

# INHALTSVERZEICHNIS

<b>1. GRUNDLEGENDE BEGRIFFE UND DEFINITIONEN</b>	<b>5</b>
<b>1.1. Fundamentale Voraussetzungen</b>	<b>5</b>
<b>1.2. Normale und deren Einheiten</b>	<b>5</b>
1.2.1. Basisgrößen	5
1.2.2. Abgeleitete Größen	5
<b>1.3. Einheiten und Vorsätze</b>	<b>5</b>
<b>1.4. Allgemeine Begriffe / idealisiertes Blockschema</b>	<b>5</b>
<b>1.5. Meßverfahren</b>	<b>6</b>
1.5.1. Direkte und indirekte Meßverfahren	6
1.5.2. Analoge und digitale Meßverfahren	6
1.5.3. zeitlich kontinuierliche und diskontinuierliche Meßwerte	6
1.5.4. Ausschlagsverfahren und Kompensationsverfahren	6
<b>2. MEßFEHLER UND IHRE URSACHEN</b>	<b>6</b>
<b>2.1. Repräsentativität und Repräsentativitätsfehler</b>	<b>6</b>
<b>2.2. Allgemeines Blockschalbild des fehlerbehafteten Meßsystems</b>	<b>8</b>
2.2.1. Fehler, Korrektion	8
2.2.2. Rückwirkung des Meßvorgangs auf die Meßgröße (Bürde)	8
2.2.3. Superponierende äußere Störungen	8
2.2.4. Deformierende äußere Störungen	9
2.2.5. Innere Störung	9
<b>2.3. Fehler beim Meßvorgang und bei der Auswertung</b>	<b>9</b>
2.3.1. Systematische Fehler	10
2.3.2. Zufällige Abweichungen	10
2.3.3. Statische Fehler	15

---

2.3.4. Dynamische Fehler	16
2.3.5. Auswertungsfehler	17
2.3.6. Fehlercharakteristika von Meßgeräten	17
2.3.7. Darstellung des Meßergebnisses	18
<b>3. MESSUNG GEOMETRISCHER GRÖßEN</b>	<b>18</b>
<b>3.1. berührende Meßverfahren</b>	<b>19</b>
3.1.1. Meßschieber, Tiefenmeßschieber	19
3.1.2. Bügelmeßschreube (Mikrometer)	20
3.1.3. Innenmeßschrauben	21
3.1.4. Meßuhr, Feinzeiger	22
3.1.5. Endmaß	23
3.1.6. Lehren	23
3.1.7. Profiler, Rauigkeitsmeßgerät	24
3.1.8. Resitive Weg- und Winkelaufnehmer	26

---

- Versuche:
- Temperaturmessung
  - Elektronenstrahloszilloskop
  - Drehzahlmessung
  - Polarplanimeter
  - DMS - Dehnungsmeßstreifen
  - DMS – Rosette

- Schaukästen (Meßtechnik):
- bei C 213
  - bei A 117

- Folie (1) { Plato }
- Folie (2) { Meßtechnik – Einordnung }
- Folie (3) { Meßtechnik – Inhaltsübersicht }

Bücher:

<b>Wichtigkeit</b>	<b>Autor</b>	<b>Titel und ISBN-Nr.</b>	<b>Preis (Stand '98)</b>
⑤	P. Profos	Handbuch der industriellen Meßtechnik 3-486-22592-8	ca. 250,-
④	P. Profos	Grundlagen der Meßtechnik 3-486-24148-6	ca. 54,-
④	H. Stetter	Meßtechnik an Maschinen und Anlagen 3-519-06326-3	ca. 42,-
③	H. R. Tränkler	Taschenbuch der Meßtechnik 3-486-23670-9	ca. 52,-
③	E. Schrüfer	Elektrische Meßtechnik 3-446-17955-0	ca. 56,-
②	H. Hart	Einführung in die Meßtechnik	ca. 30,-

---

		3-341-00672-9	
②	W. Dutschke	Fertigungsmeßtechnik 3-519-.....-X	ca. 42,-
außer Konkurrenz	Dubbel	Taschenbuch für den Maschinenbau 3-540-18009-5	

---

## **1. Grundlegende Begriffe und Definitionen**

### ***1.1. Fundamentale Voraussetzungen***

Folie (4) { Fundamentalvoraussetzungen }

### ***1.2. Normale und deren Einheiten***

Folie (5) { Normale }

#### ***1.2.1. Basisgrößen***

Folie (6) { Basisgrößen }

Folie (7) { Basisgrößen / Basiseinheiten }

#### ***1.2.2. Abgeleitete Größen***

Folie (8) { Abgeleitete Größen / SI-Einheiten }

### ***1.3. Einheiten und Vorsätze***

Folie (9) { Vorsätze / Vorsatzzeichen }

### ***1.4. Allgemeine Begriffe / idealisiertes Blockschema***

Folie (10) { Begriffe }

Folie (11) { Begriffe }

---

## **1.5. Meßverfahren**

### *1.5.1. Direkte und indirekte Meßverfahren*

Folie (12) {

Folie (13)

### *1.5.2. Analoge und digitale Meßverfahren*

Folie (14)

Folie (15)

Folie (16)

### *1.5.3. zeitlich kontinuierliche und diskontinuierliche Meßwerte*

Folie (17)

### *1.5.4. Ausschlagsverfahren und Kompensationsverfahren*

Folie (18)

## **2. Meßfehler und ihre Ursachen**

### **2.1. Repräsentativität und Repräsentativitätsfehler**

⇒ Repräsentativität: Meßgröße → Aufgabengesetz → Meßwert

- Temperaturmessung in einem Raum
    - Heizung
    - Fenster
    - Boden
    - Decke
    - ...
  
  - Umfrage
    - alle Gesellschaftsschichten
    - alle Einkommens- und Altersklassen
    - ...
-

- ⇒ Repräsentativitätsfehler: Verletzung des Aufgabengesetzes
- falsche Formel
  - falsche Probenentnahme
  - falsche Meßart
  - unzulässige Meßbedingungen während der  
Messung  
(Spezifikation!)
- ⇒ falsches Meßergebnis
- ⇒ Fehler nur schwer zu finden / nachzuvollziehen
-

## 2.2. Allgemeines Blockschaltbild des fehlerbehafteten Meßsystems

Folie (19)

### 2.2.1. Fehler, Korrektion

$$E = x_a - X \quad \text{Fehler (Error)}$$

↳ wahrer Wert

↳ angezeigter Wert

$$B = X - x_a \quad \text{Berrichtigung (Korrektion)}$$

### 2.2.2. Rückwirkung des Meßvorgangs auf die Meßgröße (Bürde)

- Bsp.:
- zu hoher Innenwiderstand bei Strommeßgerät
  - zu geringer Innenwiderstand bei Spannungsmessgerät
  - T-Messung mit resistiven (Widerstands-) Aufnehmern: Erwärmung
  - T-Messung mit Thermoelementen: Abkühlung
  - Volumenmessung bei Druckmessung
  - Mechanische Verformung durch hohe Meßkräfte

**FOLGE:** falscher Meßwert

### 2.2.3. Superponierende äußere Störungen

- Bsp.:
- Seismograph und Marschkolonne
  - Elektrische Streufelder induzieren Signale
  - Kompaß und magnetische Streufelder
  - l-Ausdehnung bei T-Änderung
-



- Verschmutzte Oberflächen bei Längenmessung

**FOLGE:** falscher Meßwert

#### *2.2.4. Deformierende äußere Störungen*

- Bsp.:
- Hohe Umgebungstemperatur am Meßgeräte
  - Zu hohe Luftfeuchtigkeit am / im Meßgerät
  - Stark sich ändernder Luftdruck am Meßgerät
  - Mangelnder thermischer Kontakt in Flüssigkeiten / Gasen
  - Mangelnder elektrischer Kontakt bei U- / I-Messungen

**FOLGE:** -falscher Meßwert

#### *2.2.5. Innere Störung*

- Bsp.:
- Innere Streufelder in der Meßeinrichtung
  - Verschmutzung im Meßgerät
    - Reibung
    - Spiel, toter Gang
    - abgenutzte Meßflächen
  - Steigungsfehler an Meßspindeln
  - Teilungsfehler an Skalen und Anzeigen

**FOLGE:** falscher Meßwert

### ***2.3. Fehler beim Meßvorgang und bei der Auswertung***

- Systematische oder zufällige Fehler
  - Statische oder dynamische Fehler
-

- Auswertungsfehler
- Fehlercharakteristika von Meßgeräten
  
- ➔ Abweichung vom wahren Wert: Fehler
- ➔ Meßergebnis immer mit einer Unsicherheitsangabe

2.3.1. Systematische Fehler

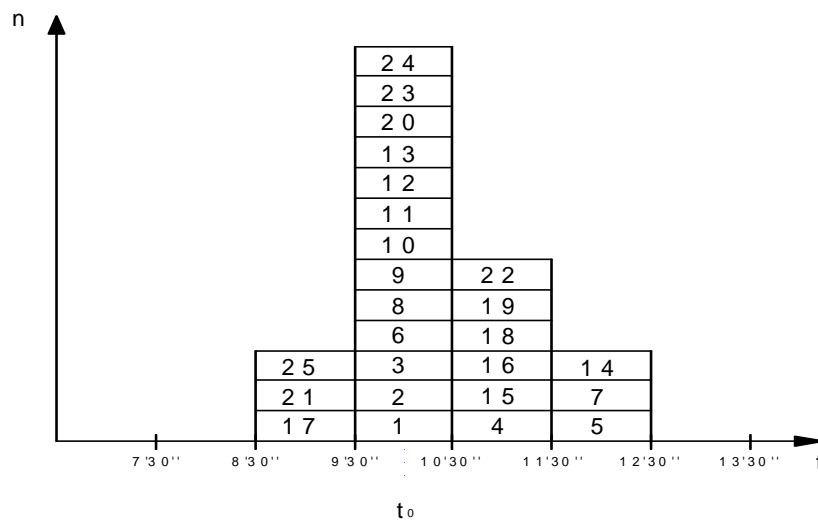
(Taylor Reihe)

Folie (20)

Folie (21)

2.3.2 Zufällige Abweichungen

(zufällige Meßfehler : aleatorische Meßfehler)



Folie (22)

Folie (23)

Folie (24)

Folie (25)

Folie (26)

Folie (27)

Folie (28)

Folie (29)

Verteilungsfunktionen: - Zufallfunktion → Gauß (Gaußsche Glockenkurve)  
 - v in Gasen → Boltzmann (ideale Gasgleichung)  
 -

Übergang von der Treppenfunktion zur stetigen Funktion:

$$h(x) = \lim_{\substack{\Delta x \rightarrow 0 \\ n \rightarrow \infty}} \frac{1}{n} * \frac{\Delta n}{\Delta x}$$

$$= \lim_{n \rightarrow \infty} \frac{1}{n} * \frac{dn}{dx}$$

= Wahrscheinlichkeitsdichteverteilung

Wahrscheinlichkeit P

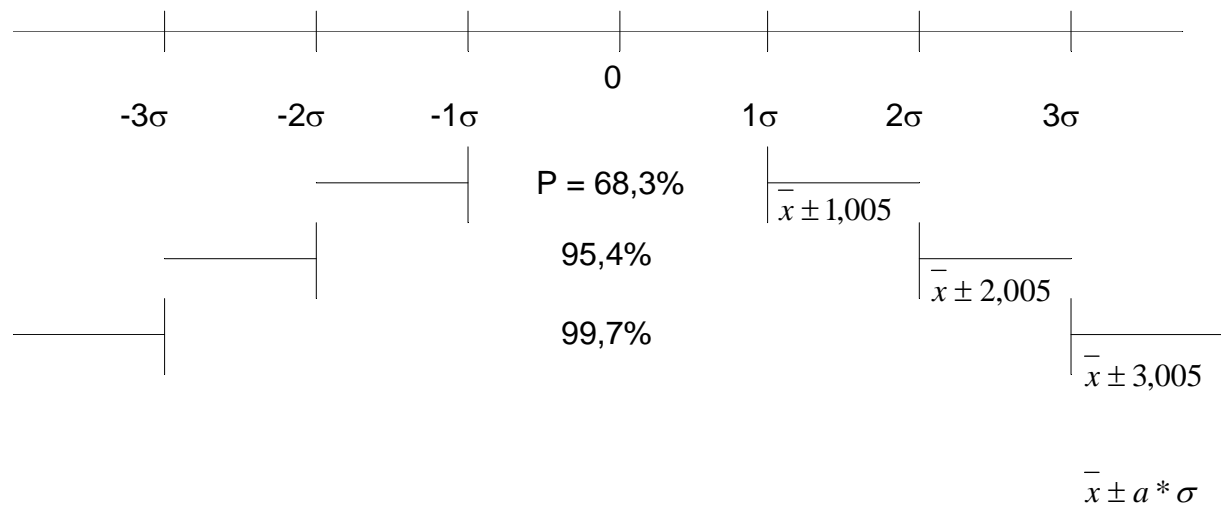
$$P(-\infty < x \leq +\infty) = \int_{-\infty}^{+\infty} h(x) dx = \lim_{n \rightarrow \infty} \frac{\Delta n}{n} \Big|_{-\infty}^{+\infty}$$

$$F = \int_{x_1}^{x_2} h(x) dx = P(x_1 < x \leq x_2)$$

Definition: Dichtefunktion der Gaußverteilung

$$h(x) = \frac{1}{\sigma * \sqrt{2\pi}} * e^{-\frac{(x_{di} - \mu)^2}{2\sigma^2}} ; \quad -\infty < x \leq +\infty$$

{Hinweis auf Praktikumsskript Physik 2. Sem.: statistische Wahrscheinlichkeit}



Meßergebnis:  $X = \bar{x} \pm \frac{a \cdot \sigma}{\sqrt{n}}$  ;  $\sigma =$  Wendepunkt der Glockenkurve

Varianz:  $\sigma^2 \rightarrow \sigma^2 = \lim_{n \rightarrow \infty} \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_{ai} - \mu)^2$  für  $n \rightarrow \infty$

Standardabweichung  $\sigma \rightarrow \sigma = \sqrt{\sigma^2}$  für  $n \rightarrow \infty$

da  $\mu$  (Erwartungswert) nicht erfaßbar  $\rightarrow$  Schätzwert für  $\mu$

$$\hat{x} = \bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_{ai} \quad \text{für } n \ll \infty$$

Streuung  $s^2 \rightarrow s^2 = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_{ai} - \bar{x})^2$  für  $n \ll \infty$

(Schätzwert für Varianz)

„Standardabweichung“  $s$

$$s = \sqrt{s^2} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_{ai} - \bar{x})^2}{n-1}}$$

(Schätzwert für Standardabweichung) für  $n \ll \infty$

---

Unterschiede	Varianz $\sigma^2$	$\longleftrightarrow$	Streuung $s^2$	
	$n \rightarrow \infty$		$n \ll \infty$	
	Faktor $\frac{1}{n}$		Faktor $\frac{1}{n-1}$	
	$\mu$		$\bar{x}$	
Ergebnisangabe				
mit Meßun-	$x = \mu \pm \frac{a * \sigma}{\sqrt{n}}$		$x = \bar{x} \pm \frac{t * s}{\sqrt{n}}$	$t = t(P,n)$
Fehlergrenzen:	$a * \sigma$		$t * s$	

Vertrauensgrenze des Mittelwertes:

P [%]	50	68,3	95	99	99,7
a	0,68	1	1,96	2,58	3

Fehlerfortpflanzung der zufälligen Meßfehler

$$Y = f(x_1, x_2, x_3, \dots, x_n)$$

Jede Meßgröße (Einflußgröße)  $x_1, x_2, x_3, \dots, x_n$  wurde wiederholt gemessen.

⇒ Mittelwerte  $\bar{x}_1, \bar{x}_2, \bar{x}_3, \dots, \bar{x}_n$

⇒ (Schätzwerte für die) Standardabweichungen  $s_1, s_2, s_3, \dots, s_n$

a) Bestimmung des Mittelwertes  $\bar{y}$

$$\bar{y} = f(\bar{x}_1, \bar{x}_2, \bar{x}_3, \dots, \bar{x}_n)$$

b) Bestimmung der Standardabweichung

$$s_y = \sqrt{\left(\frac{\partial f}{\partial x_1} * s_1\right)^2 + \left(\frac{\partial f}{\partial x_2} * s_2\right)^2 + \dots + \left(\frac{\partial f}{\partial x_i} * s_i\right)^2}$$

$$s_y = \sqrt{\sum_{i=1}^n \left(\frac{\partial f}{\partial x_i} * s_i\right)^2}$$

$$\text{Ergebnis: } y = \bar{y} \pm \frac{t * s_y}{\sqrt{n}}$$

### Zusammenfassung:

- ⇒ falscher Meßwert
- ⇒ große Streuung möglich
- ⇒ beide Fehlervorzeichen möglich
- ⇒ nicht reproduzierbar
- ⇒ Fehlerkompensation nicht möglich

### 2.3.3. Statische Fehler

Bestimmung zeitlich unabhängiger Meßwerte (alle Einschwingungsvorgänge sind abgeklungen)

- Fehler nur abhängig von der Meßgröße
  - Fehler ist nicht abhängig vom zeitlichen Verlauf der Messung
-

#### 2.3.4. *Dynamische Fehler*

Bestimmung zeitlicher veränderlicher Meßwerte

→ Fehler abhängig von der Meßgröße

→ Fehler auch abhängig vom zeitlichen Verlauf der Messung

---



### 2.3.5. Auswertungsfehler

Fehler im Zusammenhang mit der Auswertung von Meßwerten

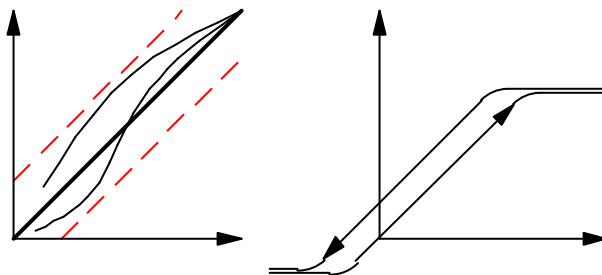
- Ablesefehler
- Schreibfehler / Tippfehler
- Rundungsfehler / Digitalfehler
- Falsche Auswertehypothese (falsche „Formel“)
- Rechenfehler
- Fehlerfortpflanzung durch die gesamte Auswertung
- Quantisierung analoger Meßwerte
- Zeitliche Diskretisierung durch die Auswertung

### 2.3.6. Fehlercharakteristika von Meßgeräten

Eigenschaften von nicht idealen Meßgeräten → Einfluß auf Meßwerte

- Genauigkeit / (Güteklassen)
- Auflösung (Meßwert – Anzeige)
- Reproduzierbarkeit → - kann nicht besser wie Genauigkeit sein  
- Zusammenhang mit Genauigkeit
- Hysteresese, Umkehrspanne, elastische Nachwirkung
- Nullpunktstabilität
- Nullpunktverschiebung / Drift
- Nullpunktunempfindlichkeit, Ansprechwert (analog), Anlaufwert (digital)
- Linearität

Stichwort Toleranzbänder:



2.3.7. Darstellung des Meßergebnisses

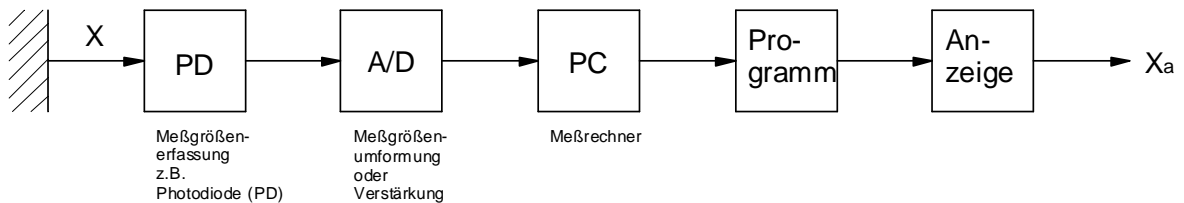
$$X = \mu \pm \frac{a^* \sigma}{\sqrt{n}} \quad \text{für } n \rightarrow \infty$$

$$X = \bar{x} \pm \frac{t^* s}{\sqrt{n}} \quad \text{für } n \rightarrow \infty$$

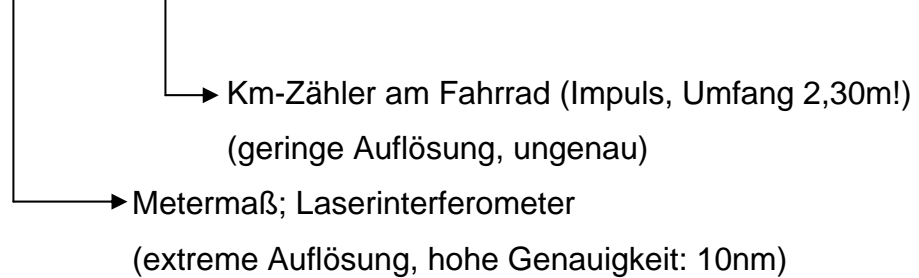
**3. Messung geometrischer Größen**

- geometrische Größen:    Länge [m], Längenänderung, Weg, Abstand  
                                   Fläche [m<sup>2</sup>]  
                                   Volumen [m<sup>3</sup>]  
                                   Winkel [Grad, rad]  
                                   Raumwinkel [srad]

Beispiel eines Funktionsblockschaltbildes (z.B. Laserinterferometer)



Unterscheidung: direktes / indirektes Meßverfahren



Unterscheidung:   berührende Meßverfahren → Bürde  
                          nicht berührende Meßverfahren

### **3.1. berührende Meßverfahren**

#### *3.1.1. Meßschieber, Tiefenmeßschieber*

Komponenten eines Meßschiebers:

- ◆ Schiene mit Hauptteilung in [mm], [Zoll]  
und fester Meßschenkel (rechtwinklig zur Schiene)  
mit Meßfläche für Außenmessung  
mit Meßschneiden für Innenmessung
- ◆ Schieber mit Nonius / Meßmarke  
und beweglicher Meßschenkel  
mit Meßfläche für Außenmessung  
mit Meßschneide für Innenmessung  
mit Tiefenmeßstange  
mit Feststelleinrichtung  
mit Verschleißkompensation (durch Hin-, und Herschieben)

Fehlermöglichkeiten:

- ◆ Parallaxe beim Ablesen
- ◆ Führungsfehler z.B. Verkanten
- ◆ Anlage des Objektes z.B. verkippen, verschieben
- ◆ Bürde durch zu hohe Meßkraft → zufälliger Fehler
- ◆ Verschmutzung → zufälliger Fehler
- ◆ Verschleiß der Meßflächen → systematischer Fehler

Einganggröße:           Länge

Ausgangsgröße:        Länge

Meßbereich:            von 150 mm (typisch) bis zu 2 m

Meßunsicherheit:      1/10mm (100µm); 1/20mm (50µm)

---

Vorteile:           v preiswert

- ◆ einfach
- ◆ klein
- ◆ leicht
- ◆ universal
- ◆ robust
- ◆ schnell

Nachteil:           beschränkte Genauigkeit

### 3.1.2. Bügelmeßschraube (Mikrometer)

Komponenten einer Bügelmeßschraube:

- ◆ Bügel mit Isolierung (Wärme)  
mit Meßamboß, Spindelfeststelleinrichtung
- ◆ Meßspindel (Vergleichsnorm), Steigung typisch 1 oder 0,5 mm pro 360°
- ◆ Skalenhülse mit Hauptteilung
- ◆ Skalentrommel mit Teilung
- ◆ Kupplung / Ratsche (Meßkraftbegrenzung)
- ◆ Schnelltrieb
- ◆ Meßflächen an Amboß bzw. Meßspindel

Fehlermöglichkeiten:

- ◆ Verschmutzung z.B. Meßflächen, Objekt, usf. ...
- ◆ wie Meßschieber

Eingangsgröße:       Länge

Ausgangsgröße:      Länge, Winkel

Meßbereich:          25 mm typisch ( + Bügel )

Meßunsicherheit:     10 µm, 1 µm ( mit Nonius )

Meßkraft:            5 – 10 N ( durch Ratsche begrenzt )

Vorteile:             wie Meßschieber, verbesserte Genauigkeit

Nachteile:            begrenzter Meßbereich, mechanische Empfindlichkeit

---

### 3.1.3. Innenmeßschrauben

- a) Innenmeßschraube mit Meßschnäbeln bzw. Meßschenkeln
- b) Dreipunkt – Innenmeßschraube (selbstzentrierend)
- c) Innenmeßschraube in Stangenform

Komponenten der Innenmeßschrauben je nach Ausführung

- ◆ Meßspindel (Vergleichsnorm), Steigung 0,5 mm, 1 mm
- ◆ Skalentrommel
- ◆ Kupplung / Ratsche zur Meßkraftbegrenzung
- ◆ Klemmvorrichtung, Einstellmuttern

Zu a) Meßschnäbel, Meßschenkel

Zu b) Meßkopf mit 3 Meßpunkten (120° Abstand)

Zu c) Verlängerungen

Fehlermöglichkeiten: wie Bügelmeßschraube, Zentrierung!!

Eingangsgröße: Länge

Ausgangsgröße: Länge, Winkel

Meßbereich: Zu a) 25 mm

Zu b) von 2 mm bis 25 mm

Zu c) 25 mm + Verlängerung

Meßunsicherheit: wie Bügelmeßschraube

Meßkraft: wie Bügelmeßschraube

Vorteile: ◆ wie Bügelmeßschraube

◆ Selbstzentrierung (b), Einsatz von Verlängerungen (c)

Nachteile: ◆ wie Bügelmeßschraube

◆ stark verkürzter Meßbereich

---

### 3.1.4. Meßuhr, Feinzeiger

- Meßuhr mit Zahnradübersetzung
  - Meßuhr mit Bandtrieb
  - Feinzeiger mit Skala  $< 360^\circ$
- } Skala  $n \cdot 360^\circ n$ ;  $n \geq 1$

Komponenten der Meßuhr:

- ◆ Meßbolzen mit unterschiedlichen Ausführungen der Spitzen
- ◆ Übertragungsmechanismus (Bolzenbewegung  $\rightarrow$  Zeigerbewegung) mit Rückholfeder
- ◆ Zeiger, Skala, mehrere Anzeigen (grob, fein)
- ◆ Meßhebel (Stativ)

Fehlermöglichkeiten:

- ◆ Parallaxefehler, Verschmutzung, Justagefehler
- ◆ Spiel im Übertragungmechanismus
- ◆ Reibung im Übertragungmechanismus (Umkehrspanne – Hysterese)
- ◆ Abnützung der Meßspitze

Eingangsgröße:	Länge
Ausgangsgröße:	Winkel, Bogenlänge
Meßbereich:	je nach Ausführung 1 ... 5 ... 30 mm
Meßunsicherheit:	je nach Ausführung 1 $\mu\text{m}$ ... 100 $\mu\text{m}$
Meßkraft:	1 N und weniger
Vorteile:	Messung von beweglichen Teilen möglich (Rundlauf, Ebenheit, Parallelität) Punktmessung
Nachteile:	<ul style="list-style-type: none"> <li>◆ braucht ein Stativ, Bezugspunkt</li> <li>◆ mechanische Empfindlichkeit</li> <li>◆ beschränkter Meßbereich</li> </ul>

### 3.1.5. Endmaß

Kein Meßgerät, sondern Maßverkörperung

Komponenten: ein quaderförmiges Element  
Werkstoff: Hartmetall, Keramik

Fehlermöglichkeiten:  
◆ Verschmutzung  
◆ Beschädigung  
(◆ T-Abhängigkeit)

### 3.1.6. Lehren

Normallehren: → Formlehren (Winkel, Radien, Formen, u.ä.)  
→ Maßlehren

Grenzlehren: → Bohrungslehren (für Innenmaße)  
→ Wellenlehren (für Außenmaße)

Komponenten: 1 Stahlelement mit definierten Lehrmaßen  
(Gutseite, Ausschußseite)

Fehlermöglichkeiten: Verschmutzung, Beschädigung, falscher Gebrauch

Eingangsgröße: Länge, Winkel (→ Form)

Ausgangsgröße: Länge, Winkel (→ Form)

Meßbereich: je nach Maßgabe

Meßunsicherheit: je nach Maßgabe

Vorteil: einfach, schnell

Nachteil: ist auf ein Maß beschränkt,  
keine Messung (Verstellung)

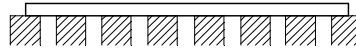
---

3.1.7. Profiler, Rauigkeitsmeßgerät

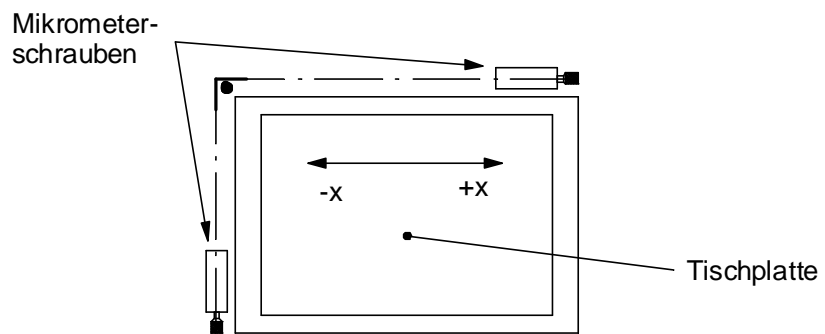
Meßprinzip:           Diamantnadel wird über die zu untersuchende Fläche geführt und ihre vertikale Bewegung bestimmt  
 Bewegung der Probe in 2 Achsen senkrecht zueinander



- Komponenten:
- ◆ Diamantennadel mit Verrundungsradien  $\approx 12,5 \mu\text{m}$
  - ◆ Probenbefestigung durch Vakuum



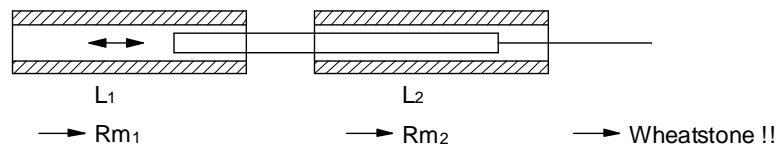
- ◆ Mikroskop zur Probenjustage
- ◆ Kreuzdrehtisch mit Kippmechanismus und Antrieb



- ◆ Vertikalsteuerung mit Piezoelementen



◆ Differentialtauchanker – Aufnehmer



◆ Rechner, Drucker, Schreiber, Kamera

Fehlermöglichkeiten:	Verschmutzung, Fehlbedienung
Eingangsgröße:	Länge
Ausgangsgröße:	Spannung $U_A$ der Meßbrücke
Meßbereich:	bis in den Subnanometerbereich
Daten:	Vertikaler Anzeigebereich 10 nm ... 100 $\mu\text{m}$
	Vertikale Auflösung 0,1 nm
	(bei 0,5 $\mu\text{m}$ max. Ausschlag)
	1,0 nm
	(bei 25 $\mu\text{m}$ max. Ausschlag)
	2,0 nm
	(bei 100 $\mu\text{m}$ max. Ausschlag)
	Meßpunkte pro $\mu\text{m}$ 0,004 ... 40
	Meßlänge 24 mm ... 50 $\mu\text{m}$
Meßunsicherheit:	je nach Meßbereich
Meßkraft:	0,01 – 0,4 mN
Vorteile:	Messung im atomaren Bereich
	Extreme Auflösung
Nachteile:	teuer (einige 10.000 DM)
	Maximale Probendicke ca. 30 mm
	Verfahrwege begrenzt $x = \pm 80\text{mm}$
	$y = \pm 40\text{ mm}$
	Komplexe Bedienung

3.1.8. *Resitive Weg- und Winkelaufnehmer*

Potentiometer-Prinzip

(nachlesen im Profos)

3.1.9. *Koordinatenmeßmaschine*

Meßprinzip: berührendes Antasten eines Prüflings

Bestimmung der Lage des Tasters nicht berührend

---

Komponenten:	Steinplatte mit pneumatischen Beinen (inklusive Schwingungsdämpfung, Ausrichtung) mit Führungen / Antrieb für das Portal Portal mit Antrieb in x-Richtung = traverse Pinole mit Antrieb in z-Achse Taste mit Aufnahme, elektrischer Kontakt Rechner, Programm
Fehlermöglichkeiten:	Störgröße Temperatur Verschmutzung, (Abnutzung Taster) Fehlbedienung
Einganggröße:	Länge
Ausgangsgröße:	elektrischer Impuls, Kontaktöffnung
Meßbereich:	x-Achse: 850 mm y-Achse: 2340 mm z-Achse: 600 mm
	} Zahlenbeispiel
Meßunsicherheit:	$1,8 \mu\text{m} + \frac{L}{450}$ (L = Meßlänge in mm)
Antastunsicherheit:	1,2 $\mu\text{m}$
Längenmeßsysteme (IWS):	Auflösung 200 nm
Meßkräfte:	0,1 N bis 1,0 N in mN – Schritten
Umgebungsbedingungen:	Luftfeuchtigkeit: 40% bis 60% rL Umgebungstemp. (Bereitschaft) $T_{\text{Umgebung}}$ : +5°C bis +35°C Temperatur: (Messung) $T_{\text{Umgebung}}$ : 20°C $\pm$ 3K T-Schwankung: $\Delta T$ : 1,0 K/h 1,5 K/d 1,5 K/m

### 3.2 Berührungslose Meßverfahren

#### 3.2.1. Inkrementale Weggeber / Winkelgeber

Optische Wegmessung durch photoelektrische Abtastung feiner Strichgitter

Komponenten:	Lichtquelle (Leuchtdiode, LED) Kondensator (Sammellinse, Brennpunkt in Lichtquelle) Glasmaßstab (transmittierend, oder auch reflektierend) mit periodischer Struktur, Teilung mit Referenzmarke Abtastplatte mit 4 Phasenverschobenen Abtastgittern um 90° verschoben Lichtnachweis (Photoelektroden, 4 oder 5 Stück) Interpolations- und Digitalisierungselektronik Rechner, Anzeige
Eingangsgröße:	Länge, Winkel
Ausgangsgröße:	Lichtmodulation, Phasenbeziehung
Meßbereich:	typisch bis 1m, Sonderfall bis zu 30m
Meßunsicherheit:	0,5µm bis 5 µm
Vorteile:	<ul style="list-style-type: none"><li>• Verschleißfrei</li><li>• Permanente Messung</li><li>• Schnelle Messung bis zu 1 m/s</li></ul>

---

- Hohe Auflösung (max 20nm)
- „Absolutmessung“ durch Referenzmarke
- Bestimmung der Verfahrrichtung

Nachteile:

Systempreis

Winkelgeber:

(wie Weggeber!) mit Strichteilung auf dem Umfang eines Kreises

Max. 90 000 Striche  $\Rightarrow$  1,5 Bogensekunden

Durch elektronische Signalverarbeitung  $\Rightarrow$  368 640 000 Schritte

### *3.2.2. Absolutweggeber, Absolutwinkelgeber*

Optische Wegmessung durch photoelektrische Abtastung feiner Strichcodes auf Glasmaßstäben (lang, rund)

---