

# Fahrzeugmechatronik I

## Sensoren



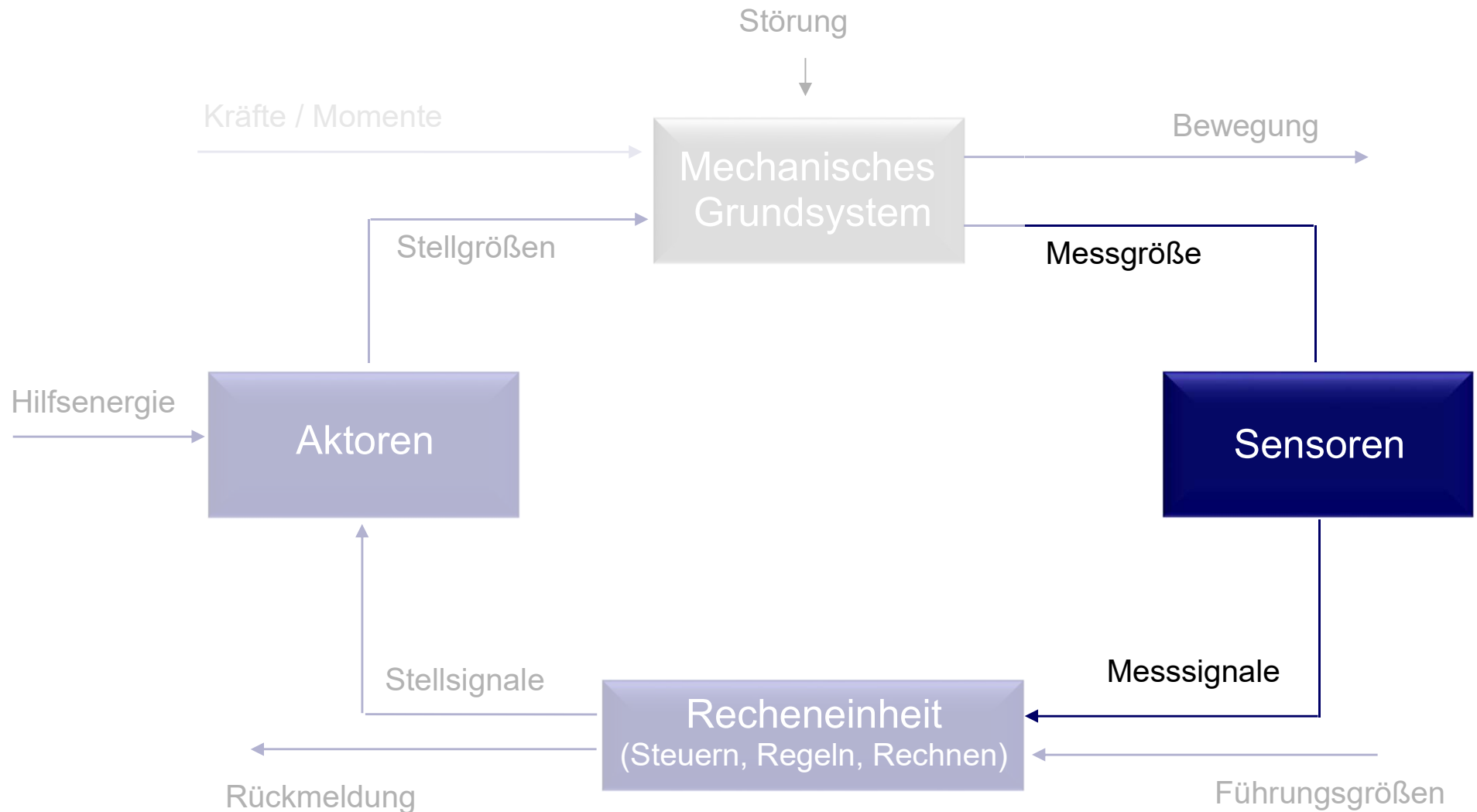
**Prof. Dr.-Ing. Steffen Müller**

**M.Sc. Osama Al-Saidi**

**Fachgebiet Kraftfahrzeuge • Technische Universität Berlin**

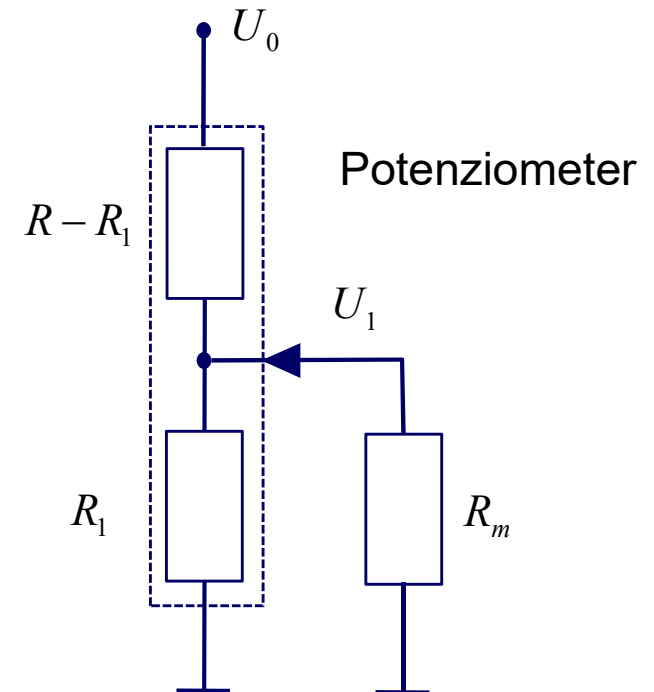
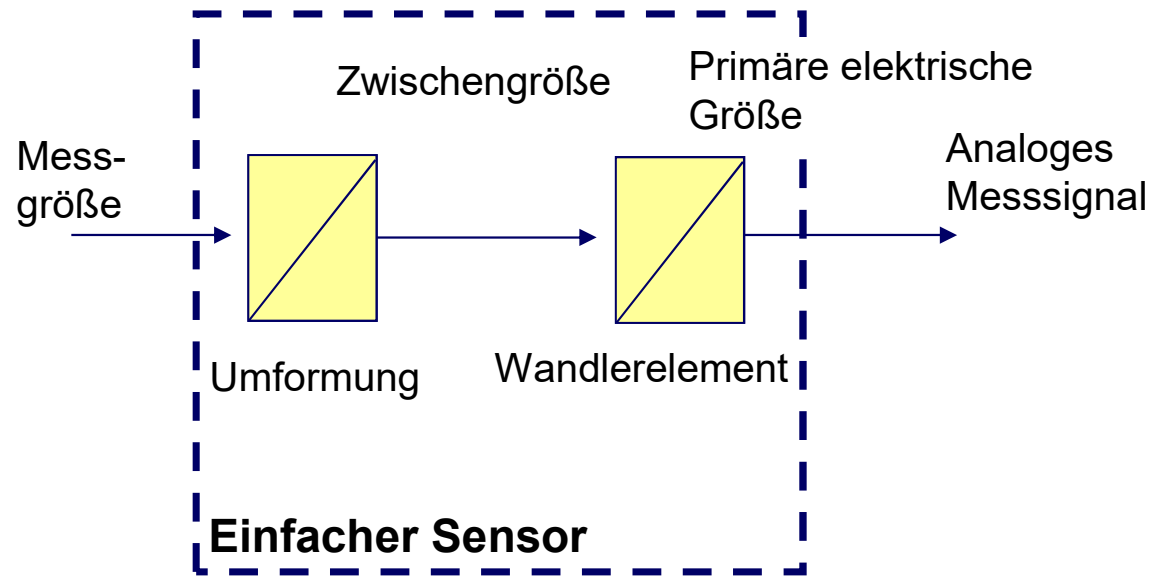
---

# Allgemeine Betrachtungen Mechatronisches System



# Allgemeine Betrachtungen

## Einfacher Sensor

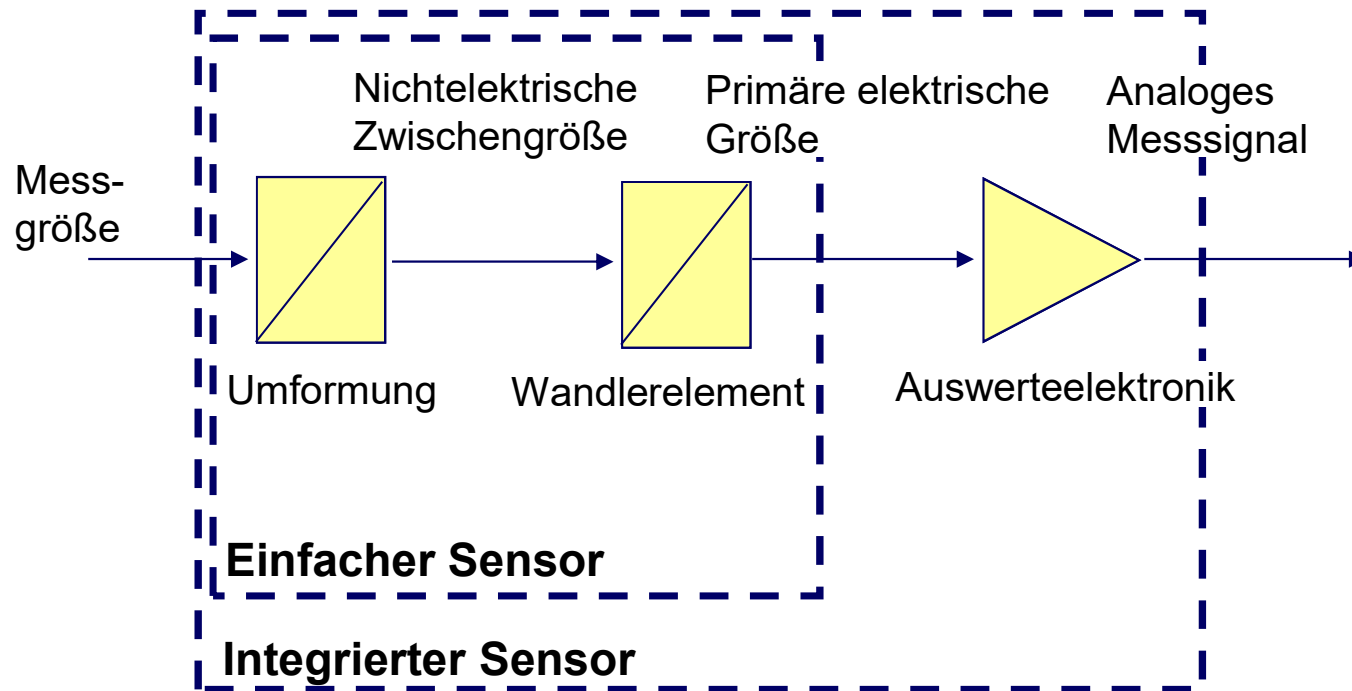


**Direkte Messverfahren:** Ergebnis ist unmittelbar am Messmittel ablesbar, beispielsweise Messungen mit Lineal, Winkelmesser oder Maßband.

**Indirekte Messverfahren:** Resultat liegt erst nach einigen Zwischenstufen vor

# Allgemeine Betrachtungen

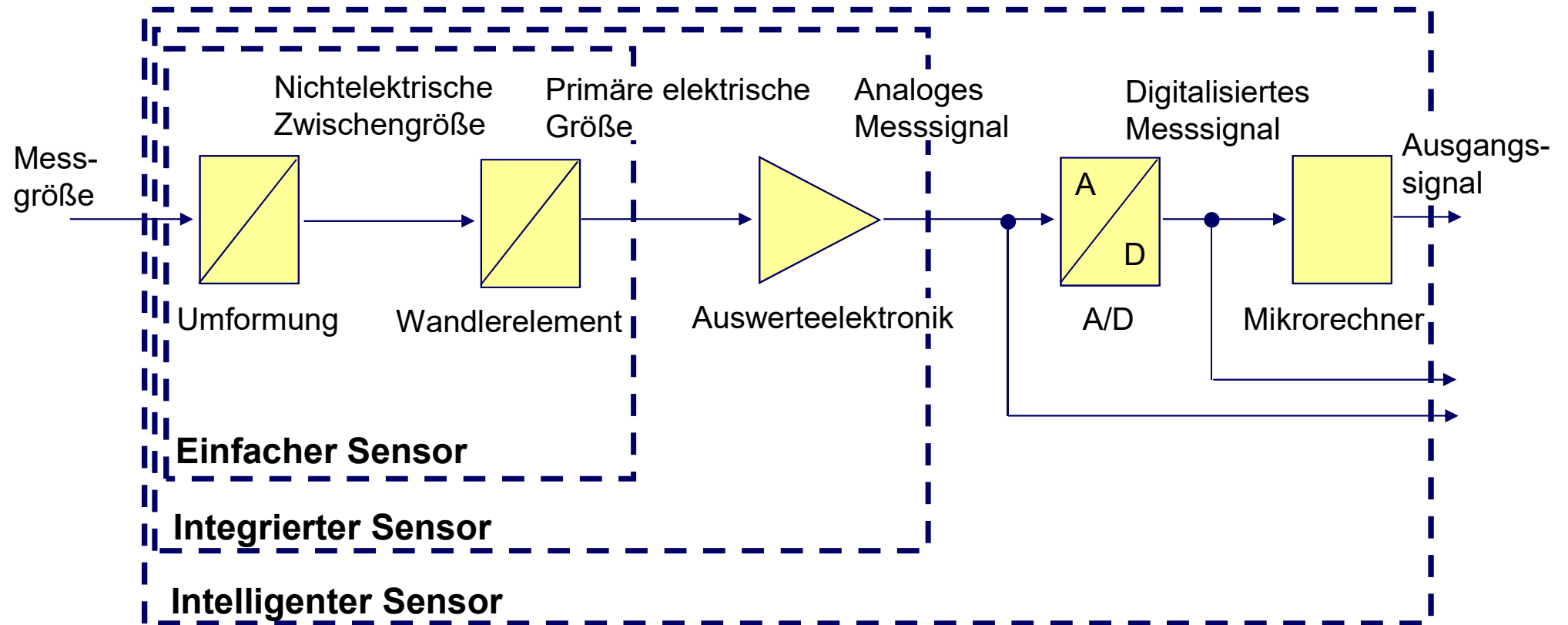
## Integrierter Sensor



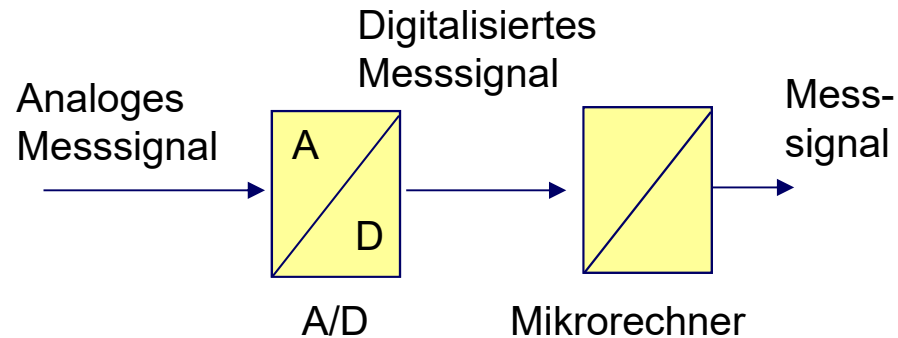
### Typische Aufgaben der Auswerteelektronik:

- Verstärkung, z.B. zur Normierung (z.B. auf 0...5V)
- Ausfilterung von Störsignalen
- Reset des Nullpunktes
- Linearisierung des Primärsignals
- Messbereichsanpassung und Umschaltung
- ...

# Allgemeine Betrachtungen Intelligenter Sensor



# Allgemeine Betrachtungen Intelligenter Sensor

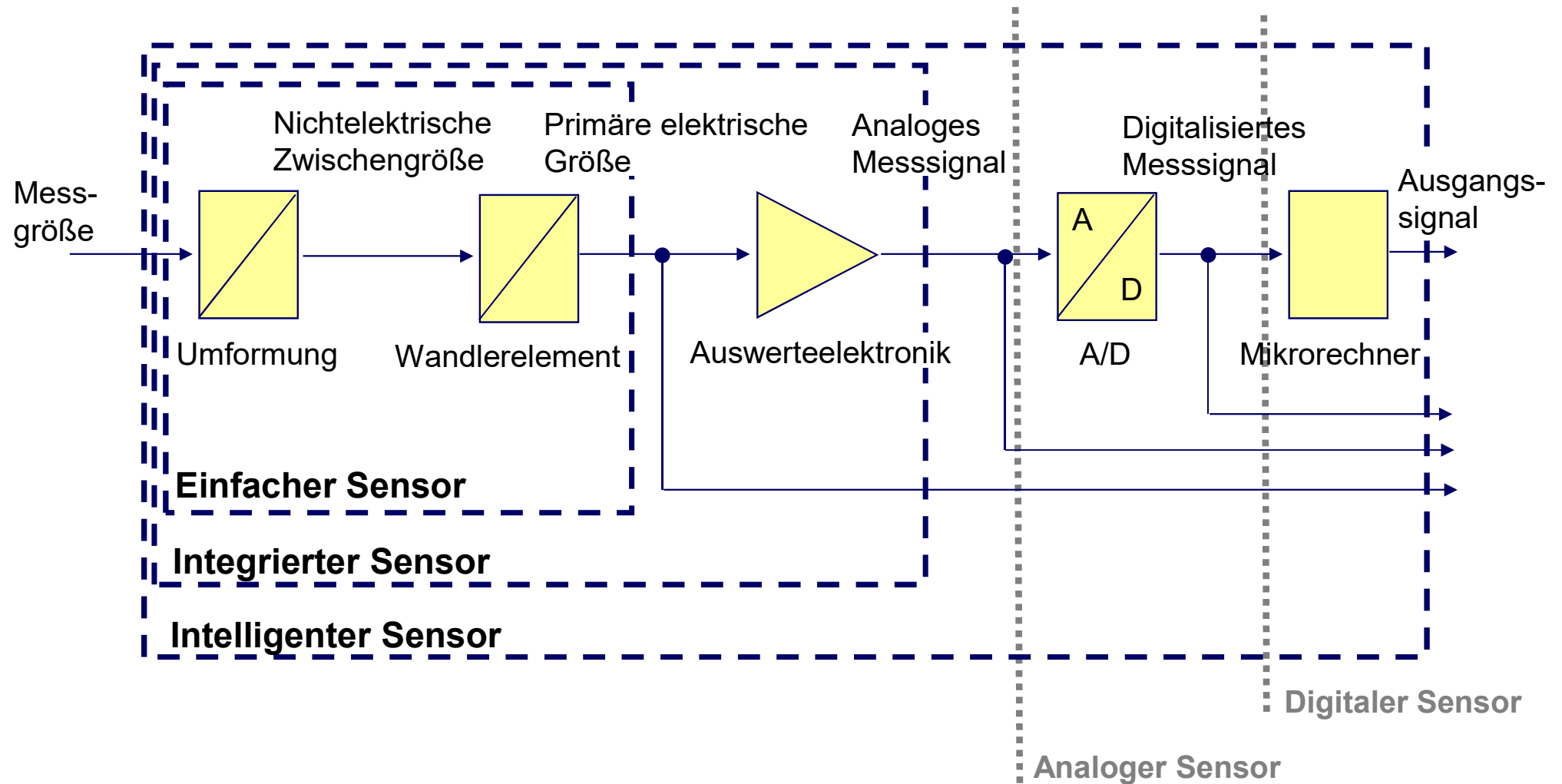


## Beispiele für zusätzliche Funktionen intelligenter Sensoren:

- Übernahme von Funktionen der Auswerteelektronik (spart Platz, Gewicht, ggf. Kosten)
- Plausibilisierung der Messsignale
- Protokollierung von Messdaten und Fehlern
- Berechnung abgeleiteter Größen (z.B. Ableiten nach der Zeit)
- Kommunikation mit einem Bussystem
- Gemeinsame Auswertung mehrerer Sensorsignale
- Kalibrierung durch Software
- ...

# Allgemeine Betrachtungen

## Das System Sensor - Übersicht



# Allgemeine Betrachtungen

## Beispiele für allg. Anforderungen an Sensoren

- Eindeutige und reproduzierbare Abbildung
- Unempfindlichkeit ggü. Störungen
- Einfache Stromversorgung
- Funktionskontrolle
- ...



# Kenngrößen von Sensoren

## Überblick

- Messbereich
- Empfindlichkeit
- Messgenauigkeit
- Auflösung
- Zulässiger Frequenzbereich

# Kenngrößen von Sensoren

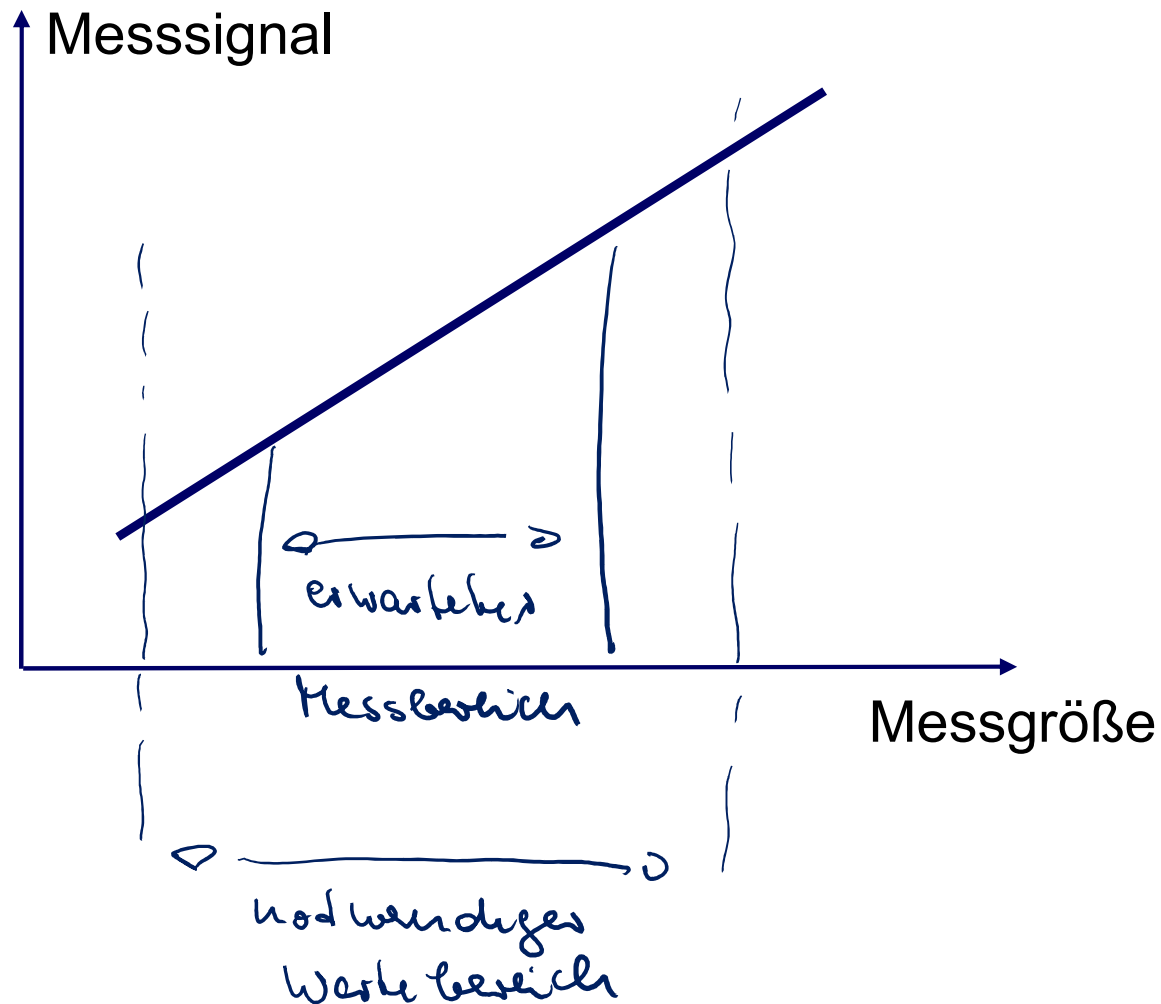
## Messbereich

*„Wertebereich der Messgröße, der im Rahmen der vom Hersteller genannten Kenngrößen (z.B. Genauigkeit, Auflösung,...) auf das Messsignal korrekt abgebildet wird.“*

测量值的值域范围，在生产商的规定范围内正确映射到测量信号中，  
(例如精确度，和Aufloesung)

# Kenngrößen von Sensoren

## Messbereich



# Kenngrößen von Sensoren

## Überblick

- Messbereich
- **Empfindlichkeit**
- Messgenauigkeit
- Auflösung
- Zulässiger Frequenzbereich

# Kenngrößen von Sensoren

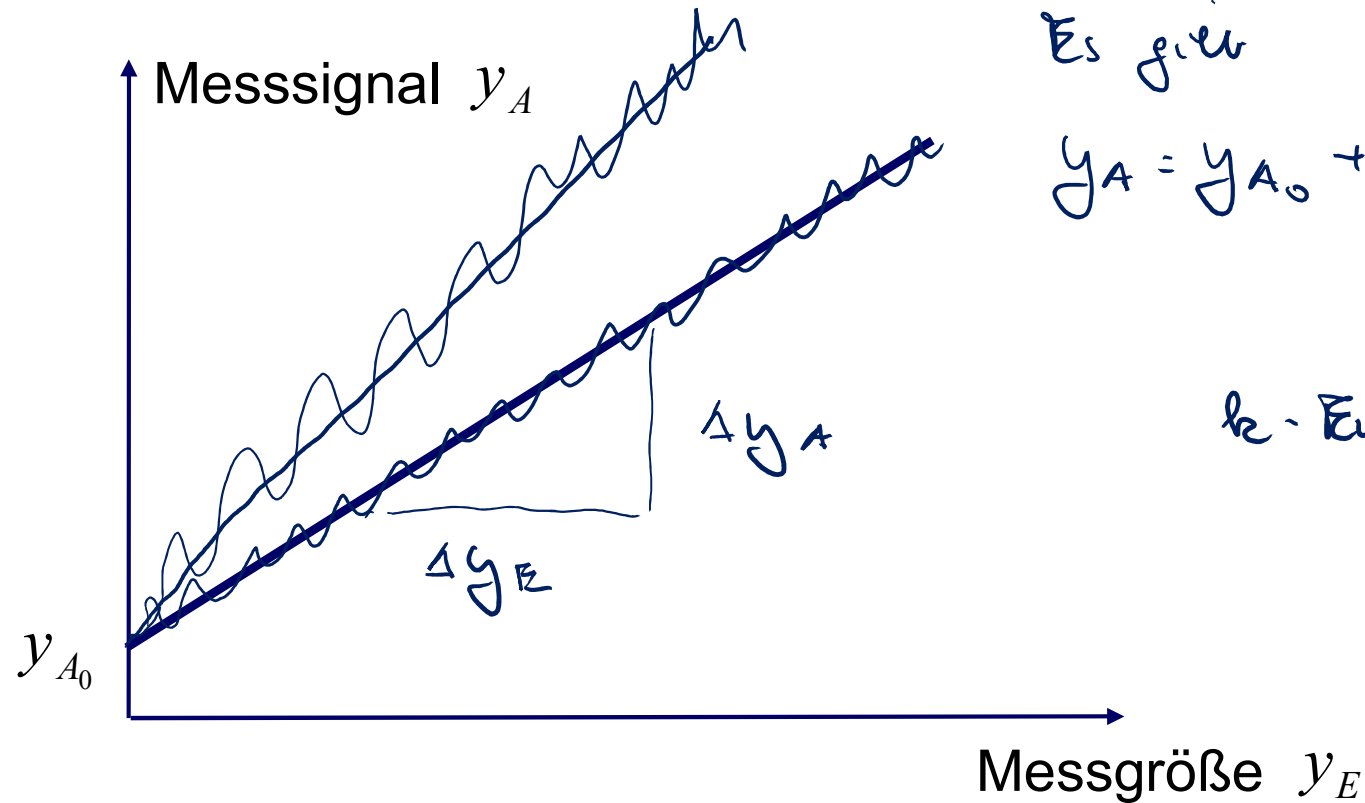
## Empfindlichkeit

*„Maß für die Änderung des Messsignals auf eine Zu- oder Abnahme der Messgröße.“*

被测信号的改变的测量，在于增大与减小的测量信号。

# Kenngrößen von Sensoren

## Empfindlichkeit



Es gilt

$$y_A = y_{A_0} + \left( \frac{\Delta y_A}{\Delta y_E} \right) y_E$$

$k$  - Empfindlichkeit

Erhöhung der Empfindlichkeit  $k$  durch Verstärkung des Messsignals  
-> mehr Rauschen

# Kenngrößen von Sensoren

## Überblick

- Messbereich
- Empfindlichkeit
- **Messgenauigkeit**
- Auflösung
- Zulässiger Frequenzbereich

# Kenngrößen von Sensoren

## Messgenauigkeit

测量变量的真值作为测量变量测量值的评估目标; 这是一个“理想值”, 通常并不完全清楚。  
为了比较的目的, 将被测量的值更正为“已知值”,  
为了进行比较, 其与真实值的偏差被认为可忽略不计。

In der für die Messtechnik grundlegenden DIN 1319 wird zwischen diesen beiden Werten unterschieden:

- **Wahrer Wert** der Messgröße als Ziel der Auswertungen von Messungen der Messgröße; das ist ein „ideeller Wert“, der in aller Regel **nicht genau bekannt** ist.
- **Richtiger Wert** der Messgröße als „**bekannter Wert**“ für Vergleichszwecke, dessen Abweichung vom wahren Wert für den Vergleichszweck als vernachlässigbar betrachtet wird.

Der richtige Wert ist der Wert, den eine fehlerfreie Messeinrichtung ausgeben würde, ein durch Vergleich mit einem Norm ermittelter (oder fundamental ermittelter oder als richtig festgelegter) Wert. Zwischen wahren und richtigem Wert besteht ein zwar prinzipieller, aber quantitativ unerheblicher Unterschied.



# Kenngrößen von Sensoren

## Messgenauigkeit

*DIN EN 60051:*

*„Grad der Übereinstimmung zwischen angezeigtem und richtigem Wert.“*

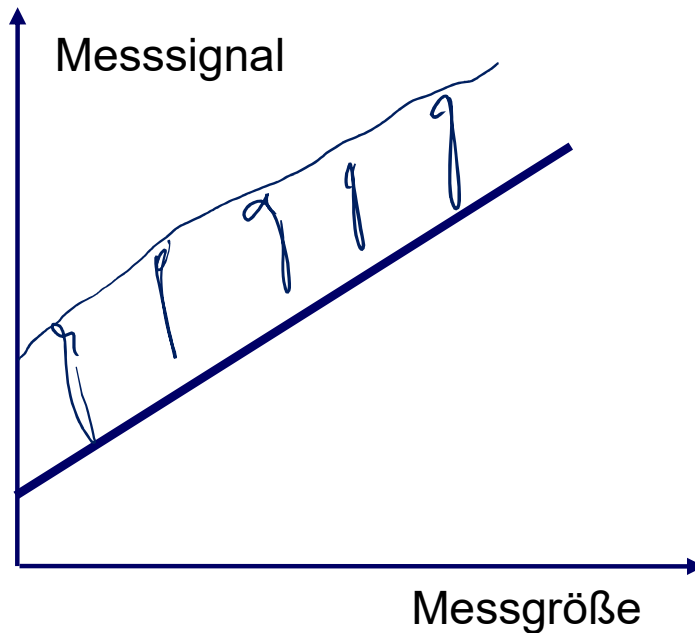
Man unterscheidet zwischen

- Nullpunktfehler
- Steigungsfehler
- Linearitätsfehler
- Hysteresefehler 滞后误差

# Kenngrößen von Sensoren

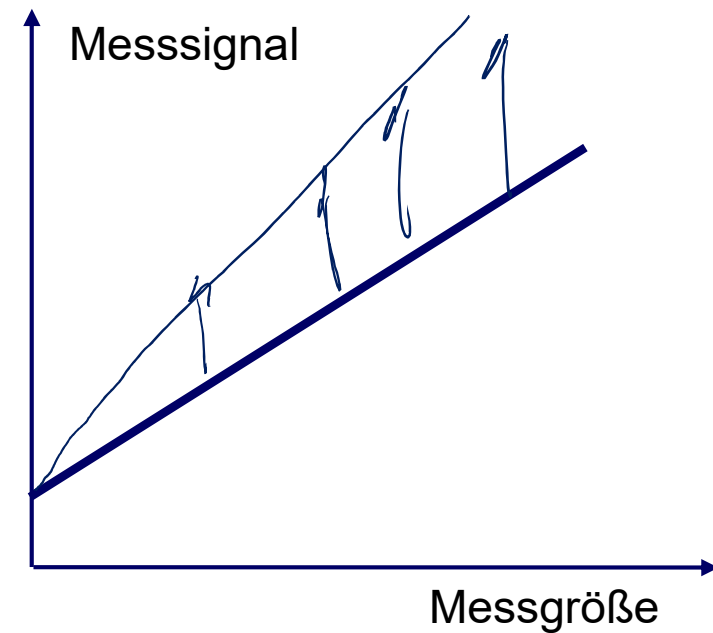
## Messgenauigkeit

### Nullpunktfehler



- Äußere Ursache, z.B. Temperaturdrift
- Innere Ursache, z.B. Langzeitdrift (Alterung)

### Steigungsfehler

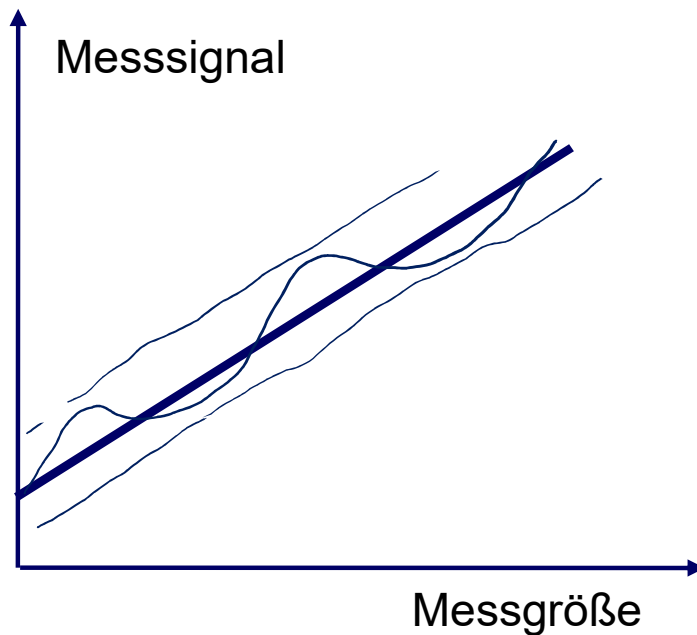


- z.B. Temperatur oder Alterung

# Kenngrößen von Sensoren

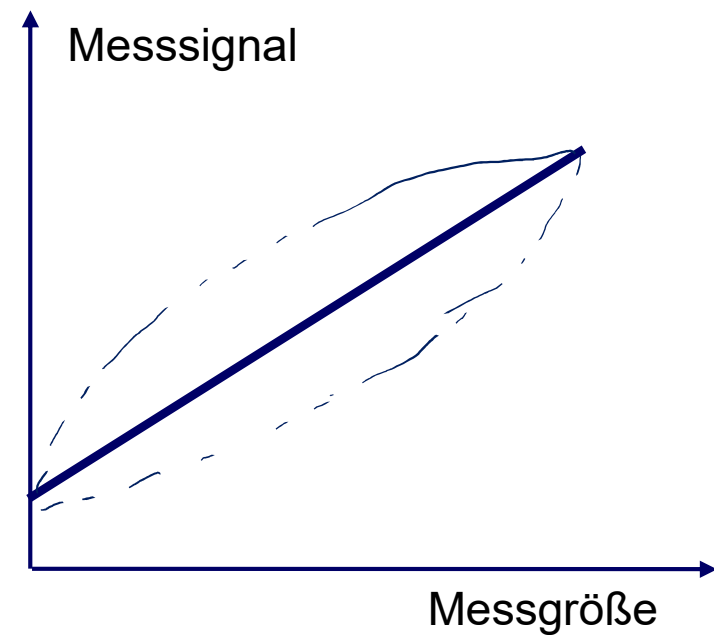
## Messgenauigkeit

### Linearitätsfehler



- z.B. Materialinhomogenitäten oder Abnutzungseffekte

### Hysteresefehler



- Dissipation oder Energiespeicherung, z.B. Reibung oder elektromagnetische Messprinzipien (Ummagnetisierung)

# **Kenngrößen von Sensoren**

## **Messgenauigkeit**

# Kenngrößen von Sensoren

## Überblick

- Messbereich
- Empfindlichkeit
- Messgenauigkeit
- **Auflösung**
- Zulässiger Frequenzbereich

# Kenngrößen von Sensoren

## Auflösung

*„Minimale Änderung der Messgröße, ab der eine Differenzierung im Messsignal möglich ist.“*

# Kenngrößen von Sensoren

## Auflösung

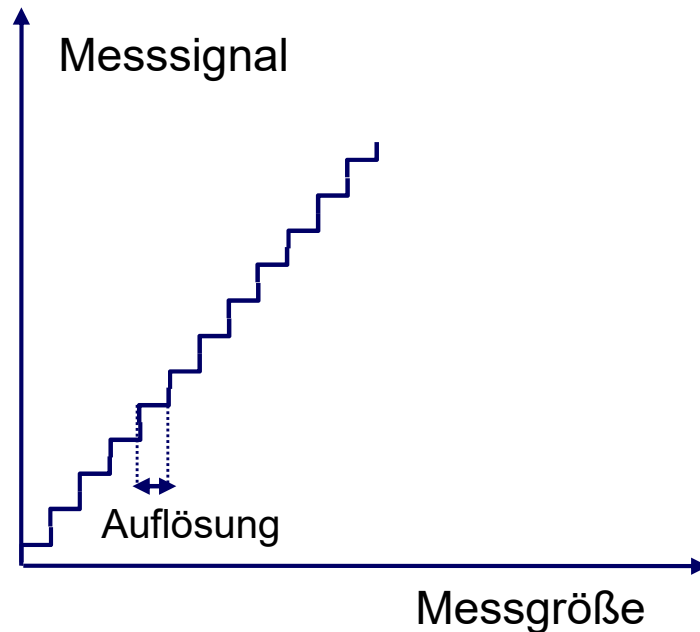
Ursachen für eine reduzierte Auflösung sind

- Unstetigkeit der Messgrößenerfassung
- Ziffernschrittweite
- Rauschanteil
- Amplitudenauflösung bei A/D-Wandlung
- Zeitauflösung bei A/D-Wandlung

# Kenngrößen von Sensoren

## Auflösung

### Unstetigkeit der Messgrößenerfassung



- z.B. Drahtpotenziometer

### Ziffernschrittweite

**12.528,23 N**



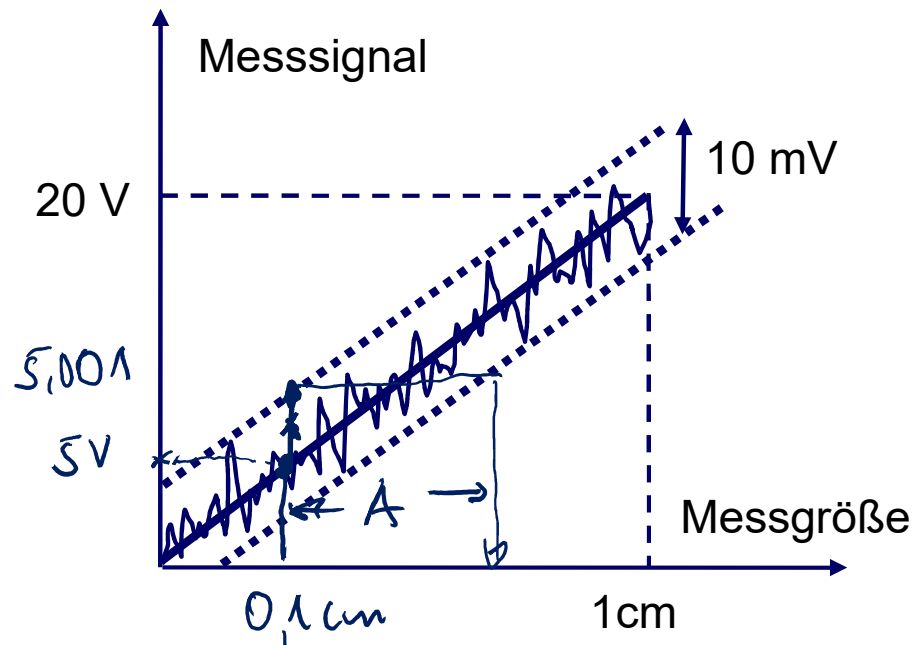
**12.528,24 N**



# Kenngrößen von Sensoren

## Auflösung

### Rauschanteil

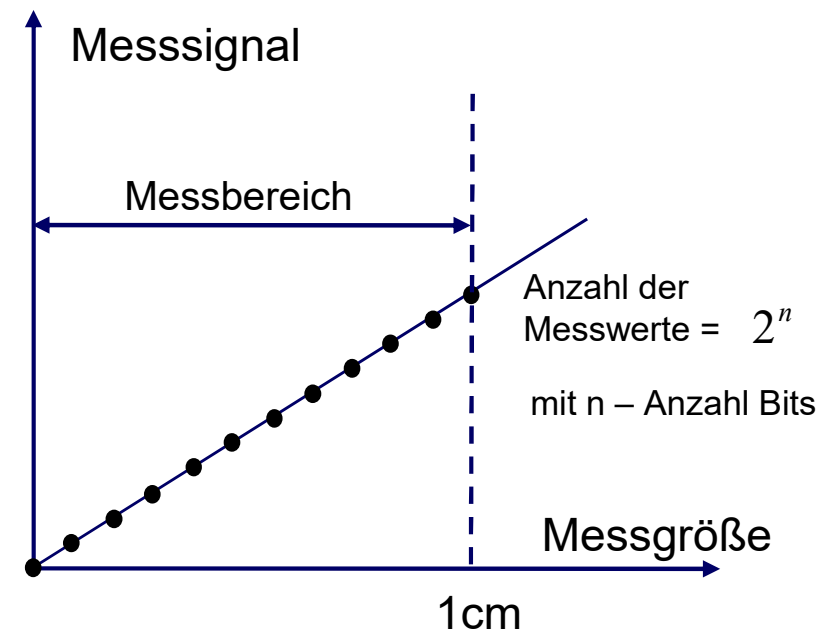


Anzahl der Messwerte  
 $n = 1 \cdot 10^6 / (5 \cdot 10^{-6}) + 1 = 2001$

Auflösung =  $\frac{10 \text{ mV}}{20} \cdot 1 \text{ cm} = 5 \mu\text{m}$

↳ 2001 Messwerte (inkl. 0)

### Amplitudenauflösung bei A/D-Wandlung



$2^n \text{ yue} = 2001 \text{ so } n = 11$

Auflösung =  $\frac{1 \text{ cm}}{2^{11} - 1} = 4,89 \mu\text{m}$

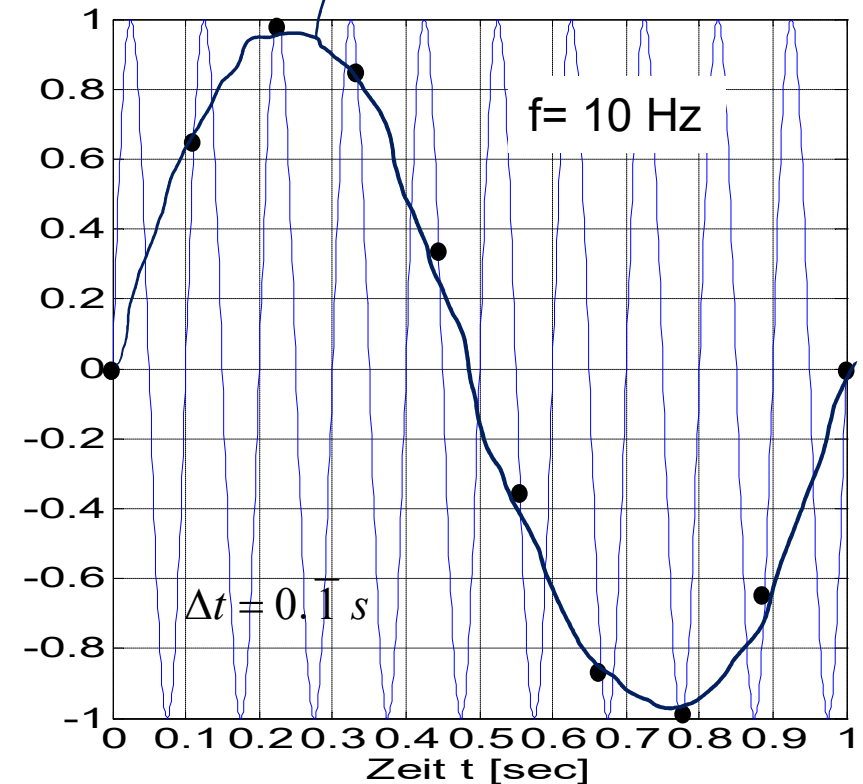
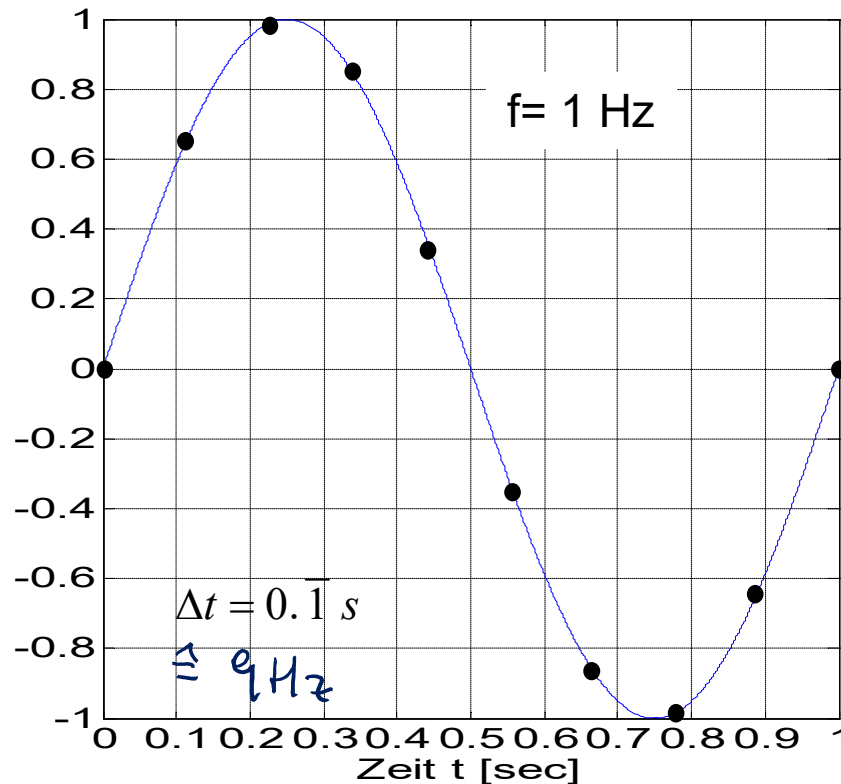
# Kenngrößen von Sensoren

## Auflösung

Abtasten

falsche Abbildung -  
Aliasing Effekt

### Zeitauflösung bei A/D-Wandlung



Shannon Theorem

$$\Delta f_{\text{Abtast}} = \frac{1}{\Delta t_{\text{Abtast}}} > 2 f_{\text{max}}$$

bzw.  $\Delta t_{\text{Abtast}} < \frac{1}{2 f_{\text{max}}}$

Nyquist-Frequenz

$$f_{\text{max}} = 0,5 \Delta f_{\text{Abtast}}$$

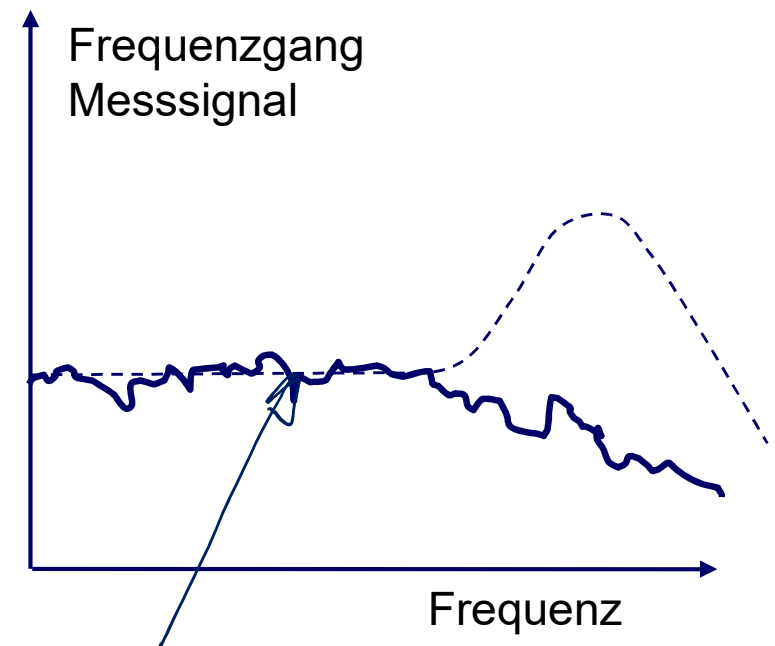
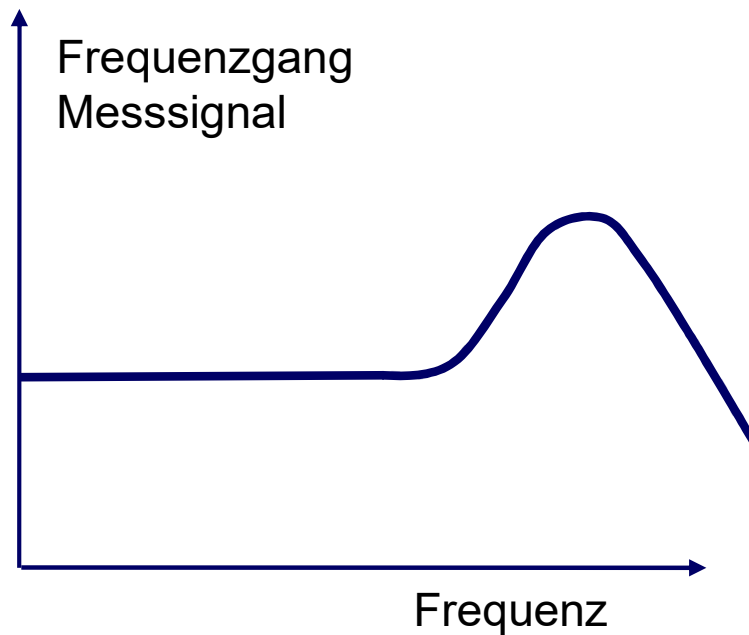
# Kenngrößen von Sensoren

## Überblick

- Messbereich
- Empfindlichkeit
- Messgenauigkeit
- Auflösung
- **Zulässiger Frequenzbereich**

# Kenngrößen von Sensoren

## Zulässiger Frequenzbereich



filtern mit Tiefpass vermeidet  
unrealistische Verstärkung zu  
hochfrequenten Anteile.

# **Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit!**