im Vergleich dazu, die Körpertemperatur ϑ_{BODY} im Einzelfall bekannt sein muss .

Die **deutliche** Unterscheidung von Messgröße und Aufgabengröße ist in der Praxis oft sehr wichtig.

Die Forderungen an eine Messung können nur dann sachlich begründet und vernünftig präzisiert werden, wenn aus der Aufgabenstellung auch die Aufgabengröße (Zweck der Messung) eindeutig hervorgeht.

BEISPIEL Gerätentwicklung zur Ermittlung der Stoffzusammensetzung.

Für einen Fertigungsprozess wird die Entwicklung eines Gerätes zur kontinuierlichen Messung der Permittivitätszahl ϵ_r (früher: relative Dielektrizitätszahl) einer vorliegenden Flüssigkeit gewünscht. Die Realisierung wirft eine Reihe von komplizierten Problemen auf.

Eine Präzisierung der Aufgabenstellung ergibt, dass die Permittivitätszahl ϵ_r als Maß für die stoffliche Zusammensetzung eines Zweistoff-Gemisches dienen soll, dessen Permittivitätszahlen unterschiedliche Werte haben. Die eigentliche Aufgabengröße ist somit die Stoffzusammensetzung.

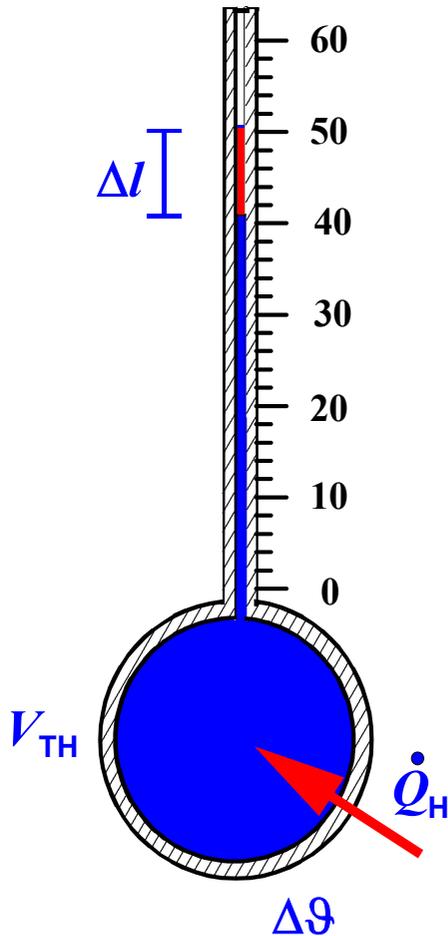
Unter diesen Umständen ist zu untersuchen, in welchen anderen Stoffeigenschaften sich die Komponenten noch unterscheiden. Stellt sich dabei heraus, was sehr wahrscheinlich ist, dass sich auch unterschiedliche Brechzahlen haben, so kann die eigentliche Aufgabengröße Stoffzusammensetzung statt über die Messgröße Permittivitätszahl ϵ_r besser über die Messgröße Brechzahl n ermittelt werden, für die geeignete Messgeräte (kontinuierlich arbeitende Refraktometer) zur Verfügung stehen.

Was ist ein Messmittel?

- (1) Für jede Messung ist eine *Maßverkörperung* erforderlich, d.h.
 - ein Gegenstand (Normal),
 - eine Substanz (Referenzmaterial),
 - eine Einrichtung oder
 - ein Vorgang,durch den eine festgelegte Einheit (ein Wert) realisiert wird.

- (2) Der eigentliche Messprozess, das Vergleichen, ist nur selten so einfach wie bei der Längenmessung mit dem Lineal.
Meist muss die Messgröße erst – z.T. über mehrere Zwischenschritte – vergleichbar gemacht werden.

Flüssigkeit/Glas-Thermometer (z.B. Quecksilberthermometer)



Eine Temperaturerhöhung $\Delta\vartheta$ der Umgebung gegenüber dem Thermometer führt zu einem Wärmestrom von außen nach innen. Die zugeführte Wärme (Energie) verursacht eine Volumenvergrößerung der Thermometerflüssigkeit, wodurch eine Verlängerung Δl des Flüssigkeitsfadens in der angeschmolzenen Kapillare hervorgerufen wird. Die Längenänderung Δl , ablesbar am Flüssigkeitsmeniskus, wird mit der (in Temperatureinheiten graduierten) Skala verglichen.

$\Delta\vartheta$ - Temperaturänderung der Umgebung gegenüber dem Thermometer;

\dot{Q}_H - Wärmestrom;

ΔV - Volumenänderung;

Δl - Längenänderung des Flüssigkeitsfadens.

Teilprozesse des physikalischen Messprozesses

$$\Delta \mathcal{G} \rightarrow \dot{Q}_H \rightarrow \Delta V \rightarrow \Delta l$$



Der Messvorgang muss auf den physikalischen Prozess abgestimmt werden:
Abwarten des thermischen Ausgleichs.

BEMERKUNG Messen bedeutet nicht nur Ablesen, sondern auch Beurteilung des Messvorganges, d.h. Beurteilung

- (1) in wieweit die Vorgehensweise zu einem Ergebnis (Anzeige) führt, das die Messgröße (ausreichend) charakterisiert und
- (2) wie gut das Ergebnis (die festgestellte Anzeige) die Messgröße charakterisiert.

- (3) Die technischen Hilfsmittel, mit denen die Messung durchgeführt wird oder in denen sich der Messvorgang abspielt, bezeichnet man als *Messgeräte*.

Messgeräte ohne eigenen Namen (anders als die Waage, die Uhr, das Thermometer) sind nach der Messgröße zu benennen, nicht nach der Einheit!

FALSCH: ~~Voltmeter~~,

RICHTIG: Spannungsmessgerät.

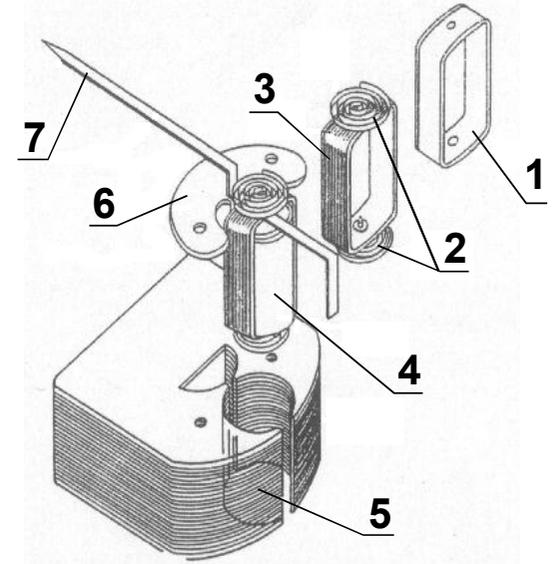
Aus der elektrischen Messtechnik stammt die Bezeichnung *Messinstrument*, die ebenfalls gebräuchlich ist. Darunter versteht man das Messwerk mit Gehäuse und eingebautem Zubehör.

Das Messwerk eines (elektrischen) Messgerätes ist der eigentliche Kern, in dem die Umformung der Messgröße (Eingangsgröße) X_{IN} in die Ausgangsgröße (meist Anzeigegröße) X_{OUT} oder eine Zwischengröße X_{INT} erfolgt.

Drehspul-Messwerk (z.B. Galvanometer)

Zum Messwerk eines Drehspul-Messgerätes gehören im wesentlichen

- der Kernmagnet zur Erzeugung des Kraftfeldes,
- der magnetische (Eisen-)Rückschluss, zur Konzentration des Kraftfeldes auf einen engen wirksamen Raumbereich,
- die in dem Kraftfeld drehbar gelagerte Spule,
- die Rückstell-Federn, die zugleich die elektrischen Stromzuleitungen für die Spule bilden,
- der mit der Spule fest verbundene Zeiger,
- die Skala.



Hauptbestandteile eines Drehspul-Messwerkes.

- 1 Rähmchen;
- 2 Rückstell-Federn;
- 3 Spulenwicklung;
- 4 Kernmagnet;
- 5 magnetischer Rückschluss;
- 6 Systemträger;
- 7 Zeiger.

MEAS01.PPT/F41/2004-10-11/Ke

Teilprozesse des physikalischen Messprozesses

$$I \rightarrow F \rightarrow M \rightarrow \varphi$$



I - elektrischer Strom;

F - Kraft auf den durchflossenen Leiter im Magnetfeld;

M - Drehmoment;

φ - Winkel-Auslenkung.

Der Messvorgang muss auf den physikalischen Prozess abgestimmt werden:
Abwarten des Einschwingens in den Endzustand.⁺⁾

⁺⁾ *F. Kohlrausch "Praktische Physik", (1922): "... zuweilen genügt blosses Abwarten."*

- (4) Wird der Messwert durch ein vom Messgerät getrenntes Gerät angezeigt, so spricht man von *Anzeige-* oder *Ausgabegeräten*;
- Schreiber;
 - Ziffernanzeigen (digitale Ausgangssignale);
 - Drucker;
 - Locher.
- (5) Kompliziertere Messvorgänge benötigen meist einen größeren geräte-technischen Aufwand mit mehreren Baugruppen, oft in Form separater Einzelgeräte. Sie bilden zusammen ein Messsystem.

Von einem *Messgerätesystem* spricht man, wenn verschiedene Geräte in ihren konstruktiven und Anschlussparametern so vereinheitlicht sind, dass sie beliebig zusammengeschaltet werden können.

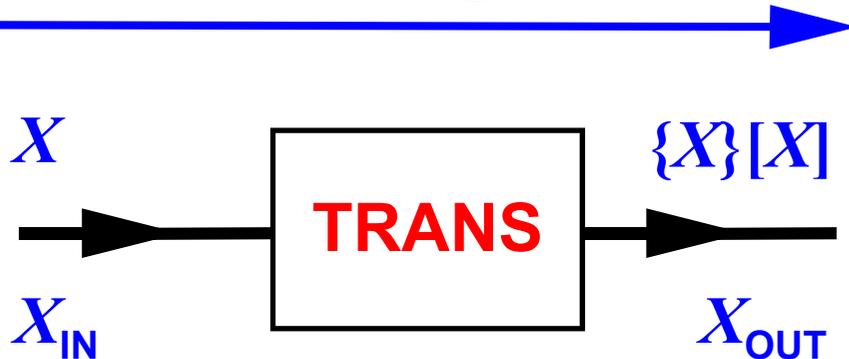
- (6) Schliesslich werden für viele Messungen Hilfsmittel benötigt;
- Geräte zur Bereitstellung von Hilfsenergie (z.B. Netzgeräte);
 - Umformer für Messsignale;
 - Bedienungsanleitungen;
 - Arbeitsanweisungen;
 - Programme (z.B. Software zur Steuerung, Einrichtung, Auswertung);
 - Dokumente (z.B. Kalibrier- oder Prüfscheine).
- **Messmittel** (measuring equipment) [DIN 1319-T2 3.1]
Messgeräte, Anzeigegeräte, Messeinrichtungen, Massverkörperungen und Hilfsmittel, die zur Ausführung von Messungen erforderlich sind.

Wie entsteht der Messwert?

Ein Messgerät ist ein Umformer, der die Aufgabe hat, die Messgröße X zu quantifizieren, d.h. ihren Zahlenwert $\{X\}$ zu ermitteln und in einer für den Menschen wahrnehmbaren und wertmäßig angebaren Form bereitzustellen.

Somit ist die Messgröße X die Eingangsgröße X_{IN} des Umformers und die Anzeige $\{X\}$ [X] seine Ausgangsgröße X_{OUT} .

Ursache-Wirkung-Ausbreitung



Darstellung eines Messgerät als idealen Übertrager zur Umformung der Messgröße X in den (angezeigten) Messwert.

X - Messgröße, Ursache der Anzeige;
TRANS - Übertragungsglied, formt die Messgröße in die angezeigte Größe um;
 $\{X\}$ [X] – (angezeigter) Messwert.

Die *Messwert-Anzeige* kann erfolgen

- analog, in Form einer Längenänderung oder
- digital, in Ziffernform.

Analoge Messwerte werden i.Allg. mit einer feststehenden *Skala* und einer beweglichen *Anzeigemarke*

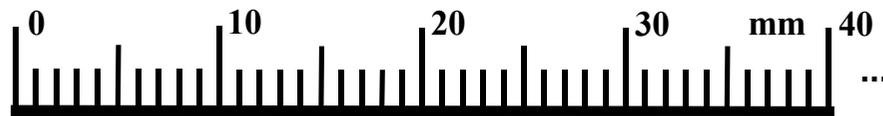
- Strichmarke (z.B. Messschieber)
- Zeigerspitze (z.B. Drehspul-Spannungsmessgerät),
- Flüssigkeitsmeniskus (z.B. Thermometer, Manometer) oder
- Lichtpunkt (z.B. Galvanometer)

ausgegeben.

BEISPIEL **Lineal**

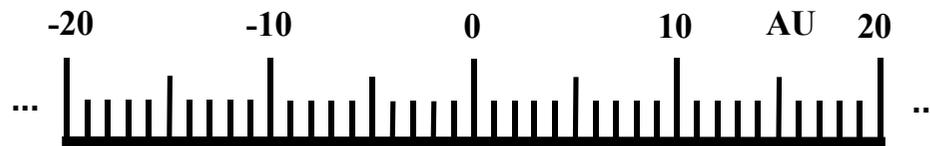
Bei einem Lineal besteht das ganze "Messgerät" nur aus der Skala. Die Anzeigemarken sind die Begrenzungen (Kanten) des Messobjektes.

Die meisten Skalen beginnen mit NULL (Skalen-Anfangswert) und enden mit dem Maximalwert (Skalen-Endwert).



Lineare Skala
(z.B. Messschieber)

Es gibt auch Messgeräte, bei denen der NULL-Punkt in der Mitte liegt (Nullinstrument).

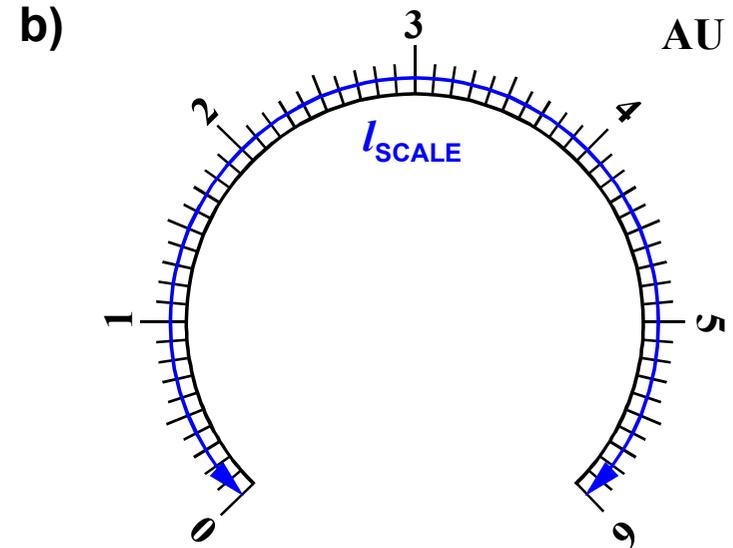
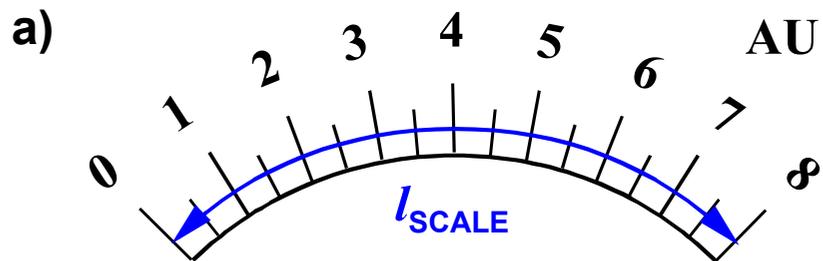


Lineare Skala
(AU – arbitrary units)

Umfasst eine Skale nicht den NULL-Punkt (sie beginnt mit einem von NULL verschiedenen Wert), so spricht man von einem *unterdrückten Nullpunkt*.

Die Skalenlänge l_{SCALE} ist der Abstand zwischen dem ersten und dem letzten Skalenstrich, meistens zwischen "0" und dem Skalen-Endwert.

Bei ebenen gebogenen Skalen (Sektorskalen) wird dieser Abstand auf dem Kreisbogen gemessen, der durch die Mitten der kürzesten Skalenstriche verläuft.



Definition der Skalenlänge l_{SCALE} bei Sektorskalen (beliebige Einheiten).

a) Sektorskala 90° , 16 Skalenteile;

b) Sektorskala 270° , 60 Skalenteile.

Bei Geräten mit mehreren einstellbaren Messbereichen (und natürlichem Nullpunkt) ist es unzweckmäßig, die Skalen in Einheiten der Messgröße zu kalibrieren, z.B. Oszilloskop.

Man liest dann nur *Skalenteile* (**Skt**, engl. **Div**) ab und ermittelt den Messwert als Produkt des abgelesenen Skalenteiles und der *Skalenkonstante* (Quotienten aus der Messspanne des (eingestellten) Messbereiches und der Anzahl der Skalenteile (Differenz zwischen letztem (höchsten) und ersten (niedrigstem) Skalenteil).

Unter dem *Skalenwert* versteht man schliesslich diejenige Größenänderung, die eine Verschiebung der Anzeigemarke um einen Skalenteil bewirkt.

BEISPIEL **Skala für mehrere Messbereiche**

Die Anzahl der Skalenteile der Messbereichsskala sei

$$n_{\text{SCALE}} = 60 \text{ Div}$$

und der eingestellte Messbereich

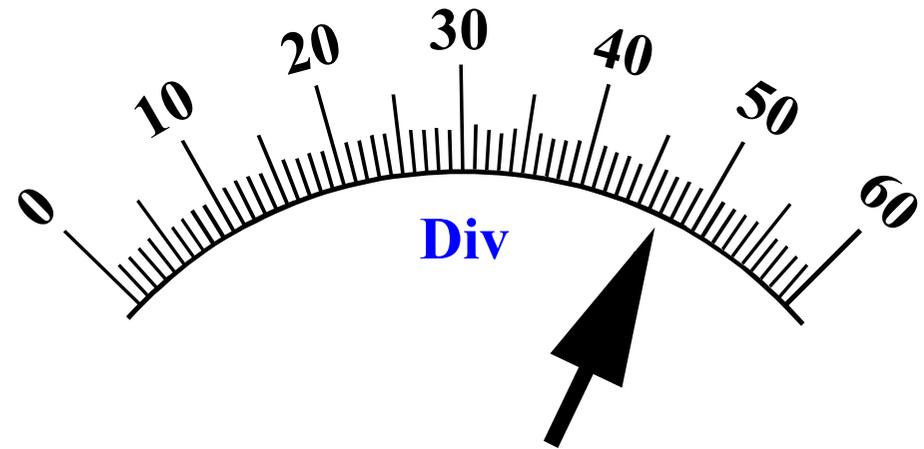
$$V : 0 \dots 30 \text{ V} \Rightarrow \Delta V_{\text{RANGE}} = 30 \text{ V} - 0 \text{ V} = 30 \text{ V}$$

Die Skalenkonstante hat somit den Wert

$$\begin{aligned}
 k_{\text{RANGE}} &= \frac{\Delta V_{\text{RANGE}}}{n_{\text{SCALE}}} \\
 &= \frac{30 \text{ V}}{60 \text{ Div}} \\
 &= \mathbf{0,5 \text{ V} \cdot \text{Div}^{-1}}
 \end{aligned}$$

Liest man **47 Div** ab, so beträgt der Messwert

$$\begin{aligned}
 V_{\text{IND}} &= 47 \text{ Div} \cdot k_{\text{RANGE}} \\
 &= 47 \text{ Div} \cdot 0,5 \text{ V} \cdot \text{Div}^{-1} \\
 &= \mathbf{23,5 \text{ V}}
 \end{aligned}$$



Skalenkonstante und Messwert eines Spannungsmessgerätes in verschiedenen Messbereichen für die Ablesung **47 Div**:

Messbereich	Skalenkonstante	Skalenwert	Messwert
0...30 V	0,5 V/Div	0,5 V	23,5 V
0...60 V	1 V/Div	1 V	47 V
0...150 V	2,5 V/Div	2,5 V	117,5 V