
Aspekte der Ergebnisunsicherheit im Prüfwesen

Andreas Subaric-Leitis

Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung, 12200 Berlin

andreas.subaric-leitis@bam.de

- Vorbemerkungen
- Ermittlung von Objekteigenschaften einschl. Klassifizierung
Konformitätsprüfungen
- **Ermittlung von Objekteigenschaften** unter **Beaufschlagung** mit vorgegebenen **Prüfparametern**
- Berücksichtigung von Ergebnissen aus **Ringvergleichen**
- Rein **qualitative Prüfverfahren** (Diagnostik)

Aspekte der Ergebnisunsicherheit im Prüfwesen

- Messen:** Ermittlung von **Werten einer Messgröße** (Messobjekt) (Vergleich mit der Einheit/Referenz) i. Allg. **unter festgelegten Bedingungen** (Messbedingungen)
- Prüfen:** Ermittlung von **Eigenschaften** (quantitative, qualitativ) **eines Objektes nach einem vorgegebenen Verfahren** - häufig einschl. Vergleich mit vorgegebenen Spezifikationen (Konformität)

Aspekte der Ergebnisunsicherheit im Prüfwesen

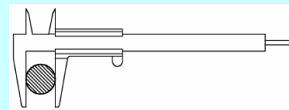
Prüfen: Ermittlung von **Eigenschaften** (quantitative, qualitativ) eines Objektes **nach einem vorgegebenen Verfahren** - häufig einschl. Vergleich mit vorgegebenen Spezifikationen (Konformität)

I) Ermittlung der Objekteigenschaften unter/nach Beaufschlagung des Prüfobjektes mit vorgegebenen Prüfparametern, z. B.

- Umweltprüfungen: Vibration, Schock, Klima, Korrosion, Bestrahlung, ...
z. B. DIN EN 60068-x-x , MIL-STD-810
- Störfestigkeitsprüfungen/EMV z. B. VDE 0843-20-x
- Messung der Beanspruchung unter vorgegebenen Bedingungen
- Messung der Andruckkräfte unter Betriebsbedingungen z. B. DIN EN 50317

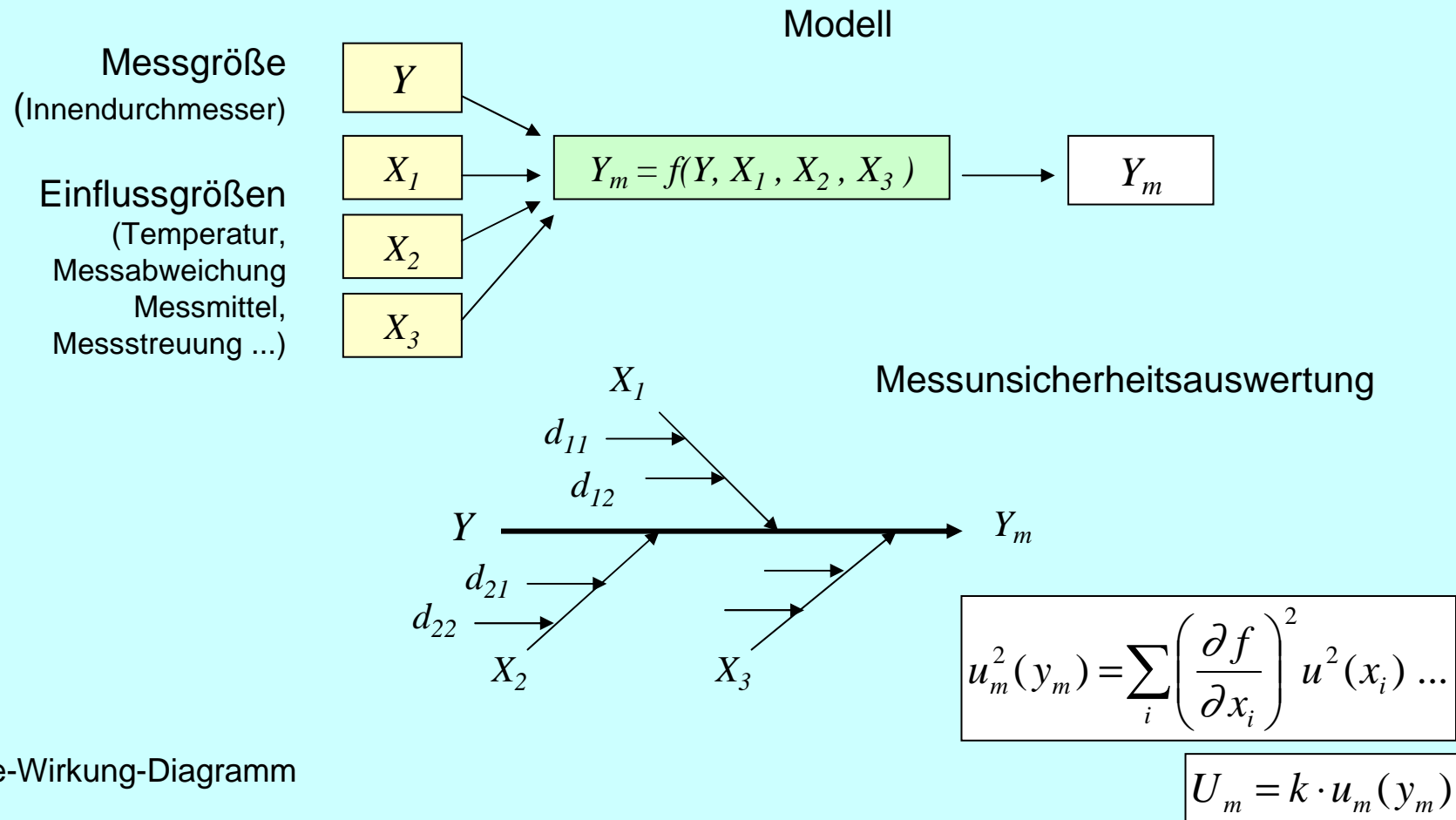
II) Ermittlung der quantitativen Objekteigenschaften ggf. einschl. Klassifizierung, z. B.

- Maßhaltigkeitsprüfung



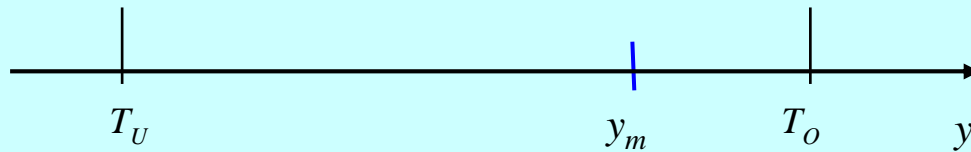
- Potentialfeldmessungen zur Ermittlung von Korrosionsschäden

II) Ermittlung der Objekteigenschaften ggf. einschl. Klassifizierung

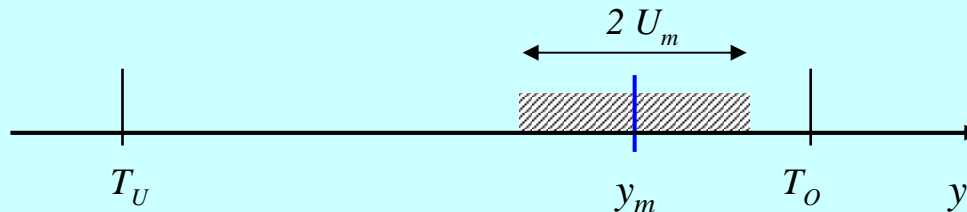


II) a) Ermittlung der Objekteigenschaften ggf. einschl. Klassifizierung, z. B.

DIN EN ISO 14253-1 Konformitätsprüfung / Entscheidungsregeln
 ILAC-G8:03/2009 Reporting of Compliance with Specifications

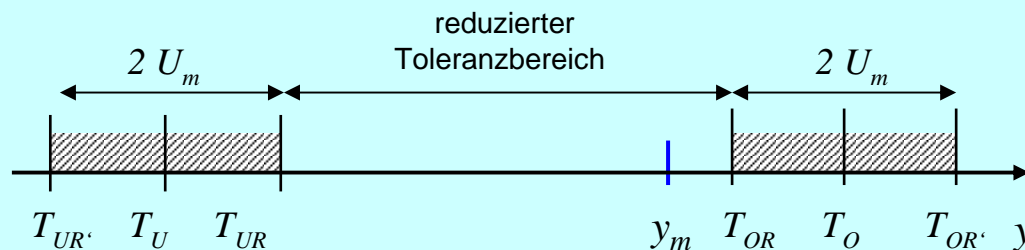


Konformität : $T_U \leq y_m \leq T_O$



Konformität :

$$T_U + U_m \leq y_m \leq T_O - U_m$$



Konformität :

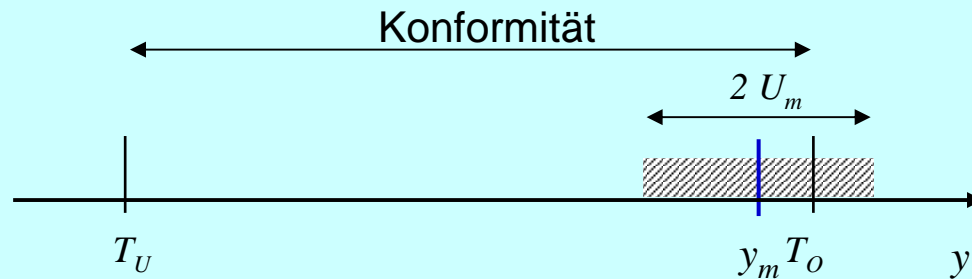
$$T_{UR} \leq y_m \leq T_{OR}$$

$$T_{UR} = T_U + U_m$$

$$T_{OR} = T_O - U_m$$

II) a) Ermittlung der Objekteigenschaften ggf. einschl. Klassifizierung, z. B.

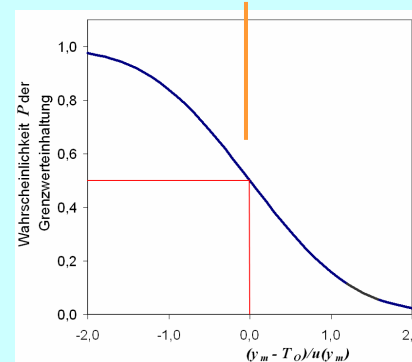
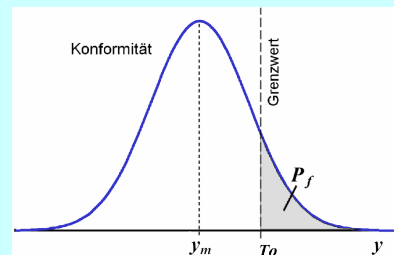
DIN EN ISO 14253-1 Konformitätsprüfung / Entscheidungsregeln
 ILAC-G8:03/2009 Reporting of Compliance with Specifications



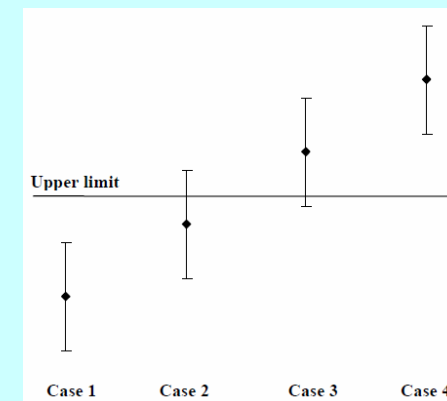
Konformität ?

Keine eindeutige (sichere)
 Entscheidung möglich

$$P(T_U \leq Y \leq T_O) = ?$$



$$(y_m - T_O) / u_m(y_m)$$

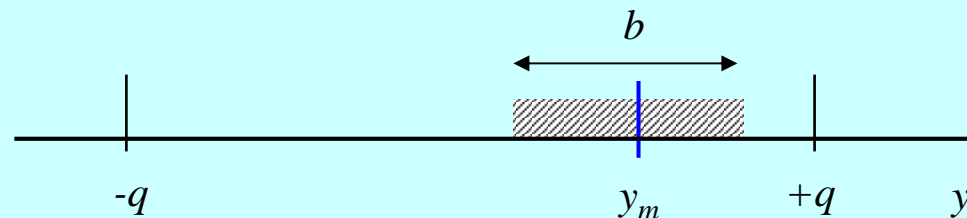


Quelle: ILAC-G8:03/2009

II) b) Ermittlung der Objekteigenschaften ggf. einschl. Klassifizierung, z. B.

Prüfung und Klassifizierung nach genormten Verfahren

(U. a. Prüfung von Werkstoffprüfmaschinen, z. B. ISO 7500-1)



Detaillierte Vorgaben ISO 7500-1:

Auflösung, Genauigkeitsklasse des Messnormals (Kraftsensor), ...

zul. Spannweite b (Wiederholpräzision), zul. Umkehrspanne v ,

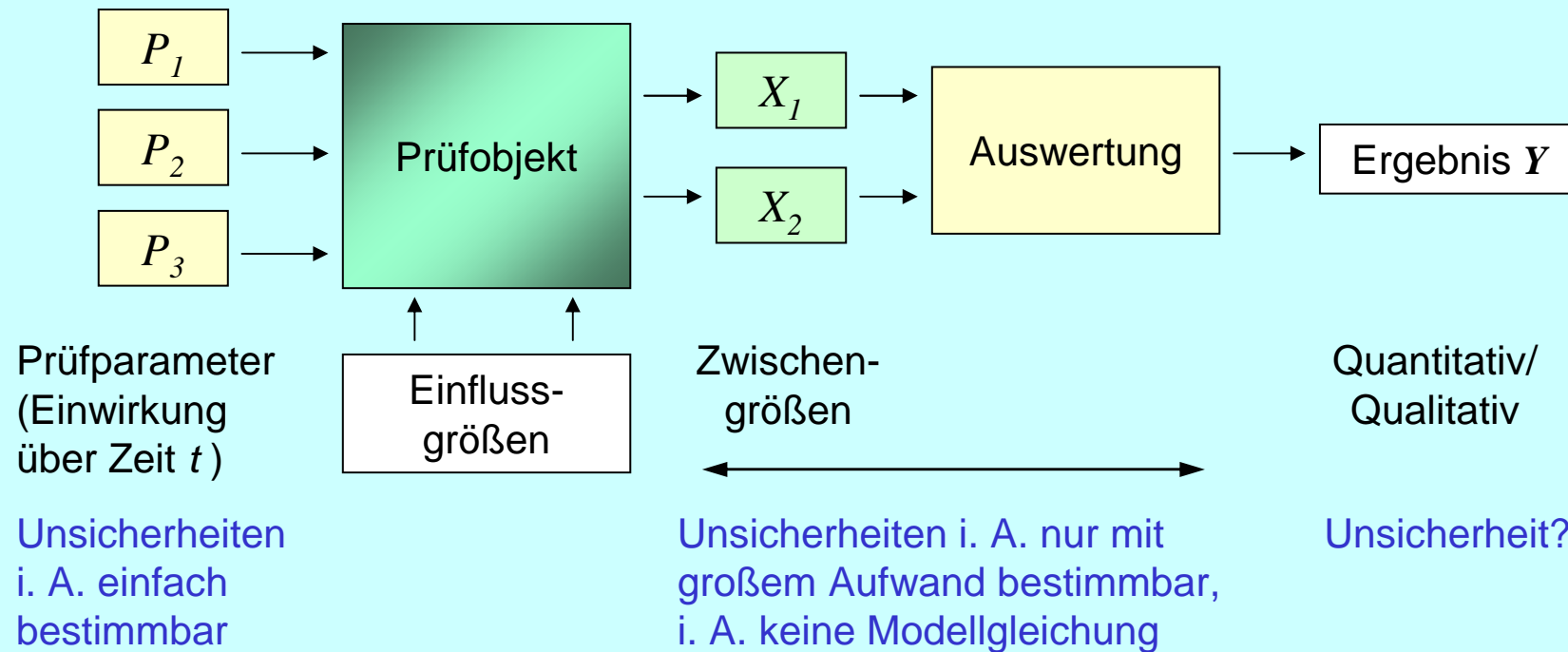
zul. Nullpunktabweichung f_0 , zul. Anzeigeabweichung q

=> Klassifizierung unter Berücksichtigung max. zul. Unsicherheitsbeiträge

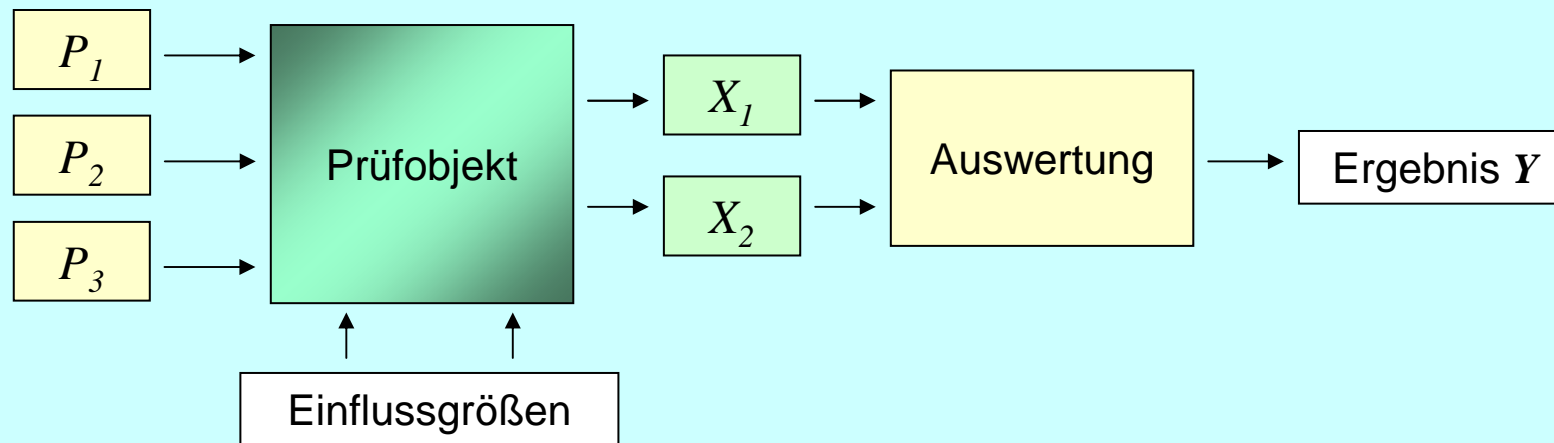
=> Konventionsverfahren: Detaillierte Beschreibung des Prüfverfahrens einschl. Messunsicherheiten, dadurch Klassifizierung unter Berücksichtigung der Unsicherheiten

=> Genormte Verfahren: Normen/Richtlinien beschreiben zum Teil Verfahren für die fachspezifische Unsicherheitsauswertung. (z. B. ISO 6506/7/8 T2)

I) Ermittlung der Objekteigenschaften unter/nach Beaufschlagung des Prüfobjektes mit vorgegebenen Prüfparametern



I) Ermittlung der Objekteigenschaften unter/nach Beaufschlagung des Prüfobjektes mit vorgegebenen Prüfparametern



Ergebnis **qualitativ** (bestanden / nicht bestanden, Klassierung)

=> Ermittlung und Dokumentation der Unsicherheiten aller Prüfparameter P_i
(ggf. der Einflussgrößen) z. B. entsprechend der Ermittlung von Messunsicherheiten
Genormte Verfahren: I. d. R. sind zul. Parametertoleranzen angegeben,
dadurch Klassifizierung unter Berücksichtigung zul. Unsicherheitsbeiträge

Ergebnis **quantitativ** (Ergebniswert)

=> Validierung des Prüfverfahrens (*umfassendes Thema für sich*)

- Einfluss der Prüfparameter auf den Ergebniswert
- Verwendung von Referenz-Prüfobjekten
- Auswertung von Vergleichsprüfungen mit anderen Verfahren/Laboratorien

I) Ermittlung der Objekteigenschaften / Beaufschlagung mit Prüfparametern

Validierung des Prüfverfahrens Ergebnis quantitativ (Ergebniswert)
Untersuchung des Prüfverfahrens im Hinblick auf Einflussgrößen / Verfahrensparameter

a) **Systematische Untersuchung der Methode bzw. des Verfahrens**

(theoretische, experimentelle Untersuchungen und Modellierungen)

- Wissenschaftliches Verstehen der theoretischen Grundlagen des Verfahrens
- Durchführung von Simulationen
- Auswirkung systematischer Variationen der Verfahrensparameter, der Matrizes, der Stör-/Einflussparameter, etc.

b) **Ermittlung charakt. Verfahrensparameter**

- Bestimmung des Zusammenhangs zwischen Prüfgröße und Ausgangsgröße
- Bestimmung der Verfahrenskennlinien, der Nachweis- / Bestimmungsgrenzen, der Empfindlichkeit, der Selektivität, Wechselwirkungen/Interferenzen
- Einfluss der Probenaufbereitung, der Probenhandhabung

c) **Nutzung der Ergebnisse wissenschaftlicher Arbeiten**

- z. B. wissenschaftliche Veröffentlichungen, Diplom- / Doktorarbeiten

l) Ermittlung der Objekteigenschaften / Beaufschlagung mit Prüfparametern

a) Abschätzung des Einflusses der Prüfparameter p_i und Einflussgrößen auf den Ergebniswert y
 Bestimmung der Empfindlichkeiten c_i und der Wiederholstandardabweichung $s(y)$

$$c_i = \frac{\Delta y}{\Delta p_i}$$

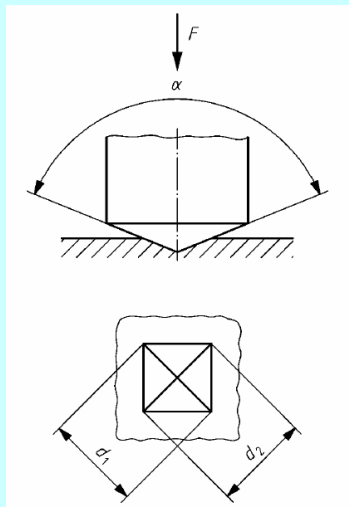
$$s^2(\bar{y}) = \frac{1}{n(n-1)} \sum_{k=1}^n (\bar{y} - y_k)^2$$

$$u^2(\bar{y}) \approx \sum_i c_i^2 \cdot u^2(p_i) + s^2(\bar{y})$$

$$y = f(x_j, [p_i, \text{Einflussgrößen}]) \text{ [+ Korrekturwert]}$$

Geeignete Modellgleichung konnte aufgestellt werden

Beispiel: Härteprüfung nach Vickers (ISO 6507)



$$H = \frac{F}{A} + H_{Korr}$$

$$H = 0,102 \frac{F}{\frac{d^2}{2 \sin(\alpha)}}$$

$$u^2(\bar{H}) = (2 \cdot 0,102)^2 \cdot \left[\left(\frac{\sin(\alpha)}{d^2} \right)^2 u^2(F) + \left(\frac{F \cos(\alpha)}{d^2} \right)^2 u^2(\alpha) + \left(\frac{-2F \sin(\alpha)}{d^3} \right)^2 u^2(d) \right] + s^2(\bar{H})$$

Je nach Genauigkeitsforderung noch zu berücksichtigen:
 Abweichung von senkrechter Kraftaufbringung, Einwirkdauer, Probenbeschaffenheit, ...

l) Ermittlung der Objekteigenschaften / Beaufschlagung mit Prüfparametern

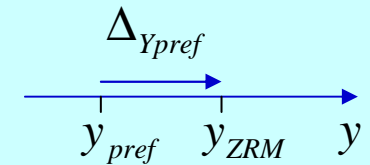
**b) Verwendung von zertifizierten Referenz-Prüfobjekten: Referenzwerte $y_{ZRM} \pm U(y_{ZRM})$
Bestimmung der Ergebnisabweichung vom Referenzwert einschl. Unsicherheit**

$$\bar{y}_{pref} = \frac{1}{n} \sum_{k=1}^n y_k$$

Mittelwert aus Prüfergebnissen y_k für Referenz-Prüfobjekt y_{ZRM}

$$\Delta_{\bar{y}_{pref}} = y_{ZRM} - \bar{y}_{pref}$$

Abweichung Mittelwert y_{pref} von Referenzwerten y_{ZRM}



$$u^2(\Delta_{\bar{y}_{pref}}) = (U(y_{ZRM})/k)^2 + s^2(\bar{y}_{pref}) \quad \text{Prüfparameter } p_i \text{ festgelegt}$$

Erweiterte Unsicherheit Referenzwert $U(y_{ZRM})$, Überdeckungsfaktor k

$$s^2(\bar{y}_{pref}) = \frac{1}{n(n-1)} \sum_{k=1}^n (\bar{y}_{pref} - y_k)^2$$

$$y = y_p + \Delta_{\bar{y}_{pref}}$$

Ergebnis des Prüfverfahrens unter Einbeziehung des Korrekturwertes

$$u^2(y) \approx u^2(\Delta_{\bar{y}_{pref}}) + s^2(y) \quad \text{ggf.} + \sum_i c_i^2 \cdot u^2(p_i)$$

Ggf. zul. Toleranz der Prüfparameter / Einflussgrößen p_i und deren Auswirkung auf das Ergebnis einbeziehen

$$c_i = \frac{\Delta y}{\Delta p_i}$$

$$s^2(y) = \frac{1}{(n-1)} \sum_{k=1}^n (\bar{y}_{pref} - y_k)^2$$

Schätzwert für die Streuung des Prüfverfahrens (Ergebnisstreuung Referenz-Prüfobjekte)

I) Ermittlung der Objekteigenschaften / Beaufschlagung mit Prüfparametern

**b) Verwendung von zertifizierten Referenz-Prüfobjekten: Referenzwerte $y_{ZRM} \pm U(y_{ZRM})$
Bestimmung der Ergebnisabweichung vom Referenzwert einschl. Unsicherheit**

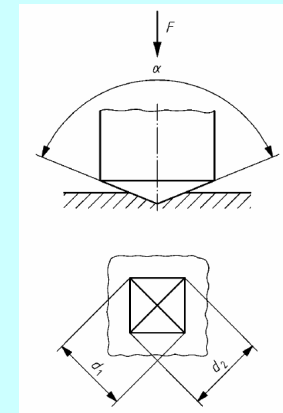
Beispiel: Härteprüfung nach Vickers (ISO 6507)

$$\bar{H}_{pref} = \frac{1}{n} \sum_{k=1}^n H_k \quad (n = 5)$$

Mittelwert aus Prüfergebnissen
 H_k für Härtereferenz H_{ZRM}

$$\Delta_{\bar{H}_{pref}} = H_{ZRM} - \bar{H}_{pref}$$

Abweichung Mittelwert \bar{H}_{pref}
vom Referenzwert H_{ZRM}



$$u^2(\Delta_{\bar{H}_{pref}}) = (U(H_{ZRM})/k)^2 + s^2(\bar{H}_{pref}) + \text{Beitrag Auflösung} \quad \text{Prüfparameter } p_i \text{ festgelegt}$$

Erweiterte Unsicherheit Härtereferenzwert $U(H_{ZRM})$,
Überdeckungsfaktor k

$$s^2(\bar{H}_{pref}) = \frac{1}{n(n-1)} \sum_{k=1}^n (\bar{H}_{pref} - H_k)^2$$

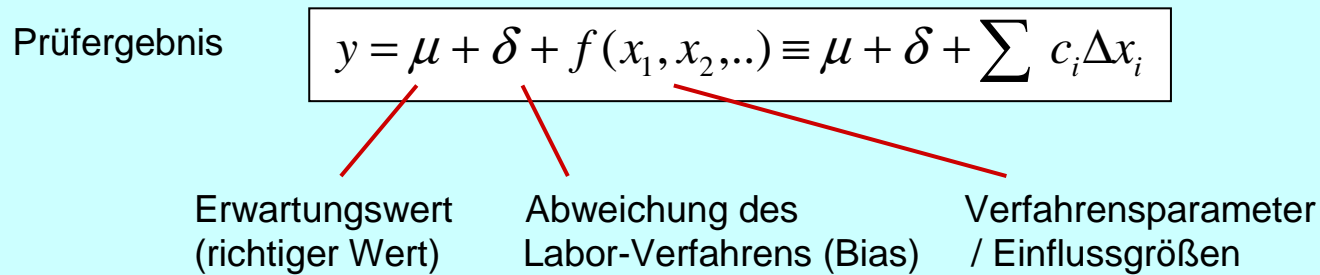
$$|\Delta_{\bar{H}_{pref}}| \leq \Delta H_{max} \quad (ISO 6507 - 2)$$

Zul. Toleranz der Härteprüfeinrichtung in
ISO 6507-2 festgelegt.

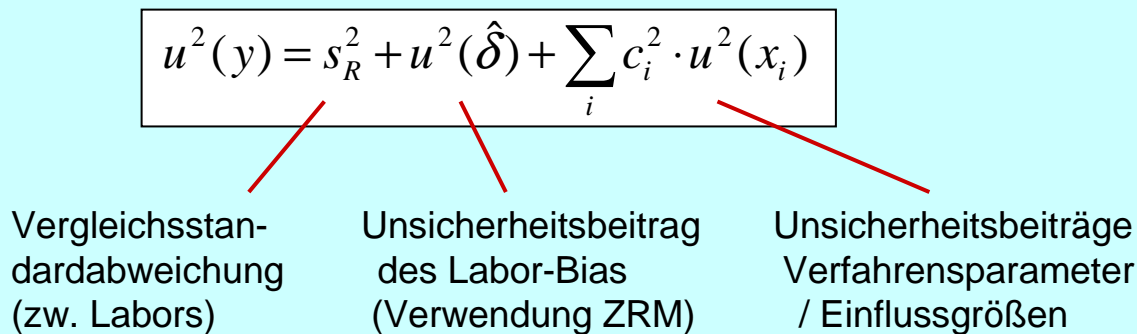
I) Ermittlung der Objekteigenschaften / Beaufschlagung mit Prüfparametern

ISO/TS 21748 Guide to the use of repeatability, reproducibility and trueness estimates in measurement uncertainty estimations

Abschätzung der Unsicherheit unter Verwendung von Ringvergleich-Daten



$$c_i = \frac{\Delta y}{\Delta p_i}$$

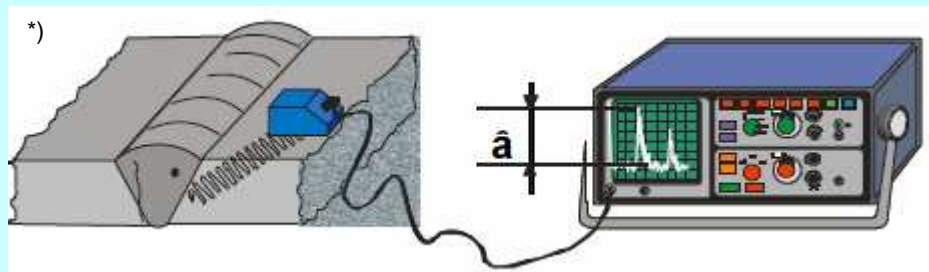
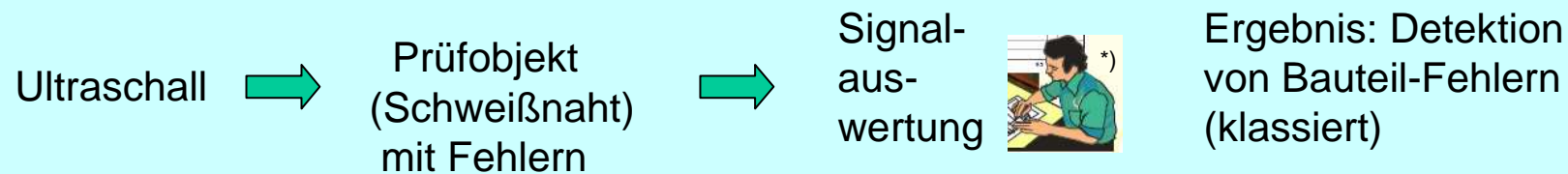


$$u^2(\hat{\delta}) = s_{\hat{\delta}}^2 = \frac{s_R^2 - \left(1 - \frac{1}{n}\right) s_r^2}{p}$$

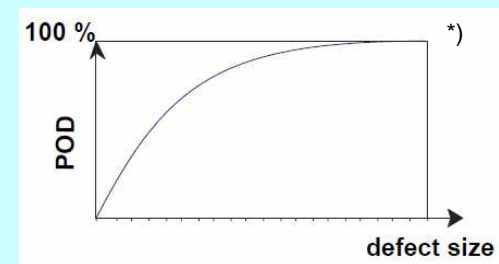
p : Zahl d. Laboratorien
 n : Zahl der laborinternen Wiederholungsprüfungen

III) Qualitatives Prüfverfahren basierend auf qualitativen Eingangsgrößen „Diagnostisches“ Prüfverfahren

Zerstörungsfreie Prüfung – z. B. Ultraschallprüfung von Bauteilen zur Ermittlung von Bauteilfehlern



Ergebnisunsicherheit: z. B. POD (Probability Of Detection)



*) Quelle: Ch. Müller et. al., Progress in Evaluating the Reliability of NDE Systems, 4th European- American Workshop on Reliability of NDE, Berlin, 2009

Überblick über die betrachteten Prüfverfahren

- Ermittlung der Objekteigenschaften ggf. einschl. Klassifizierung, Einhaltung von Spezifikationen
- Ermittlung der Objekteigenschaften unter/nach Beaufschlagung des Prüfobjektes mit vorgegebenen Prüfparametern
 1. Ergebnis qualitativ
 2. Ergebnis quantitativ
 - 2.1 Nutzung von Definitionsmodellen der Prüfergebnisgröße
 - 2.2 Nutzung von Referenzobjekten
 - 2.3 Teilnahme an Ringvergleichen
- Qualitative Prüfverfahren basierend auf qualitativen Eingangsgrößen
„Diagnostische“ Prüfverfahren