

Sensoren und Messung

Vorlesung 3, Signale, Systeme und Sensoren

Prof. Dr. M. O. Franz

HTWG Konstanz, Fakultät für Informatik

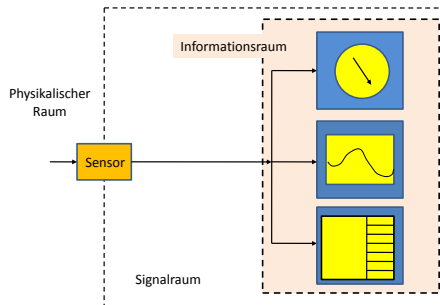
Übersicht

- 1 Sensoren
- 2 Messung und Messgeräte
- 3 Messgeräte für elektrische Größen

Übersicht

- 1 Sensoren
- 2 Messung und Messgeräte
- 3 Messgeräte für elektrische Größen

Wie kommen Informationen in technische Systeme?



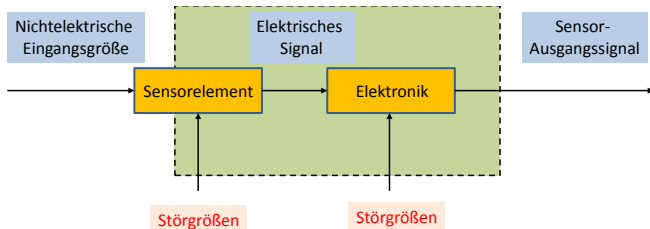
Quelle: F. Schubert, 2012

- Signale sind Träger von Information in Form einer zeitlich oder räumlich veränderlichen physikalischen Größe.
- Informationen liegen in Form verabredeter, sinngebender Muster vor, die der Empfänger (er-)kennen muss.
- Nahezu alle Signale der realen physikalischen Welt liegen in analog-kontinuierlicher Form vor.

Sensor

Definition: Ein Sensor ist ein technisches Bauteil, das physikalische Eigenschaften oder die stoffliche Beschaffenheit seiner Umgebung erfassen kann.

Erfasst wird eine physikalische oder chemische *Größe* (der **Stimulus**) über entsprechende physikalische oder chemische Effekte und in der Regel in elektromagnetische Signale (z.B. Strom, Spannung, Ladung ...) umgeformt.



Quelle: F. Schubert, 2012

Warum elektromagnetische Signale?

- breiten sich (nahezu) mit Lichtgeschwindigkeit aus.
- können mit Hilfe von Leitungen genau dorthin geführt werden, wo sie gebraucht werden.
- können mit Hilfe von Antennen auch drahtlos, d.h. durch Luft und Vakuum rund um die Erde oder sogar ins Weltall gesendet werden.
- lassen sich konkurrenzlos präzise und störsicher aufnehmen, verarbeiten und übertragen.
- verbrauchen kaum Energie im Vergleich zu anderen physikalischen Systemen.
- werden durch winzigste Chips verarbeitet, die sich durchweg äußerst preiswert produzieren lassen (vollautomatische Produktion in großen Serien).

Ausgangssignalformen bei Sensoren

- **Amplitudenanalog:** der Stimulus wird in ein amplitudenproportionales elektrisches Signal umgewandelt. Bei Weiterverarbeitung durch einen Rechner ist eine AD-Wandlung notwendig. Relative geringe Störsicherheit aufgrund elektrischer Einkopplungen.
- **Frequenzanalog:** der Stimulus ist als Frequenz (auch als Puls- oder Periodendauer) abgebildet. Die Anzahl der Schwingungen lässt sich digital auszählen (pseudodigitale Messwerterfassung). Frequenzen können relativ störungsarm übertragen werden.
- **Digital:** der Stimulus wird als Datenwort bestimmter Länge umgesetzt, übertragen und verarbeitet. Datensicherheit kann durch spezielle fehlertolerante Codes und Pulsmodulation erreicht werden.

Sensortypen

- **Extrinsisch:** Ermitteln von Informationen über die Systemumgebung (z.B. Radar, Kamera)
- **Intrinsisch:** Ermitteln von Informationen über den internen Systemzustand (z.B. Tachometer, Gyroskop, Umdrehungsmesser)
- **Aktiv:** Variieren angelegtes elektrisches Signal bei Veränderung des Stimulus (z.B. Widerstandsthermometer, Kraftaufnehmer). Erlauben das Messen von statischen Größen, brauchen eine Energiezufuhr.
- **Passiv:** Erzeugen direkt ein elektrisches Signal bei Veränderung des Stimulus (z.B. dynamisches Mikrofon, Piezoelemente). Detektieren nur die Änderung der Messgröße, brauchen keine eigene Energiezufuhr.

Übersicht

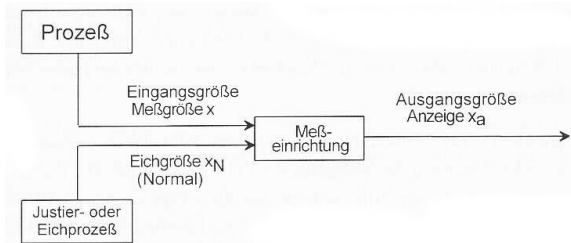
- 1 Sensoren
- 2 Messung und Messgeräte**
- 3 Messgeräte für elektrische Größen

Messung und Messgröße

Messung: experimenteller Vorgang zum quantitativen Vergleich zwischen einer Meßgröße und einer Bezugsgröße mit Hilfe einer Meßeinrichtung. Kriterium: **Reproduzierbarkeit**.

Messgrößen: messbare Merkmale von Objekten, die stets als Produkt einer Maßzahl mit einer Maßeinheit auftreten. Schreibweise:

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



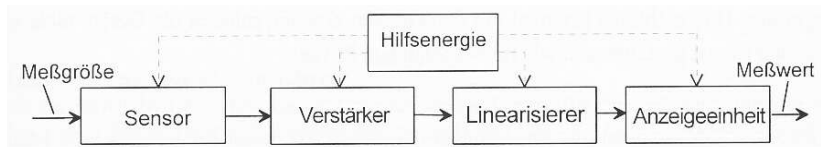
Quelle: R. Schröter

Messgerät und Messeinrichtung nach DIN 1319–1

Messgerät: Ein Gerät, das allein oder in Verbindung mit anderen Einrichtungen für die Messung einer Messgröße vorgesehen ist. Der Sensor oder auch *Messgrößenaufnehmer* ist dabei der Teil eines Messgerätes oder einer Messeinrichtung, der auf eine Messgröße unmittelbar anspricht. Der Aufnehmer ist das erste Element einer *Messkette*.

Messeinrichtung: Unter einer Messeinrichtung versteht man die Gesamtheit aller Messgeräte zur Erzielung eines Messergebnisses. Handelt es sich um eine Kombination von mehreren Sensoren und nicht von Messgeräten, so spricht man in der Regel von einem *Multisensorsystem*.

Messkette, Messprinzip und Messgröße



Quelle: R. Schröter

Messkette: Unterteilt man nun die einzelnen Elemente eines Sensors oder eines Messgerätes, die den Weg des Messsignals von der Aufnahme der Messgröße bis zur Bereitstellung der Ausgabe bilden, so spricht man von der *Messkette*.

Messprinzip: Physikalischer oder chemischer Vorgang, der zur Messung benutzt wird (z.B. Längen-, Widerstandsänderung, Flüssigkeitsausdehnung, thermoelektrischer Effekt zur Bestimmung der Temperatur).

Effiziente Messung

Eine Messung bedarf der Planung: wann, wo, wie oft und wie genau wird gemessen?

Die Forderung nach größtmöglicher Effizienz gebietet uns für die Planung:

- so wenig Meßorte wie nötig
- so wenig Messungen wie nötig
- so wenig Meßgenauigkeit (= Aufwand) wie nötig.

Metrologie: Erforschung der wissenschaftlichen Grundlagen für die Entwicklung von Meßverfahren und Meßgeräten.

Meßtechnik: Umsetzung metrologischer Erkenntnisse in die Technik von Meßmitteln und ihrer Anwendung.

Kenngrößen

- Auflösung: Die kleinstmögliche Veränderung der zu messenden Größe, die noch eine Änderung des Ausgangssignals bewirkt.
- Linearität: Maß für die Abweichung der Kennlinie von einer Geraden.
- Ansprechzeit: Die Zeit, die nach einer sprunghaften Änderung der zu messenden Größe vergeht, bis das Ausgangssignal den entsprechenden neuen Wert erreicht hat.
- Wiederholgenauigkeit
- Ausfallwahrscheinlichkeit
- Störempfindlichkeit
- Langzeitstabilität

Internationales Einheitensystem

Seit 1960 wird das internationale Einheitensystem (SI: *Système International d'Unités*) verwendet. Merkmale: metrisch, dezimal und kohärent. Es gibt 7 *Basiseinheiten*, von denen alle anderen Einheiten abgeleitet werden:

Basisgröße	Formelzeichen	Einheit	Einheitenzeichen
Länge	l	Meter	m
Zeit	t	Sekunde	s
Masse	m	Kilogramm	kg
Stromstärke	I	Ampere	A
Temperatur	T	Kelvin	K
Stoffmenge	n	Mol	mol
Lichtstärke	I_V	Candela	cd

Basiseinheiten und abgeleitete Einheiten

- Die Basiseinheiten werden nach einer offiziell festgelegten Messvorschrift festgelegt, z.B. ist das Meter die Strecke, die Licht im Vakuum während der Dauer von $1/299\,792\,458\text{ s}$ zurücklegt.
- Alle anderen SI-Einheiten sind abgeleitete Einheiten für abgeleitete Größen, d.h. sie können als

$$[Q] = 10^n \cdot \text{m}^\alpha \cdot \text{kg}^\beta \cdot \text{s}^\gamma \cdot \text{A}^\delta \cdot \text{K}^\epsilon \cdot \text{mol}^\zeta \cdot \text{cd}^\eta$$

mit ganzzahligen Exponenten dargestellt werden. Die Dimension einer abgeleiteten Größe gibt deren Zusammenhang mit den Basisgrößen an, z.B. $v = \text{s} / \text{t}$.

- 22 abgeleitete SI-Einheiten haben einen eigenen Namen, z.B. Joule für N m .

Kohärente Einheiten

- Ist der numerische Faktor = 1 (d.h. $n = 0$), spricht man von kohärenten Einheiten, die keine Umrechnungsfaktoren benötigen.
- Bei nicht-kohärenten SI-Einheiten werden folgende Einheitenvorsätze verwendet:

Potenz	Name	Zeichen	Potenz	Name	Zeichen
10^{24}	Yotta	Y	10^{-1}	Dezi	d
10^{21}	Zetta	Z	10^{-2}	Zenti	c
10^{18}	Exa	E	10^{-3}	Milli	m
10^{15}	Peta	P	10^{-6}	Mikro	μ
10^{12}	Tera	T	10^{-9}	Nano	n
10^9	Giga	G	10^{-12}	Piko	p
10^6	Mega	M	10^{-15}	Femto	f
10^3	Kilo	k	10^{-18}	Atto	a
10^2	Hekto	h	10^{-21}	Zepto	z
10^1	Deka	da	10^{-24}	Yokto	y

Kalibrierung, Justierung und Eichung

Kalibrierung: Ermitteln des Zusammenhanges zwischen Messwert und dem zugehörigen wahren Wert der Messgröße für eine betrachtete Messeinrichtung bei vorgegebenen Bedingungen. Beim Kalibrieren erfolgt kein technischer Eingriff am Messgerät.

Justierung: Einstellen oder Abgleichen eines Messgerätes, um systematische Messabweichungen so weit zu beseitigen, wie es für die vorgesehene Anwendung erforderlich ist. Das Justieren erfordert also im Gegensatz zum Kalibrieren einen Eingriff, der das Messgerät meist bleibend verändert.

Eichung: Die Eichung besteht aus der eichtechnischen Prüfung und der Stempelung eines eichfähigen Messgeräts durch die zuständige Behörde. Ein Messgerät ist eichfähig, wenn seine Bauart durch die Bundesanstalt oder die Art des Messgerätes allgemein zur Eichung zugelassen ist.

Normale

Normal: Messgerät, Messeinrichtung oder Referenzmaterial mit dem Zweck, eine Einheit oder einen oder mehrere bekannte Werte einer Größe darzustellen, zu bewahren oder zu reproduzieren, um diese an andere Messgeräte durch Vergleich weiterzugeben (DIN 1319–1).

Primärnormal: Normal, das die höchsten metrologischen Forderungen auf einem speziellen Anwendungsgebiet erfüllt.

Bezugsnormal: Normal mit der höchsten örtlich verfügbaren Genauigkeit (i.A. Normal einer Eichbehörde).

Gebrauchsnormal: Normal, das unmittelbar oder über einen oder mehrere Schritte mit einem Bezugsnormal kalibriert und routinemäßig benutzt wird, um Maßverkörperungen oder Messgeräte zu kalibrieren oder zu prüfen.

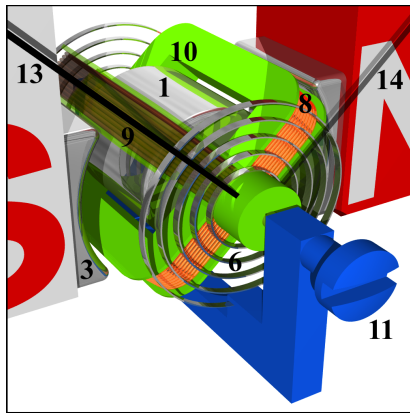
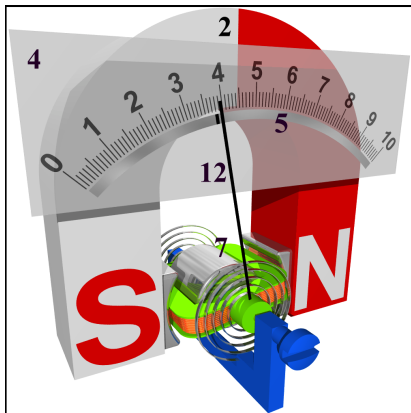
Übersicht

- 1 Sensoren
- 2 Messung und Messgeräte
- 3 Messgeräte für elektrische Größen**

Messgeräte für elektrische Größen

- Da die meisten Sensoren die Messgröße in ein elektromagnetisches Größen umwandeln, spielen Messgeräte für diese Größen eine fundamentale Rolle in der Signalverarbeitung.
- Elektrizität kann man nicht unmittelbar mit den Sinnesorganen wahrnehmen, daher werden elektrische Größen indirekt über ihre *Wirkung* auf andere physikalische Größen gemessen.
- Ströme erzeugen z.B. Magnetfelder, mit denen man wiederum magnetische Zeiger mechanisch bewegen kann, d.h. es handelt sich um eine Wirkung der Elektrizität auf mechanische Größen.
- Die Wirkungen der Elektrizität sind vielfältig, somit gibt es entsprechend viele elektrische Messprinzipien.
- 90% aller praktisch eingesetzten analogen Messgeräte beruhen auf der magnetischen Wirkung.

Beispiel: Drehspulinstrument



Quelle: Wikipedia

- Eine stromdurchflossene Drahtspule (8) dreht sich im Feld eines Dauermagneten (2).

Messprinzip des Drehspulinstrumentes

- Durch den Stromfluss verhält sich die Spule wie ein Magnet mit Nord- und Südpol, die von den Polen des Dauermagneten angezogen bzw. abgestoßen werden.
- Je größer der Stromfluss, desto stärker ist das Magnetfeld der Spule, desto stärker ist auch die Anziehungs- bzw. Abstoßungskraft zwischen den Polen.
- Die Spule ist drehbar gelagert und direkt mit dem Zeiger (12) des Messinstruments verbunden.
- Damit der Zeiger nicht sofort an den Anschlag geht, muss eine Gegenkraft aufgebracht werden, meistens durch eine Spiralfeder (6).
- Damit führt jeder unterschiedliche Stromwert zu einem unterschiedlichen Gleichgewichtszustand zwischen der magnetischen und der Rückstellkraft, der mit einer bestimmten Zeigerstellung verbunden ist und auf der Skala (4) markiert werden kann.

Messung mit Drehspulinstrumenten

- Das Gerät verbraucht beim Messen Energie, da ein – wenn auch geringer – Strom durch die Spule fließen muss.
- Die Spule aus dünnem Draht verträgt nicht beliebig viel Strom – sie kann daher durch zu große Ströme zerstört werden! Deshalb jede Messung mit dem größten Messbereich beginnen!
- Jede Zeigerstellung entspricht einem Gleichgewichtszustand zwischen Magnet- und Rückstellkraft. Daher benötigt das Gerät eine gewisse Zeit zum Einschwingen und kann so nicht beliebig schnell veränderliche Größen anzeigen.
- Je nach Blickwinkel auf den Zeiger liest man einen leicht unterschiedlichen Wert ab (*Parallaxenfehler*). Idealerweise muss genau senkrecht auf die Skala geschaut werden. Dies wird durch den Spiegel (5) erleichtert, so dass man Zeiger und Spiegelbild genau übereinander bringen kann.

Anzeigefehler

- Aufgrund von Fertigungstoleranzen, Lagerreibung, Montagevariationen der Skala usw. zeigt ein Messgerät nicht den wahren Messwert an.
- Dieser fertigungsbedingte **Anzeigefehler** wird vom Hersteller prozentual bezogen auf den Skalenendwert angegeben.



Quelle: Wikipedia

- Hier: Anzeigefehler $\pm 2.5\%$, Skalenendwert 10 A, d.h., der wahre Wert liegt 2.5% bzw. 0.25 A darüber oder darunter, also zwischen 9.75 A und 10.25 A .
- **Achtung:** der prozentuale Fehler gilt nur bei 10 A! Bei 5 A ist der mögliche Fehler immer noch $\pm 0.25\text{ A}$, d.h. bei $\pm 5\%$ des Skalenwertes.
- Gerät immer so einstellen, dass man im oberen Skalenbereich misst.

Fehlerklassen von Messinstrumenten

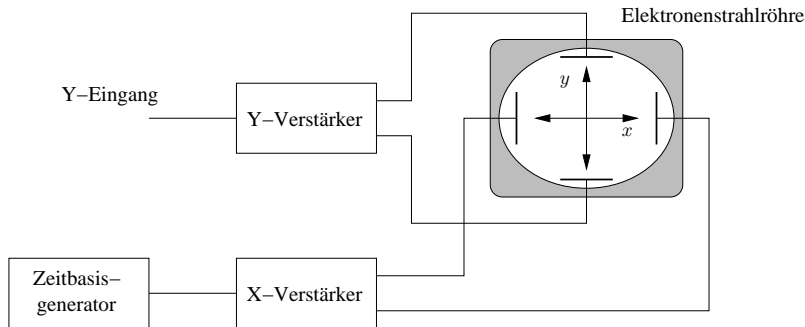
- Messgeräte werden nach ihrem Anzeigefehler in **Fehlerklassen** eingeteilt: **Feinmessgeräte** mit den Klassen 0.1, 0.2, und 0.5 und **Betriebsmessgeräte** mit 1, 1.5, 2.5 und 5, bezogen auf eine Standard-Temperatur.



Quelle: Wikipedia

- Die Fehlerklasse wird auf der Anzeige des Instruments angegeben. Hier: Fehlerklasse 2.5. Zusätzliche Symbole: \square = Drehspul-Messwerk, \perp = senkrechte Lage
- Misst man bei einer anderen Lage oder einer anderen Temperatur, so wird die Messgenauigkeit schlechter.
- Bei manchen Instrumenten muss man beachten, dass diese erst ihre Betriebstemperatur erreichen, bevor man mit den Messungen beginnen kann.

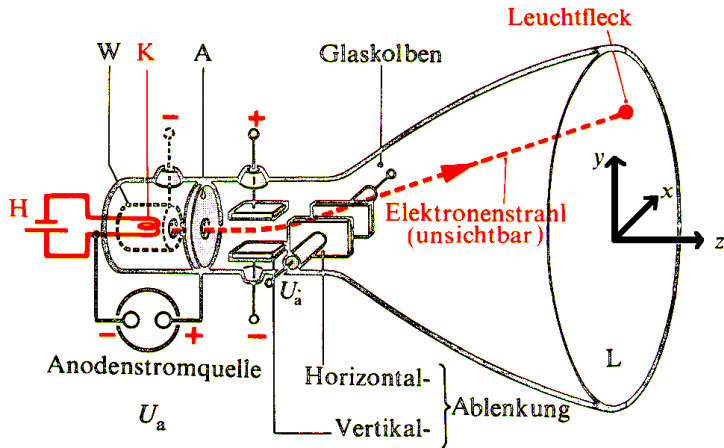
Oszilloskop



Stark vereinfachtes Blockschaltbild eines Oszilloskops

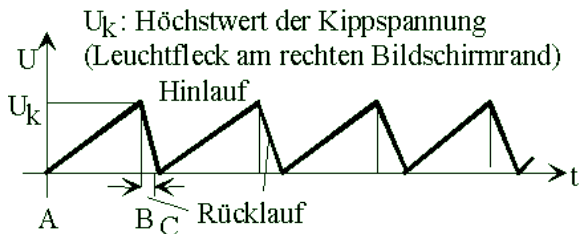
Das **Oszilloskop** (= “Schwingung ansehen”) ist ein Spannungsmessgerät, mit dem zeitabhängige (und insbesondere schnellveränderliche) Größen gemessen werden können.

Messprinzip Elektronenstrahl-Oszilloskop



K: Glühkathode, W: Wehneltzylinder zur Fokussierung des Strahls

x-Ablenkung des Elektronenstrahls



- Die Sägezahnspannung bewirkt, dass sich der Elektronenstrahl vom linken Bildschirmrand zum rechten Bildschirmrand bewegt. Hierdurch wird ein stetig von links nach rechts laufender Punkt oder ein durchgezogener Strich erreicht.
- **Triggerung:** Bei jedem Durchlauf die Ablenkung solange angehalten, bis das zu messende Signal einen definierten Spannungswert erreicht. Dadurch werden die Perioden eines periodischen Signals stets genau übereinander gezeichnet.