

# Unsicherheit und Vergleichbarkeit von Prüfergebnissen

***A. Subaric-Leitis***

***Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung, 12200 Berlin***

*a. subaric-leitis@bam.de*

---

# Unsicherheit und Vergleichbarkeit von Prüfergebnissen

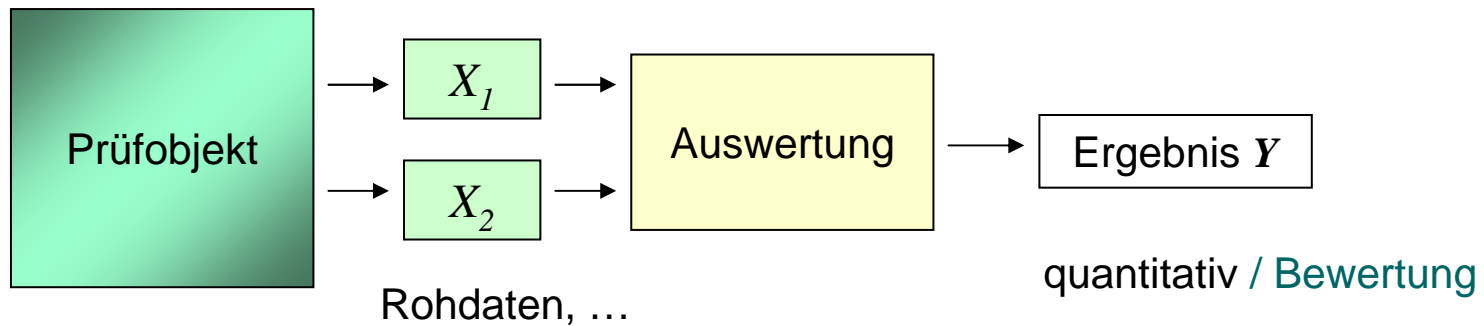
- Prüfarten
- Ermittlung von Objekteigenschaften  
Konformitätsprüfungen
- Ermittlung von Objekteigenschaften unter Beaufschlagung mit  
vorgegebenen Prüfparametern
- Vergleichbarkeit von Prüfergebnissen

## Unsicherheit (Ergebnisunsicherheit) von Prüfergebnissen

- 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 auch einschl. Vergleich mit vorgegebenen Spezifikationen (Konformität)

# Prüfarten

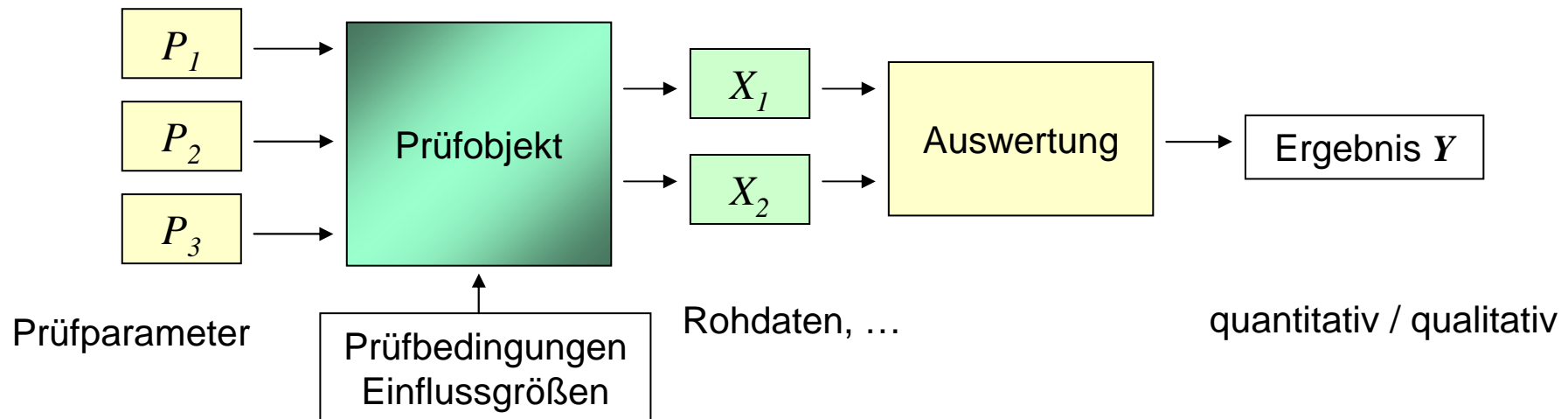
**a) Ermittlung quantitativer Objekteigenschaften**  
 ggf. einschl. Konformitätsprüfung (Bewertungsergebnis)



- Maßhaltigkeitsprüfungen an Bauteilen
- Potentialfeldmessungen zur Ermittlung von Korrosionsschäden

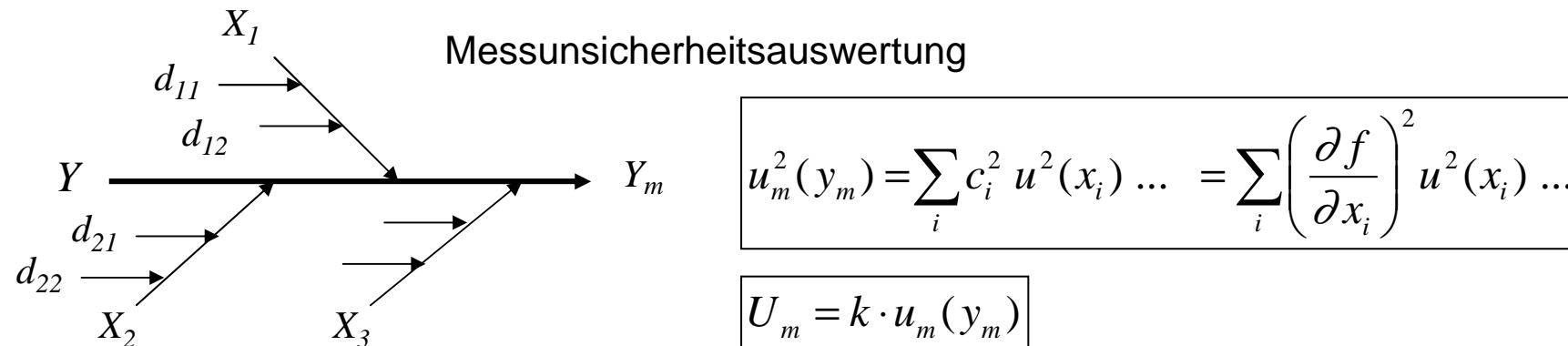
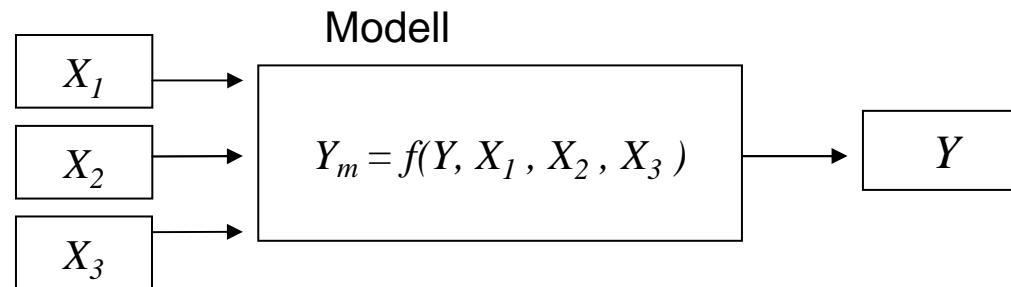
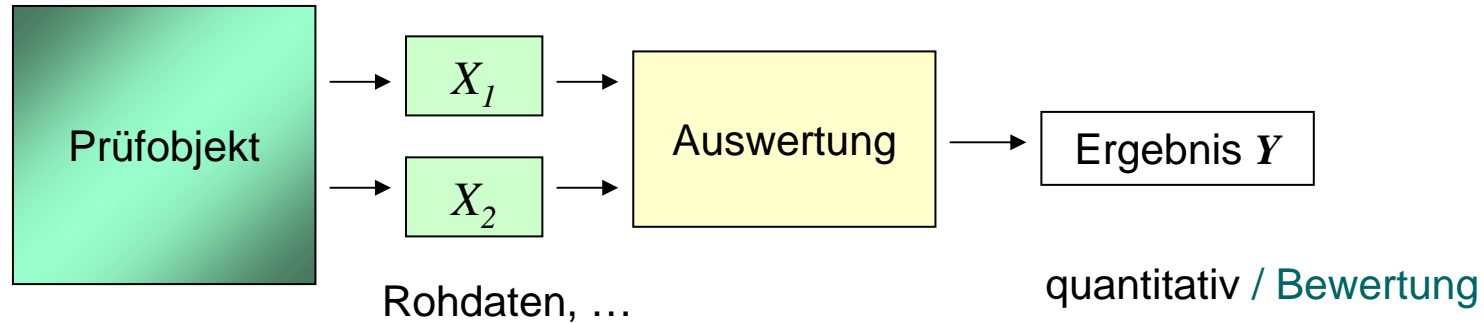
# Prüfarten

## b) Ermittlung der Objekteigenschaften unter Beaufschlagung des Prüfobjektes mit vorgegebenen Prüfparametern

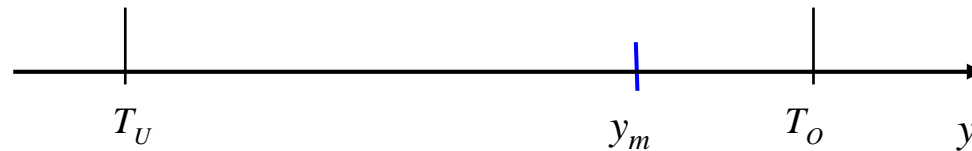


- Umweltsimulationsprüfungen: Vibration, Schock, Klima, Korrosion, Bestrahlung, ...  
DIN EN 60068-x-x , MIL-STD-810 , ...
- Messung von spezifischen, Volumen-, Oberflächenwiderständen  
Elektrische Durchschlagfestigkeitsprüfung
- Bestimmung von mechan.-technol. Werkstoffkennwerten mittels definierter Beanspruchung unter vorgegebenen Bedingungen (Werkstoffprüfung, ...)
- Messung der Beanspruchung unter vorgegebenen Bedingungen

**a) Ermittlung quantitativer Objekteigenschaften**  
ggf. einschl. Konformitätsprüfung (Bewertungsergebnis)

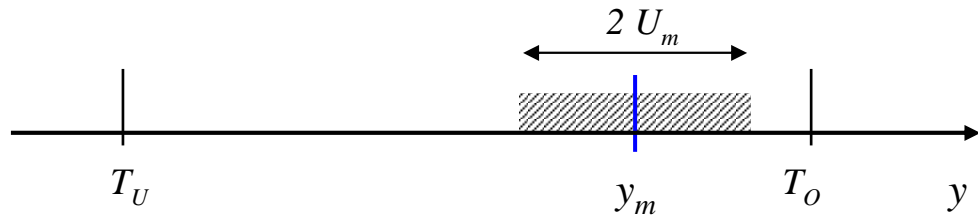


**a) Ermittlung quantitativer Objekteigenschaften**  
ggf. einschl. Konformitätsprüfung (Bewertungsergebnis)



Konformität :  $T_U \leq y_m \leq T_O$

Konformitätsbewertung bei Anwendung von (standardisierten) **Konventionsverfahren**.  
Prüfverfahren **einschl. Toleranzvorgaben** für alle Größen, die einen Einfluss auf die  
Unsicherheit von  $y_m$  haben. (Schließt Verfahren mit Messmittelfähigkeitsindex ein.)

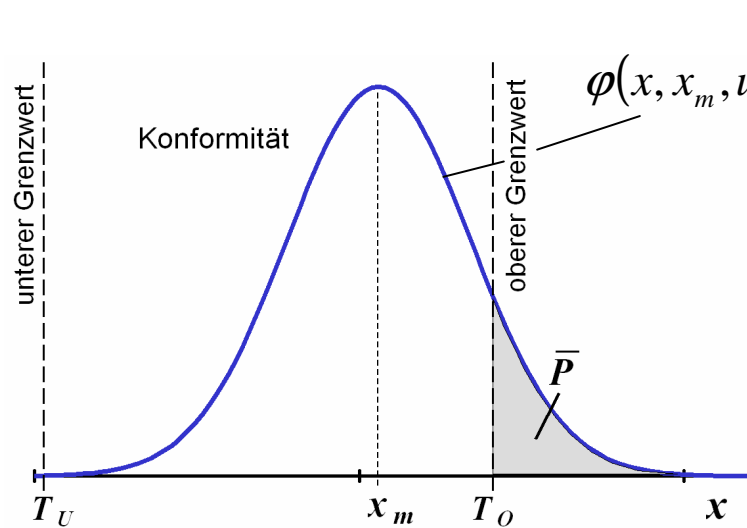


Konformität :

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

Konformitätsbewertung bei Anwendung von (standardisierten) **Prüfverfahren deren Prüfparameter** (einschl. Einflussgrößen) **ohne Toleranzvorgaben** festgelegt sind.  
(D. h. Auswirkungen der Prüfparametervariabilität auf die Unsicherheit von  $y_m$  ist dann nicht beschränkt).

### a) Ermittlung quantitativer Objekteigenschaften einschl. Konformitätsprüfung Risiko einkomponentiger Konformitätsentscheidungen



Annahme: Keine Vorkenntnisse über Ergebniswert  $x_m$

$$P(T_U \leq X \leq T_O) = \frac{1}{u_m \sqrt{2\pi}} \int_{T_U}^{T_O} e^{-\frac{(x-x_m)^2}{2u_m^2}} dx$$

$$\Phi(z) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^z e^{-\frac{w^2}{2}} dw = 1 - \Phi(-z)$$

Standardisierte Normalverteilung

$$\bar{P} = P(X < T_U, X > T_O) = 1 - \Phi\left(\frac{T_O - x_m}{u_m}\right) + \Phi\left(\frac{T_U - x_m}{u_m}\right)$$

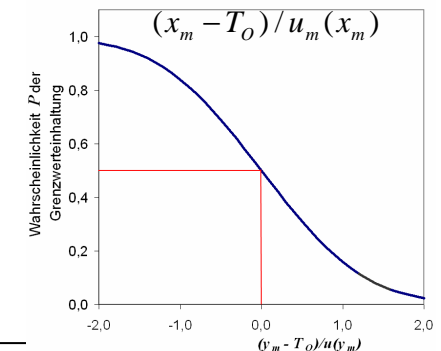
für das Ergebnis = Konformität :  $T_U \leq x_m \leq T_O$  bzw.  
 $T_U + U_m \leq x_m \leq T_O - U_m$

Risiko / Unsicherheit der Konformitätsentscheidung

$$P = P(T_U \leq X \leq T_O) = \Phi\left(\frac{T_O - x_m}{u_m}\right) - \Phi\left(\frac{T_U - x_m}{u_m}\right)$$

für das Ergebnis = Konformität :  $T_U \leq x_m \leq T_O$  bzw.  
 $T_U + U_m \leq x_m \leq T_O - U_m$

Sicherheit der Konformitätsentscheidung





### a) Ermittlung quantitativer Objekteigenschaften einschl. Konformitätsprüfung Risiko mehrkomponentiger Konformitätsentscheidungen

Prüfung eines Objektes auf Einhaltung mehrerer Toleranzen / Grenzwerte: I. A. ist Objekt genau dann als konform einzustufen, wenn für jede Objektvariable Konformität festgestellt wird:

*Annahme: Keine Vorkenntnisse über Messwert  $x_{m,i}$  und Unabhängigkeit der  $x_{m,i}$  untereinander*

Konformität bzgl.  $r$  Objektvariablen  $X_i$ :

$$\bigcap_{i=1}^r \{X_i \mid T_{U,i} \leq X_i \leq T_{O,i}\}$$

$$P_{ges} = \prod_{i=1}^r (P(T_{U,i} \leq X_i \leq T_{O,i})) = \prod_{i=1}^r P_i$$

$$= \prod_{i=1}^r \left( \Phi\left(\frac{T_{O,i} - x_{m,i}}{u_i}\right) - \Phi\left(\frac{T_{U,i} - x_{m,i}}{u_i}\right) \right)$$

für die Entscheidung : Konformität

$$T_{U,i} \leq x_{m,i} \leq T_{O,i} \quad i = 1 .. r$$

Sicherheit der Konformitätsentscheidung

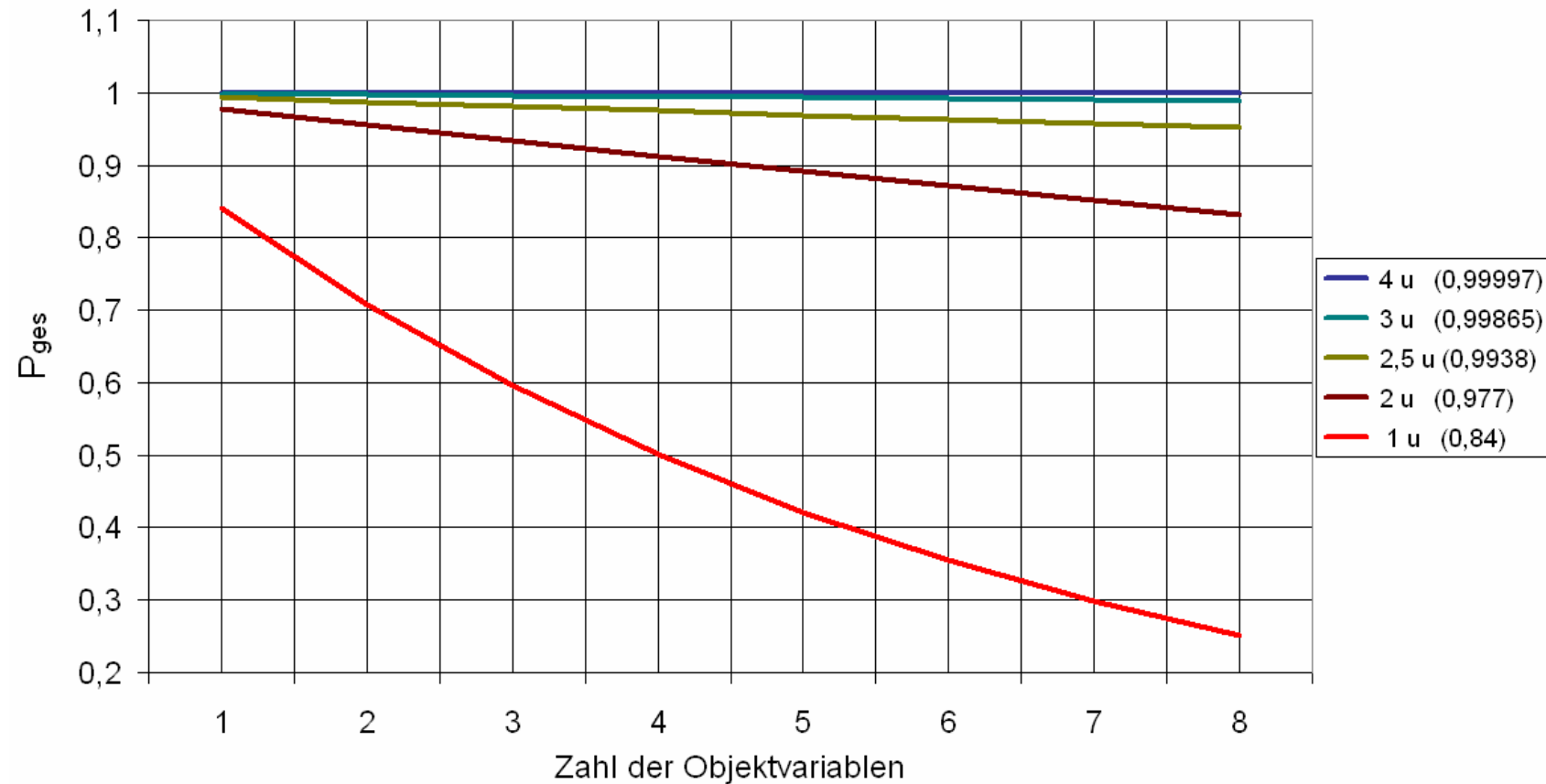
$$\bar{P}_{ges} = 1 - P_{ges}$$

Risiko / Unsicherheit der Konformitätsentscheidung

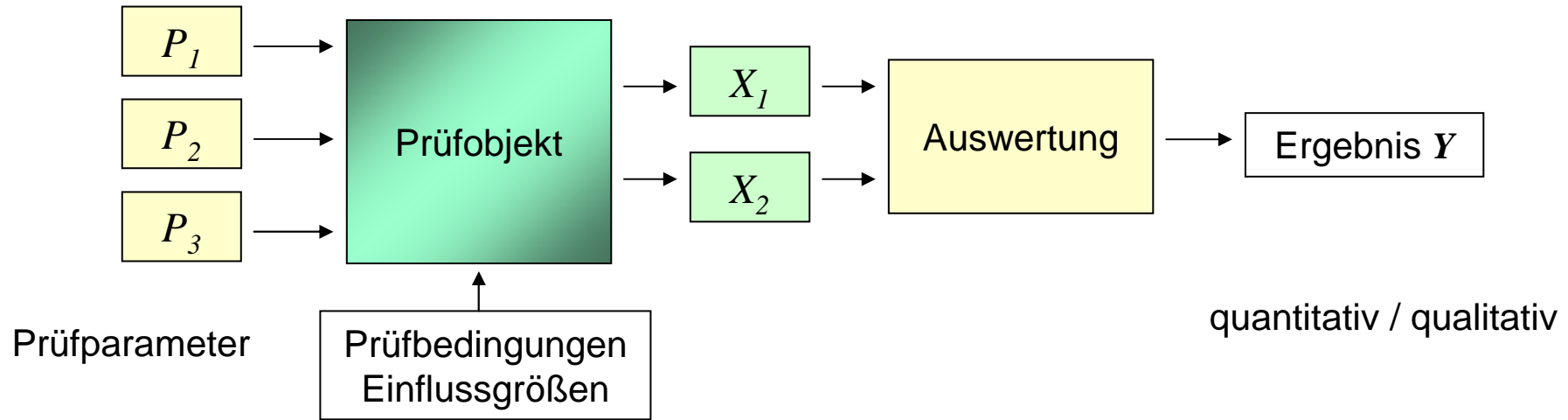
## a) Ermittlung quantitativer Objekteigenschaften einschl. Konformitätsprüfung Risiko mehrkomponentiger Konformitätsentscheidungen

Wahrscheinlichkeit für Konformität des Objektes

Gesamtwahrscheinlichkeit für Konformität. Worst-case-Annahme: Alle Messwerte liegen jeweils im Abstand 1 u; 2 u; 2,5 u; 3 u; 4 u zu den Grenzwerten

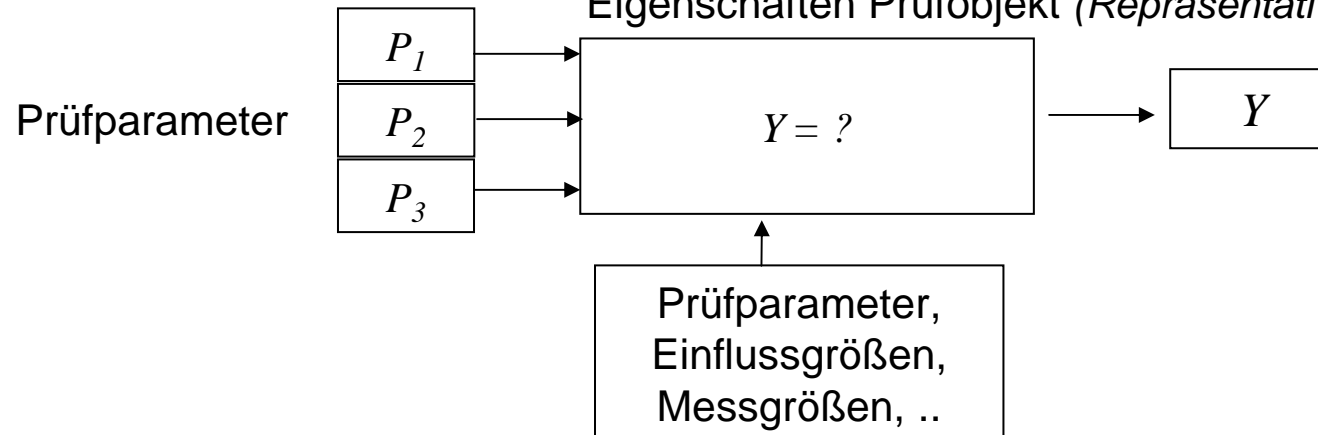


## b) Ermittlung der Objekteigenschaften unter Beaufschlagung des Prüfobjektes mit vorgegebenen Prüfparametern



Unsicherheitsauswertung ?

Ergebnisabhängigkeit von Prüfparametern/-bedingungen, Prüfer (*Durchführung, Bewertung*), Eigenschaften Prüfobjekt (*Repräsentativität, Vorbereitung, ..*)



## b) Ermittlung der Objekteigenschaften unter Beaufschlagung des Prüfobjektes mit vorgegebenen Prüfparametern

**Konventionsverfahren (quantitatives / qualitatives Ergebnis):** Detaillierte Beschreibung des Prüfverfahrens einschl. Festlegung der detaillierten Prüfbedingungen / zulässigen Parametertoleranzen und der Form der Darlegung des berechneten Prüfergebnisses.  
*(der überwiegende Teil der Prüfnormen leistet das)*

⇒ Ermittlung des Prüfergebnisses unter Berücksichtigung max. zul. Unsicherheitsbeiträge.  
 Erforderlich: Abschätzung/Nachweis der Unsicherheiten der Prüfparameter und ggf. der Einflussgrößen, Überprüfung der Einhaltung der Parametertoleranzen, Einhaltung der Prüfbedingungen / des Prüfablaufs (ISO 17025, 5.4.6.2 Anm.2)

### Unsicherheitsauswertung:

Ermittlung der Unsicherheiten  $u(p_i)$  jedes Prüfparameters  $p_i$  einschl. Konformitätsprüfung in Bezug auf Parametertoleranzen.

$$p_1, u(p_1); \quad p_2, u(p_2); \quad p_3, u(p_3); \quad \dots$$

(Gemäß ISO 17025, 5.4.6.2 Anm.2 nicht erforderlich wenn (Genauigkeits)Klassen für die Messung/Erzeugung der Prüfparameter in der Norm vorgegeben sind.)

## **b) Ermittlung der Objekteigenschaften unter Beaufschlagung des Prüfobjektes mit vorgegebenen Prüfparametern**

### **Übrige Verfahren (quantitative Ergebnisse):**

Bestimmung bzw. Abschätzung der Unsicherheit des Ergebnisses

- Unsicherheitsbudget unter Berücksichtigung aller wesentlichen Parameter/Einflussgrößen
- Verwendung von Referenz-Prüfobjekten
- Auswertung von Vergleichsprüfungen mit anderen Verfahren/Laboratorien (vgl. ISO/TS 21748)

### **Übrige Verfahren (qualitative Ergebnisse - bestanden / nicht bestanden, Klassierungen, Auffinden von Fehlern)):**

Anwendung spezieller, fachspezifischer Verfahren für die Ermittlung von Ergebnisunsicherheiten bzw. Zuverlässigkeitsaussagen: Diagnostik, ZfP (POD-, ROC-Methoden, Bayessche Verfahren, etc.)

POD-, ROC-Charakteristiken: Vergleichbarkeits- / Leistungs-Charakteristiken

## b) Ermittlung der Objekteigenschaften unter Beaufschlagung des Prüfobjektes mit vorgegebenen Prüfparametern

### Vergleichbarkeit von (quantitativen) Prüfergebnissen

(z. B. aus unterschiedlichen Laboratorien):

- Konventionsverfahren: sollten dies i. d. R. leisten, soweit Prüfbedingungen, Toleranzen der Prüfparameter, das gesamte Verfahren eingehalten wird, mögliche zusätzliche Ergebnisabweichungen durch menschlichen Einfluss.
- **Verwendung von Referenzobjekten**: direkter Vergleich und Korrekturwerte möglich

Verwendung von (zertifizierten) Referenzobjekten: Referenzwerte  $y_{RM} \pm U(y_{RM})$   
 Bestimmung der Ergebnisabweichung vom Referenzwert einschl. Unsicherheit

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

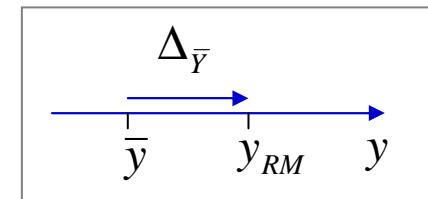
Mittelwert aus Prüfergebnissen  $y_k$  für Referenzobjekt  $y_{RM}$

$$\Delta_{\bar{y}} = y_{RM} - \bar{y}$$

Abweichung Mittelwert  $\bar{y}$  vom Referenzwert  $y_{RM}$

$$u^2(\Delta_{\bar{y}}) = (U(y_{RM})/k)^2 + s^2(\bar{y}) \quad \text{mit} \quad s^2(\bar{y}) = \frac{1}{n(n-1)} \sum_{k=1}^n (\bar{y} - y_k)^2$$

Erweiterte Unsicherheit Referenzwert  $U(y_{RM})$ , Erweiterungsfaktor  $k$



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

Ergebnis des Prüfverfahrens unter Einbeziehung des Korrekturwertes

## Vergleich von quantitativen Prüfergebnissen

Vergleich mit Referenzwerten bzw. mit anderen Vergleichswerten

$$y_{Lab} \stackrel{?}{=} y_{ref}$$

$$u_{Lab} \quad u_{ref}$$

Geben die Ergebnisse  $y_{Lab}$  und  $y_{ref}$  den gleichen Wert der Prüfobjekteigenschaft im Rahmen ihrer Unsicherheit wieder ?

**Übereinstimmungsbewertung** ISO/IEC Guide 43, DIN ISO 13528 (*Leistungskenngröße im RV*)

$$E_n = \frac{|y_{Lab} - y_{ref}|}{k \sqrt{u_{Lab}^2 + u_{ref}^2}} < 1$$

Möglicher Test auf Übereinstimmung von  $y_{Lab}$  und  $y_{ref}$  im Rahmen ihrer erweiterten Unsicherheiten

$E_n$ -Wert („standardisierte Abweichung“)

$u_{Lab}$ ,  $u_{ref}$  sind zugehörige Standardunsicherheiten

$k = 2$  Erweiterungsfaktor

## Zusammenfassung (Fusion) von Ergebnissen

Voraussetzung: Es wird angenommen, die Ergebnisse  $y_1$  und  $y_2$  geben den gleichen Wert der Prüfobjekteigenschaft im Rahmen ihrer Unsicherheiten  $u_1$  und  $u_2$  wieder.

$$y_{12} = \frac{u_2^2}{u_1^2 + u_2^2} y_1 + \frac{u_1^2}{u_1^2 + u_2^2} y_2$$

$$u_{12}^2 = \frac{u_1^2 \cdot u_2^2}{u_1^2 + u_2^2}$$

Verallgemeinert: Es wird angenommen, die  $n$  Ergebnisse  $y_1$  bis  $y_n$  geben den gleichen Wert der Prüfobjekteigenschaft im Rahmen ihrer Unsicherheiten  $u_1$  bis  $u_n$  wieder.

$$y_g = \sum_{j=1}^n m_j y_j$$

$$m_j = \frac{u_g^2}{u_j^2}$$

$$u_g^2 = \frac{1}{\sum_{j=1}^n \frac{1}{u_j^2}}$$



## Zusammenfassung

- **A) Ermittlung quantitativer Objekteigenschaften → Bestimmung der Messunsicherheit ggf. einschl. Konformitätsprüfung mit / ohne Berücksichtigung der Messunsicherheit**

*(Berücksichtigung der Messunsicherheit erfolgt nicht, wenn genormtes Verfahren Grenzwerte für Hauptquellen der Unsicherheit und die Klassifizierung des Objektes ohne Berücksichtigung der Messunsicherheit vorschreibt.)*

- **B) Ermittlung der Objekteigenschaften unter/nach Beaufschlagung des Prüfobjektes mit vorgegebenen Prüfparametern (genormtes/festgelegtes Prüfverfahren)**

1. Ergebnis qualitativ (direkte Vergleichbarkeit i. d. R. gegeben)
2. Ergebnis quantitativ
  - 2.1 Nutzung von Definitionsmodellen der Prüfergebnisgröße
  - 2.2 Nutzung von Referenzobjekten (Vergleich über Referenzobjekt)
  - 2.3 Teilnahme an Ringvergleichen RV (Vergleich im RV)  
Übereinstimmungsbewertung der Ergebnisse im Rahmen der Unsicherheiten mittels En-Wert (Prüfgröße)