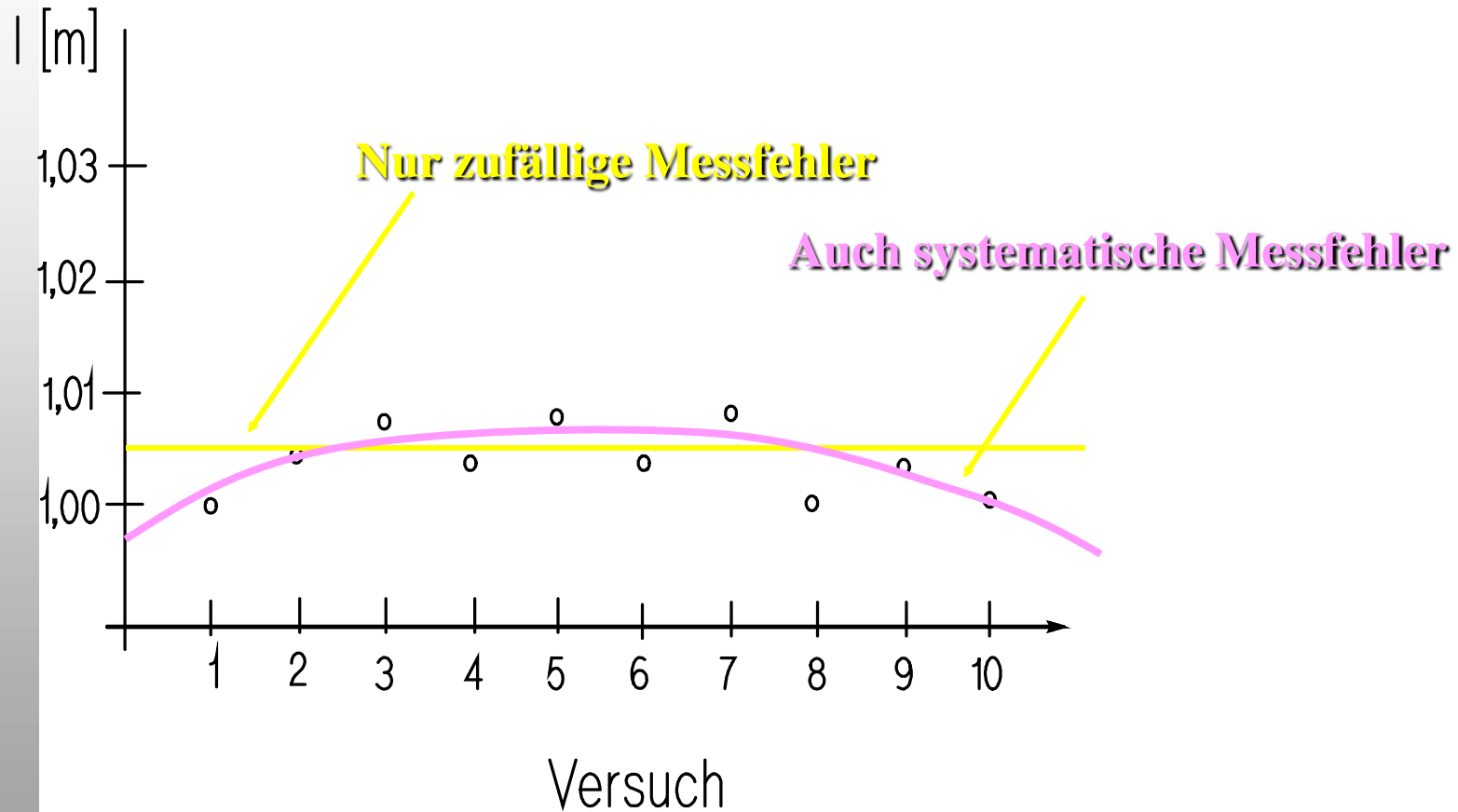


# Systematische Messfehler

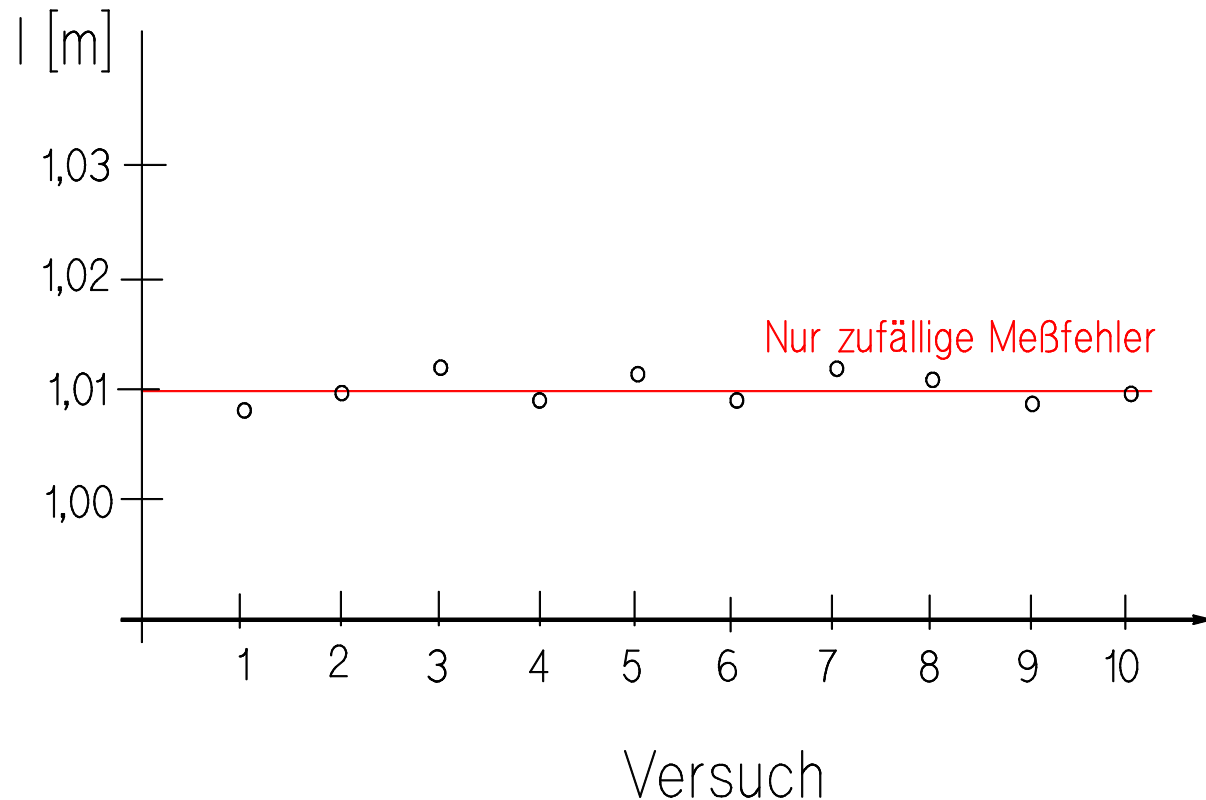
Grundlagen Kapitel 2.6.1



# Messfehlersystematik



# Messfehlersystematik



## Messfehler allgemein:

Abweichungen des Messwerts vom wahren Wert

### Systematische Messfehler:

Jederzeit durch Wiederholung der Messung reproduzierbare Abweichungen vom wahren Messwert

#### Dynamische Fehler:

Nichtideales zeitliches Übertragungsverhalten verursacht Messabweichungen

##### Abtastfehler:

Informationsverlust durch zeitliche Diskretisierung

#### Statische Fehler:

Fehler sind gleichbleibend vorhanden (zeitunabhängig)

##### Linearitätsfehler:

Abweichung vom linearen Zusammenhang zwischen Ein- und Ausgangssignal

##### Nullpunktsfehler:

Veränderung der Ausgangsgröße ohne Änderung der Eingangsgröße

##### Empfindlichkeitsfehler:

Veränderung der Steigung der Kennlinie

##### Hysteresefehler:

Auftreten einer Umkehrspanne

##### Rückwirkungsfehler:

Einwirkung des nachfolgenden Messglieds auf das Messsignal

##### Auflösungsfehler:

Minimale Änderung des Eingangs ist notwendig, um Änderung des Ausgangs zu erzielen

##### Fortpflanzungsfehler:

Fehlerbehaftete Messwerte verursachen bei arithmetischen Verknüpfungen zusätzliche Fehler des Messergebnisses

##### Digitalisierfehler:

Informationsverlust durch Amplitudenquantisierung

### Zufällige Messfehler:

Nicht reproduzierbare Messfehler, Messwerte streuen um einen "besten" Wert

#### Fortpflanzungsfehler:

Fehlerbehaftete Messwerte verursachen bei arithmetischen Verknüpfungen zusätzliche Fehler des Messergebnisses



# Systematische Messfehler

## **Definition: Übertragungsverhalten**

**Unter dem Übertragungsverhalten versteht man die zeitliche Beziehung von Eingangs- zu Ausgangsgrößen.**



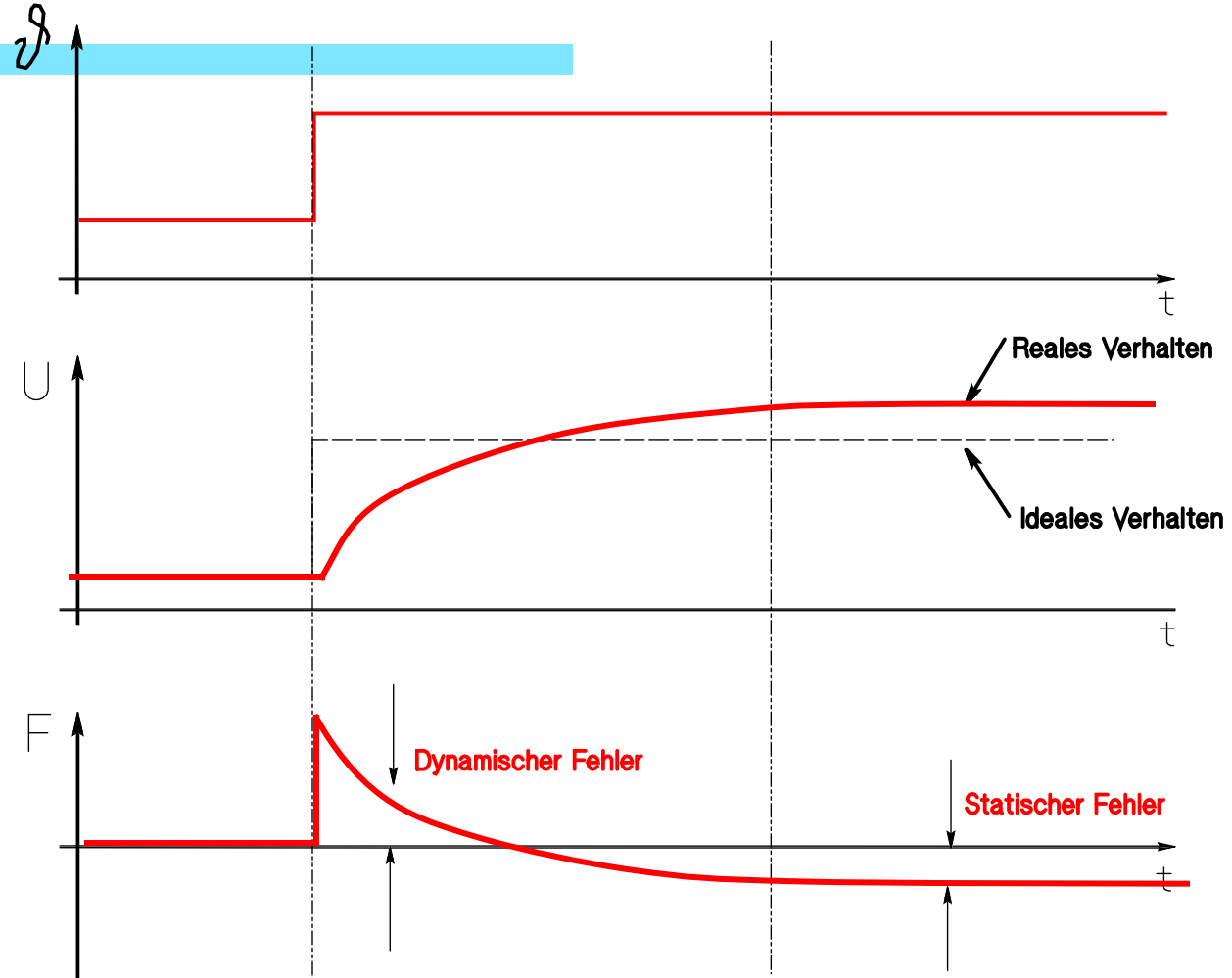
# Systematische Messfehler

**Definition:** Ideales Übertragungsverhalten

$$y(t) = k \cdot x(t)$$



# Systematische Messfehler



# Systematische Messfehler

## **Definition: Dynamischer Fehler**

**Der dynamische Fehler ist vom zeitlichen Verlauf der Signale eines Messsystems abhängig.**

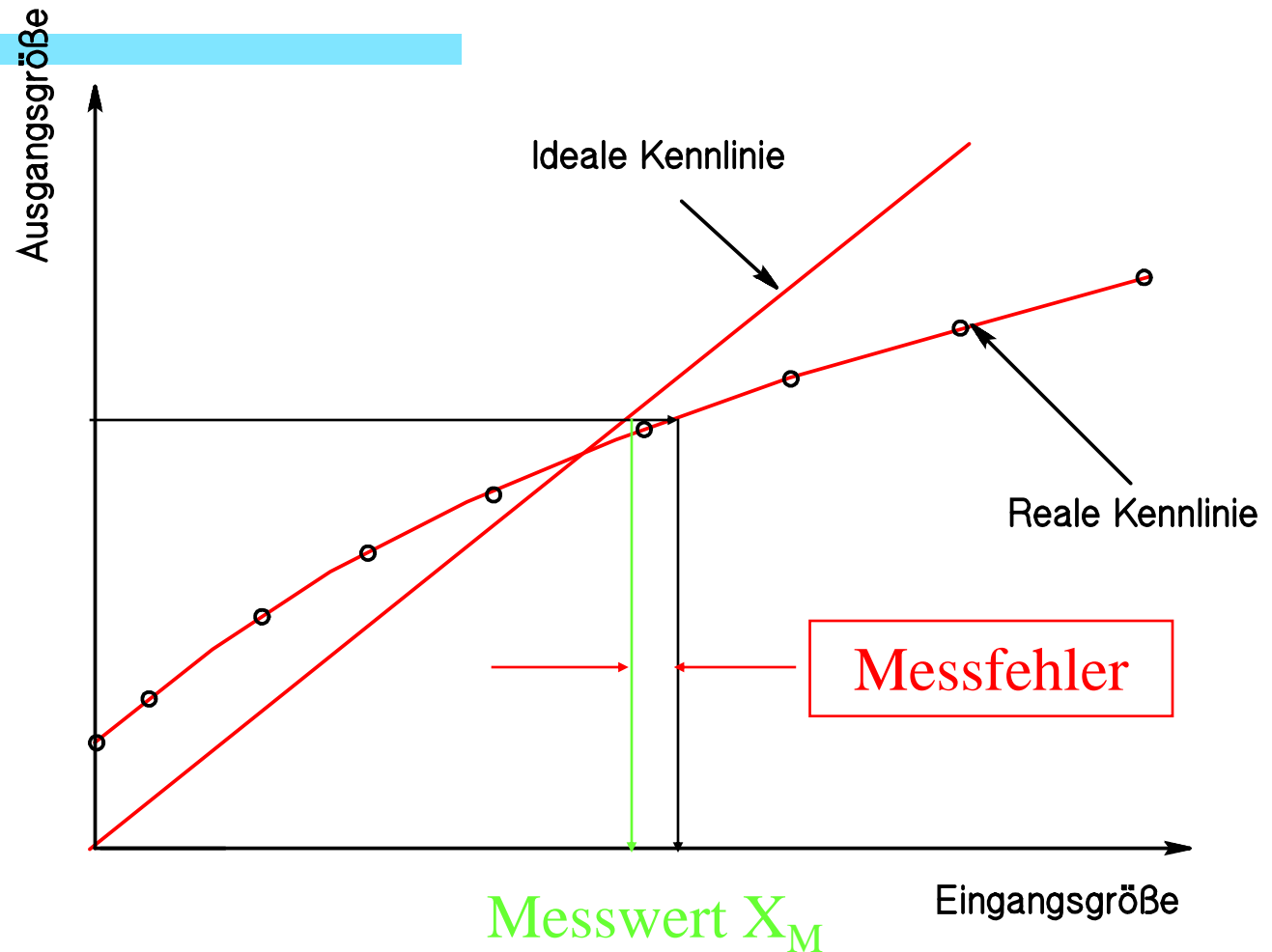
## **Definition: Statischer Fehler**

**Der statische Messfehler ist im allgemeinen nur von der Größe des Messwerts abhängig und selbst keine Funktion der Zeit.**





# Systematische Messfehler



# Systematische Messfehler

Messwert = Messgliedkoeffizient ·  
Messsignal

$$x = C \cdot y$$



# Systematische Messfehler

## Definition: Nichtlinearität

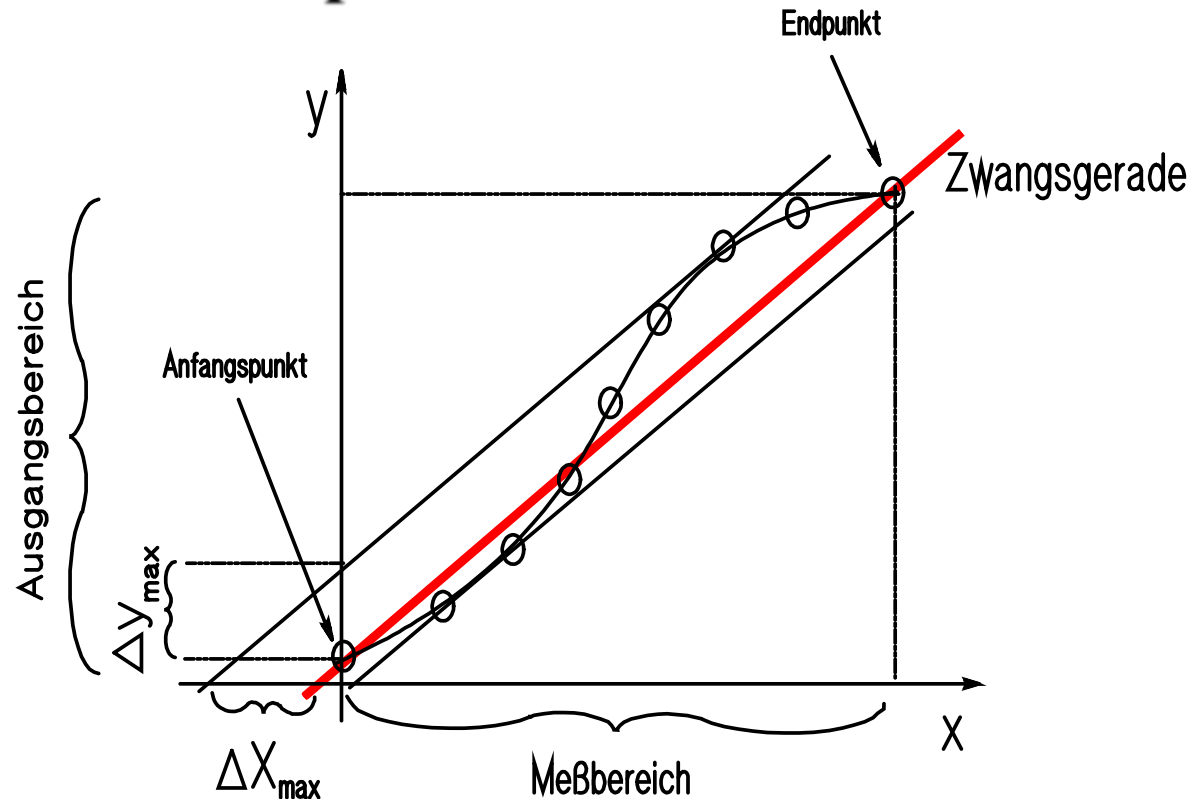
**Die Nichtlinearität oder der relative Linearitätsfehler einer Größe ist deren maximale Abweichung von einer Geraden, bezogen auf den überdeckten Bereich.**

$$f_{\text{NL}} = \frac{\Delta X_{\text{max}}}{\text{Messbereich}} = \frac{\Delta y_{\text{max}}}{\text{Anzeigebereich}}$$



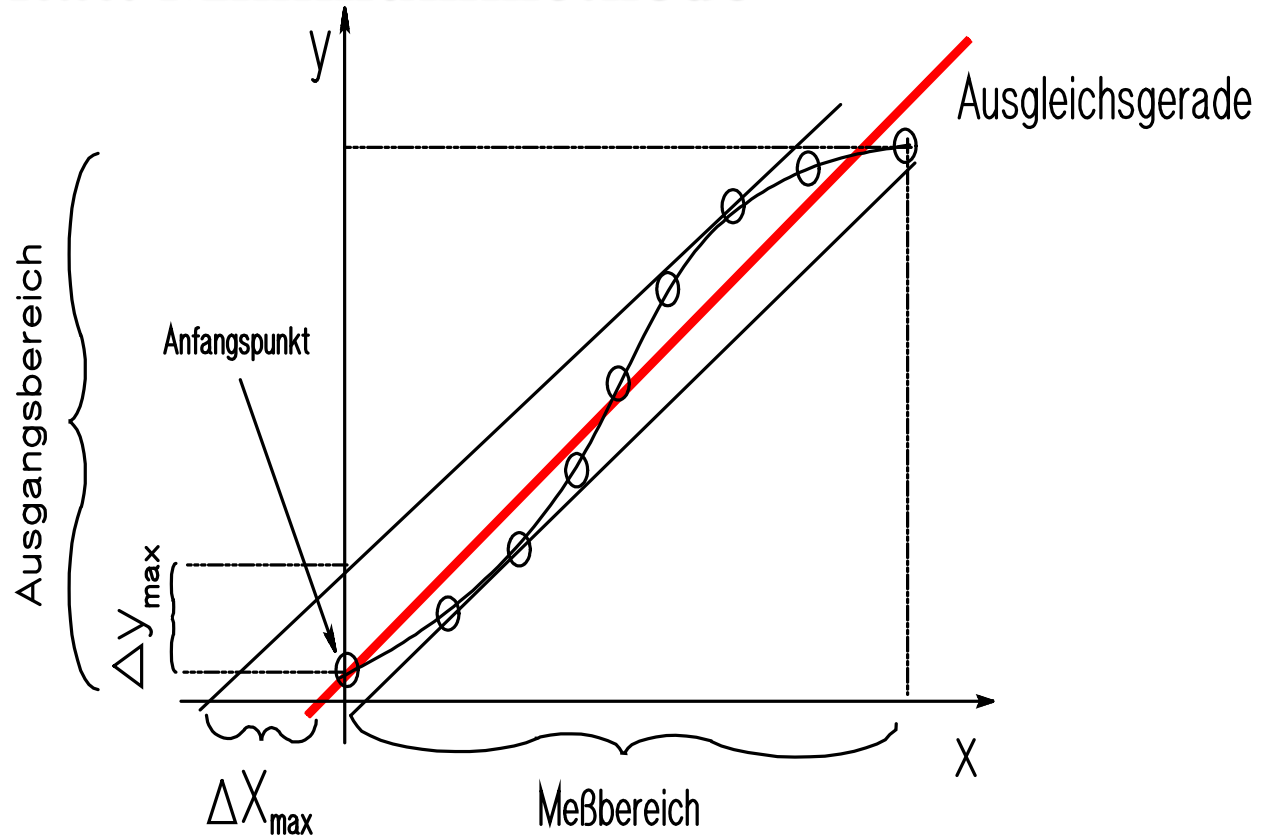
# Systematische Messfehler

## Nichtlinearität: Festpunktmethode



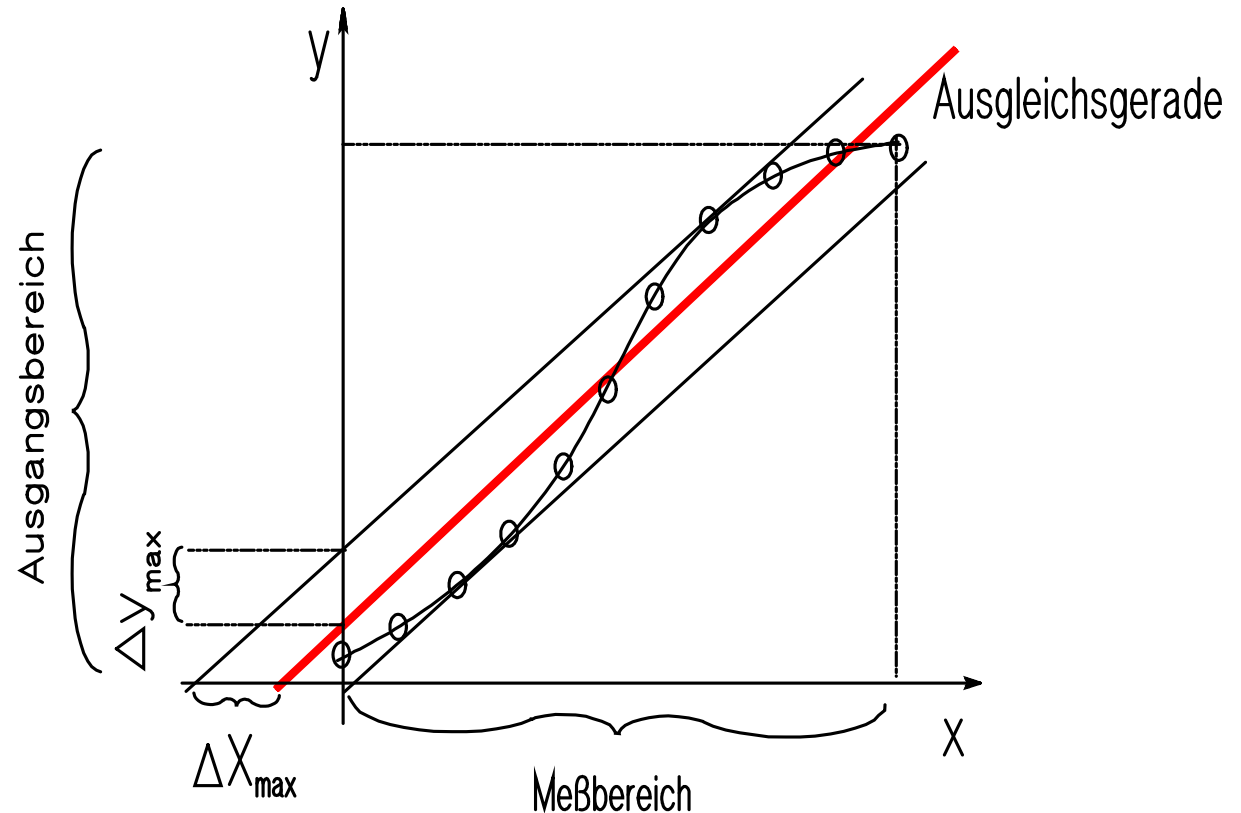
# Systematische Messfehler

## Nichtlinearität: Minimummethode



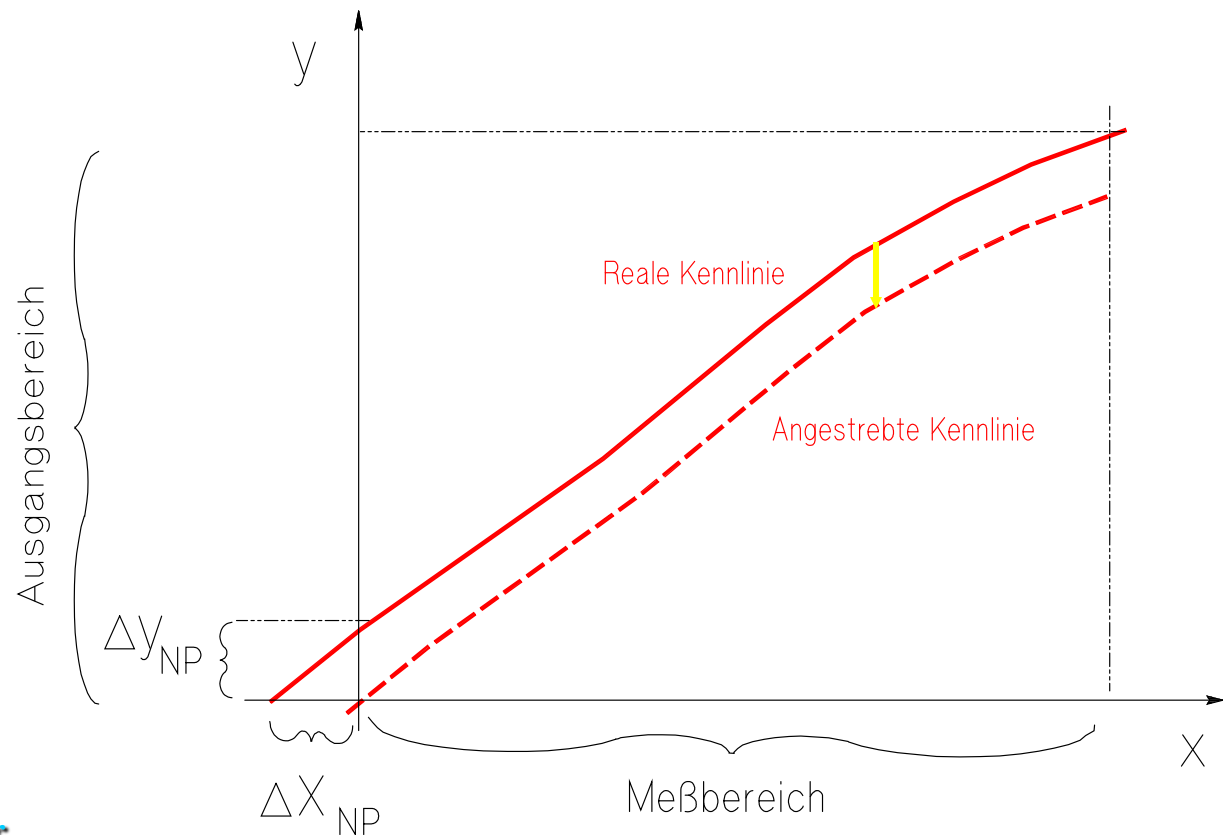
# Systematische Messfehler

## Nichtlinearität: Toleranzbandmethode



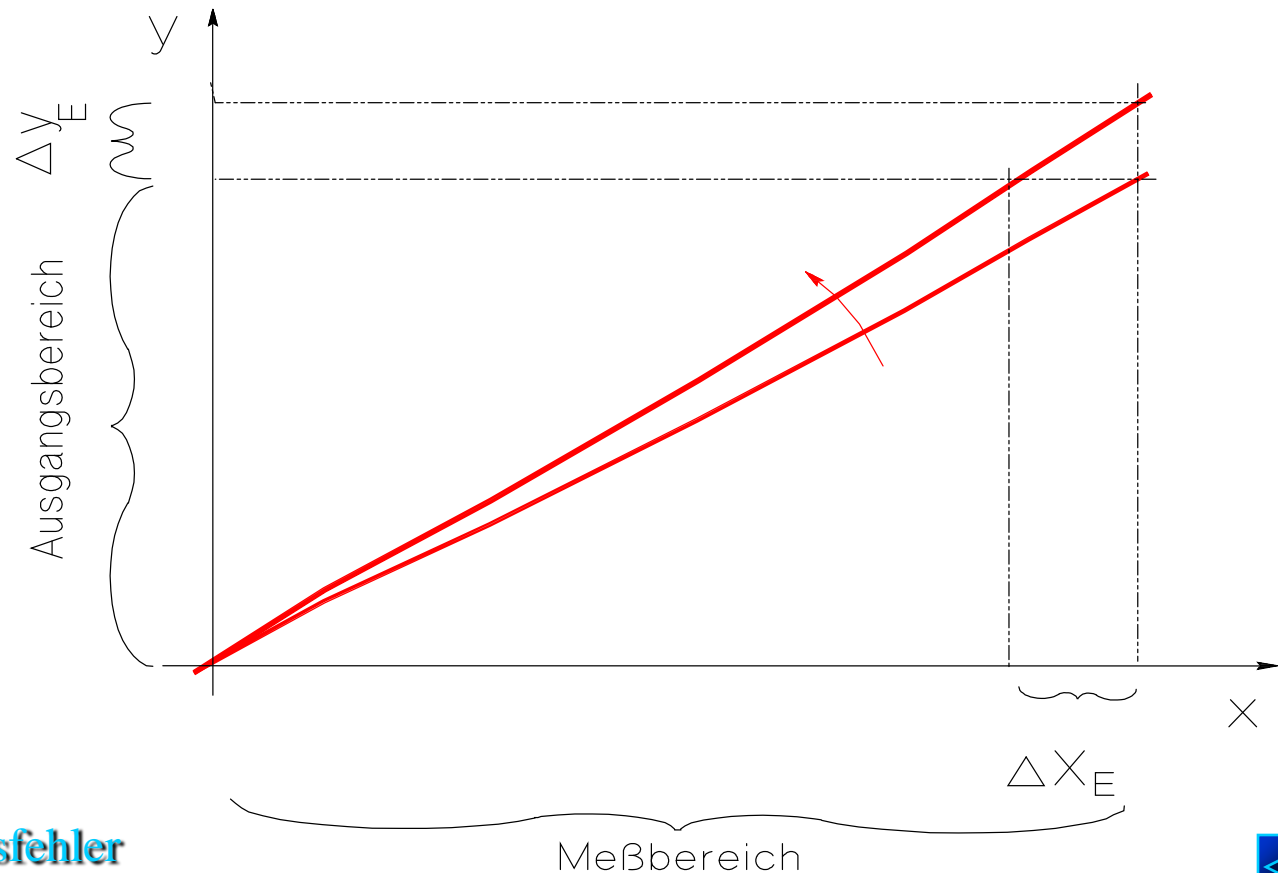
# Systematische Messfehler

## Nullpunktsfehler



# Systematische Messfehler

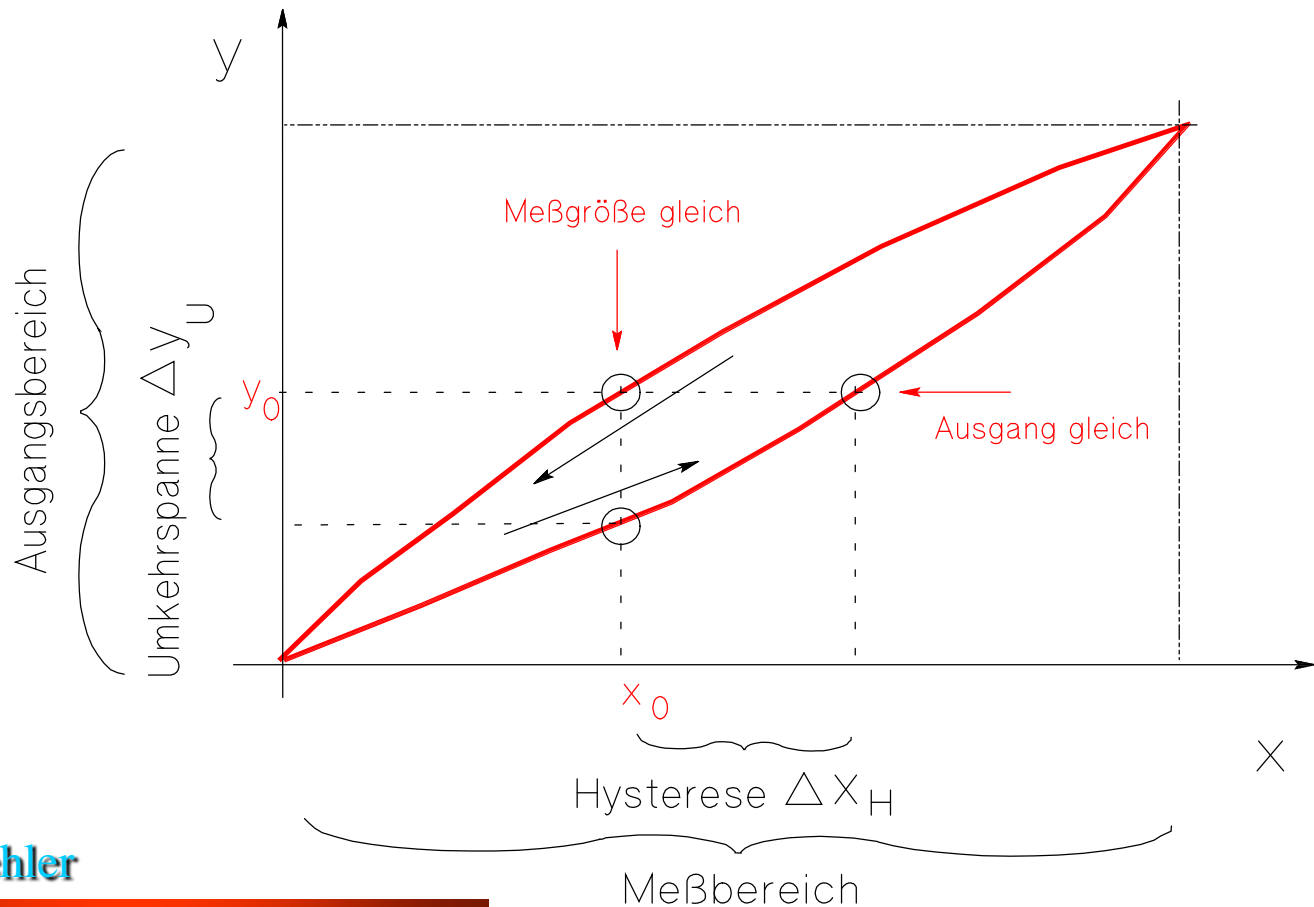
## Empfindlichkeitsfehler





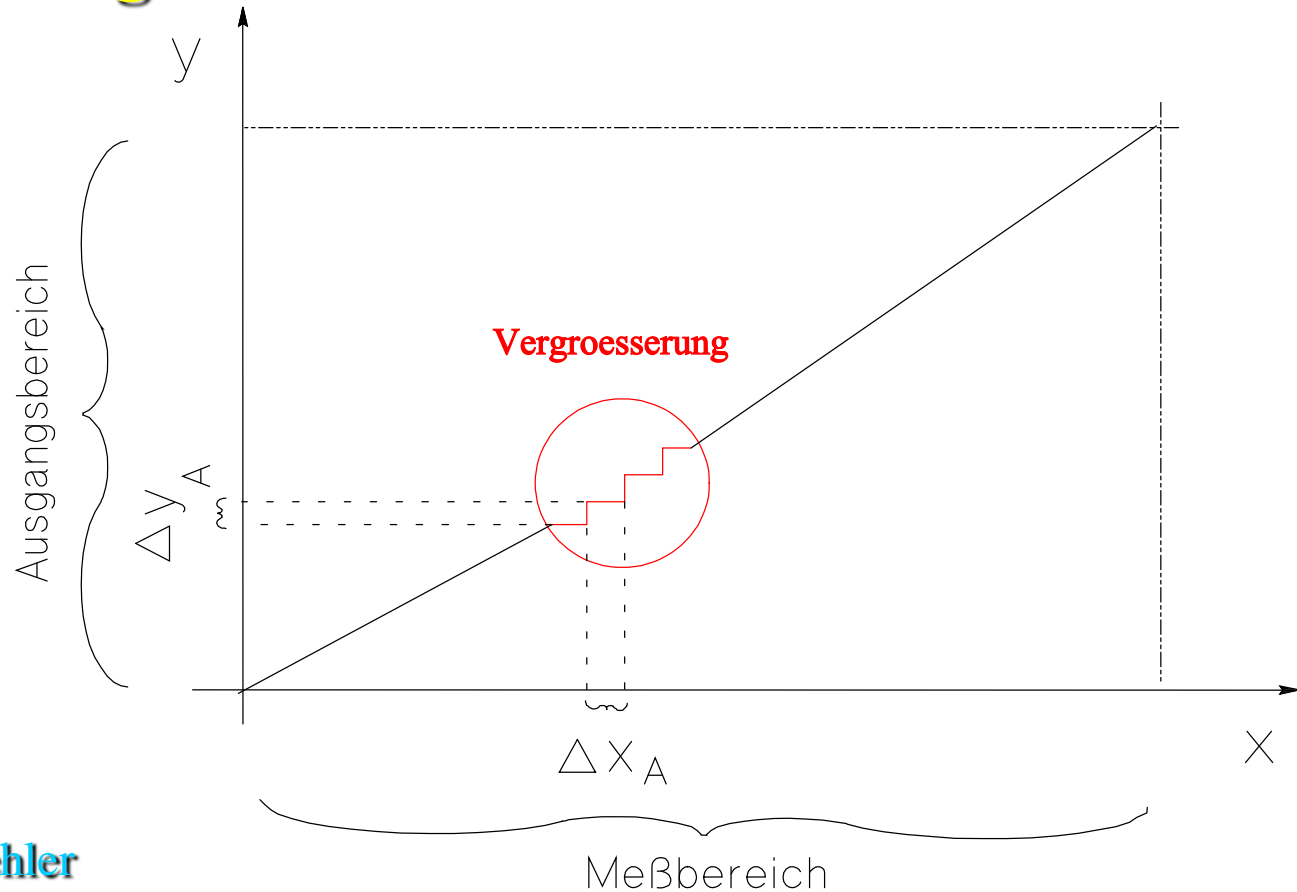
# Systematische Messfehler

## Hysteresefehler



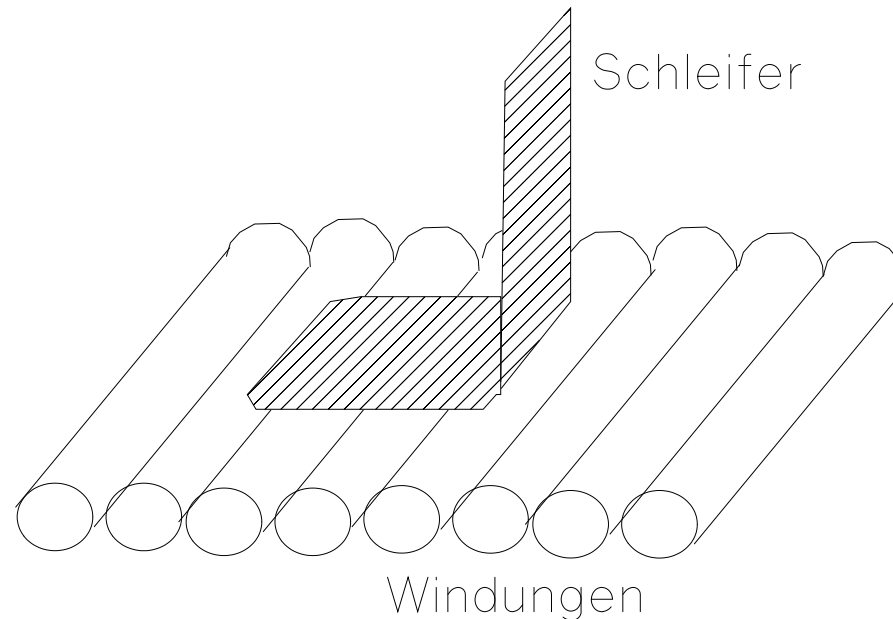
# Systematische Messfehler

## Auflösungsfehler



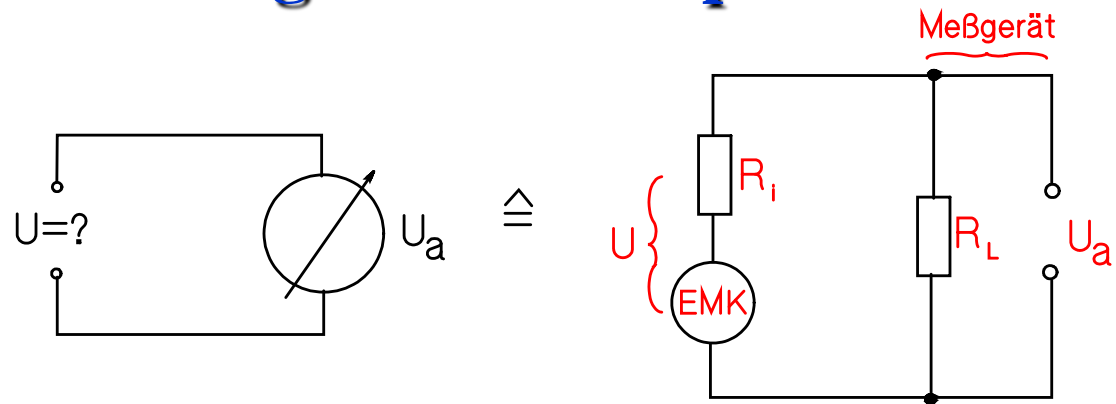
# Systematische Messfehler

## Auflösungsfehler: Drahtpotentiometer



# Systematische Messfehler

## Rückwirkungsfehler: Beispiel



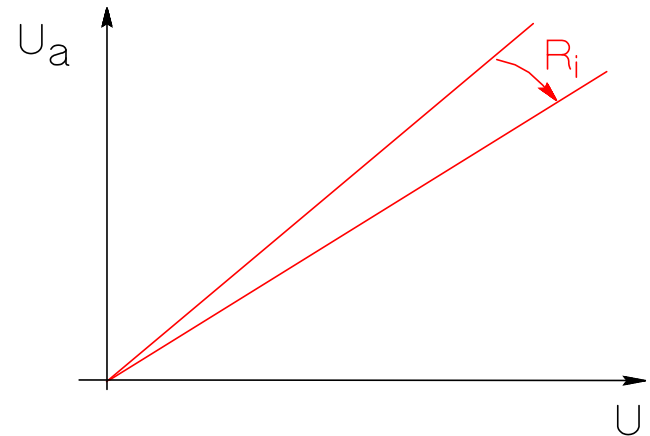
$$U_a = \frac{R_L}{R_i + R_L} \cdot U = \frac{1}{1 + \frac{R_i}{R_L}} \cdot U = \left( 1 - \frac{R_i}{R_L} + \left( \frac{R_i}{R_L} \right)^2 - \dots \right) \cdot U$$
$$\approx \left( 1 - \frac{R_i}{R_L} \right) \cdot U \quad \text{falls } R_i \ll R_L$$

# Systematische Messfehler

## Rückwirkungsfehler: Beispiel

$$U_a = \frac{R_L}{R_i + R_L} \cdot U = \frac{1}{1 + \frac{R_i}{R_L}} \cdot U = \left( 1 - \frac{R_i}{R_L} + \left( \frac{R_i}{R_L} \right)^2 - \dots \right) \cdot U$$

$$\approx \left( 1 - \frac{R_i}{R_L} \right) \cdot U \quad \text{falls } R_i \ll R_L$$



**Spannungsmessungen sollen mit möglichst hochohmigen Messgeräten ausgeführt werden.**

# Systematische Messfehler

**Messergebnis:**

$$y = f(x_1, \dots, x_n)$$

$$y \pm \Delta y = f(x_1 \pm \Delta x_1, \dots, x_n \pm \Delta x_n)$$



# Systematische Messfehler

**Totales Differential:**

**Absoluter Fehler:**

$$\Delta y = \sum_{i=1}^n \left. \frac{\partial f(x_1, \dots, x_n)}{\partial x_i} \right|_{x_i (1 \leq i \leq n)} \cdot \Delta x_i$$

**Größter absoluter Fehler:**

$$\Delta y = \sum_{i=1}^n \left| \left. \frac{\partial f(x_1, \dots, x_n)}{\partial x_i} \right|_{x_i (1 \leq i \leq n)} \cdot \Delta x_i \right|$$

# Systematische Messfehler

**Beispiel:**  $l = \frac{a}{2} \cdot t^2 + v_0 \cdot t$

**Größter absoluter Fehler:**

$$\Delta l_G = + \left[ \left| \frac{\partial l}{\partial a} \Delta a \right| + \left| \frac{\partial l}{\partial t} \Delta t \right| + \left| \frac{\partial l}{\partial v_0} \Delta v_0 \right| \right]_{a, v_0, t_1} = + \left[ \left| \frac{1}{2} t^2 \cdot \Delta a \right| + \left| (a \cdot t + v_0) \cdot \Delta t \right| + \left| t \cdot \Delta v_0 \right| \right]_{a, v_0, t_1}$$

$$\Delta l_G = +19 \text{ m}$$

$$f_1 = \frac{\Delta l_G}{l_G} = \frac{+19 \text{ m}}{600 \text{ m}} = +3,2 \%$$

