

# Digitale Objekterfassung

## *Digital object acquisition/ digital object recording*

Modul 3 / WS 1

Prof. Dr. Mona Hess und Dr.-Ing. Maria Chizhova

Kontakt: [Mona.Hess@uni-bamberg.de](mailto:Mona.Hess@uni-bamberg.de)

Twitter: @Mona3Dimaging



Institut für Archäologische  
Wissenschaften,  
Denkmalwissenschaften  
und Kunstgeschichte



## Inhalte dieser Vorlesung

- Statistik und Qualitätskontrolle
  - Statistische Auswertung der Messergebnisse.
  - Messtechnische Kenngrößen
- Projektplanung und –optimierung
  - Planungskriterien
  - Genauigkeitsfragen

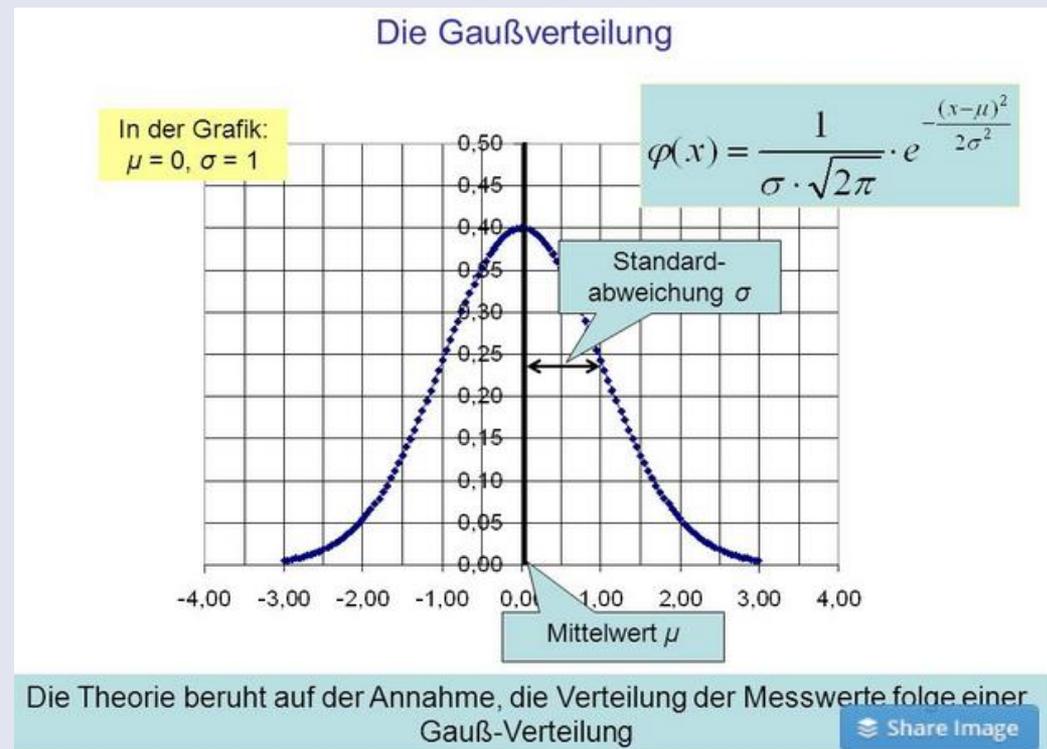
# Statistik und Qualitätskontrolle

# Statistische Kenngrößen

- **Wahrscheinlichkeit ( $P$ )** - Verhältnis der Zahl der günstigen Ergebnisse zur Gesamtanzahl der Ergebnisse
- **Häufigkeit** - Anzahl von Ereignissen
- **Erwartungswert ( $\mu$ )** - beschreibt die Zahl, die die Zufallsvariable im Mittel annimmt, identifiziert zufällige oder systematische Fehler
- **Standardabweichung ( $\sigma$ )** – Fehlerverteilung/Streuung, Streuungsbetrag der Werte um einen Mittelwert

# Normalverteilung

- Normalverteilung ( $\phi$ ) - Typ stetiger Wahrscheinlichkeitsverteilungen
- Normalverteilung Kurve  $\sigma = 1.0$  (Sigma) und  $\mu = 0$  (mean).
- Die Fehlerhäufigkeit der Abweichung und der ungefähre Prozentsatz der Fläche werden durch eine Gaußsche Kurve ausgedrückt.



# Beispiel Vergleich Photogrammetrie

Figure 21: Camera network approach 1 - cultural heritage approach. Two tiers on a turntable.

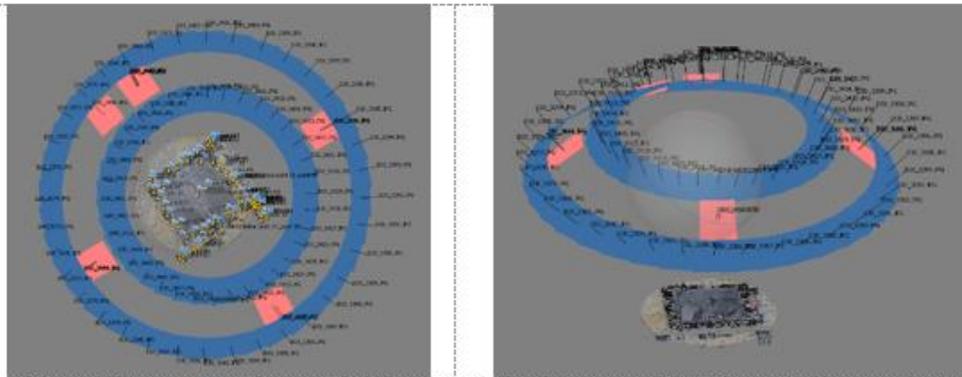


Figure 22 Camera network approach 2: Two circular tiers with camera roll (red images) to improve the self-calibrating bundle adjustment procedure

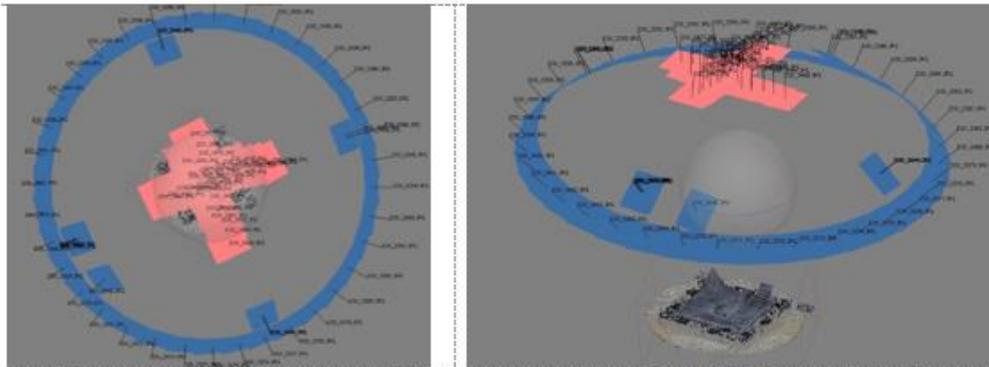
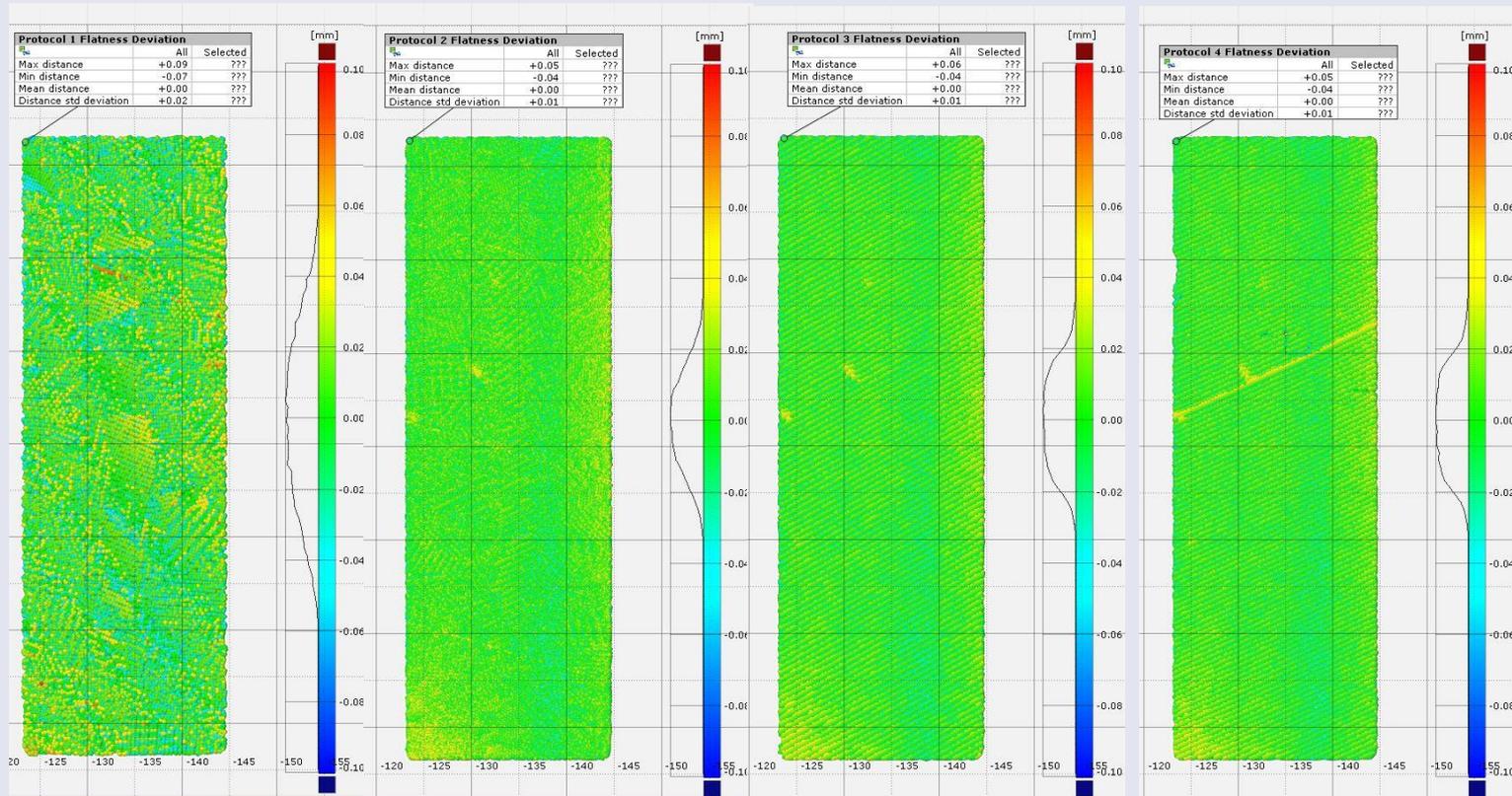


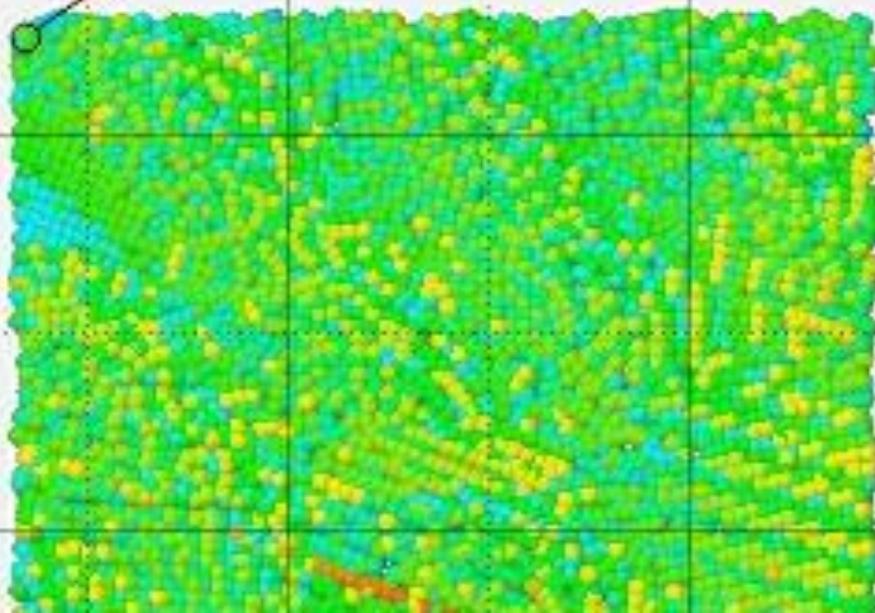
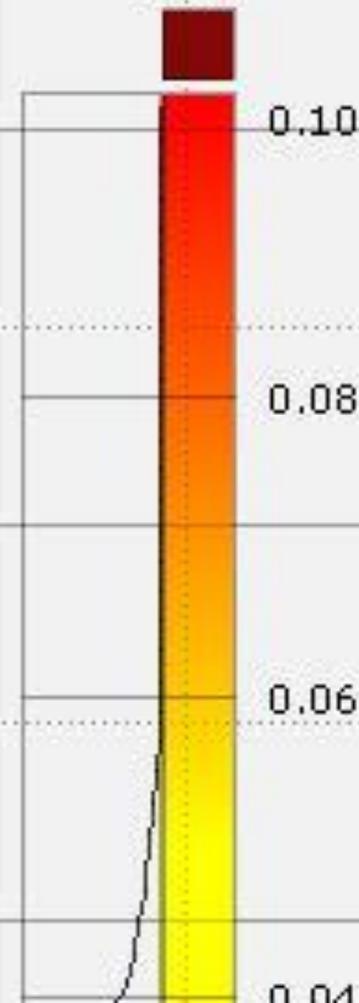
Figure 23 Camera network approach 3: A grid over the top of the object paired with one circular tier.

# Unterschiede von photogrammetrisches Auswertung



Protocol 1 Flatness Deviation		
	All	Selected
Max distance	+0.09	???
Min distance	-0.07	???
Mean distance	+0.00	???
Distance std deviation	+0.02	???

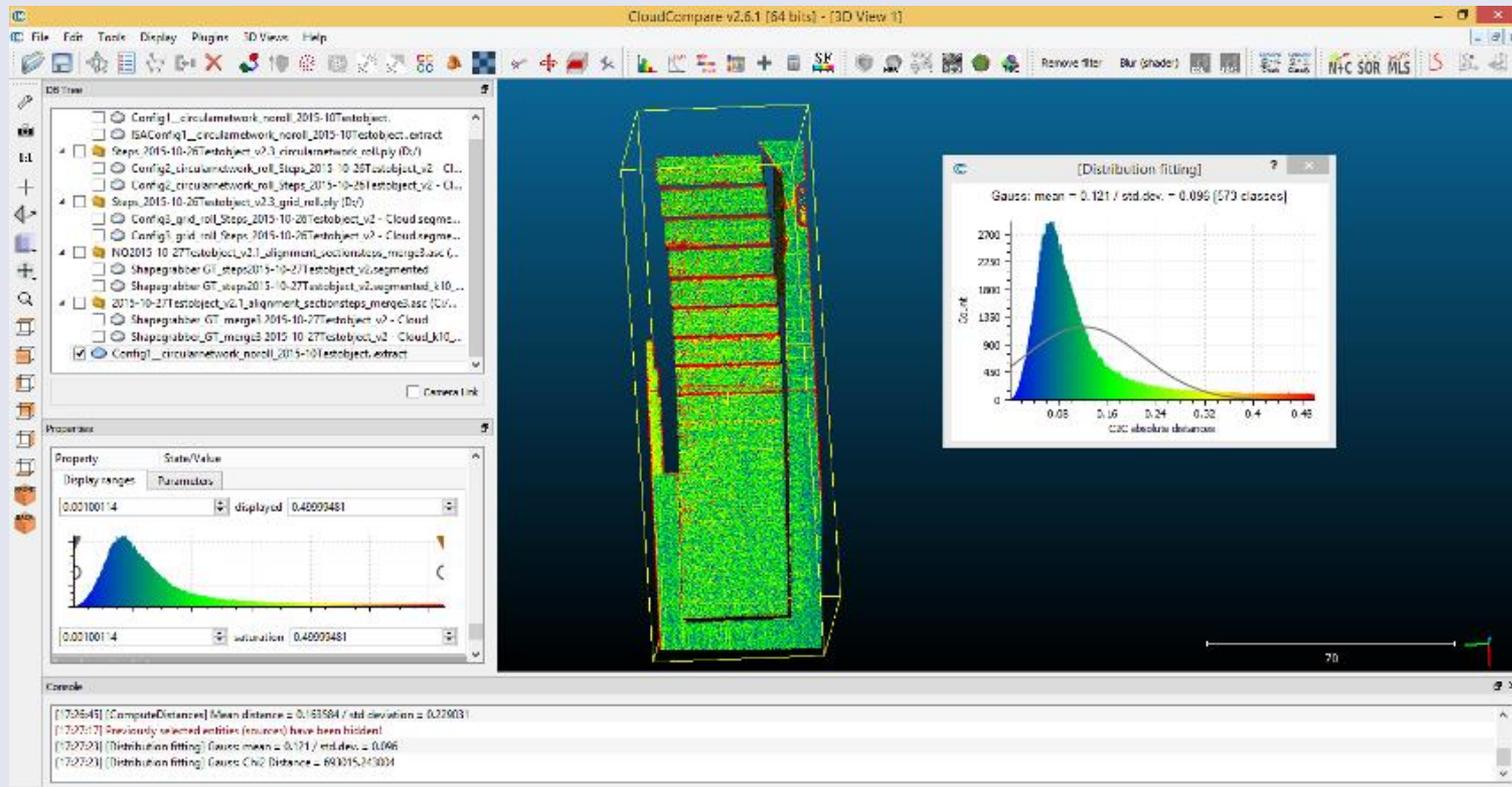
[mm]



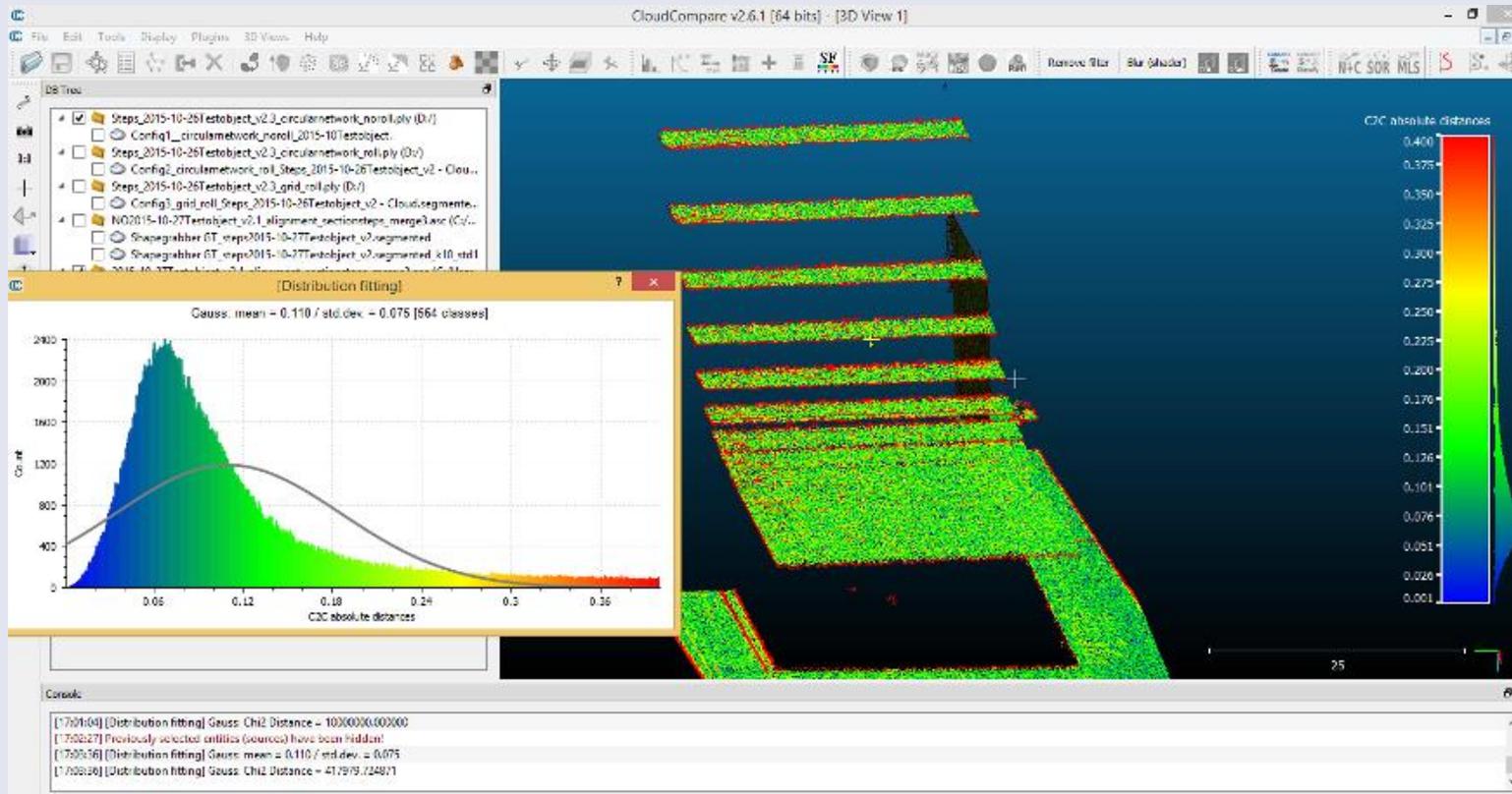
# Beispiel Vergleich Photogrammetrie

Camera Network	Gauss. Mean [mm]	Standard deviation [mm]
Camera network 1 (CH user)	0.121	0.096
Camera network 2 (2 tiers + camera roll)	0.122	0.095
Camera network 3 (1 tier + camera roll + nadir grid)	0.110	0.075

# Beispiel Cloud Compare



# Beispiel Cloud Compare

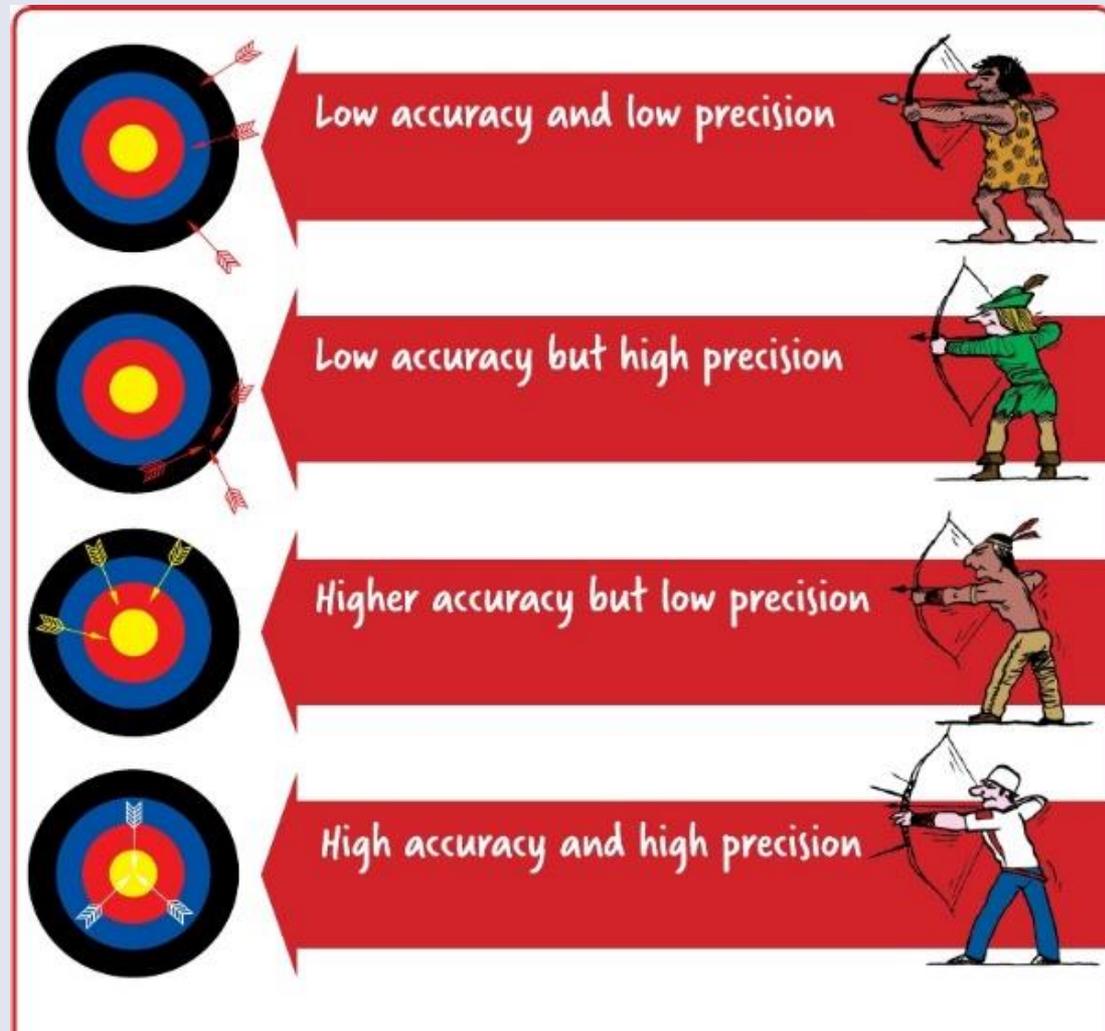


# Genauigkeit und Präzision

- **Präzision** – statistische Streuung eines Messwertes resultierend aus Wiederholungsmessungen oder Ausgleichung
- **Genauigkeit** – Grad der Übereinstimmung eines Messergebnisses mit einem Normal oder akzeptierter Referenz.
- **Innere Genauigkeit (=Präzision)** – zeigt anhand statistischer Kenngrößen, wie gut die Messwerte mit einem funktionalen Modell übereinstimmen.
  - Standardabweichungen
  - Mittlere Verbesserungen
- **Äußere Genauigkeit** – zeigt, wie die Messwerte mit dem Referenzmaß übereinstimmen (Referenzmaß wird im Berechnungsprozess nicht beteiligt).
  - Überprüfung unabhängiger Referenzlängen
  - Vergleich mit unabhängigen Referenzpunkten
- **Relative Genauigkeit** - zeigt, wie die Messwerte mit den Bezugsgrößen übereinstimmen

# Zur Erinnerung:

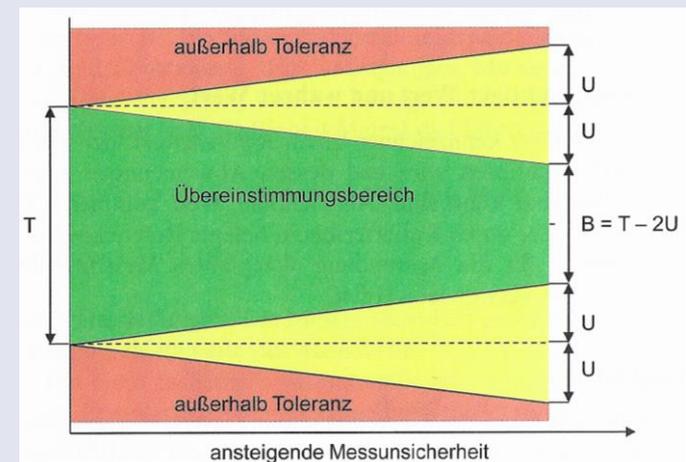
- Präzision/  
Wiederholgenauigkeit (precision)
- Genauigkeit (accuracy)
- Auflösung (resolution)

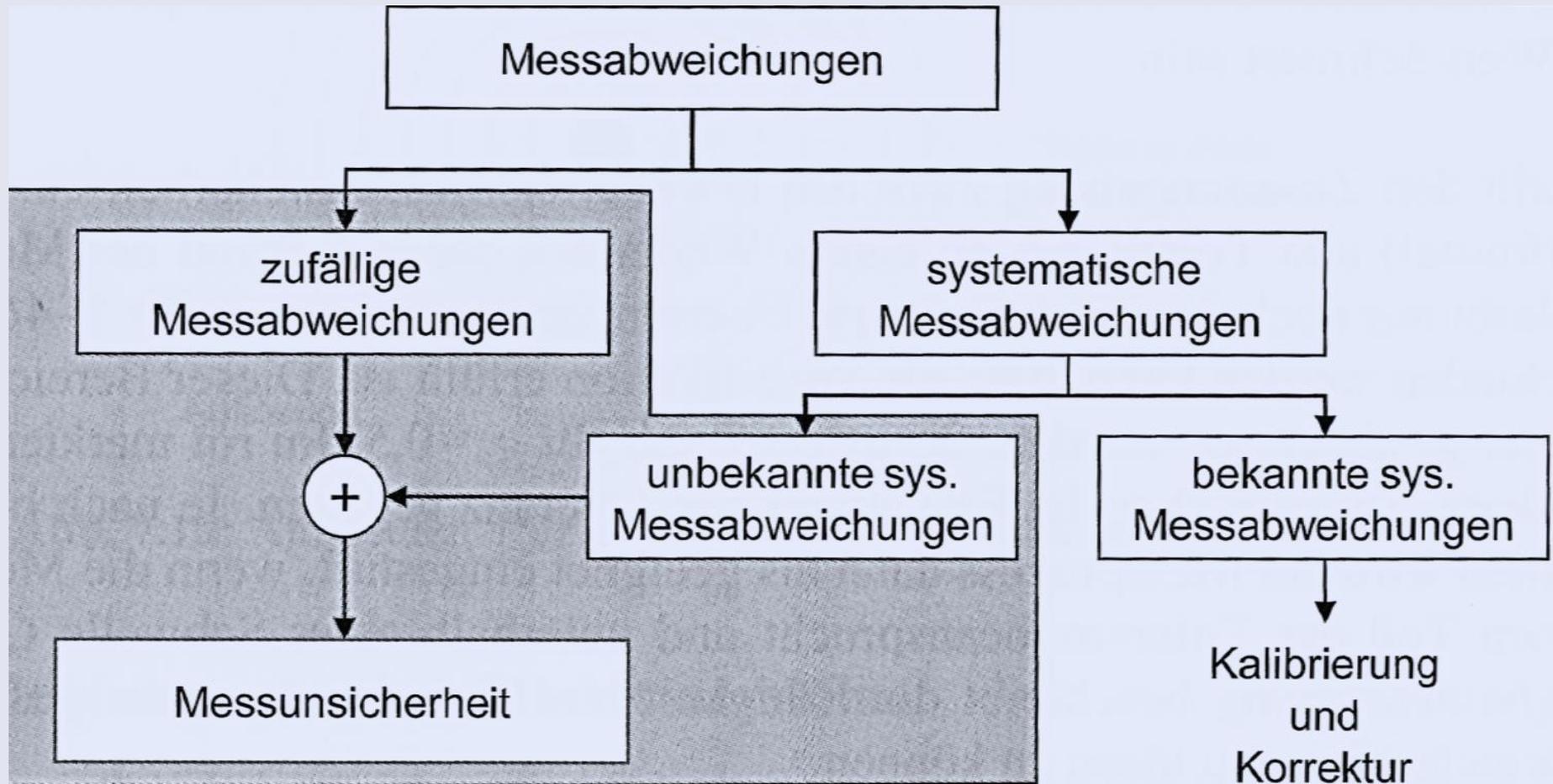


# Messunsicherheit, Messabweichung, Referenzwert

Laut DIN1319-1:

- **Messunsicherheit** – Näherungswert für den wahren Wert;
- **Messabweichung** – Abweichung eines Messwertes von einem Referenzwert. Zulässige konstruktionsbedingte Abweichung wird als **Toleranz** genannt.
- **Referenzwert** – richtiger Wert, wahrer Wert; kommt aus Erfahrungen oder Vorgaben.
- **Messunsicherheit/Toleranz**
  - U – Messunsicherheit
  - T – Toleranz
  - B - Übereinstimmungsbereich





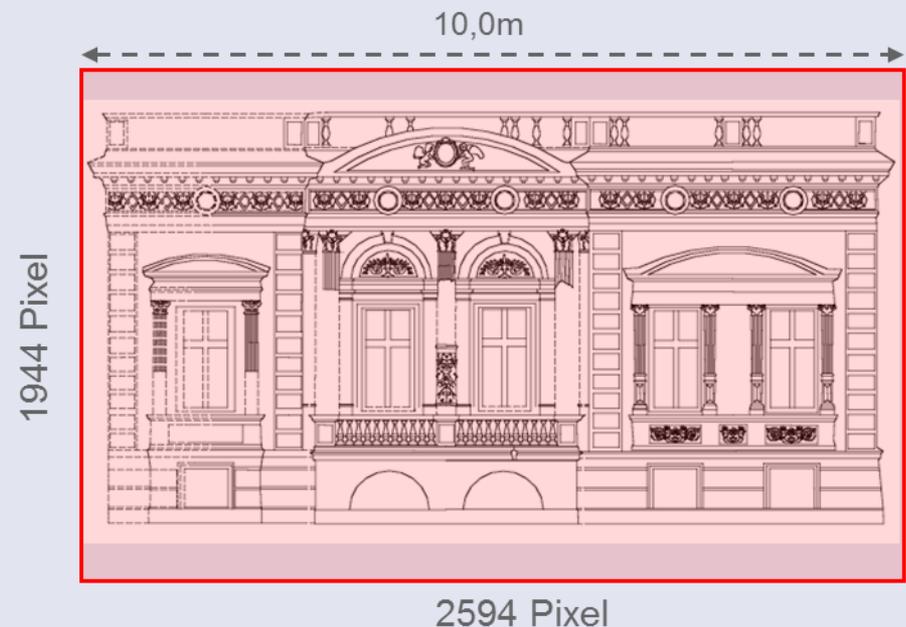
## RMS - root mean square error

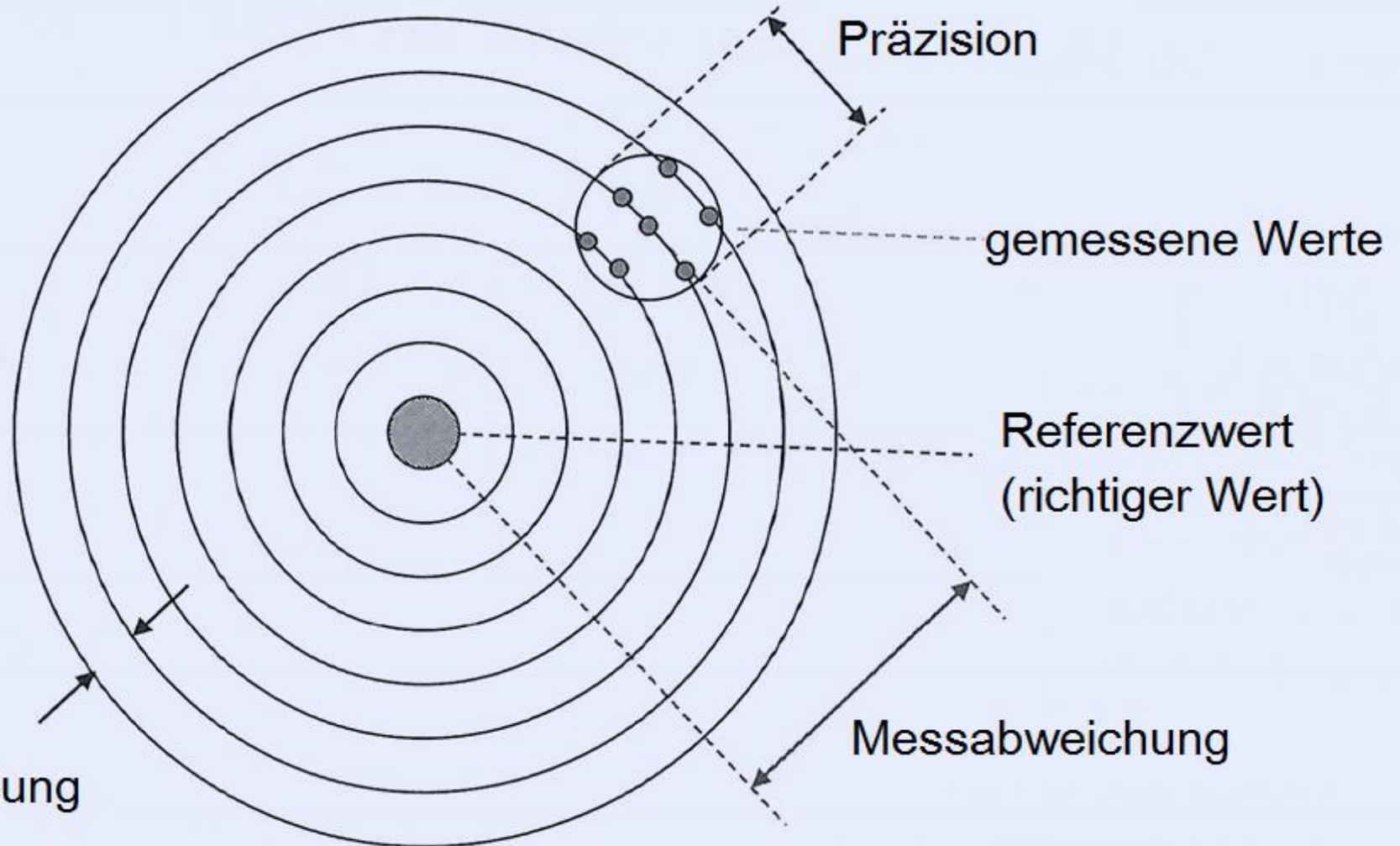
- **RMS** – Wert, der als die Wurzel aus der gemittelten Quadratsumme einer beliebigen Stichprobe berechnet wird; drückt die Datenqualität aus.
- $\text{RMS}^2 = \sigma^2 + \mu^2$
- Sigma  $\sigma$  ist Streuung.
- $\mu$  - Erwartungswert, zeigt den zufälligen Fehler
  - Wenn  $\mu$  überwiegend auf einer Seite ist, haben wir einen systematischen Fehler (Anzeige in der Farbkarte).
  - Wenn  $\mu = 0$  ist, dann liegt kein systematischer Fehler vor.

# GSD und Auflösung

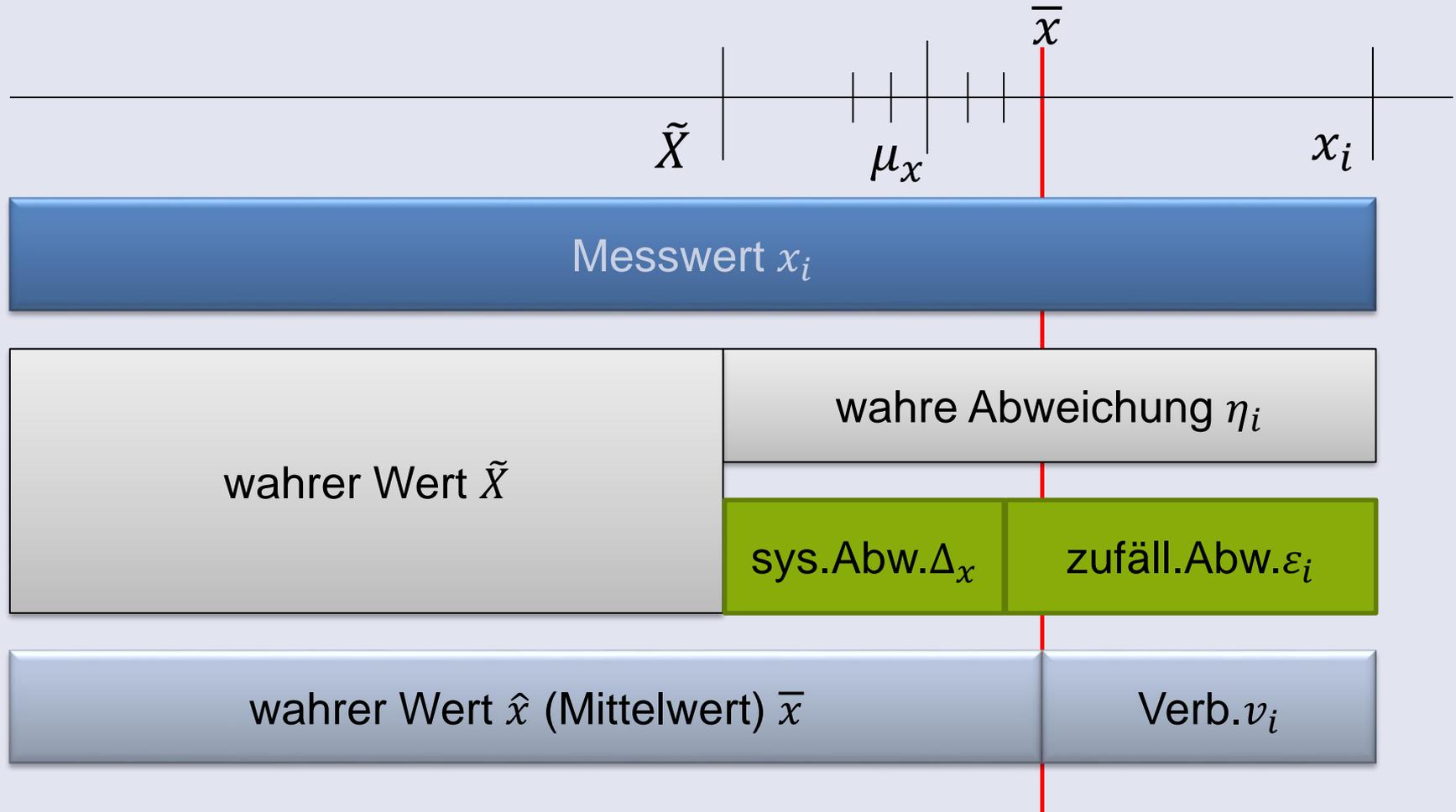
- **Auflösung** – der kleinste anzeigbare/speicherbare Messschritt eines Messsystems
- **GSD** (Ground Sample Distance) - Auflösung am Objekt
- Beispiel

10m Objektraum werden abgebildet  
auf 2594 Pixel im Bildraum  
 $\approx 3,8\text{mm} / \text{Pixel}$





# Qualitätsmaße

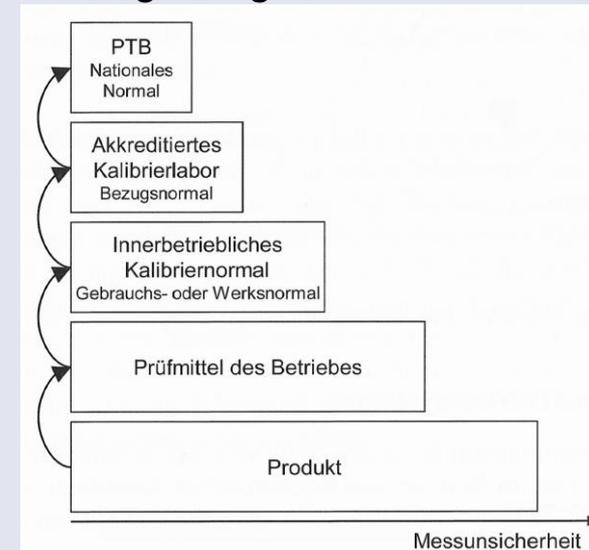


# Qualitätskontrolle von Daten

- Qualitätskontrolle in der Optischen Oberflächenvermessung
  - Statistik:
    - Standardisierte Normalverteilung/ Gauss-Kurve, Fehlerverteilung, Erwartungswert (mean), Standardabweichung (Sigma)
    - Bedeutung des Fehlerwertes RMS (root mean square error)
  - Theorie und Übung: Qualitätskontrolle von Punktwolken durch
    - Darstellung mit Farbabweichung, Legende und Histogramm (Fehlerverteilung)
    - Soll-Ist Vergleich , beispielsweise mit eingepasster Ebene
    - Soll-Ist Vergleich von Punktwolken
    - Interpretation der Analyse

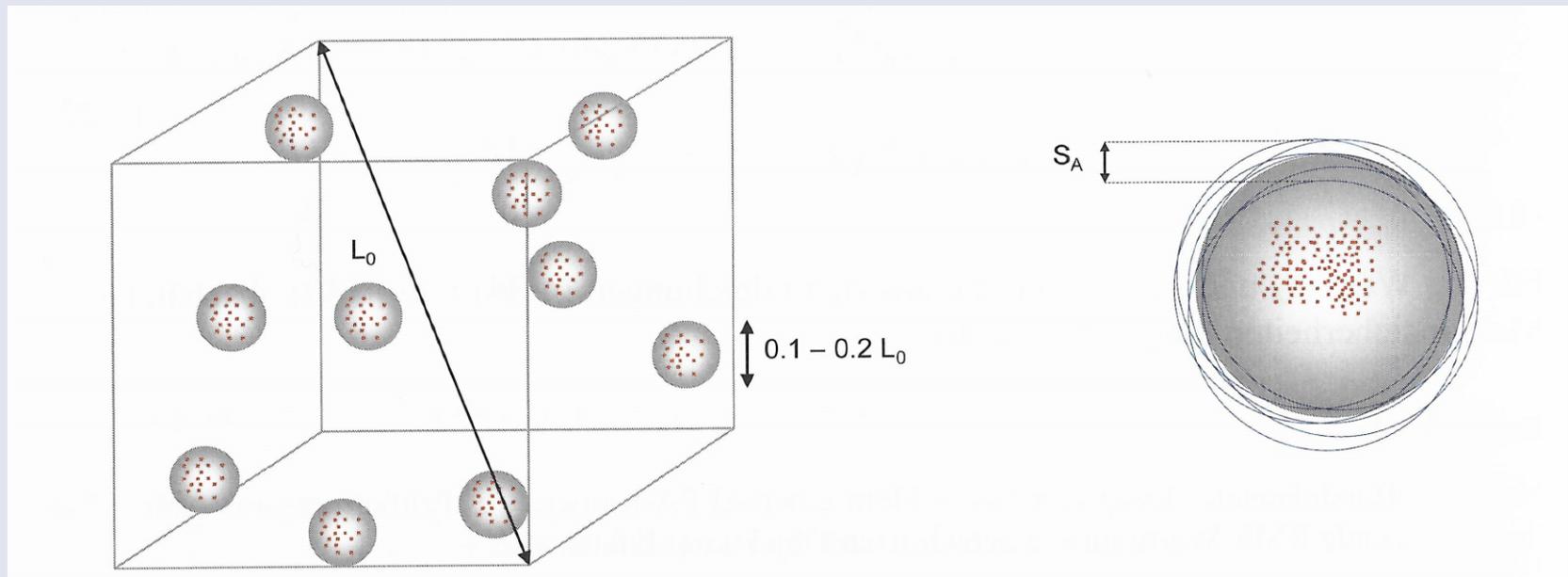
# Prüfung optischer Messsysteme

- Prüfungskomponente:
  - *Annahmeprüfung* – Überprüfung eines Messsystems nach der Installation beim Anwender (Bedingungen – im Liefervertrag)
  - *Bestätigungsprüfung* – regelmäßige Überprüfung einer Messsystems nach der Inbetriebnahme
  - *Rückführbarkeit* – Bezug zwischen gemessenen Größen mit ihren Messunsicherheiten und einem Normal (SI-Einheiten)
  - *Kenngroße* – gemessener/berechneter Wert, mit dem die Leistungsfähigkeit eines Messsystems oder seine Komponente schätzt.
- Prüfungskenngrößen flächenhaft antastender Systeme
  - Antastabweichung
  - Ebenheitsabweichung
  - Kugelabstandsabweichung
- Prüfungskenngrößen punktförmig antastender Systeme
  - Längenmessabweichung



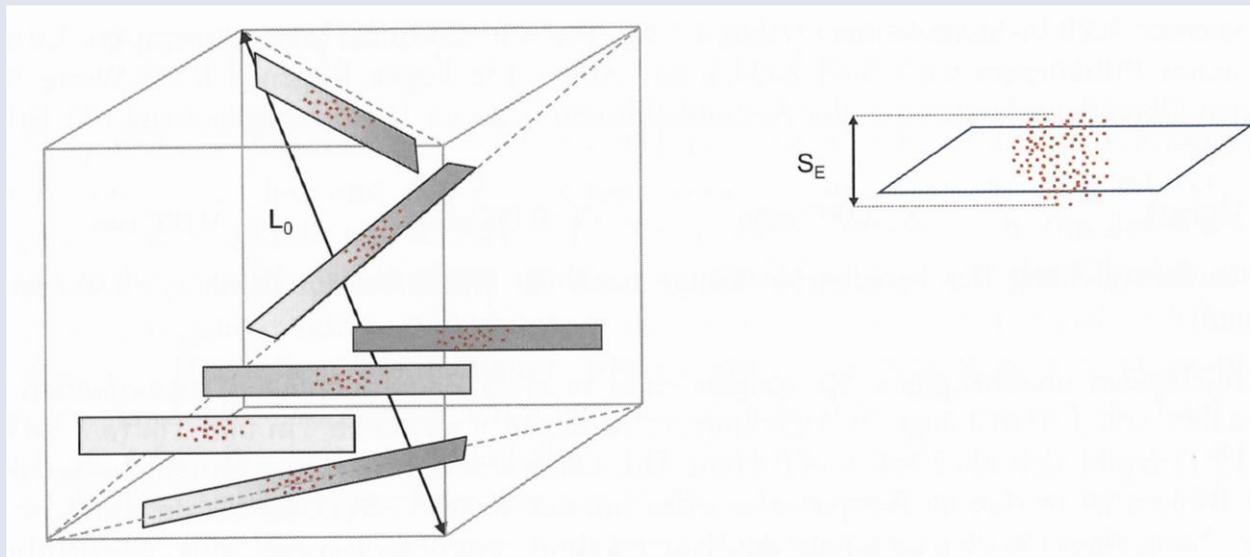
# Antastabweichung

- *Antastabweichung* – Kenngröße für das Antasten einzelner Messpunkte
- Berechnung: durch Mehrfachantastung eines geometrischen Referenzkörpers



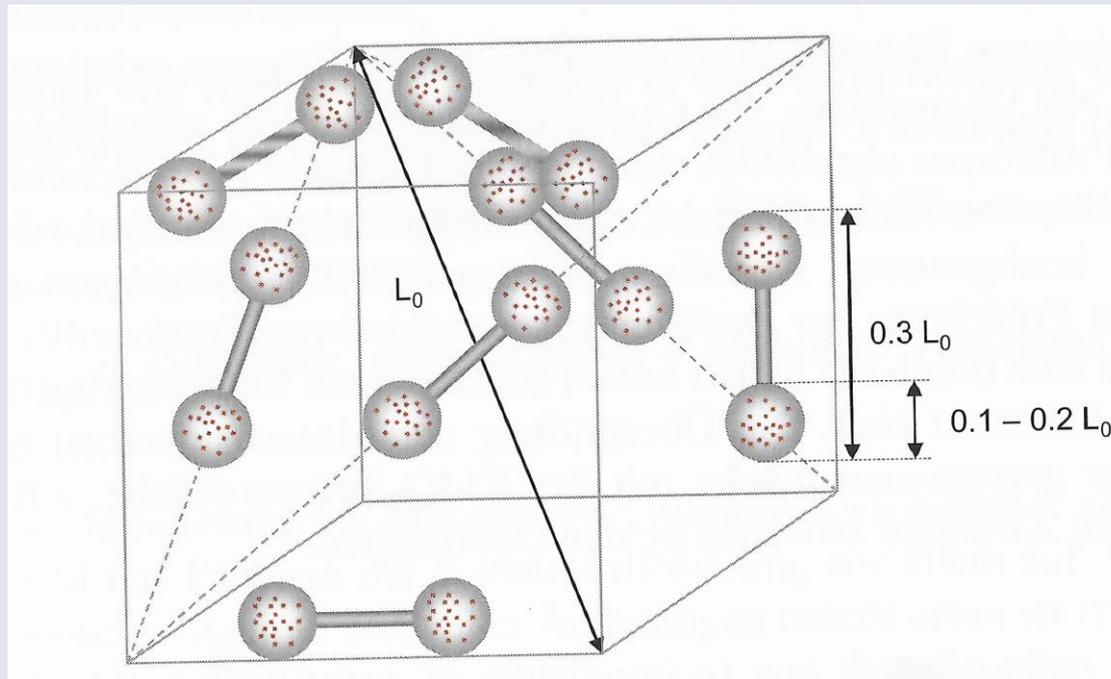
# Ebenheitsmessabweichung

- *Ebenheitsmessabweichung* definiert die Leistungsfähigkeit des Messsystems, eine ebene Fläche zu erfassen
- Berechnet als Abweichung zwischen Objektoberfläche und Ausgleichsebene durch Anbringen eines Ebenen-Normals in verschiedene Positionen des Messvolumes



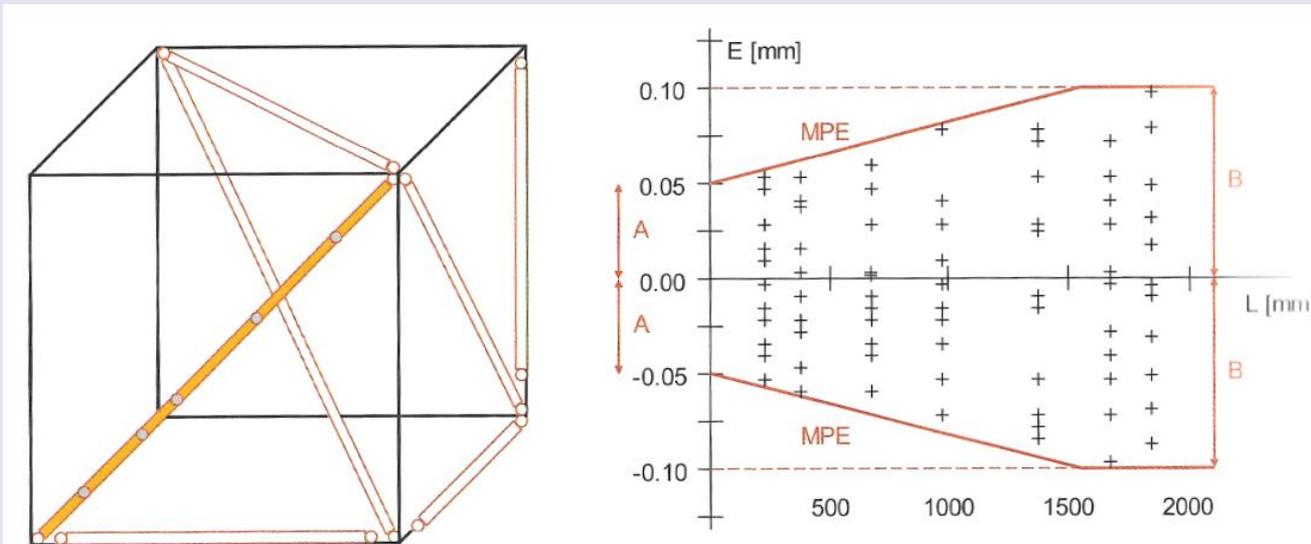
# Kugelabstandsabweichung

*Kugelabstandsabweichung* – Abweichung zwischen kalibriertem und gemessenem Abstand zweier Kugeln, deren Oberflächen angetastet und deren Mittelpunkte durch Kugelausgleich mit vorgegebenen Radius ermittelt werden.



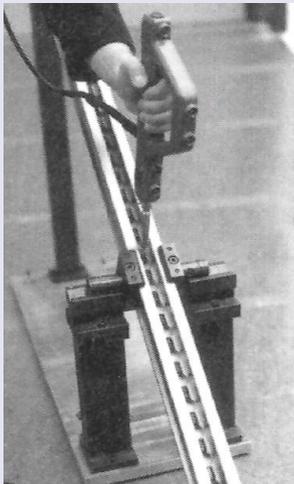
# Referenzlängen

- Zu prüfende Kenngröße: Längenmessabweichung
- Referenzlängen werden im Objektraum gemäß der Messaufgabe räumlich angeordnet.
- Die optisch gemessenen Längen werden den kalibrierten Längen als Soll-Ist-Vergleich gegenübergestellt.

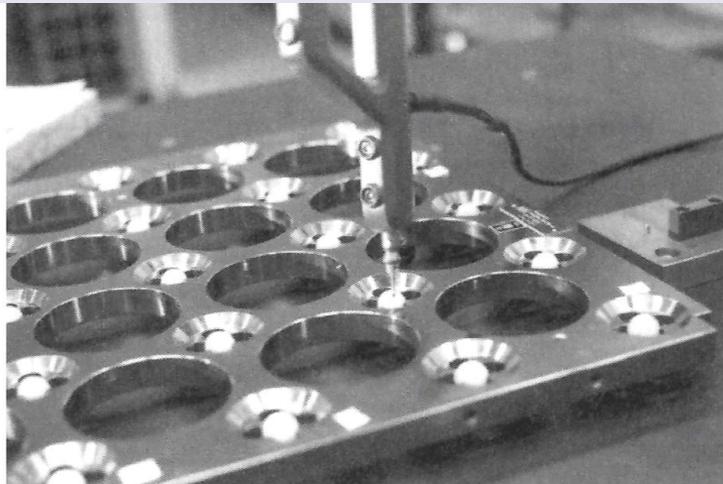


## Prüfkörper und -maßstäbe

- Prüfkörper (Normal, Maßverkörperung) – mechanisch verkörpertes Objekt mit bekannten (kalibrierten) geometrischen Parametern
- Die Kalibrierunsicherheit soll ca. fünfmal kleiner sein als die zu prüfende Kenngröße.
- Benötigt Kalibrierschein



Stufenendmaß



Kugelplatte



Prüfmaßstab

# Systemmodellierung

- Tschebysheff-Ungleichung

$$P(|P_g - \mu| < \varepsilon) \geq 1 - \frac{\sigma^2}{\varepsilon^2}$$

- $P$  – Wahrscheinlichkeit korrekter Systemmodellierung
- $\varepsilon$  – benutzerdefinierter Wert
- $\sigma$  – Standardabweichung
- $\mu$  – Erwartungswert
- $P_g$  - Wahrscheinlichkeit inkorrektter Systemmodellierung

# Projektplanung

# Planungskriterien

- Art/Menge der zu erfassende Objekte
- Größe des Objektes
- Genauigkeit im Objektraum
- Detailauflösung
- Umgebungsbedingungen
- Objektsignalisierung
- Referenzierung/Koordinatensystem
- Maßstab/Passpunktbestimmung
- Sensoren/Software
- Zeitspanne
- Ergebnis (numerisch/graphisch/Schnittstelle)

# Genauigkeitsfragen

- Genauigkeit des Sensors
- Auflösungsvermögen
  - Für Photogrammetrie:
    - Visuelle digitale Auswertung: 3 bis 10 Pixel
    - Automatische digitale Punktmessung: 6 bis 10 Pixel  
Punktdurchmesser
    - Automatische digitale Oberflächenmessung: 11 bis 25 Pixel  
Fenstergröße
    - Schärfentiefe
  - Für Laserscanning:
    - Größe des Laserspots geringer als aufzulösende Struktur
    - Anzahl der Punkte Objekt/Zielmarke: z.B. min. 3 Punkte pro  
Flächenerkennung
- Maßstab des Endproduktes

# Übung 1 – Soll-Ist-Vergleiche in CloudCompare

1. [\\daten.uni-bamberg.de\Aufgabenbezogen\projekte3.ddt\Modul3\Übung 9\\_Qualitätskontrolle](\\daten.uni-bamberg.de\Aufgabenbezogen\projekte3.ddt\Modul3\Übung 9_Qualitätskontrolle)
2. Anleitung Modul3\_ÜbungQualitätskontrolle\_Watt\_etc.pdf

# Literatur Qualitätskontrolle (ISO/ VDI!)

- Luhmann T. Nahbereichsphotogrammetrie: Grundlagen, Methoden und Anwendungen. 3 edition. Berlin: Wichmann, H; 2010. 668 p.
  - Kapitel 2.4.3, Qualitätsmaße, S. 116-134
  - Kapitel 7.2 Qualitätskriterien und Genauigkeitsanalyse S.629-647
- Verband deutscher Ingenieure.
  - VDI/VDE 2617- Blatt 6.2:2007 - Genauigkeit von Koordinatenmessgeräten. Kenngrößen und deren Prüfung. Leitfaden zur Anwendung von DIN EN ISO 10360 für Koordinatenmessgeräte mit optischen Abstandssensoren. 2007.
    - Overview [Optical 3D measuring systems - Imaging systems with point-by-point probing](#) Optische 3D-Messsysteme - Bildgebende Systeme mit punktförmiger Antastung
    - VDI/VDE 2634 Part 1
    - VDI/VDE 2634 Part 2 [Optical 3D-measuring systems - Optical systems based on area scanning](#); Optische 3D-Messsysteme - Bildgebende Systeme mit flächenhafter Antastung
    - VDI/VDE 2634 Part 3 [Optical 3D-measuring systems - Multiple view systems based on area scanning](#) Optische 3-D-Messsysteme - Bildgebende Systeme mit flächenhafter Antastung in mehreren Einzelansichten

# Literatur Qualitätskontrolle und Statistik

- Albertz, J. and Wiggenhagen, M. (2008) *Taschenbuch zur Photogrammetrie und Fernerkundung: Guide for Photogrammetry and Remote Sensing*. 5. Auflage 2009 edition. Heidelberg: Wichmann. S58
- Spassig: Bellos, A. (2011) *Alex's Adventures in Numberland*. Bloomsbury Paperbacks.
- Handapparat: Th. Luhmann (2018): Nahbereichsphotogrammetrie (Grundlagen – Methoden – Beispiele), Wichmann, Berlin – S.629-647 Kapitel 7.2 Qualitätskriterien und Genauigkeitsanalyse