



Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

Eidgenössisches Justiz- und Polizeidepartement EJPD
Bundesamt für Metrologie METAS

Was sind Messunsicherheiten?

Christian Hof





Was sind Messunsicherheiten?

- allgemeine Definitionen von Begriffen
- das standardisierte Vorgehen gemäss GUM, dem “*guide to the expression of uncertainty in measurement*”
- Praktische Illustration des Vorgehens anhand eines konkreten Beispiels aus unserem Labor-Alltag



Was ist ein Mikrophon?





Metrologie – „Die Lehre vom Messen“

Messung

Experimenteller Prozess bei welchem **quantitative Informationen** über eine **Messgrösse** gewonnen werden

Messgrösse

Eigenschaft eines Phänomens, eines Körpers oder einer Substanz, die **qualitativ** beschrieben und **quantitativ** ermittelt werden kann.



Messunsicherheit

Resultat einer Messung

Quantitative Information über eine Messgrösse, welche experimentell ermittelt wurde

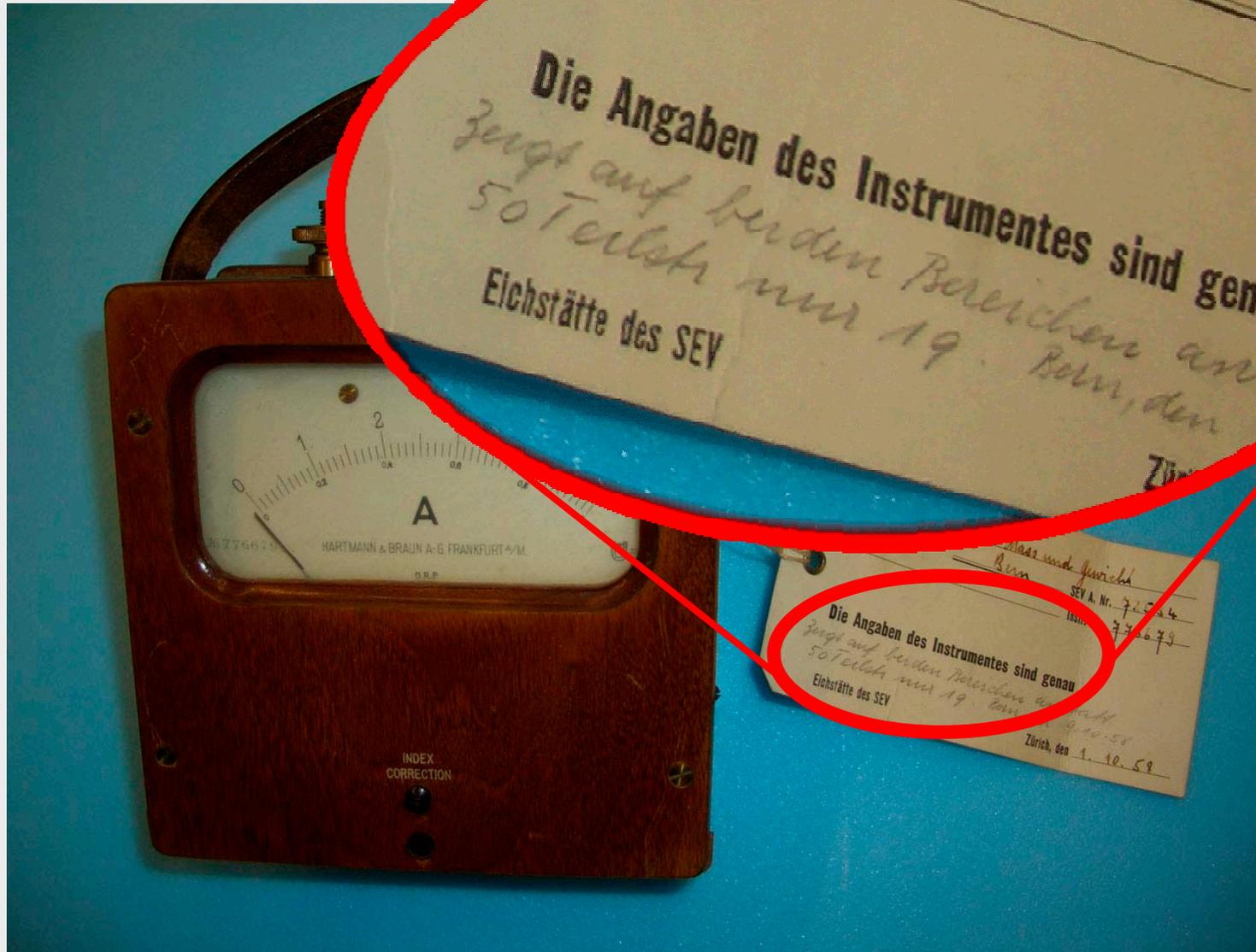
Diese «**Information**» besteht aus einem Set von Zahlenwerten, welche der Messgrösse vernünftigerweise zugeordnet werden können. Sie wird typischerweise dargestellt als:

- **Zahlenwert**
- **Messunsicherheit**

$$L_{eq} = (64 \pm 2.3) dB_A$$



veraltete Ansichten...





veraltete Ansichten (2)

MESSUNSICHERHEIT = MESSFEHLER

... wer sich darum zu scheren braucht, hat sich nicht ausreichend angestrengt

„Können Sie mir das Resultat nicht EXAKT sagen?“

Es gibt einen „**wahren Wert**“ der Messgrösse...
... durch die Messung soll dieser ermittelt werden

Der Messfehler ist die Abweichung des ermittelten Wertes vom „wahren Wert“



Neues Verständnis des Begriffs

Messunsicherheit

Dem Messergebnis zugeordneter Parameter, der die **Streuung der Werte** kennzeichnet, die vernünftigerweise der **Messgrösse** zugeordnet werden konnte

- Die **Messunsicherheit charakterisiert quantitativ die Kenntnis** über die Messgrösse auf Grund der verwendeten Information
- Die **Streuung der Werte hat unterschiedliche Ursachen:**
 - Unschärfe in der Definition der Messgrösse
 - Zufällige Abweichungen in der Messung
 - Systematische Abweichungen in der Messung



Aktuelles Verständnis des Begriffs (2)





Unschärfe in der Definition der Messgrösse

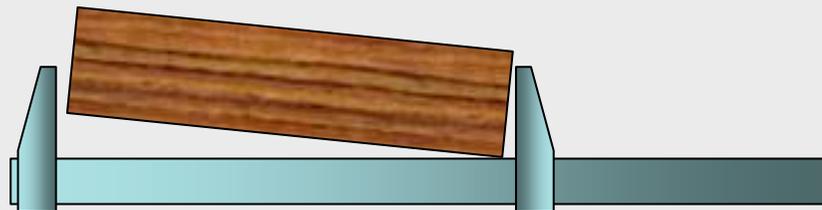




Zufällige Abweichungen



Messung N°1



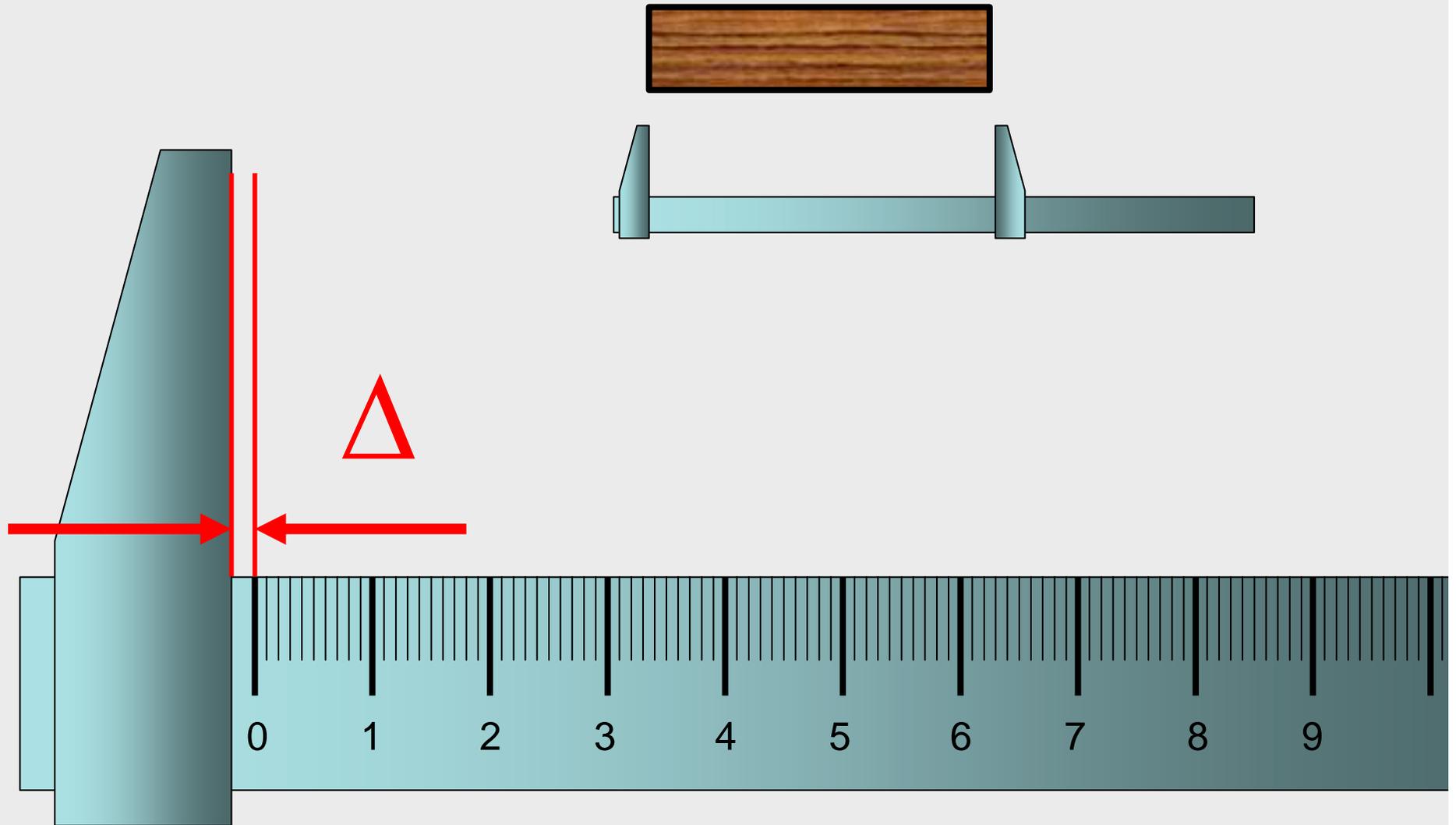
Messung N°2



Messung N°3



Systematische Abweichungen

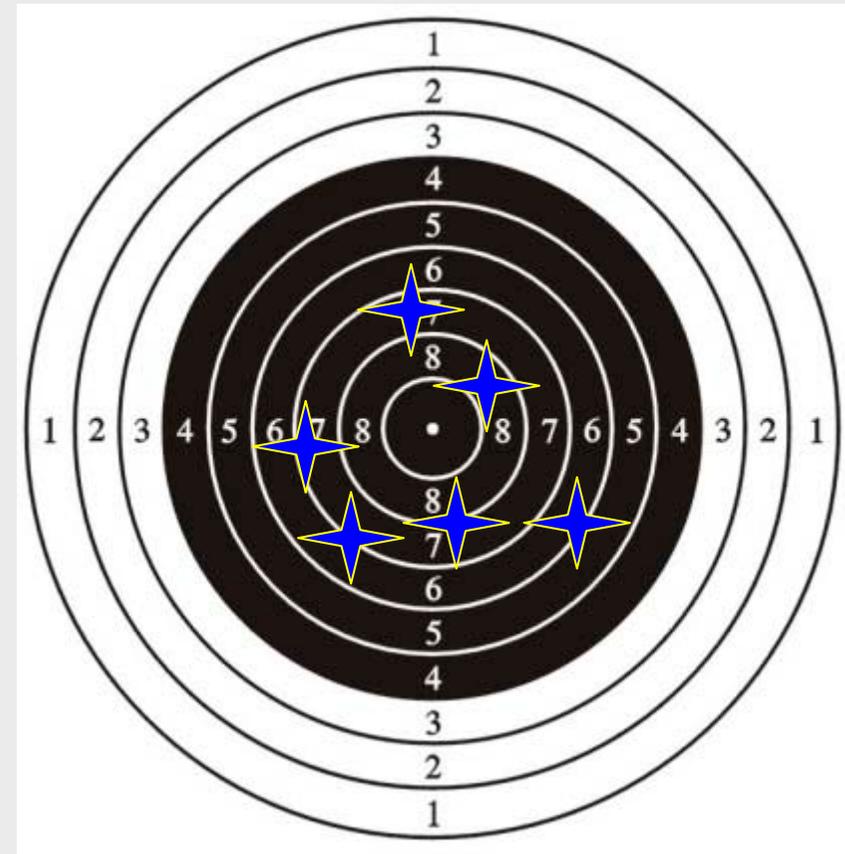




Präzision \neq Genauigkeit



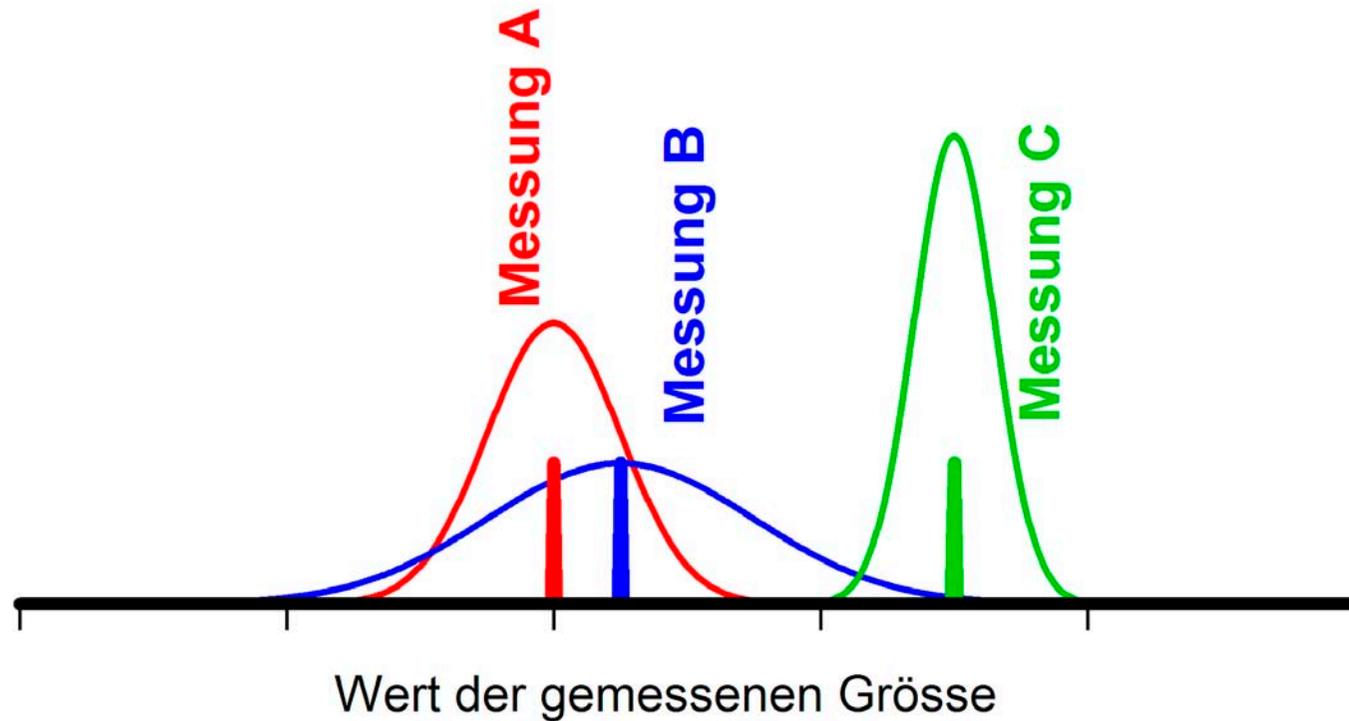
Präzision („precision“)



Genauigkeit („accuracy“)



Unterschiedliche Resultate bei gegebener Problemstellung





GUM

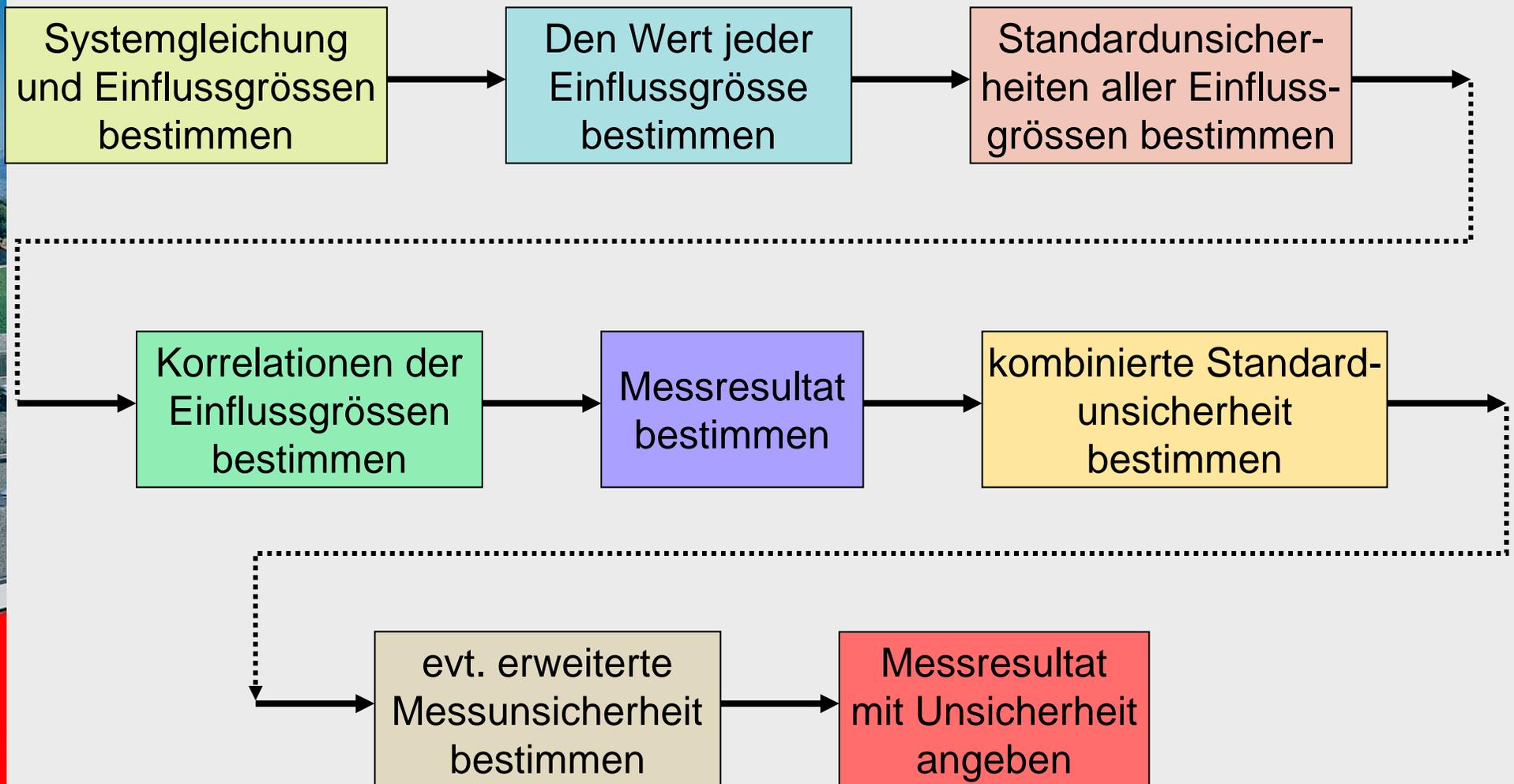
Systematisches Vorgehen zur Ermittlung der Messunsicherheit:

„**Guide to the Expression of Uncertainty in Measurement**“

- BIPM – bureau international des poids et des mesures
- IEC – international electrotechnical commission
- IFCC – international federation of clinical chemistry
- ISO – international organisation for standardisation
- IUPAC – international union of pure and applied physics
- OIML – organisation internationale de la métrologie légale



GUM (2)





GUM (3) Pistonphon-Kalibrierung

durch „*Insert-Voltage technique*“ mit *Referenzmikrophon*

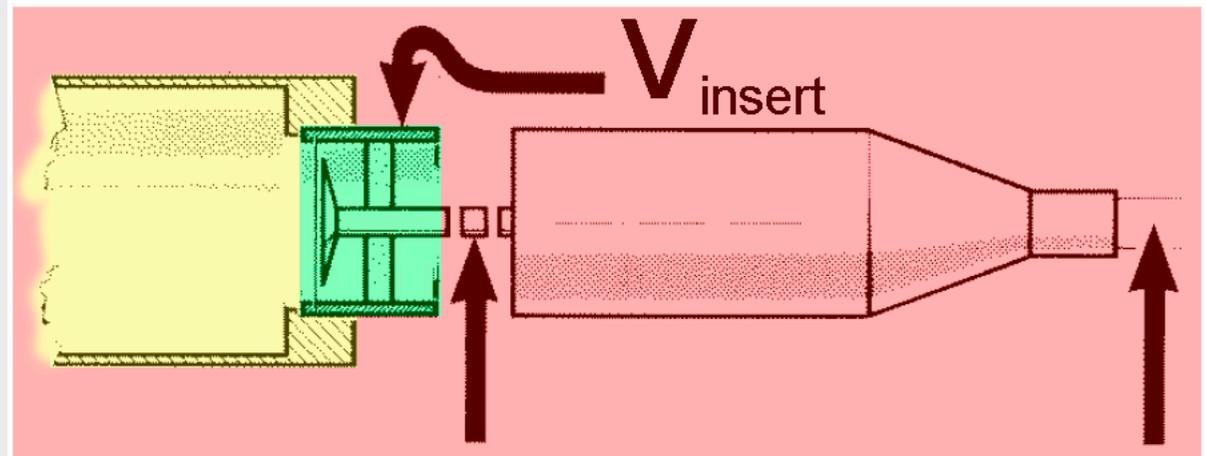
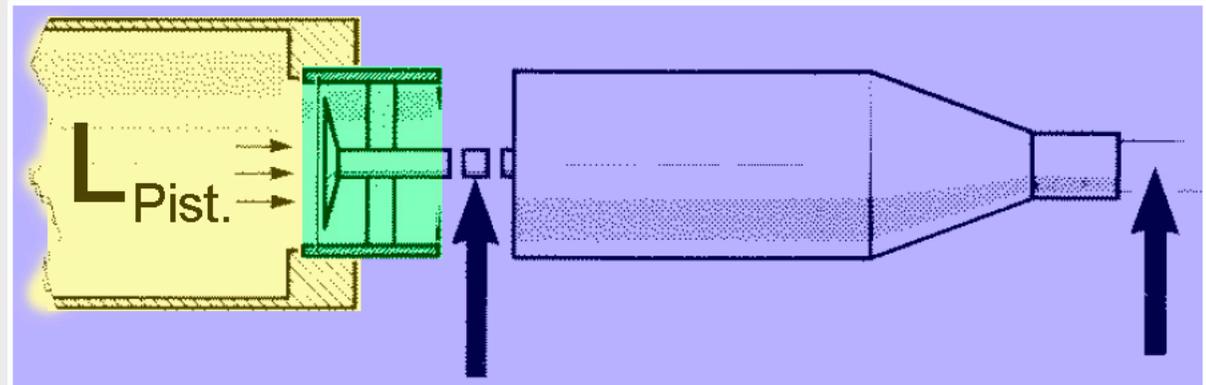
Messgrösse:

- Pistonphon-Pegel L_{Pist}

Referenz:

- kalibriertes LS Mikrophon

Messung der an der Kapsel einzuspeisenden elektrischen Spannung V_{insert} , die das gleiche Signal am Ende der Messkette erzeugt, wie der akustische Pegel des Pistonphons



$$L_{Pist} (dB \text{ ref } p_0) = V_{insert} (dB \text{ ref } 1V) - S (dB \text{ ref } 1V/Pa) - p_0 (dB \text{ ref } 1Pa)$$



GUM (4) Pistonphon-Kalibrierung

Bestimmung der Einflussgrößen

$$L_{Pist, norm} = V_{insert} - S - p_0 - L_{Korr, Luftdruck} - L_{Korr, Volume}$$

Referenzmikrophon

- Kalibrierwert
- Drift
- Luftdruck
- Umgebungstemperatur
- Luftfeuchtigkeit
- Frequenzabweichung
- Polarisationsspannung

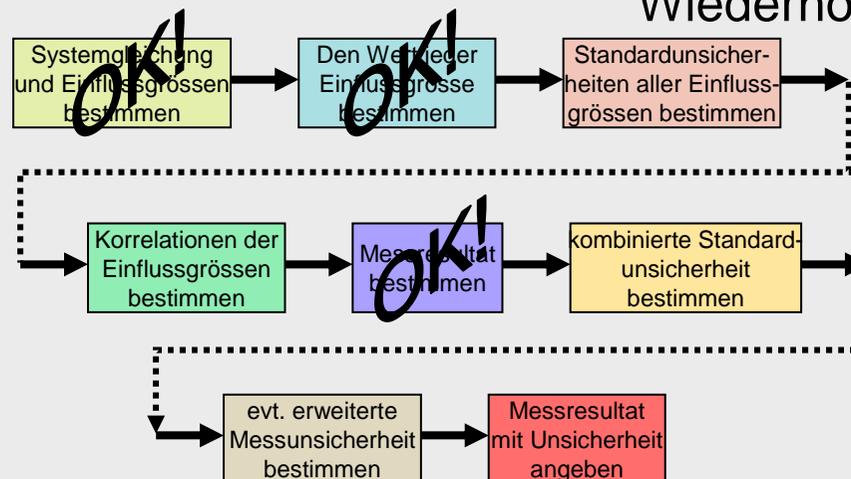
Prüfling

Korrekturen gegenüber Normalbedingungen:

- Luftdruck
- Umgebungstemperatur
- Adapter / Volumen-Einfluss

Methode

Spannungsmessung
Wiederholbarkeit



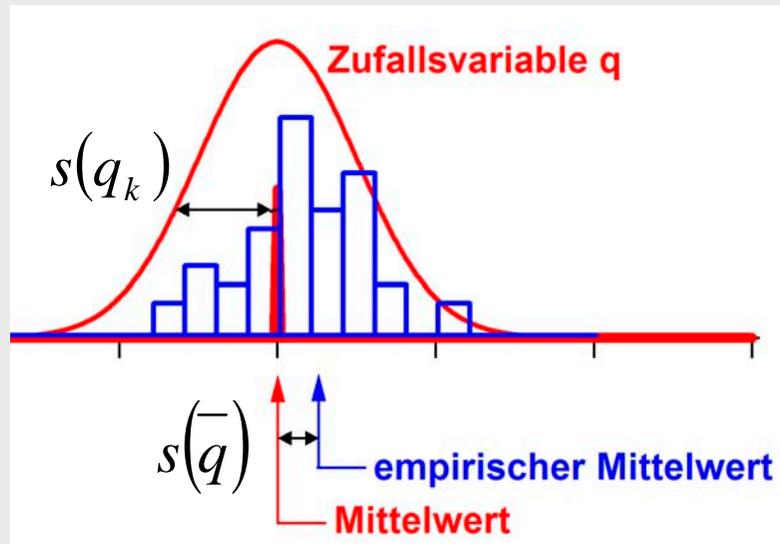


GUM (5) Pistonphon-Kalibrierung

Standardunsicherheiten aller Einflussgrößen bestimmen

Typ A:

Ermittlung der Standard-
Unsicherheit
einer Zufallsvariable



$$\bar{q} = \frac{1}{n} \cdot \sum_k q_k$$

$$s(q_k) = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_k (q_k - \bar{q})^2}$$

$$s(\bar{q}) = \sqrt{\frac{s^2(q_k)}{n}}$$

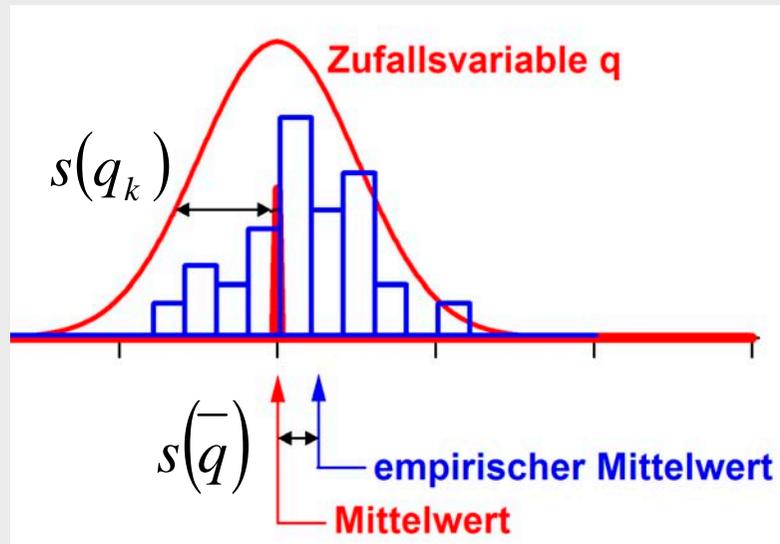


GUM (5) Pistonphon-Kalibrierung

Standardunsicherheiten aller Einflussgrößen bestimmen

Typ A:

Ermittlung der Standard-
Unsicherheit
einer Zufallsvariable



Typ B:

Ermittlung der Standard-
Unsicherheit aufgrund verfügbarer
Kenntnisse

- frühere Messungen
- Hersteller Spezifikationen
- Kalibrierzertifikate
- Messunsicherheiten aus Handbüchern etc.
- Erfahrung



GUM (6) Pistonphon-Kalibrierung kombinierte Standardunsicherheit

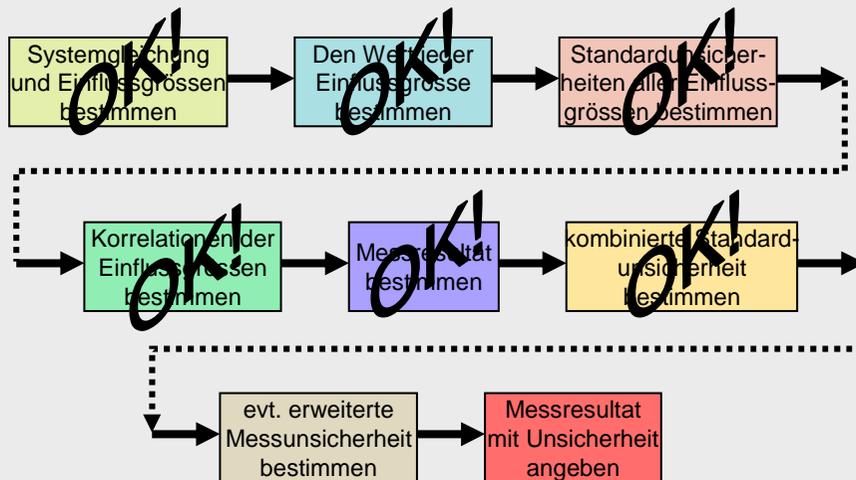
bei unkorrelierten Einflussfaktoren

$$u_{combined} = \sqrt{\sum_i (c_i \cdot u(x_i))^2}$$

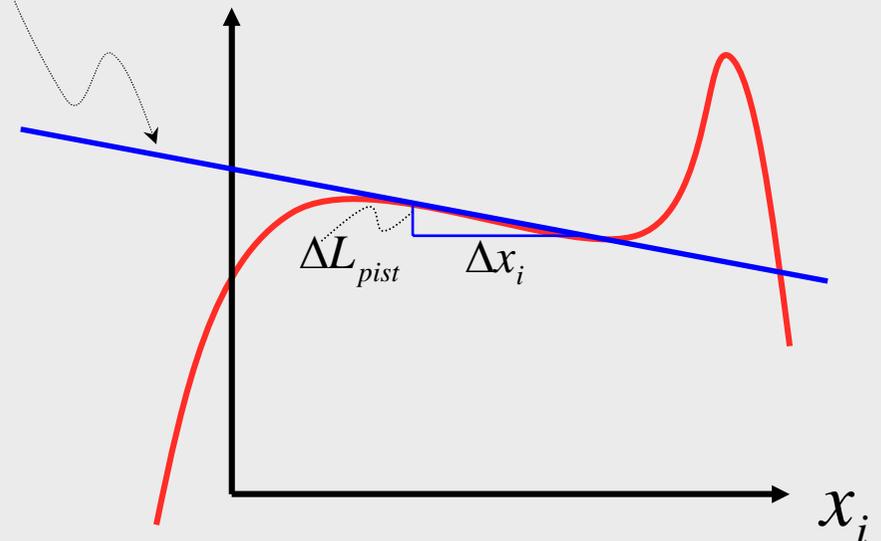
Sensibilitätsfaktor

$$c_i = \frac{\partial L_{pist}}{\partial x_i} \approx \frac{\Delta L_{pist}}{\Delta x_i}$$

Unsicherheitsfortpflanzung



$$L_{pist}(x_1, x_2, \dots, x_N)$$





GUM (7) Pistonphon-Kalibrierung erweiterte Messunsicherheit

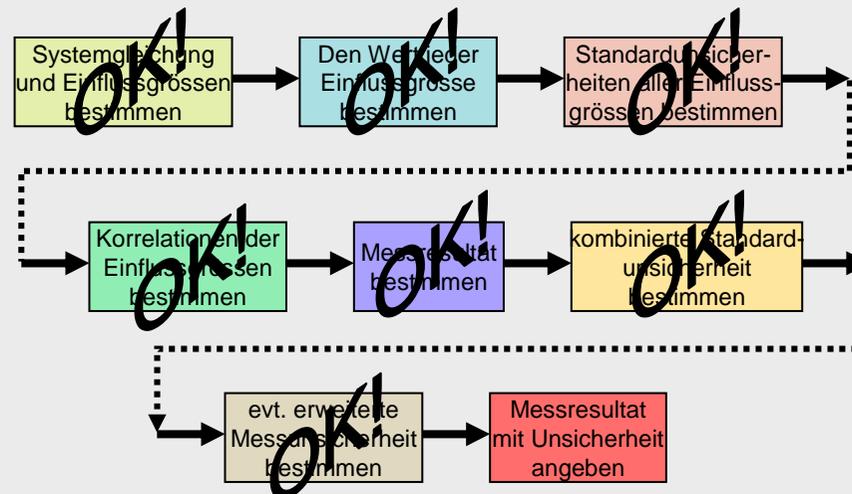
Allgemeiner Fall:

$$u_{combined} = \sqrt{\sum_i (c_i \cdot u(x_i))^2 + 2 \cdot \sum_{i=1}^{N-1} \sum_{j=i+1}^N c_i \cdot c_j \cdot u(x_i) \cdot u(x_j) \cdot r(x_i, x_j)}$$

$$c_i = \frac{\partial f}{\partial x_i}$$

$$u_{erweitert} = k \cdot u_{combined}$$

„coverage factor“ $k = 2$
entspricht einem Vertrauensintervall von 95 %





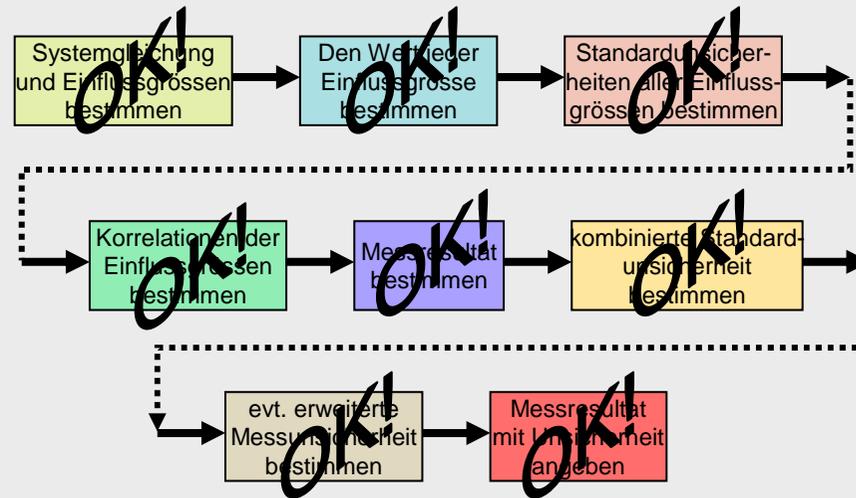
GUM (8) Angabe der Messunsicherheit

$$SPL_{\text{nom}} = (124.07 \pm 0.08) \text{ dB (ref. } 2 \times 10^{-5} \text{ Pa)}$$

Messunsicherheit

Der angegebene Messwert (y) und die zugehörige Unsicherheit (U) geben den Bereich ($y \pm U$) an, welcher den Wert der gemessenen Grösse mit einer Wahrscheinlichkeit von mindestens 95 % enthält.

Die Messunsicherheit beinhaltet Unsicherheitsbeiträge vom benutzten Normal, vom Kalibrierverfahren, von den Umgebungsbedingungen und vom kalibrierten Messmittel. Das Langzeitverhalten des kalibrierten Messmittels wurde nicht berücksichtigt.



Besten Dank!



Alles bestens bekannt?

