



Physikalisch-Technische Bundesanstalt  
Braunschweig und Berlin  
Nationales Metrologieinstitut

---

# Entwicklung des GUM

## Umfassende Beispiele

*Katy Klauenberg*

AG Datenanalyse und Messunsicherheit

Physikalisch-Technische Bundesanstalt, Berlin und Braunschweig

Einführung

**Inhalt**

GUM Dokumente

Stand der Entwicklungen

Umfassende Beispiele für den GUM

Zusammenfassung

## GUM

- ▶ Überblick
- ▶ Stand der Entwicklungen
- ▶ derzeitige Beispiele

## EMPIR Projekt

- ▶ "Advancing measurement uncertainty – comprehensive examples for key international standards"
- ▶ Überblick
- ▶ Kalibrierung mit Unsicherheit in der Referenz

## Dokumente zur Auswertung von Messungen

- ▶ **Guide to the expression of Uncertainty in Measurement**

JCGM 100:2008

Einführung

Inhalt

**GUM Dokumente**

Stand der Entwicklungen

Umfassende Beispiele für den GUM

Zusammenfassung

## Dokumente zur Auswertung von Messungen

- ▶ **Guide** to the expression of **Uncertainty** in **Measurement** JCGM 100:2008
- ▶ An **introduction** to the GUM and related documents JCGM 104:2009
- ▶ Propag. of distributions using a Monte Carlo method  
Suppl. 1 to the GUM JCGM 101:2008
- ▶ Extension to any number of output quantities  
Suppl. 2 to the GUM JCGM 102:2011
- ▶ The role of measurem. uncertainty in conformity assessm. JCGM 106:2012

Einführung

Inhalt

**GUM Dokumente**

Stand der Entwicklungen

Umfassende Beispiele für den GUM

Zusammenfassung

## Dokumente zur Auswertung von Messungen

- ▶ **Guide** to the expression of **Uncertainty** in **Measurement** JCGM 100:2008
- ▶ An **introduction** to the GUM and related documents JCGM 104:2009
- ▶ Propag. of distributions using a Monte Carlo method  
Suppl. 1 to the GUM JCGM 101:2008
- ▶ Extension to any number of output quantities  
Suppl. 2 to the GUM JCGM 102:2011
- ▶ The role of measurem. uncertainty in conformity assessm. JCGM 106:2012

⇒ kostenfrei, (welt)weit angewandt, de facto Norm in Metrol.

Einführung

Inhalt

**GUM Dokumente**

Stand der Entwicklungen

Umfassende Beispiele für den GUM

Zusammenfassung

Einführung

Inhalt

GUM Dokumente

Stand der Entwicklungen

Umfassende Beispiele für den GUM

Zusammenfassung

## Dokumente zur Auswertung von Messungen

- ▶ **Guide** to the expression of **Uncertainty in Measurement**  
JCGM 100:201X CD (Revision) & JCGM 110:201X CD (Bsp.e) JCGM 100:2008
- ▶ An **introduction** to the GUM and related documents  
JCGM 104:2009
- ▶ Propag. of distributions using a Monte Carlo method  
Suppl. 1 to the GUM  
JCGM 101:2008
- ▶ Extension to any number of output quantities  
Suppl. 2 to the GUM  
JCGM 102:2011
- ▶ The role of measurem. uncertainty in conformity assessm.  
JCGM 106:2012

⇒ kostenfrei, (welt)weit angewandt, de facto Norm in Metrol.

## Revision JCGM 100

- ▶ Entwurf: Ende 2015 an NMIs & Mitgliederorganisationen des JCGM
- größtenteils Ablehnung

### ⇒ New Perspective

- ▶ "Der GUM" = ganze Gruppe der Dokumente  
kein Unterschied zw. Hauptdokument & Suppl.
- ▶ Überarbeitung JCGM 104 als Überblick
- ▶ techn. Neuheiten der Revision = mit JCGM 100 koexistierendes Dokument

News from JCGM-WG1: [www.bipm.org/en/committees/cc/wg/jcgm-wg1.html](http://www.bipm.org/en/committees/cc/wg/jcgm-wg1.html)

Einführung

Inhalt

GUM Dokumente

**Stand der Entwicklungen**

Umfassende Beispiele für den GUM

Zusammenfassung

## Revision JCGM 100

- ▶ Entwurf: Ende 2015 an NMIs & Mitgliederorganisationen des JCGM
- größtenteils Ablehnung

### ⇒ New Perspective

- ▶ "Der GUM" = ganze Gruppe der Dokumente  
kein Unterschied zw. Hauptdokument & Suppl.
- ▶ Überarbeitung JCGM 104 als Überblick
- ▶ techn. Neuheiten der Revision = mit JCGM 100 koexistierendes Dokument

### ⇒ JCGM 103 Developing & using measurement models

- ▶ Anleitung zur Def. der Messgröße, Entwickl. & Anwendung des Messmodell
- ▶ Zirkulation des Entwurfs steht bevor

## JCGM 110 Examples of uncertainty evaluation

- ▶ Idee & Inhalt begrüßt
- mehr Beispiele

News from JCGM-WG1: [www.bipm.org/en/committees/cc/wg/jcgm-wg1.html](http://www.bipm.org/en/committees/cc/wg/jcgm-wg1.html)

Einführung

Inhalt

GUM Dokumente

**Stand der Entwicklungen**

Umfassende Beispiele für den GUM

Zusammenfassung



## Revision JCGM 100

- ▶ Entwurf: Ende 2015 an NMIs & Mitgliederorganisationen des JCGM
- größtenteils Ablehnung

### ⇒ New Perspective

- ▶ "Der GUM" = ganze Gruppe der Dokumente  
kein Unterschied zw. Hauptdokument & Suppl.
- ▶ Überarbeitung JCGM 104 als Überblick
- ▶ techn. Neuheiten der Revision = mit JCGM 100 koexistierendes Dokument

### ⇒ JCGM 103 Developing & using measurement models

- ▶ Anleitung zur Def. der Messgröße, Entwickl. & Anwendung des Messmodell
- ▶ Zirkulation des Entwurfs steht bevor

## JCGM 110 Examples of uncertainty evaluation

- ▶ Idee & Inhalt begrüßt
- mehr Beispiele: [EMPIR Projekt](#)

News from JCGM-WG1: [www.bipm.org/en/committees/cc/wg/jcgm-wg1.html](http://www.bipm.org/en/committees/cc/wg/jcgm-wg1.html)

Einführung

Inhalt

GUM Dokumente

**Stand der Entwicklungen**

Umfassende Beispiele für den GUM

Zusammenfassung

Einführung

**Umfassende Beispiele für den GUM**

Beispiele im GUM – Status quo

Das EMUE-Projekt

Die Beispiele

Kalibrierung

Zusammenfassung

# Umfassende Beispiele für den GUM

Einführung

Umfassende Beispiele für den GUM

**Beispiele im GUM – Status quo**

Das EMUE-Projekt

Die Beispiele

Kalibrierung

Zusammenfassung

## Beispiele im **Hauptteil** JCGM 100

- ▶ behandeln einen spezif. Aspekt, 4-15 Zeilen lang
- Voltmeter, Widerstand, Länge eines Stahlstabs, Massestandard aus Stahl

## Beispiele in **Anhang H** JCGM 100

- ▶ 6 Bsp. auf 23 Seiten
- Endmaß-Kalibrierung, Wirk- & Blindwiderstandsmessung, Kalibrierung eines Thermometer (LSQ), Aktivitätsmessung von Radon in Wasser, ANOVA (anhand Zener-Spannungsnormale), Referenzskala Härte

- ⇒ umfassen nicht alle Bereiche der Metrologie
- ⇒ nur einfache Messmodelle & eine Messgröße
- ⇒ wenig Bezug auf aktuelle Messpraxis (insb. Kalibrier- + Prüflabore)

Einführung

Umfassende Beispiele für den GUM

Beispiele im GUM – Status quo

**Das EMUE-Projekt**

Die Beispiele

Kalibrierung

Zusammenfassung

## Examples of **M**easurement **U**ncertainty **E**valuation

- ▶ Advancing measurement uncertainty – comprehensive examples for key international standards
- ▶ EMPIR-Projekt 2018 – 2021

Einführung

Umfassende Beispiele für den GUM

Beispiele im GUM – Status quo

**Das EMUE-Projekt**

Die Beispiele

Kalibrierung

Zusammenfassung

## Examples of Measurement Uncertainty Evaluation

- ▶ Advancing measurement uncertainty – comprehensive examples for key international standards
- ▶ EMPIR-Projekt 2018 – 2021

## Inhalte

- ▶ Beispiele metrol. Aktivitäten, die als Musterlösung adaptierbar sind:
  - ▶ Kalibrierungen, Prüfungen, Vergleiche
  - ▶ Konformität mit Vorschriften/Spezifikationen

Einführung

Umfassende Beispiele für den GUM

Beispiele im GUM – Status quo

**Das EMUE-Projekt**

Die Beispiele

Kalibrierung

Zusammenfassung

## Examples of Measurement Uncertainty Evaluation

- ▶ Advancing measurement uncertainty – comprehensive examples for key international standards
- ▶ EMPIR-Projekt 2018 – 2021

## Inhalte

- ▶ Beispiele metrol. Aktivitäten, die als Musterlösung adaptierbar sind:
  - ▶ Kalibrierungen, Prüfungen, Vergleiche
  - ▶ Konformität mit Vorschriften/Spezifikationen
- ▶ Beispiele in Hauptgebieten, die Methodenwahl demonst.
  - ▶ Umwelt
  - ▶ Energie
  - ▶ Lebensqualität
  - ▶ Industrie & Gesellschaft

Einführung

Umfassende Beispiele für den GUM

Beispiele im GUM – Status quo

**Das EMUE-Projekt**

Die Beispiele

Kalibrierung

Zusammenfassung

## Ziele

- ▶ MU-Beispiele für normative Praxis
    - ▶ praktisch + spezifisch für Bereiche
    - ▶ allgemein + adaptierbar
    - ▶ unterschiedl. Komplexität + Methoden
  - ▶ Lernen anhand Beispielen → verlässliche MU-Aussagen
- ⇒ Breitenwirkung via Stakeholder, Normen & abgeleitete Richtlinien in diversen Disziplines, Input für JCGM 110

[https://msu.euramet.org/previous\\_calls/call\\_2017/documents/Scopes\\_SRT\\_Budget.zip](https://msu.euramet.org/previous_calls/call_2017/documents/Scopes_SRT_Budget.zip)

Einführung

Umfassende Beispiele für den GUM

Beispiele im GUM – Status quo

**Das EMUE-Projekt**

Die Beispiele

Kalibrierung

Zusammenfassung

## Ziele

- ▶ MU-Beispiele für normative Praxis
    - ▶ praktisch + spezifisch für Bereiche
    - ▶ allgemein + adaptierbar
    - ▶ unterschiedl. Komplexität + Methoden
  - ▶ Lernen anhand Beispielen → verlässliche MU-Aussagen
- ⇒ Breitenwirkung via Stakeholder, Normen & abgeleitete Richtlinien in diversen Disziplines, Input für JCGM 110

## breites Konsortium

- ▶ **NPL**, BAM, IMBiH, IPQ, LGC, LNE, NEL, PTB, SMD, VSL, ACCREDIA, LNEC, UKAS (AIST, RR, WADA)
- ▶ Bedarf haben JCGM (WG 1), 5 ISO-Komitees, Industrie, ...

[https://msu.euramet.org/previous\\_calls/call\\_2017/documents/Scopes\\_SRT\\_Budget.zip](https://msu.euramet.org/previous_calls/call_2017/documents/Scopes_SRT_Budget.zip)



Einführung

Umfassende Beispiele für den GUM

Beispiele im GUM – Status quo

Das EMUE-Projekt

**Die Beispiele**

Kalibrierung

Zusammenfassung

## Einheitlicher Aufbau

- ▶ Eingangs-, Messgrößen, Model der Anwendung
- ▶ Eingangsgrößen: Wissen → Schätzer, MU
- ▶ Fortpflanzung der MU/Verteilung  
→ Schätzung der Messgröße (MU, Kovarianzen / Verteilung)
- ▶ Interpretation der Ergebnisse anwendungsspezifisch
- ▶ u.U. Vergleich der Methoden (GUM, Monte Carlo, Bayesscher Ansatz)

Einführung

Umfassende Beispiele für den GUM

Beispiele im GUM – Status quo

Das EMUE-Projekt

Die Beispiele

**Kalibrierung**

Zusammenfassung

## Inhalt

- ▶ Beispiele metrol. Aktivitäten, die als Musterlösung adaptierbar sind:
  - ▶ Kalibrierungen, Prüfungen, Vergleiche
  - ▶ Konformität mit Vorschriften/Spezifikationen
- ▶ Beispiele in Hauptgebieten, die Methodenwahl demonstr.
  - ▶ Umwelt
    - ▶ Lebensqualität
  - ▶ Energie
    - ▶ Industrie & Gesellschaft

Einführung

Umfassende Beispiele für den GUM

Beispiele im GUM – Status quo

Das EMUE-Projekt

Die Beispiele

**Kalibrierung**

Zusammenfassung

## PTB-Teil

- ▶ Beispiele metrol. Aktivitäten, die als Musterlösung adaptierbar sind:
  - ▶ **Kalibrierungen**, Prüfungen, Vergleiche
    - lineare Regression mit MU in abhängiger + unabh. Variable
  - ▶ Konformität mit Vorschriften/Spezifikationen
- ▶ Beispiele in Hauptgebieten, die Methodenwahl demonstr.
  - ▶ Umwelt
    - ▶ Lebensqualität
  - ▶ Energie
    - ▶ Industrie & Gesellschaft

Einführung

Umfassende Beispiele für den GUM

Beispiele im GUM – Status quo

Das EMUE-Projekt

Die Beispiele

**Kalibrierung**

Zusammenfassung

## PTB-Teil

- ▶ Beispiele metrol. Aktivitäten, die als Musterlösung adaptierbar sind:
  - ▶ **Kalibrierungen**, Prüfungen, Vergleiche
    - lineare Regression mit MU in abhängiger + unabh. Variable
  - ▶ Konformität mit Vorschriften/Spezifikationen
- ▶ Beispiele in Hauptgebieten, die Methodenwahl demonstr.
  - ▶ Umwelt
    - ▶ **Lebensqualität**
      - Hämoglobin-Konzentr.
  - ▶ **Energie**
    - Ultraschalldüsen für Gasflussmess.
  - ▶ **Industrie & Gesellschaft**
    - Dehnmessstreifen für Drehmomentmess.

Einführung

Umfassende Beispiele für den GUM

Beispiele im GUM – Status quo

Das EMUE-Projekt

Die Beispiele

**Kalibrierung**

Zusammenfassung

## PTB-Teil

- ▶ Beispiele metrol. Aktivitäten, die als Musterlösung adaptierbar sind:
    - ▶ **Kalibrierungen**, Prüfungen, Vergleiche
      - lineare Regression mit MU in abhängiger + unabh. Variable
    - ▶ Konformität mit Vorschriften/Spezifikationen
  - ▶ Beispiele in Hauptgebieten, die Methodenwahl demonst.
    - ▶ Umwelt
      - ▶ **Lebensqualität**  
Hämoglobin-Konzentr.
    - ▶ **Energie**  
Ultraschalldüsen für Gasflussmess.
    - ▶ **Industrie & Gesellschaft**  
Dehnmessstreifen für Drehmomentmess.
- ⇒ Methoden-Vergleich: Bayes mit Vorwissen & GUM, GUM S1
- ▶ allgemeine & spezifische Betrachtung
  - ▶ prakt. Bedeutung: häufig Regression, unabh. Variable nie exakt bekannt

Einführung

Umfassende Beispiele für den GUM

Beispiele im GUM – Status quo

Das EMUE-Projekt

Die Beispiele

**Kalibrierung**

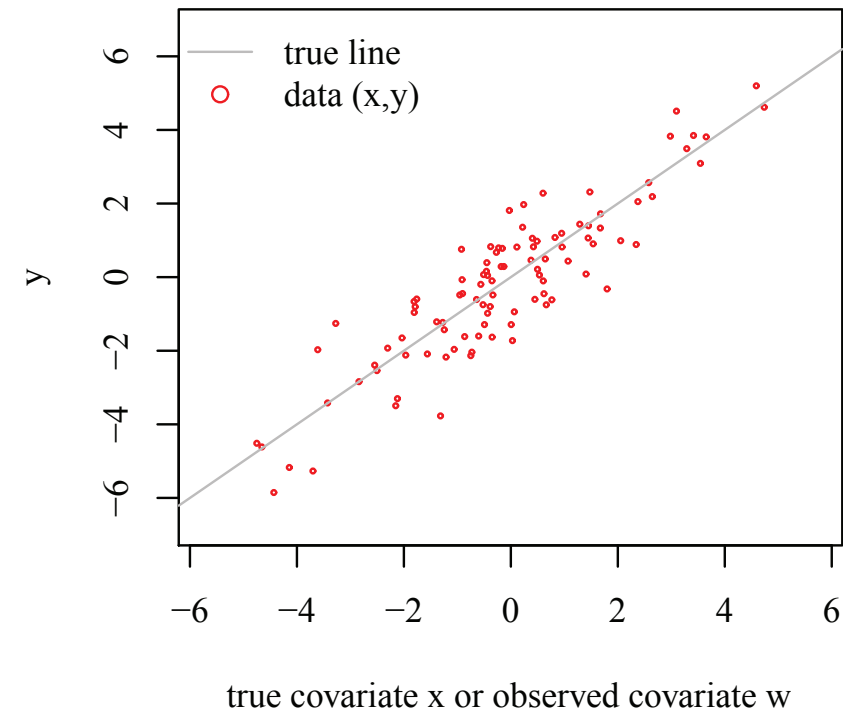
Zusammenfassung

## Unsicherheit in unabh. Variable

→ Einfluss auf Regression

einfache Simulation:

- ▶  $Y = \beta X + \varepsilon_y, \quad \varepsilon_y \sim N(0, u_y^2)$   
Kovariate  $X$  erklärt Messungen  $Y$



## Unsicherheit in unabh. Variable

→ Einfluss auf Regression

einfache Simulation:

▶  $Y = \beta X + \varepsilon_y$ ,  $\varepsilon_y \sim N(0, u_y^2)$   
Kovariate  $X$  erklärt Messungen  $Y$

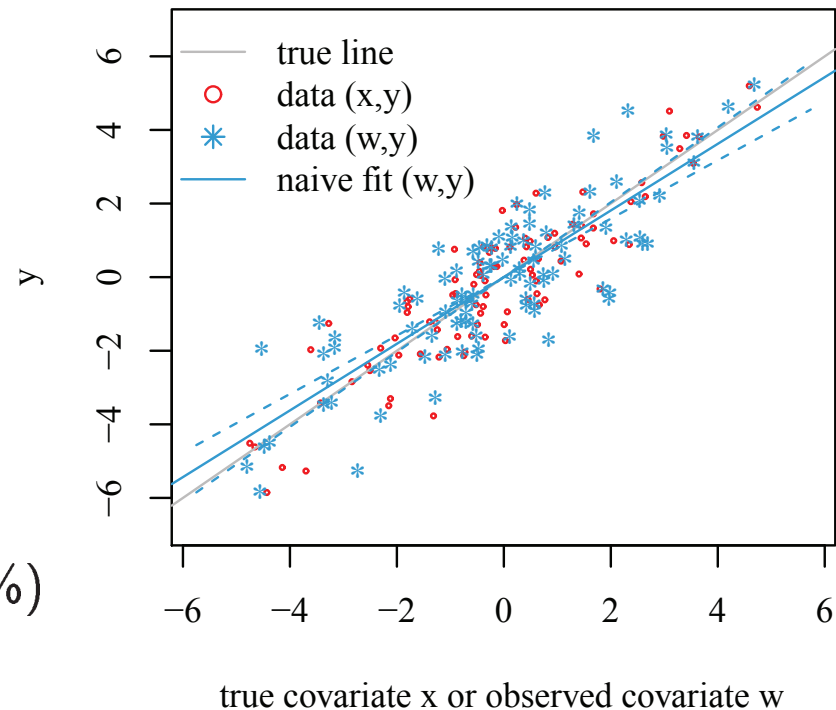
▶  $W = X + \varepsilon_x$ ,  $\varepsilon_x \sim N(0, u_x^2)$   
Kovariate  $W$  beobachtet statt  $X$

▶ naiver Fit: MU in  $W$  ignoriert

$$Y = \tilde{\beta} W + \varepsilon_y$$

⇒ Anstieg  $\beta$  u.U. unterschätzt (hier 10%)

## Bayesian Regression



## Unsicherheit in unabh. Variable

→ Einfluss auf Regression

einfache Simulation:

- ▶  $Y = \beta X + \varepsilon_y$ ,  $\varepsilon_y \sim N(0, u_y^2)$   
Kovariate  $X$  erklärt Messungen  $Y$

- ▶  $W = X + \varepsilon_x$ ,  $\varepsilon_x \sim N(0, u_x^2)$   
Kovariate  $W$  beobachtet statt  $X$

- ▶ naiver Fit: MU in  $W$  ignoriert

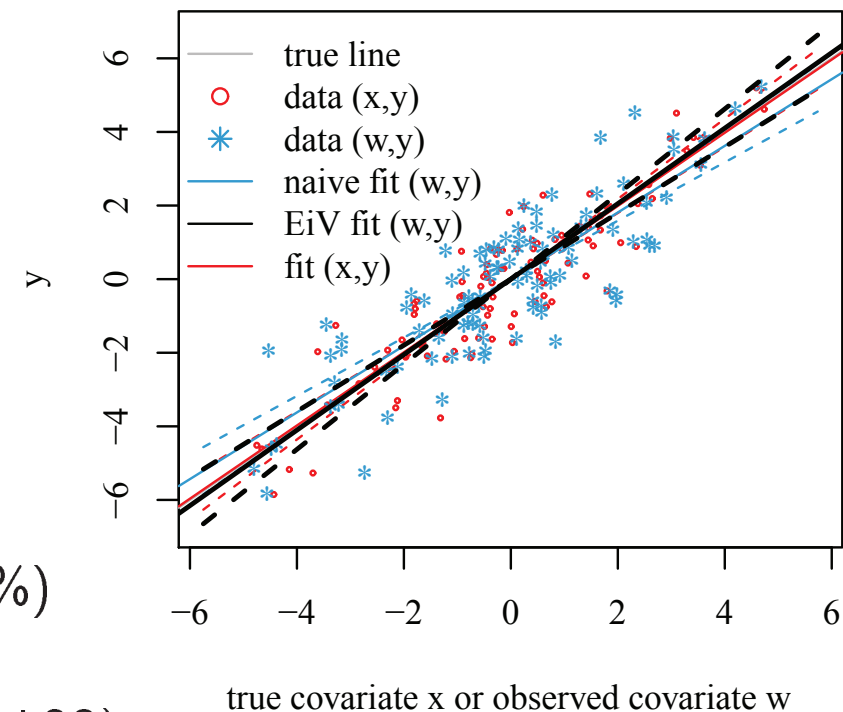
$$Y = \tilde{\beta} W + \varepsilon_y$$

⇒ Anstieg  $\beta$  u.U. unterschätzt (hier 10%)

- ▶ **Fit**, der MU in  $W$  berücksichtigt  
errors-in-variables (Deming regression, total LSQ)

[Krystek and Anton, 2011, Malengo and Pennechi, 2013], ...

## Bayesian Regression





Einführung

Umfassende Beispiele für den GUM

Beispiele im GUM – Status quo

Das EMUE-Projekt

Die Beispiele

**Kalibrierung**

Zusammenfassung

## Unsicherheit in unabh. Variable

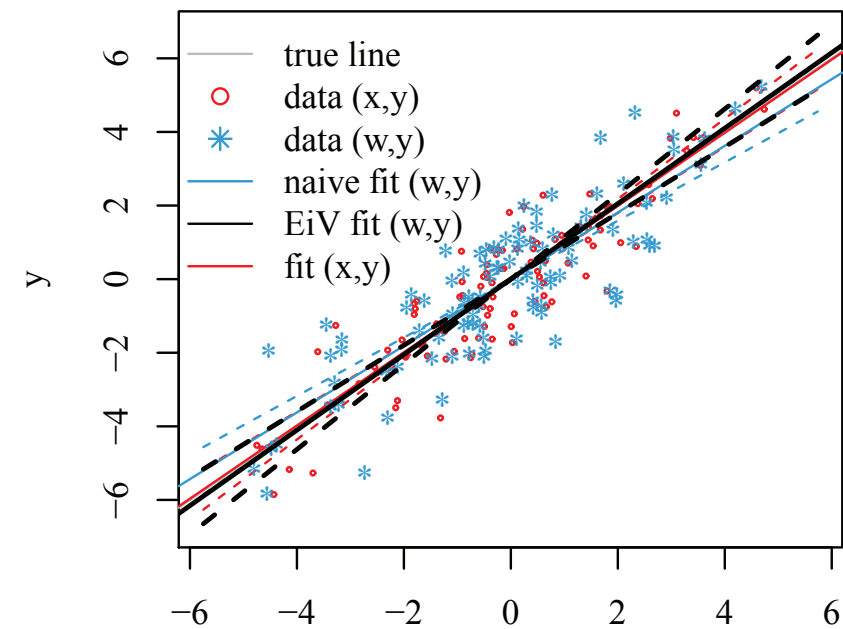
→ Einfluss auf Regression

- ▶ GUM enthält wenig zu Regression [Klaunberg et al., 2015, Elster and Toman, 2011]

Bayessche Methoden:

- ▶ berücksichtigen Vorwissen  
GUM konform [Bich et al., 2012]

## Bayesian Regression



## Unsicherheit in unabh. Variable

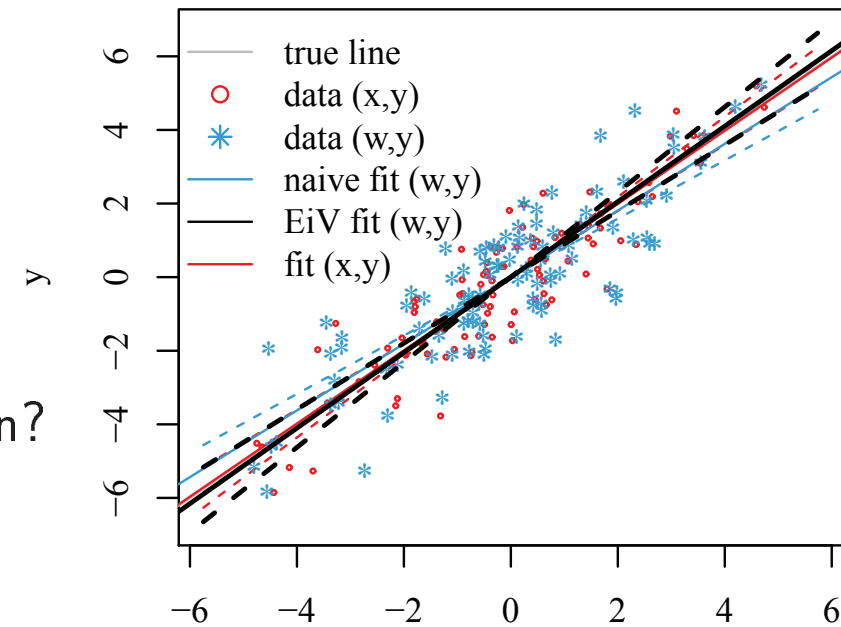
→ Einfluss auf Regression

- ▶ GUM enthält wenig zu Regression  
[Klaunberg et al., 2015, Elster and Toman, 2011]

## Bayessche Methoden:

- ▶ berücksichtigen Vorwissen  
GUM konform [Bich et al., 2012]
- ▶ Wann kann MU in  $X$  ignoriert werden?
- ▶ Wann lohnt Vorwissen? Wie nutzen?
- ▶ Wann reicht GUM / GUM S1?
- ▶ Wie einfach berechnen? ⇒ analytisch, INLA [Muff et al., 2015]  
(kein aufwendiges MCMC Sampling)

## Bayesian Regression



Einführung

Umfassende Beispiele für den GUM

Beispiele im GUM – Status quo

Das EMUE-Projekt

Die Beispiele

**Kalibrierung**

Zusammenfassung

## Unsicherheit in unabh. Variable

→ Einfluss auf Regression

- ▶ GUM enthält wenig zu Regression  
[Klaunberg et al., 2015, Elster and Toman, 2011]

## Bayessche Methoden:

- ▶ berücksichtigen Vorwissen  
GUM konform [Bich et al., 2012]
- ▶ Wann kann MU in  $X$  ignoriert werden?
- ▶ Wann lohnt Vorwissen? Wie nutzen?
- ▶ Wann reicht GUM / GUM S1?
- ▶ Wie einfach berechnen?  $\Rightarrow$  analytisch, INLA [Muff et al., 2015]
- ▶ Wie einfach MU angeben?

## Einige Literatur

- ▶ [Gustafson, 2003]
- ▶ [Leonard, 2011]
- ▶ [Lira and Grientschnig, 2017]
- ▶ ...

Einführung

Umfassende Beispiele für den GUM

Beispiele im GUM – Status quo

Das EMUE-Projekt

Die Beispiele

**Kalibrierung**

Zusammenfassung

Einführung

Umfassende Beispiele für den  
GUM

**Zusammenfassung**

Zusammenfassung

Referenzen

Kalibrierbeispiel – Details

# Zusammenfassung

Einführung

Umfassende Beispiele für den GUM

Zusammenfassung

**Zusammenfassung**

Referenzen

Kalibrierbeispiel – Details

## Kalibrierung mit Unsicherheit in Referenzmessung

- ▶ beeinflusst Schätzung → erfordert Berücksichtigung
- ▶ häufiges Problem in Metrologie

Einführung

Umfassende Beispiele für den GUM

Zusammenfassung

**Zusammenfassung**

Referenzen

Kalibrierbeispiel – Details

## Kalibrierung mit Unsicherheit in Referenzmessung

- ▶ beeinflusst Schätzung → erfordert Berücksichtigung
- ▶ häufiges Problem in Metrologie

## Projekt EMUE

- ▶ vereint viele kompetente europ. Partner
- ▶ behandelt wichtige Probleme der Metrologie
  - > 35 best-practice Beispiele u.a. für Kalibrierung
- ▶ entwickelt Beispieldokument JCGM 110 weiter

Einführung

Umfassende Beispiele für den GUM

Zusammenfassung

**Zusammenfassung**

Referenzen

Kalibrierbeispiel – Details

## Kalibrierung mit Unsicherheit in Referenzmessung

- ▶ beeinflusst Schätzung → erfordert Berücksichtigung
- ▶ häufiges Problem in Metrologie

## Projekt EMUE

- ▶ vereint viele kompetente europ. Partner
- ▶ behandelt wichtige Probleme der Metrologie
  - > 35 best-practice Beispiele u.a. für Kalibrierung
- ▶ entwickelt Beispieldokument JCGM 110 weiter

⇒ GUM wird ergänzt, gestärkt, verbreitet

⇒ verbessert & harmonisiert MU-Angabe, Entscheidungen, ...

⇒ beeinflusst Standards, Verfahrensregeln, (gesetzl.) Vorschriften, ...  
in vielen Disziplinen

Einführung

Umfassende Beispiele für den GUM

Zusammenfassung

**Zusammenfassung**

Referenzen

Kalibrierbeispiel – Details

## Interesse geweckt?

### MitwirkendeN gesucht

- ▶ zur Bearbeitung der Kalibrierbeispiele
- ▶ ab Ende 2018: 1 Jahr en bloc / 2 Jahre Teilzeit
- ▶ wir bieten
  - intensive Beschäftigung mit Regression
  - Einblick in die PTB
- ▶ Stellenausschreibung Mitte 2018

<https://www.ptb.de/cms/ueber-uns-karriere/karriere/bms-stellen.html>

**Kontakt:** [Katy.Klaenberg@ptb.de](mailto:Katy.Klaenberg@ptb.de) → Info zum Projekt



## Referenzen

Bich, W., Cox, M. G., Dybkaer, R., Elster, C., Estler, W. T., Hibbert, B., Imai, H., Kool, W., Michotte, C., Nielsen, L., Pendrill, L., Sidney, S., van der Veen, A. M. H., and Wöger, W. (2012). Revision of the 'Guide to the expression of uncertainty in measurement'. *Metrologia*, 49(6):702–5.

Elster, C. and Toman, B. (2011). Bayesian uncertainty analysis for a regression model versus application of GUM Supplement 1 to the least-squares estimate. *Metrologia*, 48(5):233–40.

Gustafson, P. (2003). Measurement Error and Misclassification in Statistics and Epidemiology: Impacts and Bayesian Adjustments. Chapman & Hall/CRC Interdisciplinary Statistics. CRC Press.

Klaunberg, K., Wübbeler, G., Mickan, B., Harris, P., and Elster, C. (2015). A tutorial on Bayesian Normal linear regression. *Metrologia*.

Krystek, M. and Anton, M. (2011). A least-squares algorithm for fitting data points with mutually correlated coordinates to a straight line. *Measurement science and technology*, 22(3):035101.

Leonard, D. (2011). Estimating a bivariate linear relationship. *Bayesian Anal.*, 6(4):727–754.

Lira, I. and Grientschnig, D. (2017). Error-in-variables models in calibration. *Metrologia*, 54(6):S133.

Malengo, A. and Pennechi, F. (2013). A weighted total least-squares algorithm for any fitting model with correlated variables. *Metrologia*, 50(6):654.

Muff, S., Riebler, A., Held, L., Rue, H., and Saner, P. (2015). Bayesian analysis of measurement error models using integrated nested Laplace approximations. *Journal of the Royal Statistical Society: Series C (Applied Statistics)*, 64(2):231–252.

VDI/VDE (Feb 2018). VDI-Richtlinie: VDI/VDE 2600 Blatt 2 Prüfprozessmanagement – Ermittlung der Messunsicherheit komplexer Prüfprozesse. Entwurf.

Witt, K., Wolf, H. U., Heuck, C., Kammel, M., Kummrow, A., and Neukammer, J. (2013). Establishing traceability of photometric absorbance values for accurate measurements of the haemoglobin concentration in blood. *Metrologia*, 50(5):539.

Einführung

Umfassende Beispiele für den GUM

Zusammenfassung

Zusammenfassung

Referenzen

Kalibrierbeispiel – Details

Einführung

Umfassende Beispiele für den GUM

Zusammenfassung

Zusammenfassung

Referenzen

Kalibrierbeispiel – Details

## Kalibrierung mit Unsicherheit in Referenzmessung

- ▶ beeinflusst Schätzung → erfordert Modellierung
- ▶ häufiges Problem in Metrologie

## Projekt EMUE

- ▶ vereint viele kompetente europ. Partner
  - ▶ behandelt wichtige Probleme der Metrologie
    - > 35 best-practice Beispiele u.a. für Kalibrierung
  - ▶ entwickelt Beispieldokument JCGM 110 weiter
- ⇒ GUM wird ergänzt, gestärkt, verbreitet
- ⇒ verbessert & harmonisiert MU-Angabe, Entscheidungen, ...
- ⇒ beeinflusst Standards, Verfahrensregeln, (gesetzl.) Vorschriften, ... in vielen Disziplinen