



Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

Federal Institute of Metrology METAS



Software zur Bestimmung der Messunsicherheit

M. Zeier, METAS

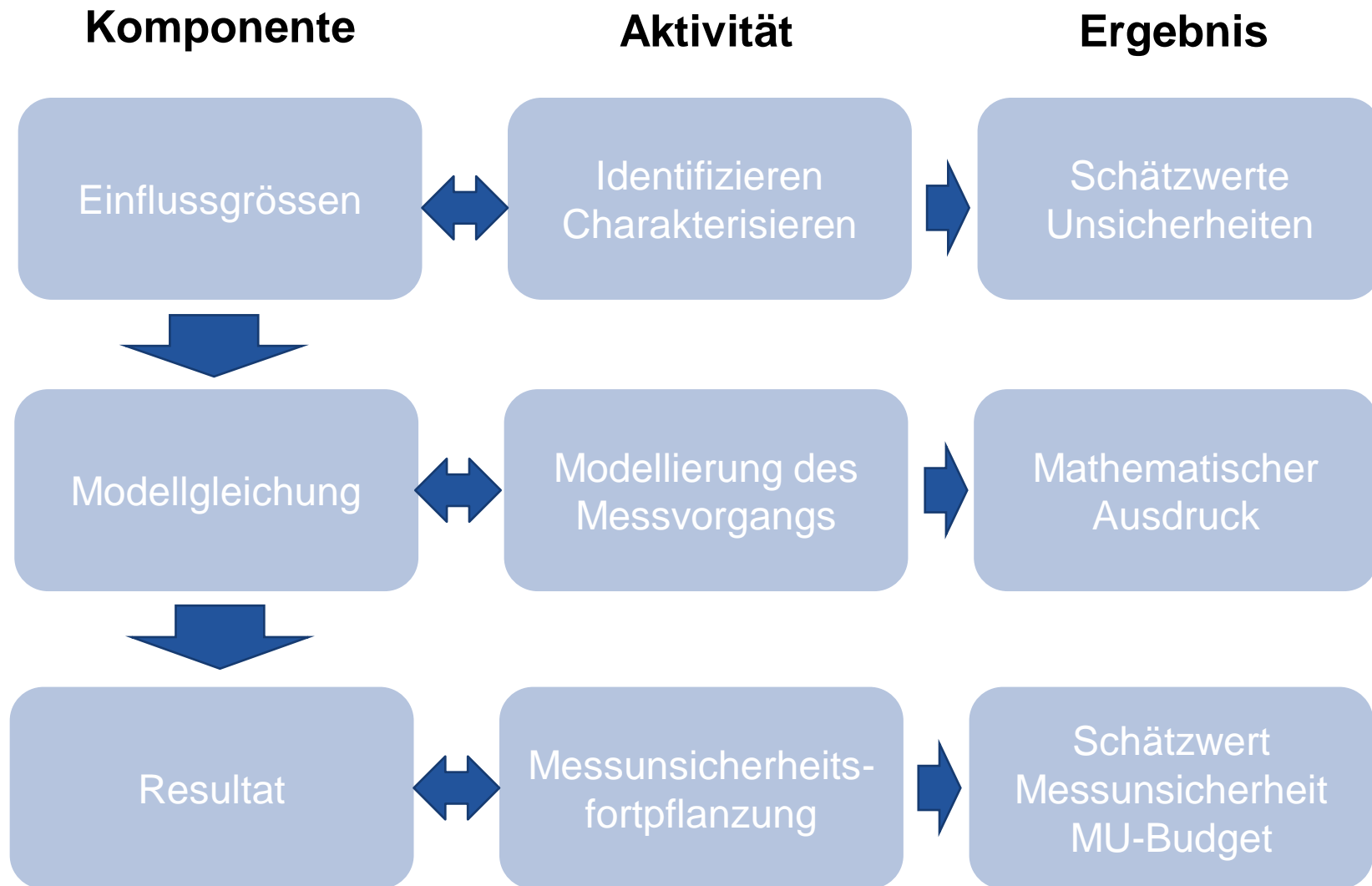
Einleitung

- Es gibt eine Vielzahl von Softwarepaketen, die zur Bestimmung der Messunsicherheit eingesetzt werden können

https://en.wikipedia.org/wiki/List_of_uncertainty_propagation_software
(40 Einträge, vor allem generische MU-SW)

- Ich kann hier keinen umfassenden Überblick über alle SW-Pakete geben
- Ziel:
 - Erläuterung von ein paar Grundprinzipien, die bei der Wahl von MU-Software eine Rolle spielen
 - Kurze Vorstellung von ausgewählten NMI-Angeboten

Die MU-Berechnung schematisch

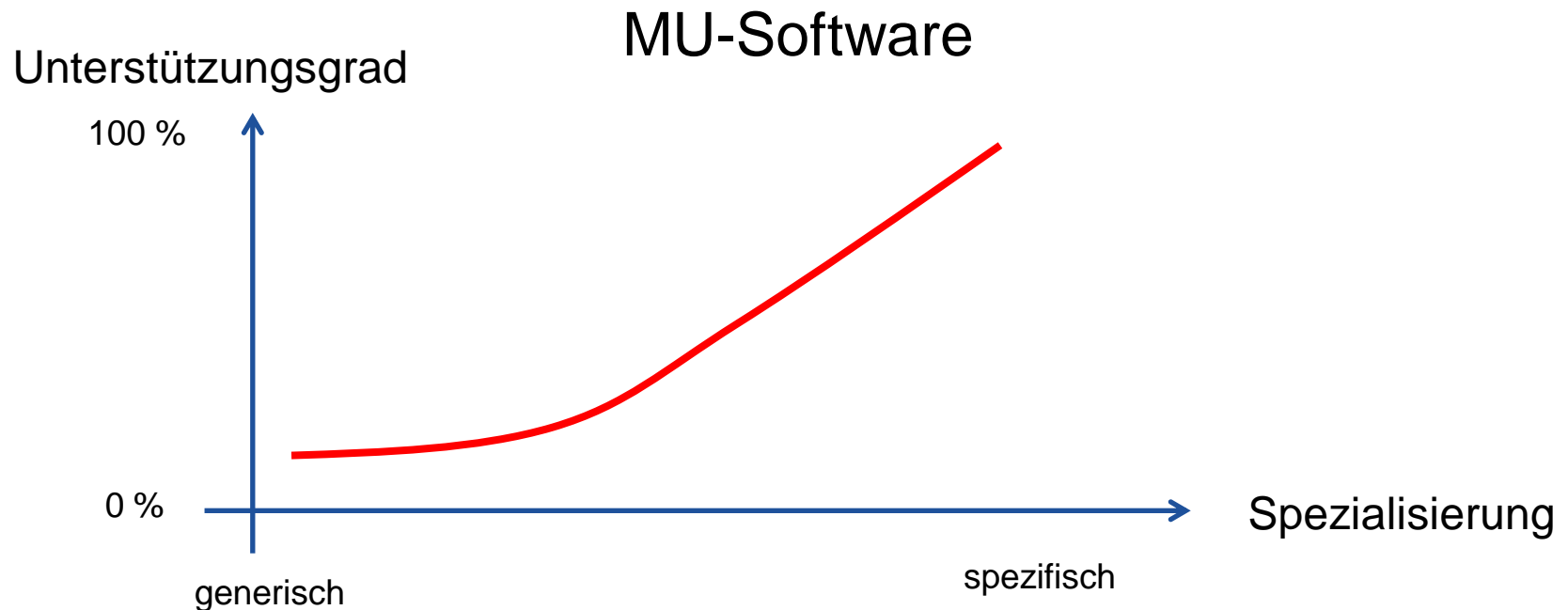


Softwareunterstützung

ist denkbar für folgende Aktivitäten:

- Identifizierung der Einflussgrößen und Modellierung
- Charakterisierung Einflussgrößen
- MU-Fortpflanzung
- MU-Budget
- Dokumentation (Messablauf, benutzte Messmittel, etc)

Unterstützungsgrad vs. Spezialisierung



z.B. METAS MU-Software:

UnLib (generisch): MU-Fortpflanzung und MU-Budget

VNA Tools (spezifisch S-Parameter): + Messmodell, + Charakterisierung Einflussgrößen, + Messjournal

Einflussgrößen und Modellierung

Erfordert Erfahrung und Verständnis des Messprozess
→ Generelle Rezepte anzugeben ist eher schwierig

- Generische MU-SW:
Der Benutzer muss Einflussgrößen selber identifizieren und Messmodell selber formulieren
- Spezifische MU-SW:
Einflussgrößen und Messmodell sind vorgegeben

Warnung

Ein Messmodell ist nur eine Approximation der Realität und eine SW ersetzt niemals Kompetenz und gute Messpraxis

Charakterisieren von Einflussgrößen

SW-Unterstützung bei Charakterisierung von Einflussgrößen:

- Statistische (Typ A) Analyse von Messreihen
 - Skalar → Standardabweichung
 - multivariat (ev auch komplex) → Kovarianzmatrix

- Spezifische MU-SW bietet ev. auf das Messproblem zugeschnittene Charakterisierungsmöglichkeiten, die über die normale statistische Analyse hinausgehen.

MU-Fortpflanzung

Der technische Teil – wird generell gut unterstützt von SW

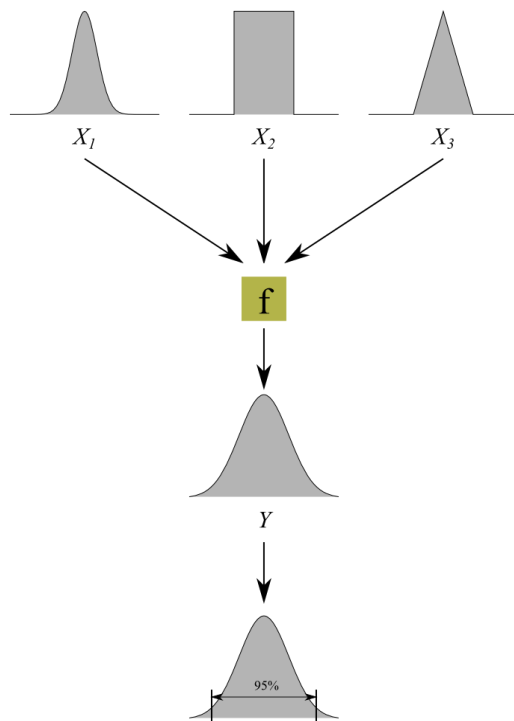
Man muss sich überlegen, was man braucht und will.

Auswahlkriterien:

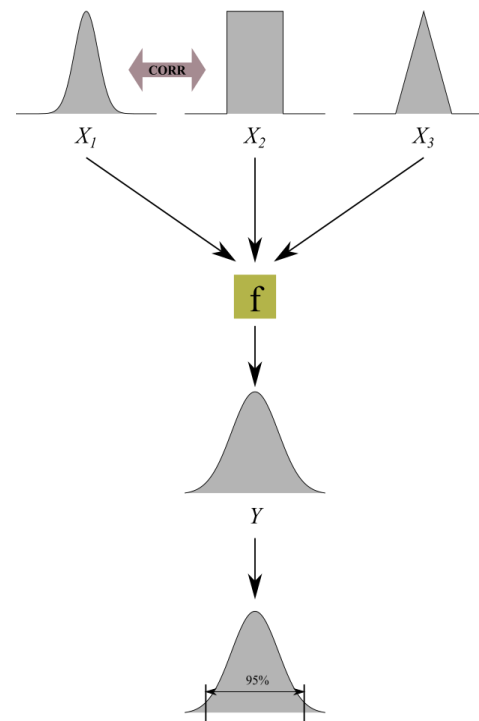
- Dimensionalität
 - Ausschliesslich skalare Grössen ohne Korrelationen
 - Skalare Grössen mit Korrelationen als Eingangsgrössen
 - Multivariate Grössen in Eingang und Resultat
 - Komplexe Grössen
- Art der MU-Fortpflanzung
 - Linear (GUM)
 - Monte Carlo (GUM Suppl 1)

Dimensionalität

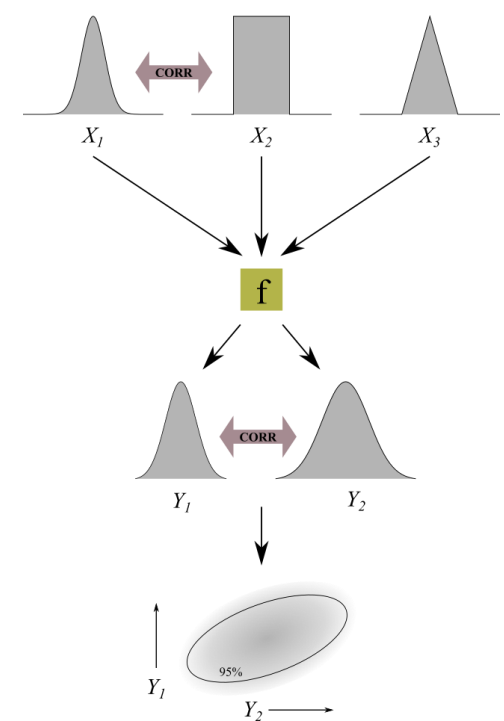
Skalar (GUM)



Skalar mit Korr (GUM)



Multivariat auch komplex (GUM Suppl 2)



Monte Carlo vs. linear

- Für die überwältigende Mehrheit der Fälle ist die lineare MU-Fortpflanzung völlig ausreichend.
- MC-Methode kann/soll zur Verifikation verwendet werden
- Lineare MU-Fortpflanzung: MU-Budget direkt über Sensitivitätskoeffizienten

MU-Budget und Dokumentation

- Ein MU-Budget ist wichtig für das Verständnis und Optimierung der Messung

- Dokumentation wichtig für Qualitätssicherung
 - Je spezifischer die MU-SW ist desto eher Unterstützung bei Dokumentation
 - Kommerzielle Produkte bieten generell bessere Unterstützung

Ein Wort zu Excel

- Die Benutzung von Excel zur Berechnung der Messunsicherheit ist völlig ok, falls man die Fähigkeiten der SW nicht strapaziert

- Excel ist geeignet für ein skalares Problem mit wenig Eingangsgrößen und einfacher Modellgleichung

- Excel ist nicht geeignet für
 - Multivariate Probleme
 - Grössere Datenmengen
 - Monte Carlo

Verlinkungen über mehrere Excel-Dateien sind zu vermeiden!

Zusammenfassend

- Verschiedene Kriterien sind zu berücksichtigen bei der Wahl einer Software

- Nicht erwähnt wurden
 - Validierung
 - Einbindung in bestehende Strukturen

- **Software ist nur ein Tool, das die MU-Berechnung erleichtert. Es ist kein Ersatz für Kompetenz, Verständnis des Messvorgangs und gute Messpraxis.**

MU-SW von NMIs

- [MMM Software Downloads](#) , NPL UK (Status etwas unklar)
- [LNE-MCM](#) , LNE FR (Letzte Version Juli 2017)
- [NIST Uncertainty Machine](#) , NIST USA (Letzte Version 2017)
- [METAS UncLib](#) , METAS CH (wird aktiv unterhalten)
- [MST Software](#) , MSL NZ (Aktualisierung geplant)

Allgemein:

- SW ist kostenlos
- Generische SW, die Fortpflanzung und MU-Budget unterstützt.
- Generell sind bei diesen Angeboten ein gewisses Mass an Programmierkenntnissen (R, Python, MATLAB) notwendig.

LNE-MCM , LNE FR



- En francais!
MatLab Executable, benötigt MCR libraries.
- Monte Carlo Unsicherheitsrechner (Vergleich mit linear möglich)
- Multivariat (jedoch keine komplexen Zahlen)
- Sensitivitätsanalyse → MU-Budget
- **Output PDF kann durch parametrische PDF angenähert werden**
- Eingabe interaktiv oder via Excel-Datei
- Ausgabe: Excel-Datei

NIST Uncertainty Machine, NIST USA

Web based
uncertainty
calculator

NIST Uncertainty Machine

User's manual available [here](#).
[Load examples](#)

Instructions :

- Select the number of input quantities.
- Change the quantity names if necessary.
- For each input quantity choose its distribution and its parameters.
- Choose the number of realizations.
- Write the definition of the output quantity in a valid R expression.
- Choose and set the correlations if necessary.
- Run the computation.

Random number generator seed:

Number of input quantities:

Names of input quantities:

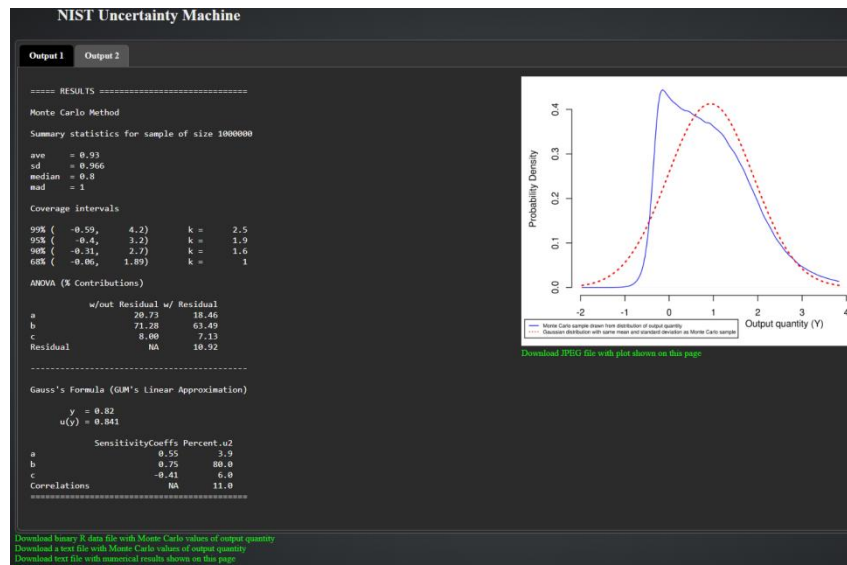
Number of realizations of the output quantity:

Definition of output quantity (R expression):

Symmetrical coverage intervals
 Correlations

NIST Uncertainty Machine

- Multivariate MU (inkl komplexe Zahlen)
- Monte Carlo / linear → **geeignet für Verifikation**
- Sensitivitätsanalyse → MU-Budget
- Messmodell als R-Code
- Eingabe interaktiv oder über Konfigurationsdatei
- Ausgabe: Bildschirm und diverse Dateien

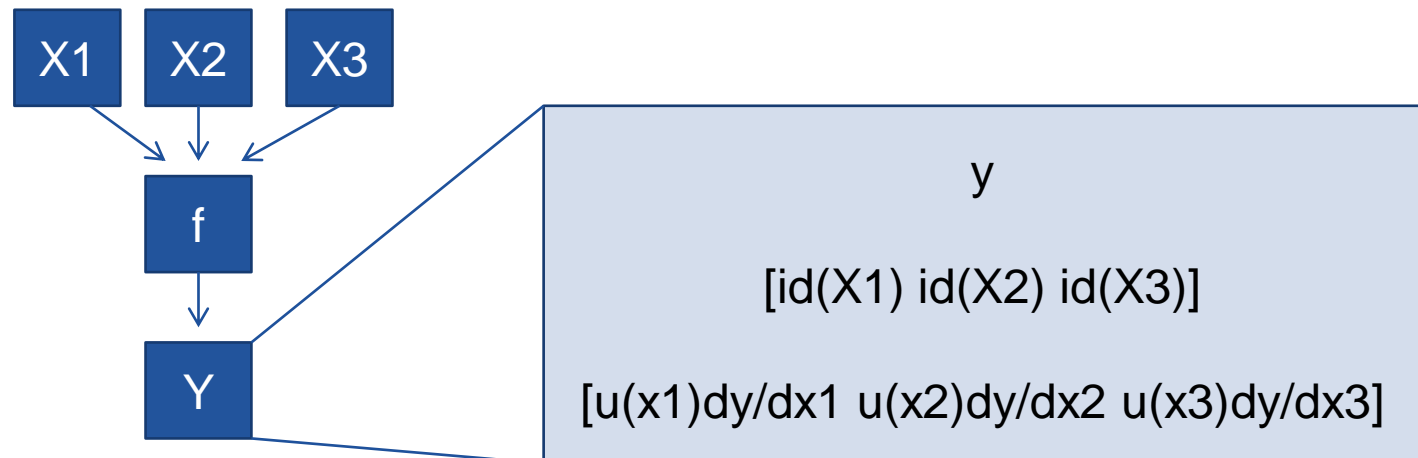


MST Software / METAS UncLib

- Lineare Unsicherheitsfortpflanze
multivariat, vor allem auch komplexe Größen
- MU-Budget
- GUM Tree Konzept basierend auf automatischer Differentiation
- MST Software
 - Gum Tree Calculator (Windows standalone)
Input: Kommandozeile oder Script (Python)
 - R Library
 - Excel Add-In
- METAS UncLib
 - C#/.NET Library
 - MATLAB Wrapper (benötigt MATLAB Lizenz)

GUM Tree Konzept

- Es werden keine Unsicherheiten gespeichert sondern Sensitivitäten, die mittels automatischer Differentiation bei jedem Rechenschritt aktualisiert werden.



- Kann Korrelationen zwischen Messungen berücksichtigen, die zu unterschiedlichen Zeiten ausgeführt wurden
- Eignet sich bei mehrstufiger Systemen der Rückführung (Primärstandards – Arbeitsstandards – Kundenstandards)

Zusammenfassend

- LNE-MCM
 - Monte Carlo Rechner
 - Speziell: Parametrisierung der PDF des Resultats
- NIST Uncertainty Machine
 - Web-basierte, einfache Bedienung ohne vorgängige Installation
 - Vor allem auch geeignet zur Verifikation alternativer Berechnungen
- METAS UncLib / MSL Software
 - Geeignet für anspruchsvollere Probleme
 - Geeignet zur möglichst umfassenden Berücksichtigung von Korrelationen
 - Etwas höhere Einstiegshürde (Programmierkenntnisse / MATLAB-Lizenz)



Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

Federal Institute of Metrology METAS



Thank you very much for your attention