GUM Workbench

Benutzerhandbuch

für

Version 1.3, 2.3 and 2.4

Metrodata GmbH
Datenverarbeitung
für Messtechnik und
Qualitätssicherung

GUM Workbench

Benutzerhandbuch

für

Version 1.3, 2.3 and 2.4

Metrodata GmbH
Datenverarbeitung
für Messtechnik und
Qualitätssicherung

GUM Workbench – Benutzerhandbuch für Version 1.3, 2.3 and 2.4

ISBN 978-3-00-030157-5, gedruckt in Deutschland.

GUM Workbench® wird entwickelt und vertrieben durch:

Metrodata GmbH | Datenverarbeitung für Messtechnik und Qualitätssicherung

Im Winkel 15-1
D-79576 Weil am Rhein
Germany
Tel: +49 (0)7621/70 56 813
Fax: +49 (0)7621/70 56 818
Web: www.metrodata.de
E-Mail: info@metrodata.de

© Copyright 2009 by Metrodata GmbH ID: MD-BH2009/3

Die Metrodata GmbH behält sich das Recht zur Weiterentwicklung vor. Der Entwurf und die Dokumentation können ohne weitere Hinweise geändert werden.

Die dargestellten Ansichten sind abhängig von den Desktop-Einstellungen und dem Betriebssystem und können deshalb beim Anwender anders aussehen.

Metrodata® und GUM Workbench® sind eingetragene Warenzeichen der Metrodata GmbH, Weil am Rhein, Deutschland.

Windows®, MS Word, MS Excel und Microsoft® sind eingetragene Warenzeichen der Microsoft Corporation in den Vereinigten Staaten und anderen Ländern.

Inhaltsverzeichnis

1 Einführung 1

2 Installation und Setup-Prozedur 3

2.1 Netzwerk-Installation 9

3 Der Aufruf von GUM Workbench 10

4 Erstellen einer Messunsicherheitsanalyse 11

5 GUM Workbench benutzen 12

5.1 Die Ansicht *Modell* 13

5.2 Die Ansicht *Beobachtung* 15

5.3 Die Ansicht *Korrelation* 16

5.4 Die Ansicht *Budget* 17

5.5 Die Ansicht *Ergebnis* 22

6 Die Modellgleichung 23

6.1 Das Feld *Gleichung* 23

6.2 Der Aufbau der Modellgleichung 25

6.3 Unabhängige Größen 31

6.4 Bezeichnung der Größen 31

6.5 Bearbeiten der Modellgleichung 33

6.6 Beispiele für Modellgleichungen 37

6.7 Zwischenergebnisse 38

6.8 Die Größentabelle 40

6.9 Benutzung der Einheiten 42

7 Größen 43

7.1 Die Ansicht *Größen - Daten* 44

7.2 Ergebnis 47

7.3 Zwischenergebnis 47

7.4 Typ A: Mit statistischen Methoden ermittelte Größen 47

7.5 Typ B: Nicht statistische Ermittlungsmethoden 53

7.6 Konstante 58

7.7 Importierte Größen 59

7.8 Import aus Microsoft Excel® 62

7.9 Mehrere importierte Größen 64

7.10 Ändern der Reihenfolge der Größen 64

8 Ablesungen und Beobachtungen 67

8.1 Der Dialog *Beobachtungen einlesen* 68

8.2 Korrelationsanalyse für Typ A 69

9 Mehrere Ergebnisse 73
9.1 Darstellungsoptionen für Ergebnisse 73
9.2 Die Ansicht für mehrere Budgets 75
9.3 Begrenzungen und Performanz 75
10 Drucken und Export 76
10.1 Automatische Dokumentation 76
10.2 Dokument-Informationsfelder 76
10.3 Der Befehl *Bericht drucken* 78
10.4 Der Dialog *Export* 81
11 Laden und Speichern von Dateien 85
11.1 Der Befehl *Speichern* 85
11.2 Die Option *Schreibschutz* 86
11.3 Der Befehl *Speichern unter* 86
11.4 Der Befehl *Öffnen* 87
12 Grafiken und Bilder 88
12.1 Voraussetzungen 88
12.2 Benutzerschnittstelle 88
12.3 Das Menü *Bild* 90
12.4 Bilder drucken 90
12.5 Mehrere Bilder 90
12.6 Speicherung der Bilder 91
12.7 Rechenleistung mit Bildern 92
13 Prüfung der Einheiten 93
13.1 Das SI-System der Einheiten 93
13.2 Einheiten-Vorsätze (Präfixe) 94
13.3 Andere abgeleitete Einheiten 95
13.4 Nicht-SI-Einheiten 97
13.5 Der Dialog *Einheiten einfügen* 98
13.6 Der Dialog *Überprüfung der Einheiten* 99
13.7 Syntaktische Regeln für Einheiten 100
13.8 Überprüfung der Modellgleichung 101
13.9 Von der Einheitenüberprüfung unterstützte Einheiten 102
13.10 Physikalische Gleichungen und numerische Gleichungen 103
13.11 Nicht-SI-konforme Einheiten 104
13.12 Fehlermeldungen und Warnungen 105
13.13 Kompatibilität mit älteren Versionen 107

 © 2009 Metrodata GmbH

14 Arbeiten mit Diagrammen 108
14.1 Die Ansicht *Diagramm* 109
14.2 Diagramm-Eigenschaften 110
14.3 Das Menü *Diagramm* 115
14.4 Diagramme drucken und exportieren 115
14.5 Mehrere Diagramme 116
15 Einstellungen 117
15.1 Allgemein 117
15.2 Sprache 118
15.3 Budget 118
15.4 Ergebnis 119
15.5 Zahlendarstellung 120
15.6 Darstellung 121
15.7 Verzeichnisse 121
16 Online Hilfe 123
16.1 Versionsinformation 123
17 Experten Module 124
17.1 Experte: Export nach Excel (*Export2Excel2*) 124
17.2 Experte: Dateien als Struktur 3 speichern (*SaveAsVer3*) 125
18 Monte Carlo Simulation 127
18.1 Open Monte Carlo Engine 127
18.2 Arbeitsweise 127
18.3 Systemvoraussetzungen 128
18.4 Installation 128
18.5 Benutzung des Monte Carlo Simulationsexperten 129
18.6 Konfiguration der Monte Carlo Simulation 131
18.7 Beschränkungen 132
18.8 Darstellung der Ergebnisse der Monte Carlo Simulation 133
18.9 Benutzung von Graphen und Markierungen in Histogrammen 134
19 Experte zur Überprüfung der Korrelationsmatrix 136
19.1 Prüfung der Korrelationsmatrix 137
19.2 Eigenwertzerlegung 137
19.3 Nicht positiv semidefinite Matrix 138
19.4 Die Schnittstelle zu Python 138
20 Arbeiten mit Vorlagen 140
20.1 Benutzung von Vorlagen 140
20.2 Erstellen von Vorlagen 140

20.3 Zusätzliche Möglichkeiten von Vorlagen 141
20.4 Unterstützung für verschiedene Sprachen 143
21 Tipps und Tricks 144
21.1 Eingabe eines Unsicherheitsparameters in Prozent 144
21.2 Berechnete Ausdrücke in Parameterfeldern 144
21.3 Benutzung von mehreren Programmfenstern 145
21.4 Arbeiten mit vielen Modellgleichungen 145
21.5 Schreibzugriff auf das Installationsverzeichnis 145
Anhang A: Glossar einschlägiger Begriffe 146
Anhang B: Menü Struktur 149
Anhang C: Liste der Ein- und Ausgabefelder 151
Anhang D: Griechische Buchstaben und Sonderzeichen 155
Anhang E: Funktionsmatrix 157
Anhang F: Fehlermeldungen und Warnungen 158
Anhang G: OLE Automatisierungsschnittstelle 167
Anhang H: Berechnung des Sensitivitätskoeffizienten 167
H.1 Linearitätstest 169
Anhang I: Benutzte Gleichungen 169
I.1 Auswertung Typ A 169
I.2 Auswertung Typ B 170
I.3 Unsicherheitsfortpflanzung (Budget) 172
I.4 Effektiver Freiheitsgrad 173
I.5 Erweiterte Messunsicherheit und Ergebniskorrelation 174
Anhang J: Beispiel der Berichtsseiten 175
Anhang K: Lizenzbedingungen 179
Anhang L: Quellennachweis 182
Anhang M: Stichwortverzeichnis 183

 © 2009 Metrodata GmbH

1 Einführung

Das Programm 'GUM Workbench' dient zur Unsicherheitsanalyse physikalischer Messungen, chemischer Analysen und Kalibrierungen. Die Auswertungen und Berechnungen folgen den Richtlinien des DIN/ISO/BIPM *Guide to the Expression of Uncertainty in Measurement* [1] und des 'Requirement'-Dokumentes *EA 4/02* der European Cooperation for Accreditation [3]. (Dieses Dokument wurde früher EAL-R2 genannt und liegt in deutscher Übersetzung als DKD-3 [4] vor.) Die Auswertung ist kompatibel mit anderen Dokumenten, die auf dem GUM basieren, z.B. der NIST Technical Note 1297 [5], der Eurachem/CITAC Guide [6] und der UKAS M3003 [7].

Es werden drei verschiedene Versionen von GUM Workbench® vertrieben. Alle Versionen nutzen eine ähnliche Benutzerschnittstelle und identische interne Rechenmodule. Die Standardversion 1.3 unterstützt alle Funktionen um eine Messung mit einer Ergebnisgröße auswerten zu können. Die Professional-Version 2.3 unterstützt darüber hinaus noch die Auswertung von mehreren Ergebnissen und eine OLE Automatisierungsschnittstelle. Die Professional-Version 2.4 basiert auf Version 2.3 und ist um Funktionen zur Überprüfung der Benutzung von Einheiten, Einbindung von Grafiken und Erstellung von Diagrammen sowie um die Unterstützung einer Monte Carlo Simulation erweitert worden. Im Anhang E befindet sich eine Tabelle, die den Funktionsumfang der verschiedenen Versionen im Vergleich zeigt. Alle Versionen benutzen das gleiche Dateiformat.

Die Berechnungsbeispiele des EA 4/02 bzw. DKD-3 können mit dem Programm analysiert werden. Sie sind dem Programmpaket als Modellbeispiele beigefügt.

Mit dem Programm wird die im EA-Dokument geforderte systematische Vorgehensweise bei der Erstellung einer Unsicherheitsanalyse unterstützt. Ausgehend von dem mathematischen Modell der Auswertung, in der sich die physikalischen Zusammenhänge des jeweiligen Messprozesses als mathematisches Abbild widerspiegeln, werden die für die Analyse benötigten Informationen - wie die Standardmessunsicherheit oder die Verteilung der Werte der Eingangsgrößen - interaktiv angefordert. Durch eine geeignete Klassifikation der Eingangsgrößen der Auswertung entsprechend den zur Verfügung stehenden Informationen wird die Verarbeitung gesteuert.

Das Ergebnis der Auswertung ist ein übersichtliches Messunsicherheitsbudget in Tabellenform. In dieser Tabelle sind die in der Auswertung verwendeten Größen mit ihren Größenbezeichnungen, ihren Werten, den beigeordneten Standardmessunsicherheiten, ihren effektiven Freiheitsgraden, dem aus der Modellgleichung gewonnenen Sensitivitätskoeffizienten und den daraus gewonnen Unsicherheitsbeiträgen aufgeführt.

Abschließend wird das vollständige Messergebnis als Messwert und der beigeordnete erweiterte Messunsicherheit mit einem automatisch oder manuell gewähltem Überdeckungsfaktor dargestellt. Die Zahlenwerte werden bei der Ausgabe auf eine sinnvolle Anzahl von Stellen gerundet und in technischer Exponentialdarstellung ausgegeben (z.B.$1.0 \cdot 10^{-3}$, $1.0 \cdot 10^{-6}$, $1.0 \cdot 10^{-9}$...).

Zur Dokumentation kann das Ergebnis der Unsicherheitsanalyse zusammen mit allen Eingaben als Bericht ausgedruckt werden. Dabei werden die eingegebenen Texte entsprechend ausgegeben und zur übersichtlichen und strukturierten Dokumentation genutzt. Der Ausdruck wird vor der Ausgabe auf dem Drucker in einer Vorschau zur Anzeige gebracht.

Jede Analyse kann mit den eingegebenen Informationen - dem Modell der Auswertung, den Daten und den übrigen Texten - in einer Datei mit frei wählbarem Namen abgelegt werden. Sie steht dadurch jederzeit für eine nachträgliche Überprüfung oder Modifikation bereit.

Jede gespeicherte Analyse kann als Ausgangspunkt für neue Unsicherheitsanalysen nach dem gleichen Modell, aber mit neuen, veränderten Daten benutzt werden. Dadurch ist das Programm speziell für die Untersuchung des Einflusses der einzelnen Größenwerte und der ihnen beigeordneten Messunsicherheiten auf das Messergebnis und die ihm beizuordnende Messunsicherheit geeignet.

Dieses ist das Benutzerhandbuch für GUM Workbench® Version 1.3, 2.3 und 2.4. Anhang E zeigt die Funktionalität der verschiedenen Versionen. Das Handbuch beschreibt hauptsächlich die Anwendung des Programms. Es verfolgt nicht die Absicht, ein Leitfaden für die Entwicklung von Messunsicherheitsbudgets zu sein. Alle Anmerkungen und Hinweise in diesem Handbuch in Bezug auf die Erstellung von Messunsicherheitsbudgets sind unverbindlich und haben nur den Zweck, die Bedienung des Programms zu erläutern. Der Anwender ist voll dafür verantwortlich, die Details der Ermittlung der Messunsicherheit zu verstehen und sicherzustellen, dass die Anwendung des GUM und von GUM Workbench für seine spezielle Messung gerechtfertigt ist.

 © 2009 Metrodata GmbH

2 Installation und Setup-Prozedur

Um GUM Workbench® auf einem Windows basierten Computer zu installieren, muss das Setup-Programm (Setup.exe) gestartet werden. Es wird auf einer Installations-CD ausgeliefert und kopiert alle notwendigen Dateien und Konfigurationen, um mit GUM Workbench® auf einem PC arbeiten zu können. Der Installationsablauf ist für alle Versionen von GUM Workbench ähnlich. Alle Schritte des Installationsablaufs müssen vollständig ablaufen, um das Programm zu installieren. Für eine voll funktionierende Version ist ein Echtheitszertifikat mit einer Seriennummer und einem Schlüsselcode notwendig. Für die Standardinstallation werden keine Administratorrechte benötigt. Falls das Windows Programmverzeichnis schreibgeschützt sein sollte, kann GUM Workbench in einem beliebigen anderen Verzeichnis installiert werden, für das der Anwender über Schreibrechte verfügt.

GUM Workbench® kann nicht installiert werden, solange eine Version von GUM Workbench auf dem Computer ausgeführt wird. In einem solchen Fall wird die Warnmeldung in Bild 1 angezeigt. Alle laufenden GUM Workbench® Applikationen müssen geschlossen werden und die Installation beginnt nach betätigen von *OK*.

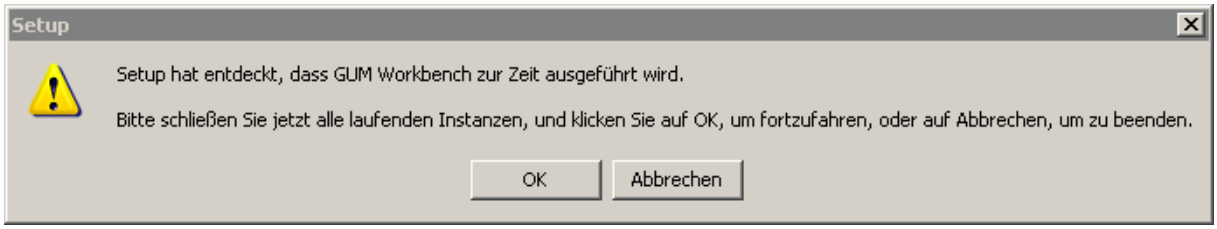


Bild 1: Es wurde festgestellt, dass GUM Workbench® bereits läuft.

Die Begrüßungsmeldung mit der Angabe der Programmversion wird wie in Bild 2 angezeigt.

Bild 2: Startmeldung – mit *Weiter* bestätigen

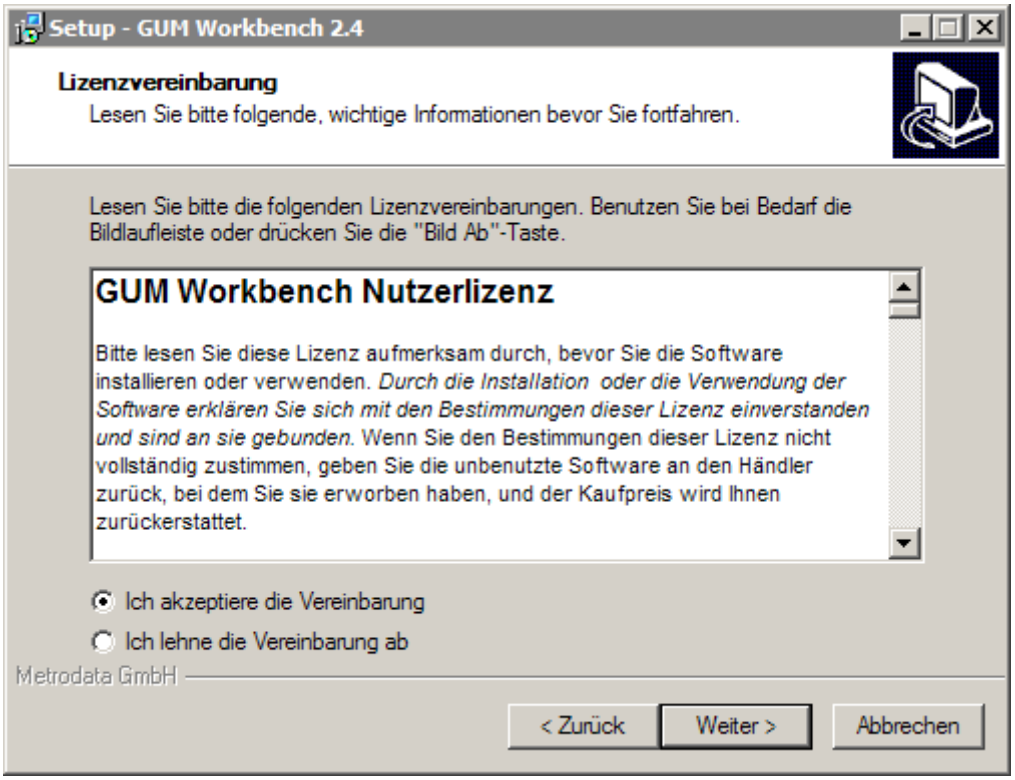


Bild 3: Lizenzvertrag – *akzeptieren* auswählen und mit *Weiter* bestätigen

Lesen Sie bitte aufmerksam den Lizenzvertrag (Bild 3) und wählen Sie die Option *akzeptieren* aus, um die Installation fortzuführen. Falls Sie dem Lizenzvertrag nicht zustimmen wollen, betätigen Sie bitte die *Abbrechen* Taste und beenden Sie die Installation.

© 2009 Metrodata GmbH

Bild 4: Benutzerinformation – die Information eingeben und mit *Weiter* bestätigen

Bei diesem Schritt (Bild 4) muss ein gültiger Name die Felder ausfüllen, um die Installation fortzuführen.

Bild 5: Nutzung – Voll- oder Demoversion auswählen und mit *Weiter* bestätigen

Die Option *Demoversion* erlaubt eine beschränkte Installation, welche die eingegebenen Daten nicht in einer Datei speichern kann. Für eine vollständige Installation werden eine Seriennummer und ein Schlüsselcode benötigt (Bild 6).

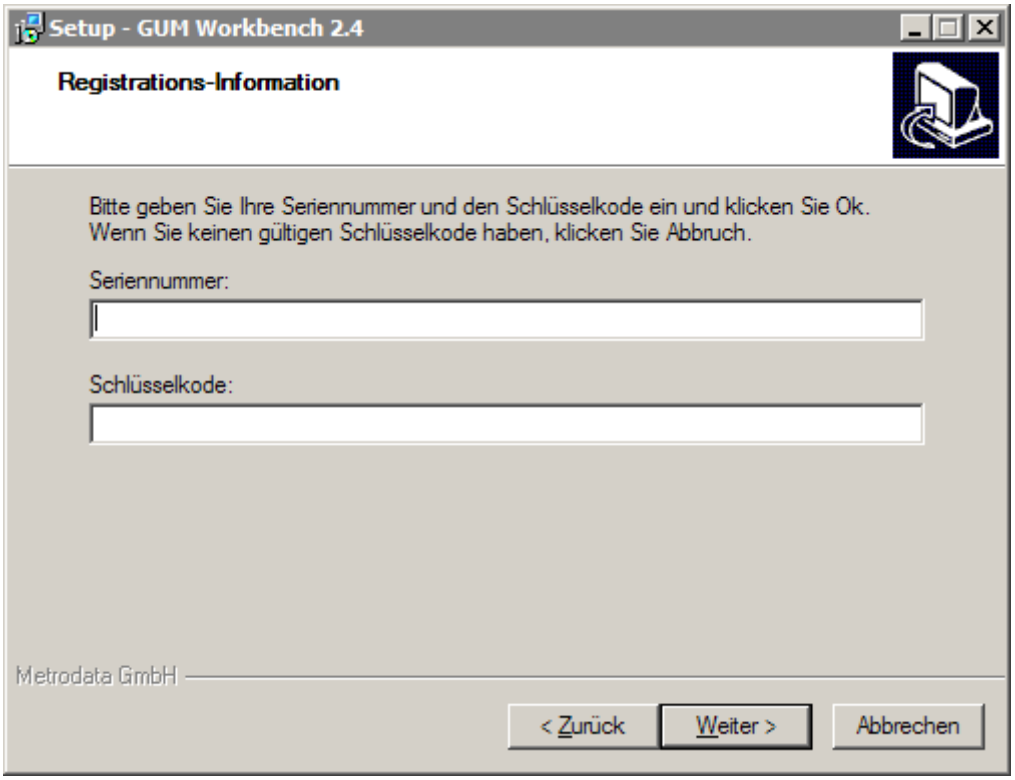


Bild 6: Registrations-Information – die Seriennummer und den Schlüsselkode eingeben

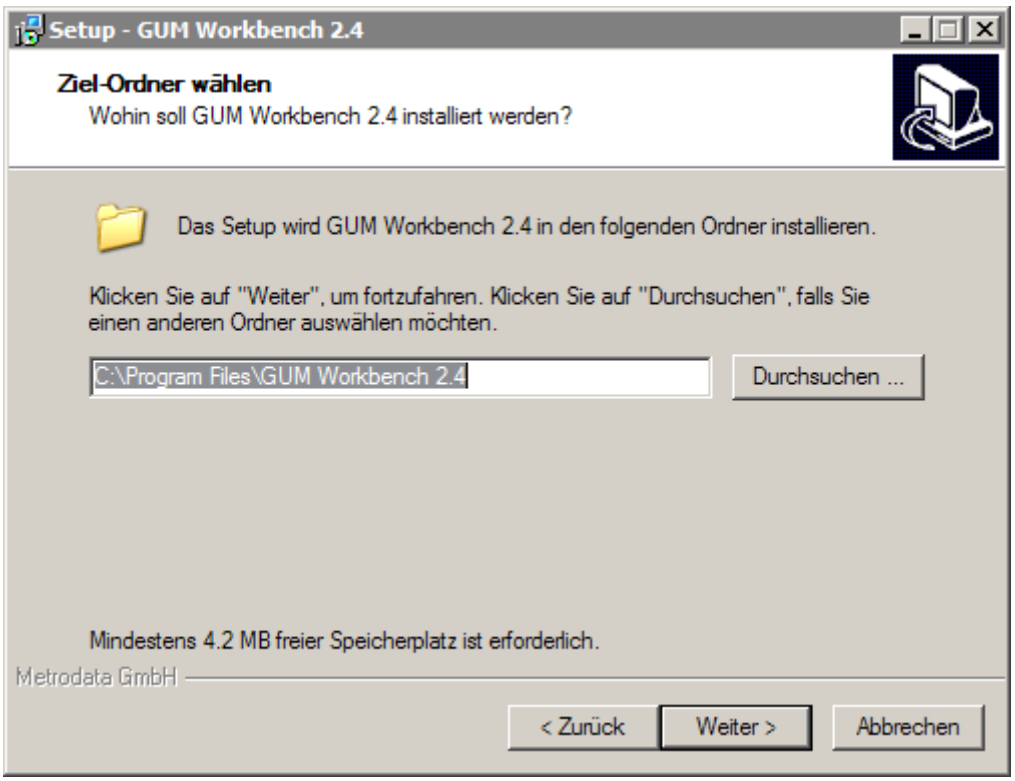


Bild 7: Ziel-Ordner wählen – ein Verzeichnis wählen und mit *Weiter* bestätigen

© 2009 Metrodata GmbH

Normalerweise wird GUM Workbench® unter dem Windows® Programmverzeichnis installiert. Es kann aber manchmal sinnvoll sein, ein anderes Verzeichnis zu wählen.

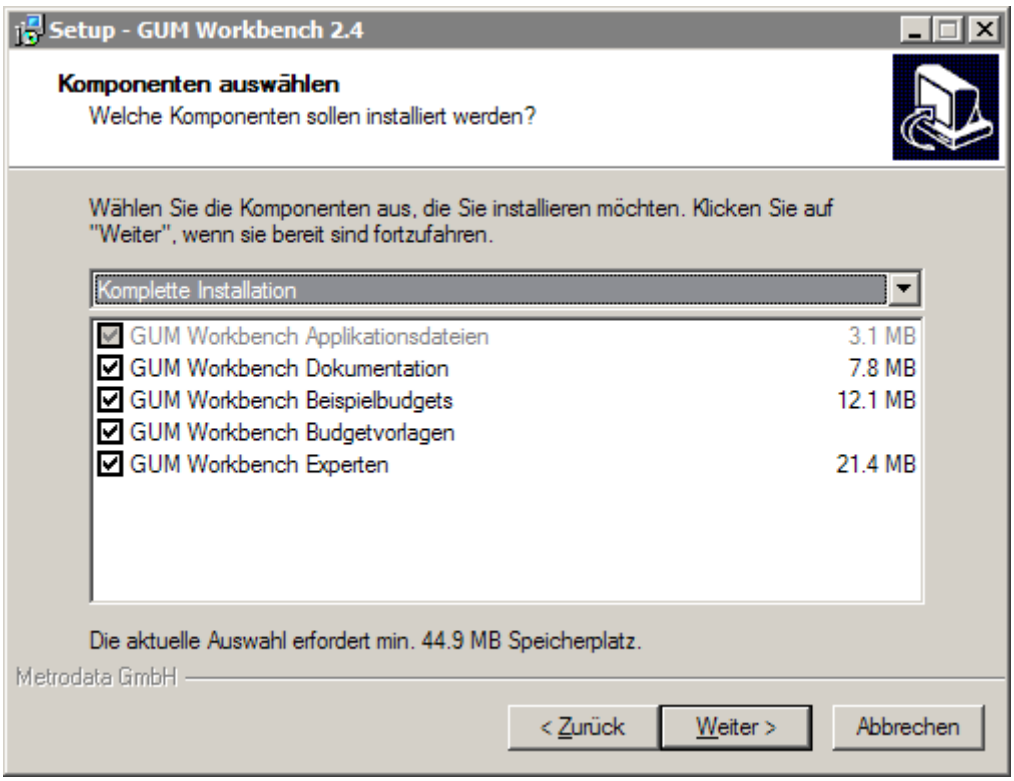


Bild 8: Komponenten auswählen – nach der Auswahl mit *Weiter* bestätigen

Für eine voll funktionsfähige Installation sollten alle Komponenten (Bild 8) installiert werden.

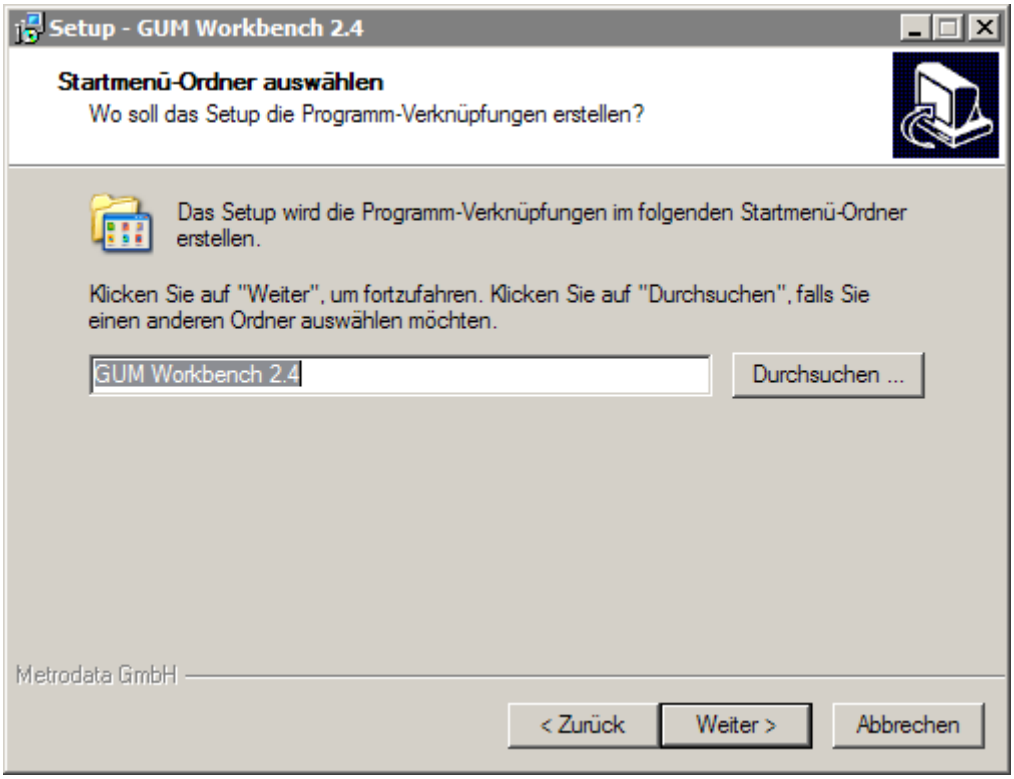


Bild 9: Startmenü-Ordner wählen – Name eingeben und mit *Weiter* bestätigen

Wählen Sie einen Namen für den Ordner im Startmenü aus (Bild 9).

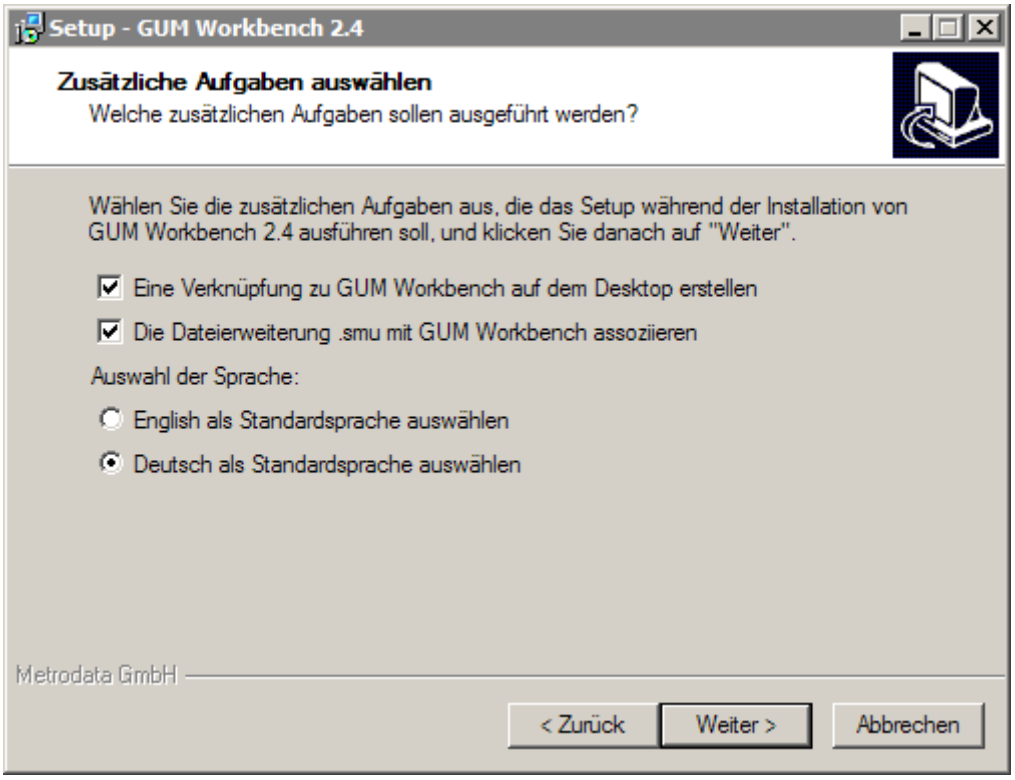


Bild 10: Zusätzliche Aufgaben auswählen – nach der Auswahl mit *Weiter* bestätigen

GUM Workbench® kann ein Desktop-Icon erstellen und die Dateierweiterung für SMU-Dateien registrieren. Die Sprache kann später jederzeit geändert werden (siehe 15.2).

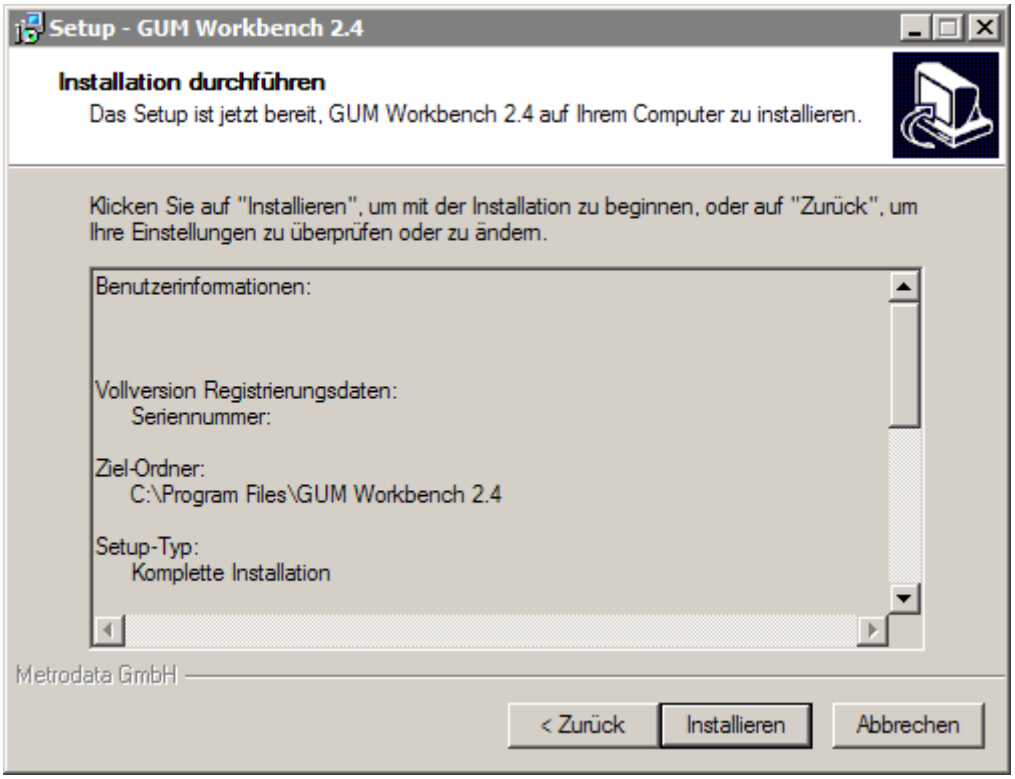


Bild 11: Installation durchführen – die Angaben überprüfen und mit *Installieren* starten

© 2009 Metrodata GmbH

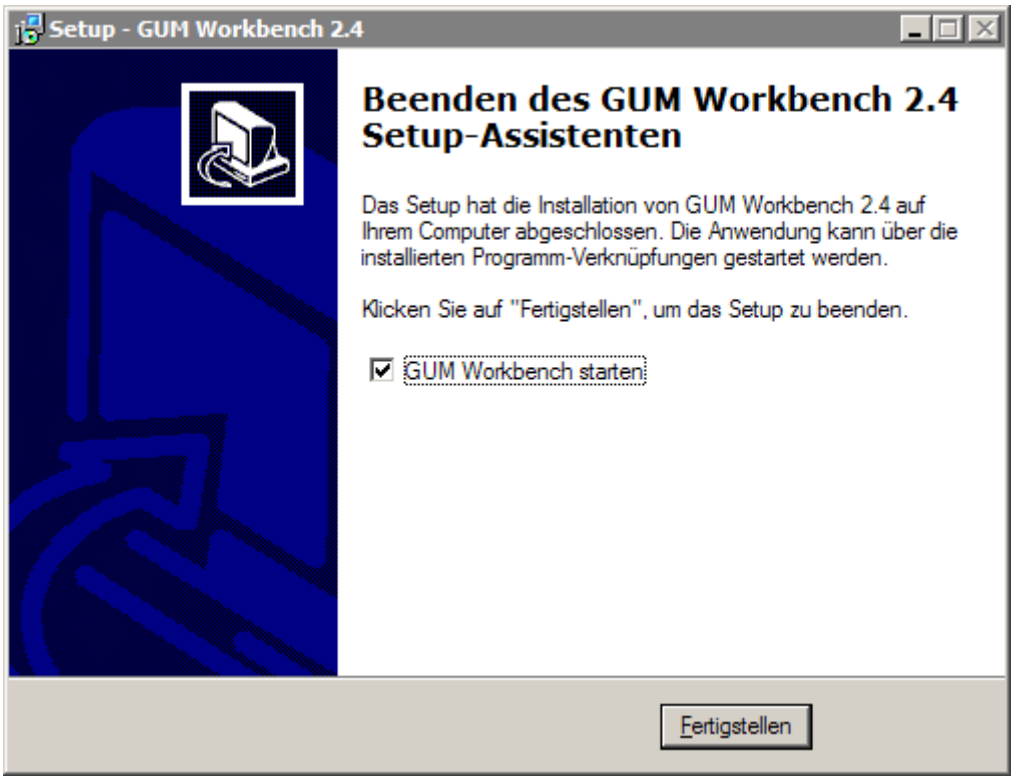


Bild 12: Die Installation ist vollständig – mit Fertigstellen bestätigen

Das Installationsprogramm erstellt auch einen Eintrag im Startmenü, mit dem GUM Workbench wieder von dem Computer entfernt werden kann. Beim Entfernen von GUM Workbench werden alle installierten Komponenten wieder gelöscht.

2.1 Netzwerk-Installation

Zusätzlich zur Installation auf einem Arbeitsplatz-Computer kann GUM Workbench® auch im Netzwerk installiert werden. Eine Netzwerk-Installation ist für alle Versionen verfügbar und erfordert eine Mehrbenutzerlizenz sowie eine Netzwerk Installations-CD. Die Netzwerkversionen sind Dateiserver-basiert und ermöglichen die Installation auf einem zentralen Server. Das Handbuch "GUM Workbench – Netzwerkinstallation" gibt Auskunft über die Einzelheiten.

3 Der Aufruf von GUM Workbench

Das Programm GUM Workbench® muss auf einem Computer installiert werden, bevor es benutzt werden kann. Der Abschnitt zur Installation erläutert dazu die Einzelheiten. Sobald GUM Workbench® auf dem Computer richtig installiert ist, gibt es im Startmenü eine Programmgruppe mit dem Namen "GUM Workbench x.y" (x.y ist die Versionsnummer 1.3, 2.3 oder 2.4). Man kann GUM Workbench® ohne Datei, mit einem der Beispiele oder durch Doppelklick auf eine andere existierende SMU-Datei starten.

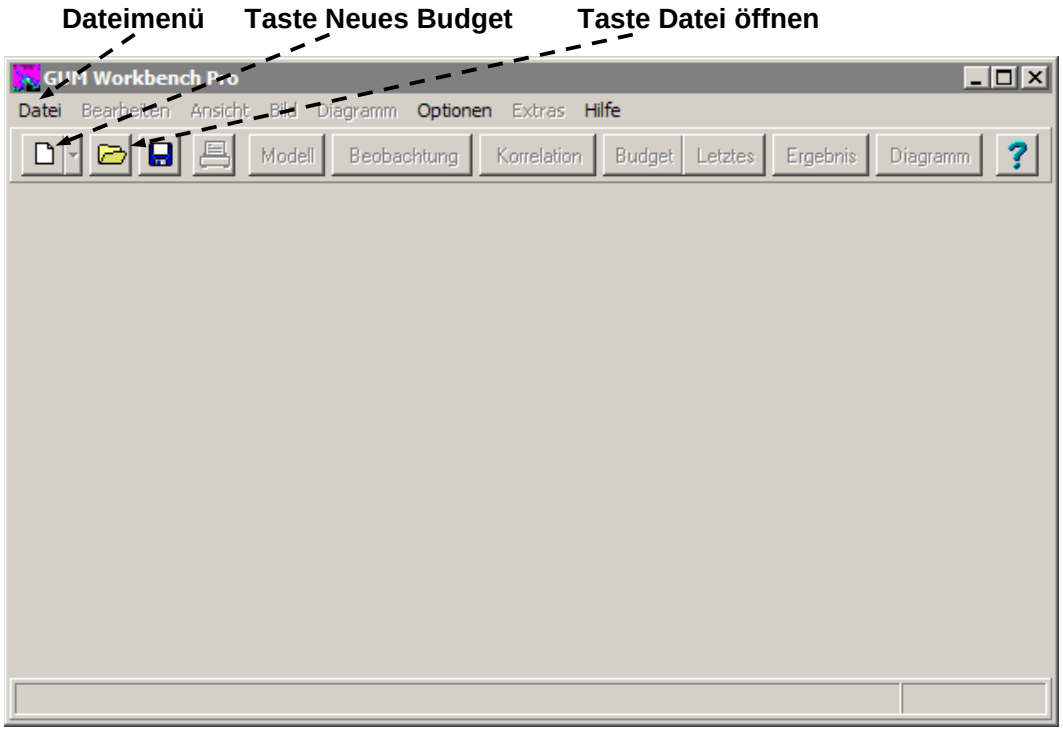


Bild 13: Das Programmfenster von GUM Workbench nach dem Aufruf ohne Datei

Nachdem GUM Workbench® gestartet wurde, wird ein Fenster ähnlich Bild 13 geöffnet, sofern keine Datei automatisch geladen wird. Danach besteht die Möglichkeit, entweder eine neue Auswertung mit der Taste für ein neues Budget zu beginnen (oder auch Menü *Datei* | *Neu*) oder eine bestehende Auswertung aus einer Datei mit der Taste zum Öffnen (oder auch Menü *Datei* | *Öffnen*) zu laden.

Sofern bei der Installation die Option zur Assoziierung von SMU-Dateien zu GUM Workbench aktiviert wurde, kann GUM Workbench® auch durch Doppelklick auf SMU-Dateien gestartet werden. GUM Workbench® lädt dann automatisch die ausgewählte Datei.

Falls der Name einer existierenden SMU-Datei beim Aufruf als Parameter in der Kommandozeile angegeben wird, wird die Datei automatisch geladen.

 © 2009 Metrodata GmbH

4 Erstellen einer Messunsicherheitsanalyse

Im Folgenden wird die prinzipielle Vorgehensweise beim Erstellen einer Messunsicherheitsanalyse in GUM Workbench dargestellt. Die Einzelheiten zu den verschiedenen Schritten werden in den folgenden Abschnitten beschrieben.

1. Eine neue Unsicherheitsanalyse wird mit dem Befehl *Neues Budget* im Menü *Datei* begonnen.
2. Die Ansicht *Modell* mit der Karteikarte *Allgemein* wird geöffnet. Ein beschreibender *Titel* und die *Allgemeine Beschreibung* des Messverfahrens werden in die entsprechenden Felder eingegeben.
3. Die Modellgleichung wird auf der Karteikarte *Modellgleichung* im Feld *Gleichung* eingegeben. Das Programm analysiert die Modellgleichung und erzeugt eine Symbolliste[1].
4. Auf der Karteikarte *Größen - Daten* werden für jedes Symbol der Symboltyp festgelegt und weitere für die Berechnung notwendige Angaben gemacht.
5. Die Eingabe der Beobachtungen oder der Ablesungen erfolgt in der Ansicht *Beobachtung*.
6. Die Korrelationskoeffizienten zwischen den Eingangsgrößen werden in der Ansicht *Korrelationsmatrix* bearbeitet.
7. Das Programm erzeugt ein detailliertes Ergebnis in der Ansicht *Budget*.
8. Das endgültige Ergebnis wird mit einem manuell oder automatisch ausgewählten Erweiterungsfaktor ausgegeben.
9. Der Berichts-Generator druckt einen strukturierten Bericht, der den Anforderungen der EA und des GUM entspricht.
10. Die Unsicherheitsanalyse wird mit dem Befehl "Speichern" im Menü "Datei" gespeichert.

---

[1] Eine Bemerkung für all, die zum ersten Mal mit der GUM-Methode arbeiten:
GUM Workbench benötigt eine Modellgleichung, die Sie eingeben müssen. Dies stellt ein gewisses Problem dar; es ist aber im Allg. nicht schwierig, dieses zu lösen. Modellgleichungen, die man z.B. bei direkten Messungen oder vielen Kalibrierungen verwendet, sind meist sehr einfach. Versuchen Sie einmal folgende Gleichungen einzugeben:

```
Ergebnis = Beobachtung;
```

oder

```
Abweichung = Beobachtung - Referenz;
```

Als nächstes drücken Sie die Gründe für den "messtechnischen Zweifel" in einfachen Gleichungen aus, wie:

```
Beobachtung = Anzeige + x_1 + x_2;
Referenz = Zertifikat + x_3 + x_4;
```

Wenn Sie eine Messung durchführen, in der eine Anzahl von Unsicherheitsbeiträgen einfacherweise als Quadratwurzel der Summen der Quadrate berechnet werden soll, kann man das erreichen, indem Sie eine Modellgleichung dieses Typs benutzen:

```
A = b + c + d + e
```

So lange keine Modellgleichung angegeben wird und das Feld Modellgleichung leer ist, ist die Messsituation nicht definiert und GUM Workbench kann nicht arbeiten.

5 GUM Workbench benutzen

Das Funktionsprinzip der grafischen Benutzerschnittstelle von GUM Workbench® basiert auf verschiedenen Ansichten auf eine gemeinsame Messunsicherheitsauswertung. So ist es möglich, ein gemeinsames Datenobjekt in verschiedenen Sichten zu betrachten und zu bearbeiten, die mit den jeweiligen Aufgaben während der Entwicklung einer Messunsicherheitsauswertung verbunden sind.

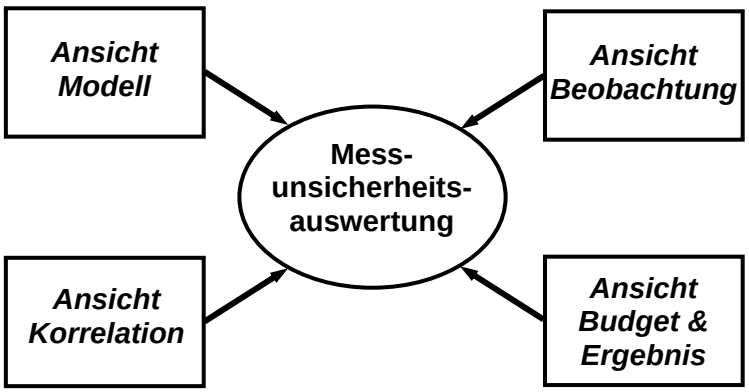


Bild 14: Die Ansichten einer Messunsicherheitsauswertung

Bild 14 zeigt die verschiedenen Ansichten auf eine Messunsicherheitsauswertung. Während der Modellierungsphase wird das Messunsicherheitsmodell in der Ansicht *Modell* konstruiert. Die Messdaten können während der Messung in der Ansicht *Beobachtung* bearbeitet werden. Bekannte Korrelationen werden in der Ansicht *Korrelation* bearbeitet und das Ergebnis kann in den Ansichten *Budget* und *Ergebnis* eingesehen werden. Zwischen den Ansichten kann jederzeit beliebig gewechselt werden.

Tabelle 1: Allgemeine Werkzeugleiste

Button	Befehl	Beschreibung	Abschnitt
	Neu	Neue Auswertung oder Vorlage	3, 20
	Öffnen	Datei öffnen	11.4
	Speichern	Datei speichern	11.1
	Bericht drucken	Bericht ausdrucken	10.3
Modell	Ansicht Modell	Modellansicht wählen	5.1
Beobachtung	Ansicht Beobachtung	Ansicht Beobachtung wählen	5.2
Korrelation	Ansicht Korrelation	Ansicht Korrelation wählen	5.3
Budget	Ansicht Budget	Ansicht Budget wählen	5.4
Letztes	Ansicht letztes Budget	Ansicht letztes Budget wählen	5.4.4
Ergebnis	Ansicht Ergebnis	Ergebnisansicht wählen	5.5
Diagramm	Ansicht Diagramm	Ansicht Diagramm wählen*	14.1
?	Hilfe	Online-Hilfe öffnen	16

* Diagramme sind nur bei der Version 2.4 verfügbar

 © 2009 Metrodata GmbH

Bild 15 zeigt das Programmfenster von GUM Workbench®. Es besteht aus 4 Bereichen: Der Menüleiste mit dem *Hauptmenü*, einer *Werkzeugleiste* mit der Auswahl der Ansicht, dem *Arbeitsbereich*, dessen Inhalt von der gewählten Ansicht abhängt, und der *Statuszeile* am unteren Rand des Fensters. Sofern notwendig sind die Ansichten mit Hilfe von Karteikarten weiter strukturiert. Die Ansichten können sowohl mit Menübefehlen wie auch über die Werkzeugleiste ausgewählt werden. (Siehe auch Tabelle 1 mit den Tasten der allgemeinen Werkzeugleiste zum Navigieren zwischen den Ansichten.)

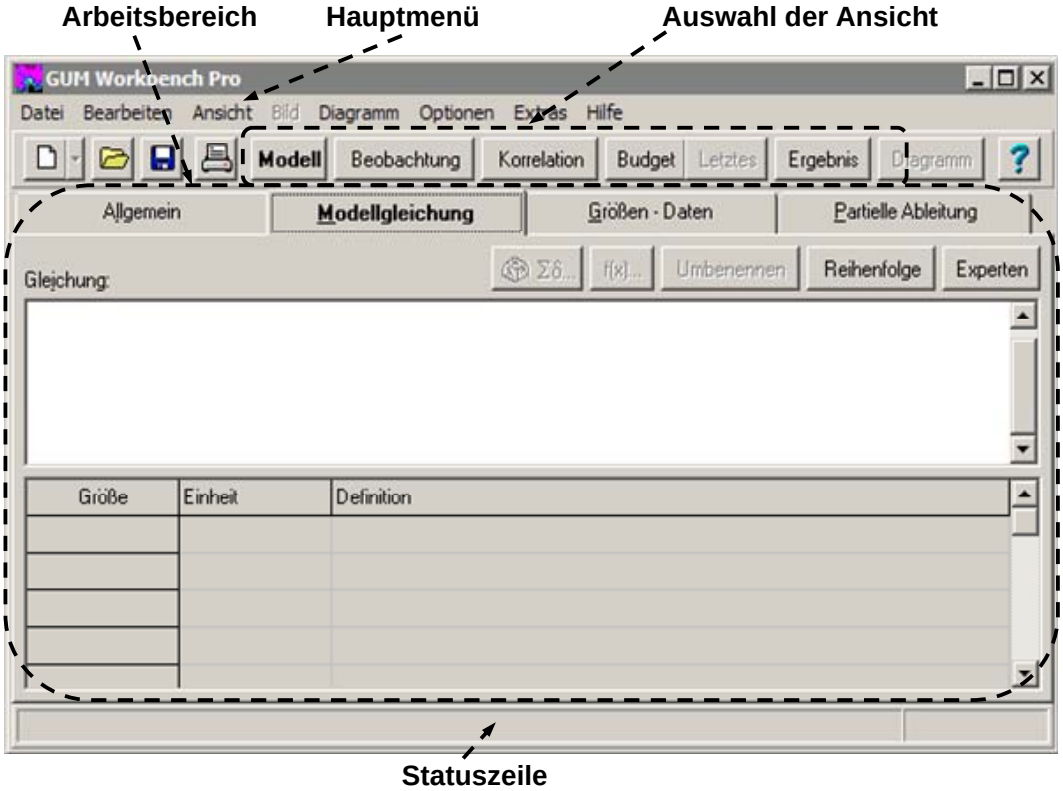


Bild 15: Das Hauptfenster von GUM Workbench®

5.1 Die Ansicht *Modell*

In der Ansicht *Modell* werden die Daten zum Modell eingegeben und bearbeitet. Es stehen die Karteikarten *Allgemein*, *Modellgleichung*, *Größen - Daten* und bei Version 2.4 *Partielle Ableitung* zur Verfügung. Durch Anwahl der Karteikarten kann auf die entsprechenden Daten zugegriffen werden.

5.1.1 Die Karteikarte *Allgemein*

Auf der Karteikarte *Allgemein* können ein Titel und eine allgemeine Beschreibung eingegeben werden. Die Eingaben dienen der Identifizierung und Kommentierung und werden im Bericht ausgegeben. Für die Berechnungen werden sie nicht verwendet.

5.1.2 Die Karteikarte *Modellgleichung*

Auf der Karteikarte *Modellgleichung* werden das Modell der Auswertung[2] und in die Größentabelle eingegeben. Mit dem Modell werden die während der Messung beobachteten Größen und die Einflussgrößen mit der Messgröße verknüpft. Im Feld *Gleichung* sowie in den Spalten *Einheit* und *Definition* werden die Rechengrößen definiert, mit denen GUM Workbench operiert.

5.1.3 Die Karteikarte *Größen – Daten*

Auf der Karteikarte *Größen – Daten* werden die Daten zu allen Größen bearbeitet. Dort erfolgt die Auswahl des Evaluierungstyps und die Eingabe der Parameter und Daten zu den Größen. Nur die beobachteten Daten werden in der Ansicht *Beobachtung* bearbeitet. Für jede Größe existiert ein separates Beschreibungsfeld.

5.1.4 Die Karteikarte *Partielle Ableitung*

Die Karteikarte *Partielle Ableitung* wird nur von GUM Workbench® Version 2.4 unterstützt. Auf ihr werden die partiellen Ableitungen der Modellgleichungen in algebraischer Form angezeigt. Diese Formeln dienen zur Information und werden zur Berechnung nicht verwendet. Falls diese Formeln ganz oder teilweise im Bericht gedruckt werden sollen, müssen sie in ein Beschreibungsfeld kopiert werden. Die Generierung der partiellen Ableitungen ist auf maximal 1024 Zeilen beschränkt.

---

[2] Hinweis: Die korrekte Formulierung einer Modellgleichung wird denen bekannt vorkommen, die schon Erfahrung mit Programmiersprachen wie Pascal oder C haben, da deren Schreibweise sehr ähnlich ist.

 © 2009 Metrodata GmbH

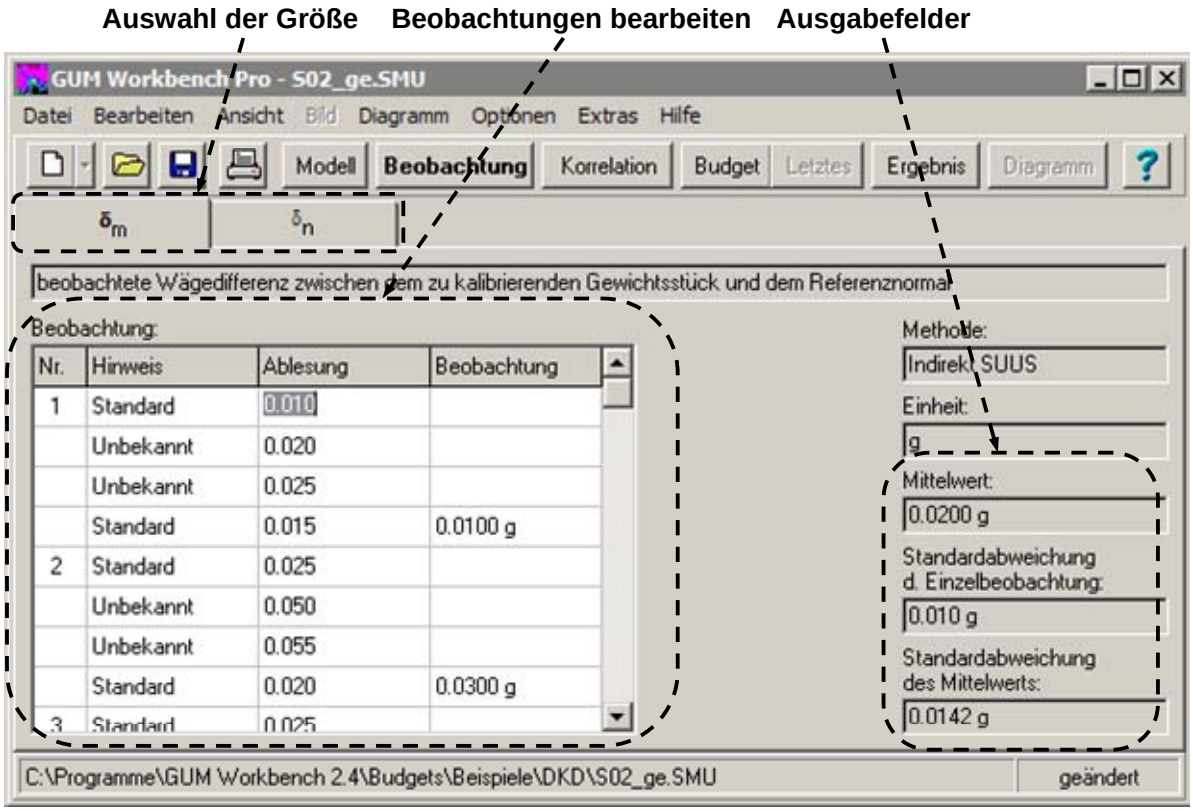


Bild 16: Ansicht *Beobachtung* mit Methode SUUS

5.2 Die Ansicht *Beobachtung*

In der Ansicht *Beobachtung* werden die Werte für Beobachtungen bearbeitet. Die Eingabe der Werte erfolgt in Tabellenform (siehe Bild 16). Der Aufbau der Tabelle ist von der gewählten Methode der Beobachtung abhängig (siehe Abschnit 7.4.4).

Sind in einer Messunsicherheitsauswertung mehrere Größen vom Typ A vorhanden, so erfolgt die Auswahl der zu bearbeitenden Größe als Karteikarte am oberen Fensterrand. Bei besonders vielen Größen vom Typ A, vor allem bei sehr langen Bezeichnungen, erscheinen am oberen Rand auf der rechten Seite Rollpfeile, mit denen die gewünschte Größe gesucht werden kann.

Wenn für alle Beobachtungen gültige Werte eingegeben wurden, werden in den Ausgabefeldern der Mittelwert, die empirische Standardabweichung der Einzelbeobachtung und die Standardabweichung des Mittelwerts ausgegeben.

Alle eingegebenen Beobachtungen bzw. Ablesungen müssen sich auf die im Feld *Einheit* angegebene Einheit beziehen.

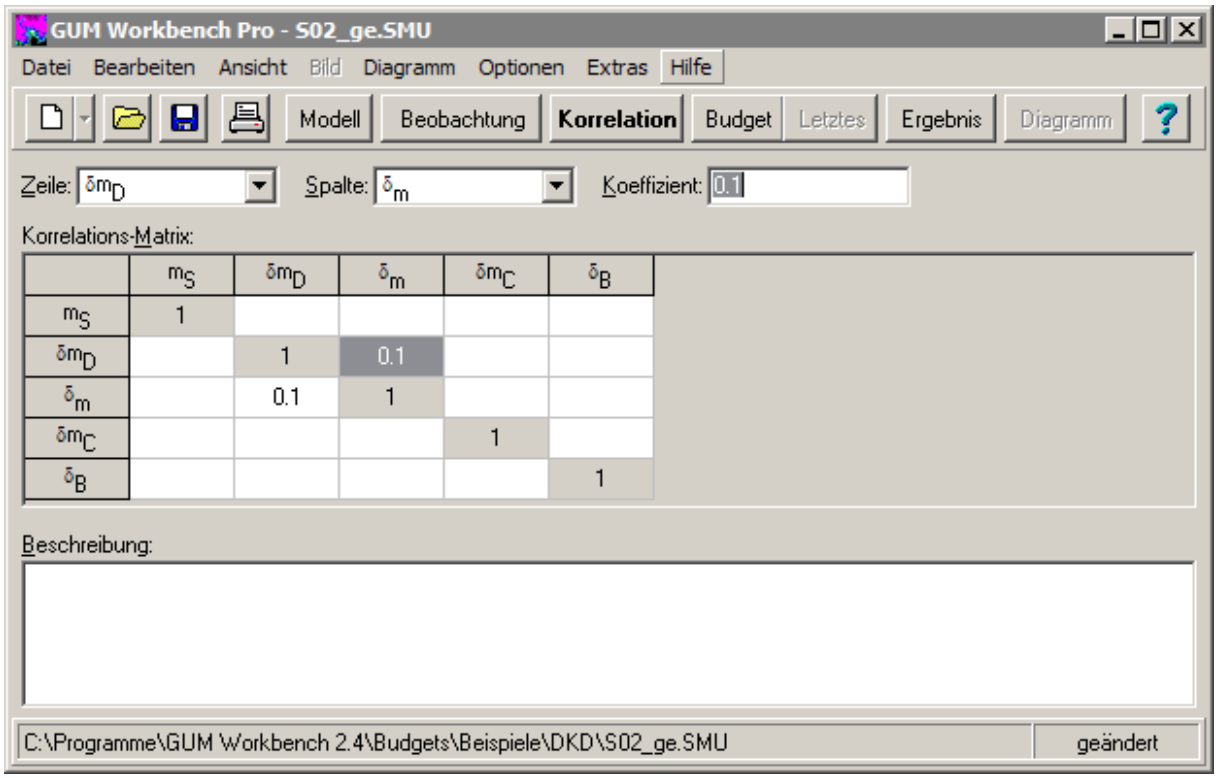


Bild 17: Ansicht *Korrelation*

5.3 Die Ansicht *Korrelation*

In der Ansicht *Korrelation* werden bekannte Korrelationen zwischen den Eingangsgrößen in Form von Korrelationskoeffizienten in einem Matrixschema dargestellt. Jede Matrixzelle gibt den Korrelationskoeffizienten zwischen den korrespondierenden Größen der Zeile und der Spalte an.

Der Wert für die Koeffizienten muss im Bereich -1.0 <= Wert <= +1.0 liegen. Nur Koeffizienten ungleich null werden angezeigt. Hellgrau hinterlegte Koeffizienten können nicht bearbeitet werden.

Um den Korrelationskoeffizienten zwischen zwei Eingangsgrößen zu ändern, wird je eine Größe im Feld *Zeile* und im Feld *Spalte* angewählt. Dadurch wird das entsprechende Zellenelement des Matrixschemas markiert. Im Feld *Koeffizient* kann der Wert eingegeben bzw. geändert werden. Der Wert im Matrixschema wird aktualisiert, sobald das Feld *Koeffizient* verlassen oder eine andere Matrixzelle markiert wird. Es werden immer zwei Werte im Matrixschema geändert, der angewählte Koeffizient und der dazu symmetrisch liegende, sodass die Matrix immer symmetrisch ist.

Sollen Korrelationen zwischen Eingangsgrößen berücksichtigt werden, sollte im Feld *Beschreibung* dokumentiert werden, woher die Korrelationskoeffizienten stammen und weshalb eine Berücksichtigung sinnvoll ist.

 © 2009 Metrodata GmbH

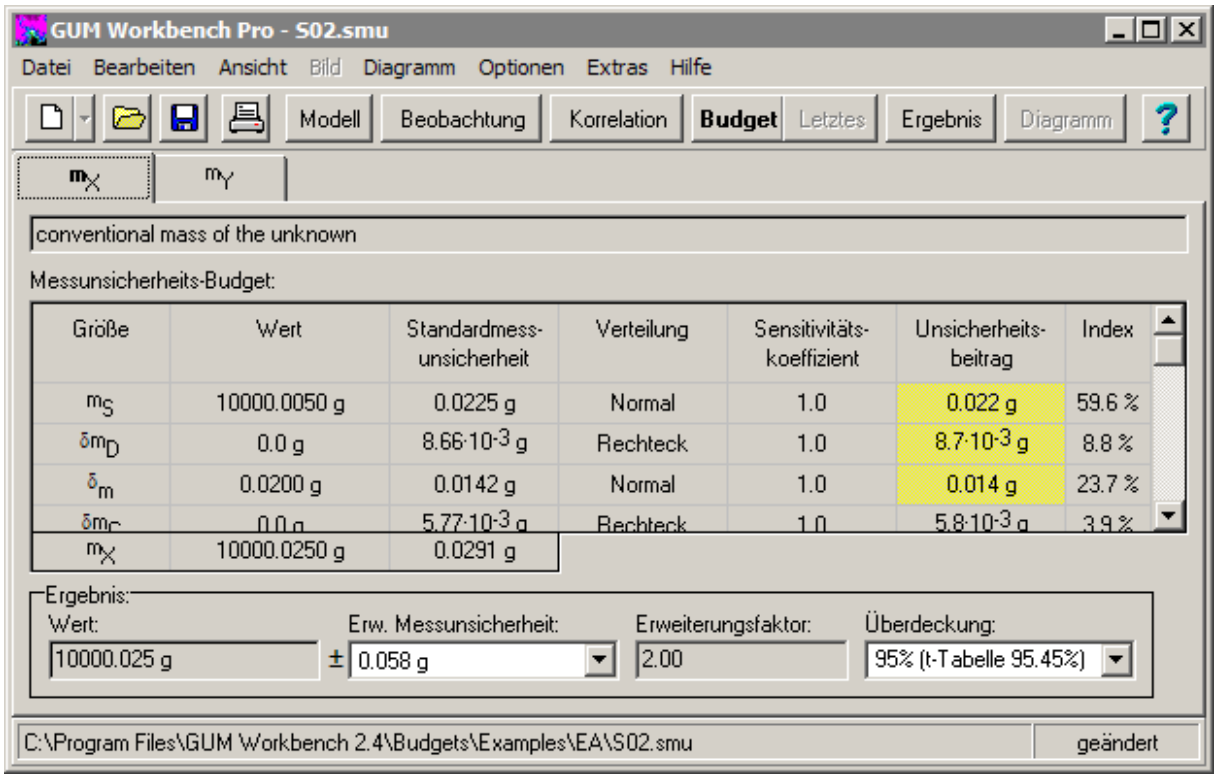


Bild 18: Ansicht *Budget*

5.4 Die Ansicht *Budget*

Das Ergebnis der Untersuchung wird in der Ansicht Budget dargestellt. Der Aufruf erfolgt mit dem Befehl *Messunsicherheits-Budget* im Menü *Ansicht*.

Für alle Größen werden in Form einer Tabelle die Bezeichnung der Größe (Spalte *Größe*) und der *Wert* dargestellt. Alle weiteren Spalten können ggf. im Dialog *Einstellungen* im Menü *Optionen* deaktiviert werden (siehe Abschnitt 15.3). Für alle Eingangsgrößen, die nicht vom Typ *Konstante* oder *Zwischenergebnis* sind, werden standardmäßig die *Standardmess-unsicherheit*, der *Sensitivitätskoeffizient* (ohne Einheit), der Unsicherheitsbeitrag und der *Index* angegeben. Die Messunsicherheit kann entweder absolut oder relativ ausgegeben werden. Die Umschaltung erfolgt im Dialog *Einstellungen* im Menü *Optionen* (siehe Abschnitt 15.3).

Der Wert in der Spalte *Index* gibt den Prozentsatz an, mit welchem die Varianz des Ergebnisses auf die Varianz der entsprechenden Eingangsgröße im Budget zurückgeht. Dabei werden auch die Korrelationen zwischen den Eingangsgrößen mit einbezogen.

Zwischenergebnisse werden nur mit *Wert* und *Standardmessunsicherheit* ausgegeben, wenn die Option *Budget berechnen* nicht aktiviert ist (nur Version 2.3 und 2.4).

Die Ergebnisgröße steht in der untersten Zeile direkt über dem Abschnitt *Ergebnis*; es werden der Wert, die beizuordnende Standardmessunsicherheit und der Freiheitsgrad (sofern aktiviert) ausgegeben.

Ist ein Zahlenwert nicht gültig, weil die Daten noch nicht vollständig eingegeben wurden, wird in der Tabelle *ungültig!* eingetragen.

Die Sensitivitätskoeffizienten werden ohne Einheit dargestellt. Die richtige Einheit ist die Einheit des Ergebnisses geteilt durch die Einheit der entsprechenden Eingangsgröße.

Das Programm führt automatisch eine Bewertung der Unsicherheitsbeiträge durch. Alle wesentlichen Beiträge werden in der Spalte *Unsicherheitsbeiträge* hervorgehoben (Hintergrundfarbe Gelb)[3]. Dabei werden alle großen Beiträge, die zusammengenommen einen einstellbaren Anteil (standardmäßig 95%) der Standardunsicherheit des Ergebnisses ergeben, als wesentlich angesehen. Im Menü *Optionen* kann mit dem Befehl *Einstellungen* der Prozentsatz verändert werden. Korrelationen zwischen den Eingangsgrößen werden nicht berücksichtigt. In gedruckten Berichten werden die hervorgehobenen Felder grau ausgegeben und bei HTML Export sind die Felder gelb.

Die ausgegebenen Zahlenwerte werden automatisch gerundet und ggf. im E-Format dargestellt (siehe Abschnitt 15.5).

Die Messunsicherheit kann auf drei unterschiedliche Weisen angezeigt werden:

- Absolut
- Relativ als Teil der Ergebnisgröße
- Relativ als Prozentsatz der Ergebnisgröße

Die Spalte *Korr.-Koeff.* zeigt den Korrelationskoeffizienten zwischen dem Ergebnis und der entsprechenden Eingangsgröße an.

Hinweis: Die *Einstellungen* können so verändert werden, dass in der Ansicht *Budget* einige der Daten nicht angezeigt werden; weitere Informationen dazu in Abschnitt 15.3.

Wenn die Ansicht *Budget* zum ersten Mal aktiviert wird, können verschiedene Fehlermeldungen erscheinen, sobald die Schaltfläche *Budget* gedrückt wird und das Unsicherheitsbudget berechnet wird. Um den Anwender zu warnen, werden ggf.

---

[3]Welche Felder werden gelb ausgefüllt?
GUM Workbench zeigt nach folgendem Schema Zellen in gelb an: Alle Größen werden entsprechend der Höhe ihres Unsicherheitsbeitrages eingeordnet. Die Größe mit dem höchsten Wert wird gelb dargestellt. Anschließend markiert das Programm den zweithöchsten Wert gelb, dann den dritthöchsten usw. Das geht so lange, bis die Berechnung der Standardmessunsicherheit auf der Grundlage aller hervorgehobenen Beiträge einen höheren Wert ergibt als die Standardmessunsicherheit des Ergebnisses multipliziert mit der in den *Einstellungen* eingestellten prozentualen Schwelle.

 © 2009 Metrodata GmbH

Warnmeldungen angezeigt, oder es erscheint in der Spalte *Sensitivitätskoeffizient* (oder in einer anderen Spalte) ein *ungültig!*.

Beim Erscheinen von Fehlern dieses Typs kann die Standardmessunsicherheit nicht berechnet werden. Um solche Fehler zu korrigieren, muss die Modellgleichung oder eine bzw. mehrere Größen verändert werden.

Bei der Berechnung des Budgets (nach Betätigen der Schaltfläche *Budget*) werden die Daten neu berechnet. Die Modellgleichung dagegen wird überprüft, wenn das Gleichungsfeld verlassen wird. Der Unterschied besteht darin, dass das Gleichungsfeld erst verlassen werden kann, wenn die Modellgleichung mathematisch korrekt ist, die Ansicht *Budget* kann aber jederzeit verlassen werden. Das stellt sicher, dass die Symbole auf der Karteikarte *Daten - Größen* zu einer mathematisch sinnvollen Auswertung gehören.

5.4.1 Auswahl der Überdeckung

Unterhalb der Budget-Tabelle in der Ansicht *Budget* wird im Bereich *Ergebnis* das zusammengefasste Ergebnis angezeigt. Es besteht aus dem Wert, der erweiterten Messunsicherheit und dem Erweiterungsfaktor, der zur Berechnung benutzt wurde. Mit der Auswahlbox *Überdeckung* wird festgelegt, nach welchem Verfahren der Erweiterungsfaktor ausgewählt wird (siehe Bild 19). Die Auswahl des Erweiterungsfaktors kann entweder manuell erfolgen, mit Hilfe einer *t*-Tabelle oder durch die Wahl einer Verteilung, die für das Ergebnis angenommen wird.

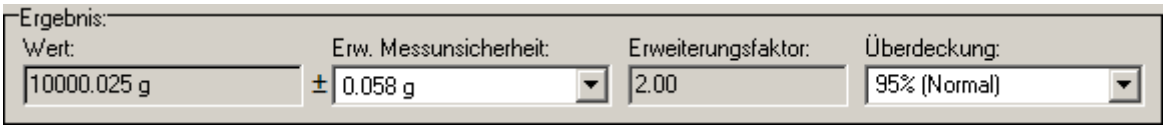


Bild 19: Darstellung des Ergebnisses und Auswahl der Überdeckung

Falls das Ergebnis durch eine *t*-Verteilung basierend auf dem ermittelten effektiven Freiheitsgrad beschrieben werden kann, lässt sich im Feld *Überdeckung* der Eintrag *95% (t-Tabelle 95.45%)* auswählen. Der Wert für den Erweiterungsfaktor wird dann einer *t*-Tabelle entnommen, die im GUM veröffentlicht wurde und im Programm hinterlegt ist. Die Überdeckungswahrscheinlichkeit der Tabelle entspricht 95.45%.

Warnung: Bei vielen Messungen, wie z.B. Kalibrierungen, spielt die erweiterte Messunsicherheit eine untergeordnete Rolle. In Fällen, in denen die erweiterte Messunsicherheit wichtig ist, sollte die Auswahl der Methode für die Festlegung des Überdeckungsfaktors mit entsprechender Sorgfalt erfolgen. Ein falsch ausgewählter Überdeckungsfaktor kann zu einer signifikanten Unter- oder Überschätzung der erweiterten Messunsicherheit führen.

5.4.2 Rundungsregeln

Die im Messunsicherheitsbudget ausgegebenen Zahlenwerte werden automatisch nach folgenden Regeln gerundet:

- Die Standardmessunsicherheit, der Sensitivitätskoeffizient und der Unsicherheitsbeitrag werden auf zwei, der Freiheitsgrad auf drei signifikante Stellen gerundet.
- In der Spalte *Wert* werden die Zahlen entsprechend der Anzahl der signifikanten Stellen des Zahlenwertes in der Spalte *Standardmessunsicherheit* gerundet.
- Beim Ergebnis wird der Wert auf die Anzahl der signifikanten Stellen der erweiterten Messunsicherheit gerundet. Die erweiterte Messunsicherheit wird auf zwei signifikante Stellen, der Erweiterungsfaktor auf drei signifikante Stellen gerundet.
- Ist der Zahlenwert für die Messunsicherheit null oder die entsprechende Größe eine Konstante, wird der Wert mit max. 14 signifikanten Stellen ausgegeben.

Zur Erläuterung: Die Zahl 234567 auf drei signifikante Stellen gerundet ergibt 235000. Oder die Zahl 12,358 ergibt 12,4. Das Komma hat keinen Einfluss auf die Rundung. Alle nicht signifikanten Stellen werden zu Null gestetzt.

Hinweis: Die Ansicht *Budget* kann so konfiguriert werden, dass nur bestimmte der genannten Elemente dargestellt werden. Bitte beachten Sie die Informationen in Abschnitt 15.3.

5.4.3 Warnung: *ungültig!*

GUM Workbench führt automatisch eine Validierung für alle Eingangsgrößen, Zwischenergebnisse und das Ergebnis durch. Nur wenn alle Daten für eine Eingangsgröße korrekt eingegeben wurden, kann mit der Größe gerechnet werden. Fehlen dem Programm noch Daten der Eingangsgrößen, so erscheint im Budget an der entsprechenden Stelle *ungültig!*. Alle davon abhängigen Zwischenergebnisse und das Gesamtergebnis sind dann auch ungültig. Welche Daten für die Berechnung des Ergebnisses noch fehlen, kann schnell festgestellt werden, indem alle Eingangsgrößen überprüft werden, deren Wert, Standardmessunsicherheit oder Freiheitsgrad ungültig sind.

Für den Fall, dass der Sensitivitätskoeffizient als "*ungültig!*" bezeichnet wird, beachten Sie bitte die Informationen im Abschnitt 5.4.5.

5.4.4 *Letztes* Budget

Zwei Schaltflächen ermöglichen den Zugang zum Unsicherheits-Budget: *Budget* und *Letztes*. Mit *Budget* wird eine Berechnung des ganzen Budgets wiederholt. Dies ist nötig, wenn die Modellgleichung oder Größen-Daten verändert wurden.

Mit *Letztes* wird das Budget nicht noch einmal durchgerechnet. In Unsicherheitsanalysen mit vielen Größen kann das Zeit sparen und es gibt dem Anwender auch die Möglichkeit, die Auswirkungen einer Änderung in der Modellgleichung oder bei den Größen zu überprüfen.

 © 2009 Metrodata GmbH

5.4.5 Meldung *ungültig!* im Sensitivitätskoeffizienten

Ist der Sensitivitätskoeffizient für eine Eingangsgröße *ungültig!*, der Unsicherheitsbetrag aber angegeben, lässt sich der Sensitivitätskoeffizient nicht berechnen. Ursache kann ein Extremwert (Minimum oder Maximum) der Modellfunktion oder eine nicht zu vernachlässigende nichtlineare Abhängigkeit des Ergebnisses von dieser Eingangsgröße sein. Solch eine nichtlineare Abhängigkeit bezieht sich auf einen Bereich um den Größenwert, der durch die Standardmessunsicherheit skaliert wird (siehe Anhang H).

In diesem Fall ist die Modellgleichung für die Eingangsgröße genauer zu untersuchen. Es ist durchaus möglich, dass die Modellgleichung die Messsituation nicht richtig wiedergibt. Eine Möglichkeit zur Überprüfung ist eine Monte Carlo Simulation (siehe Abschnitt 18).

Das Messunsicherheitsbudget wird berechnet, obwohl der Sensitivitätskoeffizient als *ungültig* gekennzeichnet wird. Deshalb muss die Spalte *Sensitivitätskoeffizient* auf Ungültigkeitsmeldungen überprüft werden, wenn eine entsprechende Warnung ausgegeben wird, um sicher zu gehen, dass das Budget nicht durch das oben bezeichnete Problem verfälscht wurde.

5.4.6 Mehrere Budgets in einer Auswertung

:GUM Workbench® Version 2.3 und 2.4 unterstützen die gleichzeitige Auswertung von mehreren Ergebnissen. Karteikartenreiter im oberen Bereich der Ansicht *Budget* erlauben es, die Ansicht auf jedes Ergebnis umzuschalten und die entsprechende Budgettabelle zu untersuchen. Alle Budgettabellen haben den gleichen Aufbau. Die Spalten werden im Dialog *Einstellungen* konfiguriert (Abschnitt 15.3).

Nur Ergebnisse und Zwischenergebnisse, für die die Option *Budget berechnen* aktiviert ist, werden in der Ansicht *Budget* dargestellt und im Bericht ausgedruckt (siehe Abschnitt 9.1). Die Reihenfolge der Größen in der Ansicht *Budget* und *Ergebnis* wird im Dialog *Reihenfolge der Größen ändern* festgelegt (siehe Abschnitt 7.10)

Die Überdeckung wird für jedes Ergebnis getrennt ausgewählt. Die erweiterte Messunsicherheit wird dann aus dem jeweiligen *Erweiterungsfaktor* und der entsprechenden Standardmessunsicherheit berechnet. Alle Ergebnisse werden bei dieser Berechnung als unabhängig angesehen. Es liegt in der Verantwortung des Benutzers, ein geeignetes Verfahren anzuwenden, um die Erweiterungsfaktoren zu wählen. In einigen Fällen kann es angemessen sein, auf eine Erweiterung der Messunsicherheit zu verzichten und nur die Standardmessunsicherheit im Zusammenhang mit einem Satz korrelierter Ergebnisse anzugeben. Ggf. sollte die Korrelationsmatrix in der Ansicht *Ergebnis* zur Unterstützung zu Rate gezogen werden.

Ergebnis | Korrelationsmatrix

Größe	Wert	Erweiterte Messunsicherheit	Erweiterungs-faktor	Überdeckungs-wahrscheinlichkeit
Y_1	3.3	1.3	2.00	95% (Normal)
Y_2	2.5	1.6	2.00	95% (Normal)

Bild 20: Ansicht *Ergebnis*

5.5 Die Ansicht *Ergebnis*

Die Mehrergebnisversionen 2.3 und 2.4 von GUM Workbench® unterstützen eine Ergebnisansicht. Die Ansicht *Ergebnis* zeigt eine Karteikarte mit einer Ergebnistabelle und optional eine Karteikarte für die Korrelationsmatrix zwischen den Ergebnissen (Bild 20). Die Karteikarte *Korrelationsmatrix* ist sichtbar, sobald für ein Ergebnis die Option *Korrelationen berechnen* aktiviert ist. Die Ergebnistabelle zeigt alle Ergebnisse mit den erweiterten Messunsicherheiten, den Erweiterungsfaktoren und der gewählten Überdeckung für alle Ergebnisse, für die die Option *in der Ergebnisliste* aktiviert ist. Die Reihenfolge der Größen in der Ergebnisliste wird im Dialog *Reihenfolge der Größen ändern* festgelegt (siehe Abschnitt 7.10).

Ergebnis | Korrelationsmatrix

	Y_1	Y_2
Y_1	1	0.6648
Y_2	0.6648	1

Bild 21: Die Karteikarte *Korrelationsmatrix* der Ergebnisse zeigt die Korrelationskoeffizienten

Die Karteikarte *Korrelationsmatrix* in Bild 21 zeigt den Korrelationskoeffizienten zwischen allen Ergebnissen, für die die Option *Korrelationen berechnen* aktiviert ist.

 © 2009 Metrodata GmbH

6 Die Modellgleichung

Im Feld *Gleichung* auf der Karteikarte *Modellgleichung* in der Ansicht *Modell* wird das mathematische Modell für die Unsicherheitsanalyse eingegeben. Sie ist der Ausgangspunkt für die weitere Verarbeitung durch das Programm.

Es ist jederzeit möglich, Größen in die Gleichung einzufügen, zu löschen oder umzubenennen. Einige Befehle stehen als Schaltflächen in einer Werkzeugleiste oberhalb des Feldes *Gleichung* zur Verfügung (siehe Tabelle 2).

Tabelle 2: Werkzeugleiste für das Feld Gleichung

Schaltfläche	Befehl	Beschreibung	Abschnitt
Σδ...	Sonderzeichen einfügen	Sonderzeichen Dialog öffnen	6.5.3
f(x)...	Funktion einfügen	Funktion einfügen Dialog öffnen	6.5.2
Umbenennen	Größe umbenennen	Größe umbenennen Dialog öffnen	6.5.1
Reihenfolge	Reihenfolge ändern	Reihenfolge ändern Dialog öffnen	7.10
Experten	Experten aufrufen	Experten Dialog öffnen	17

Beim Verlassen des Gleichungsfeldes wird die Syntax der eingegebenen Gleichungen überprüft und die Größentabelle aktualisiert bzw. aufgebaut.

Beachten Sie, dass in die Modellgleichung im Feld *Gleichung* kein Zeilenumbruch eingefügt wird, wenn deren Länge über den sichtbaren Teil des Feldes hinausgeht. Sie können die rechte Seite von langen Modellgleichungen einsehen, wenn Sie die Rollbalken verwenden, die dann unter dem Gleichungsfeld erscheinen. Beim Ausdruck wird ein Zeilenumbruch nur dann durchgeführt, wenn Sie an geeigneten Stellen Leerzeichen eingeben. Sie können damit den Zeilenumbruch steuern. Außerdem trägt es zur Lesbarkeit der Gleichungen bei, wenn Sie vor und nach den mathematischen Operatoren und an anderen Stellen Leerzeichen lassen.

6.1 Das Feld *Gleichung*

Das Gleichungsfeld und andere Beschreibungsfelder in GUM Workbench unterstützen zwei unterschiedliche Modi. Im Darstellungsmodus zeigt das Feld die Gleichungen so ähnlich an, wie sie später auch gedruckt werden. Im Modus zum Bearbeiten wird der Quelltext so angezeigt, wie er eingegeben und bearbeitet wird. Der Bearbeitungsmodus wird dadurch aktiviert, dass man entweder mit der Tabulator-Taste in das Feld wechselt, oder auf das Feld klickt. Der Darstellungsmodus wird aktiviert, indem das Feld (z.B. mit der Tabulator-Taste) verlassen wird. Im Darstellungsmodus werden Zeichen, die einem Unterstrich (_) folgen als Indices dargestellt und Zeichen, die durch umgekehrte Schrägstriche (\) eingeschlossen

sind, werden als Kommandos zur Darstellung von Sonderzeichen einschließlich griechischen Buchstaben interpretiert. Dadurch können die Symbole in den Gleichungen geeignet formatiert werden.

Wir weisen darauf hin, dass man die zusätzlichen Möglichkeiten zur Formatierung verwenden kann, es aber nicht muss. Es ändert nichts an der Funktionsweise von GUM Workbench, nur am Erscheinungsbild des Textes, der Größen und der mathematischen Größenbezeichnungen. Wenn kein Unterstrich oder Backslash verwendet wird, sind der Anzeige- und der Schreibmodus identisch. Neue Nutzer von GUM Workbench sollten sich zuerst mit den grundsätzlichen Prinzipien, eine Unsicherheitsgleichung zu erstellen, vertraut machen. Wenn der Wunsch nach einer besseren Darstellung der Größensymbole besteht, sollte ggf. das Format des Textes und der Messgrößen überarbeitet werden.

Das Gleichungsfeld lässt sich in seiner Größe ändern. Wenn der Mauszeiger über die Trennlinie zwischen dem Gleichungsfeld und der Liste der Größen bewegt wird, ändert er seine Form in ein Schiebesymbol und man kann die Trennlinie anklicken und verschieben und damit die Größe des Gleichungsfeldes ändern. Gleichzeitig verändert sich entsprechend die Länge der Größenliste.

Zur Verbesserung der Lesbarkeit werden die Zeichen der Modellgleichung im Darstellungsmodus um 20% vergrößert dargestellt. Die Zeichengröße im Darstellungsmodus und im Bearbeitungsmodus können im Dialog *Einstellungen* geändert werden (siehe Abschnitt 15.6)

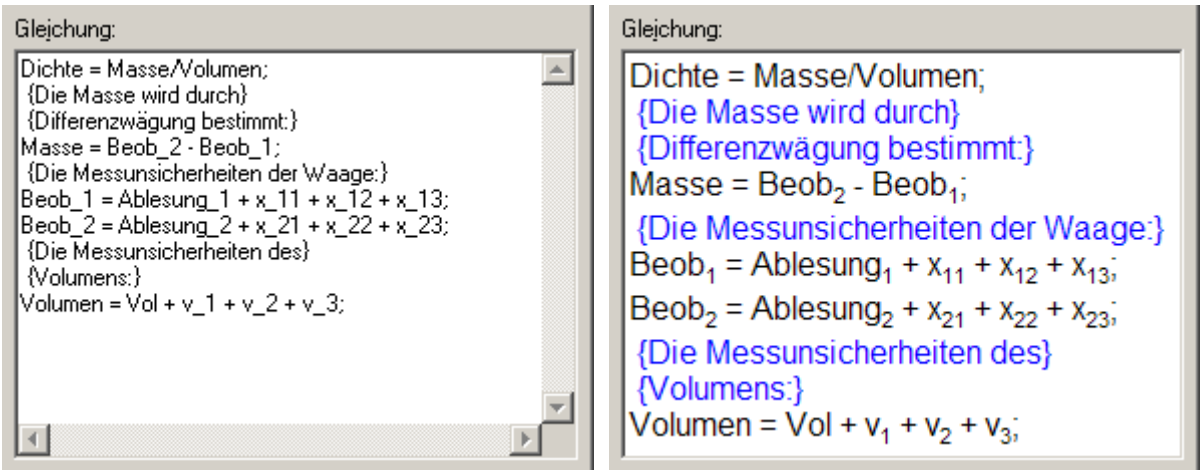


Bild 22: Gleichungsfeld im Bearbeitungsmodus (links) und im Darstellungsmodus (rechts)

Bild 22 zeigt dieselben Gleichungen im Bearbeitungsmodus (links) und im Darstellungsmodus (rechts). Die leichte Vergrößerung der Schriftzeichen im Darstellungsmodus verbessert deutlich die Lesbarkeit der Gleichung.

 © 2009 Metrodata GmbH

6.2 Der Aufbau der Modellgleichung

Die Modellgleichung wird in der Ansicht *Modell* auf der Karteikarte *Modellgleichung* im Feld *Gleichung* eingegeben. Sie hat die allgemeine Form:

```
Ergebnis_Groesse = Ausdruck;
```

Die rechte Seite symbolisiert einen algebraischen Ausdruck, der aus einer geeigneten Kombination mathematischer Operatoren und Funktionen, sowie Zahlen und Größenbezeichnungen besteht. Werden genauere Werte verschiedener mathematischer Konstanten wie π oder e benötigt, kann man auf vordefinierte Werte zurückgreifen, die automatisch eingetragen werden, wenn man die Symbole `pi`, `\pi\` oder `e` verwendet. Die einzelnen Gleichungen werden durch ein Semikolon getrennt. Die linke Seite einer Gleichung definiert ein Ergebnis oder Zwischenergebnis und die Symbole auf der rechten Seite definieren die Eingangsgrößen (oder Zwischenergebnisse).

Die algebraischen Ausdrücke auf der rechten Seite der Modellgleichung werden nach den üblichen Prioritätsregeln für mathematische Operatoren ausgewertet.

Um Modellgleichungen übersichtlicher zu gestalten, insbesondere wenn sie umfangreicher sind und eine größere Zahl von Eingangsgrößen enthalten, können sie in kleinere Teile aufgespalten werden, indem Zwischenergebnisse eingeführt werden.

6.2.1 Kommentare in der Modellgleichung

Sie können geschweifte Klammern[4] verwenden, um Kommentare in die Modellgleichungen einzufügen. Text in geschweiften Klammern bleibt bei der Auswertung der mathematischen Gleichungen unbeachtet. Sie können z.B. schreiben:

```
Dichte = Masse/Volumen;
 {Die Masse wird durch}
 {Differenzwägung bestimmt:}
Masse = Beob_2 - Beob_1;
 {Die Messunsicherheiten der Waage:}
Beob_1 = Ablesung_1 + x_11 + x_12 + x_13;
Beob_2 = Ablesung_2 + x_21 + x_22 + x_23;
 {Die Messunsicherheiten des}
```

[4] Kommentare { ... } »geschweifte Klammern«
Diese Klammern können Sie mit den meisten Tastaturen mit der AltGr-Taste erzeugen. Im Programm GUM Workbench können sie aber auch mit der Menüfunktion *Bearbeiten* und dem Befehl *Sonderzeichen einfügen* (bzw. Tastenkombination Strg+A) erzeugt werden.

```
{Volumens:}
Volumen = Vol + v_1 + v_2 + v_3;
```

6.2.2 Mathematische Operatoren

Tabelle 3 zeigt die unterstützten mathematischen Operatoren, die in der Modellgleichung verwendet werden können. Operationen mit einer höheren Priorität werden vor denen mit einer niedrigeren Priorität ausgeführt. Bei gleicher Priorität erfolgt die Ausführung von links nach rechts, außer bei der Potenzierung, wo die Ausführung von rechts nach links erfolgt.

Tabelle 3: Mathematische Operatoren

Priorität	Zeichen	Operation
3	^	Potenzierung
2	* × ·	Multiplikation[5]
2	/ ÷	Division[5]
1	+	Addition
1	-	Subtraktion

Durch geeignete Klammerung[6] () von Teilausdrücken kann die Rangfolge gesteuert werden, wobei die geklammerten Teile zuerst ausgewertet werden. GUM Workbench folgt dabei den Standardregeln: mit der innersten Klammerung wird begonnen und von dort nach außen fortgeschritten.

6.2.3 Mathematische Funktionen

Tabelle 4 zeigt die standardmäßig verfügbaren mathematischen Funktionen, die in der Modellgleichung verwendet werden können.

Die Funktionsbezeichnungen sind reservierte Bezeichnungen und dürfen nicht als Größenbezeichnungen verwendet werden.

Die Argumente für die standardmäßig verfügbaren trigonometrischen Funktionen werden in Radianten (Bogenmaß) erwartet und die entsprechenden inversen Funktionen liefern ein Ergebnis in Radianten zurück. Es gibt zwei Funktionen, die eine einfache Umwandlung zwischen Grad und Radianten ermöglichen. Die Funktion `rad(x)` führt eine Multiplikation von x mit $\pi/180$ aus, während `deg(x)` durch diesen Faktor Teilt.

---

[5] Es gibt drei unterschiedliche Möglichkeiten den Operator für die Multiplikation einzugeben und zwei unterschiedliche Möglichkeiten den Operator für die Division einzufügen. Die Operatoren ×, · und ÷ können über die Menüleiste *Bearbeiten* mit dem Befehl *Sonderzeichen einfügen* eingegeben werden. Beachten Sie dabei den Unterschied zwischen dem Operator × und dem Buchstaben x.

[6] Die maximale Anzahl geöffneter Klammern ist in der Praxis auf 32 beschränkt.

 © 2009 Metrodata GmbH

```
deg(acos(1/2)) = 60
sin(rad(30)) = 0.5
```

Tabelle 4: Mathematische Funktionen

Aufruf	Mathematische Funktion[7]
`| |`	Betragsfunktion
`sqr()`	Quadrat
`sqrt()`	Quadratwurzel
`root3()`	Kubikwurzel
`exp()`	Natürliche Exponentialfunktion (Basis e)
`ln()`	Natürlicher Logarithmus (Basis e)
`log()`	Zehnerlogarithmus (Basis 10)
`sin()`	Sinus
`cos()`	Kosinus
`tan()`	Tangens
`cot()`	Kotangens
`asin()`	Arkussinus
`acos()`	Arkuskosinus
`atan()`	Arkustangens
`acot()`	Arkuskotangens
`sinh()`	Hyperbolischer Sinus
`cosh()`	Hyperbolischer Kosinus
`tanh()`	Hyperbolischer Tangens
`coth()`	Hyperbolischer Kotangens
`asinh()`	Hyperbolischer Arkussinus
`acosh()`	Hyperbolischer Arkuskosinus
`atanh()`	Hyperbolischer Arkustangens
`acoth()`	Hyperbolischer Arkuskotangens
`const()`	Umwandlung in eine Konstante
`deg()`	Umwandlung in Grad
`rad()`	Umwandlung in Bogenmaß

6.2.4 Umwandlung in eine Konstante

Mit der eingebauten Funktion `const()` kann zum Rechnen im Modell für einen Ausdruck gezielt die Messunsicherheit (Standardabweichung) entfernt werden. Wenn x eine Größe mit einer Messunsicherheit $u(x)$ ist, so ergibt `const(x)` den Wert von x ohne Messunsicherheit.

[7] In GUM Workbench wird zwischen Groß- und Kleinschreibung unterschieden. Alle Namen der Funktionen sind in Kleinbuchstaben definiert und müssen wie hier angegeben geschrieben werden, damit sie richtig erkannt werden.

Die Messunsicherheit der Größe oder des Ausdrucks wird zwar weiterhin im Budget aufgeführt, aber die Messunsicherheit wird für das Ergebnis nicht berücksichtigt.

Die Funktion kann zum Beispiel verwendet werden, wenn in einem Modell nur die Messunsicherheit unabhängig vom Wert einer Größe benötigt wird.

1. Als absolute Messunsicherheit: `u_x = x - const(x)`
2. Als relative Messunsicherheit: `w_x = x / const(x),` vorausgesetzt $x \neq 0$

Hinweis: Das Programm prüft nicht, ob die `const()`-Funktion sinnvoll verwendet wurde. Der Anwender ist verantwortlich für die richtige Benutzung der Funktion.

6.2.5 Arithmetischer Mittelwert

Mit der Funktion `average()`, kann in der Modellgleichung der arithmetische Mittelwert aus mehreren Werten, die durch Komma getrennt werden, ermittelt werden. Die Funktion arbeitet wie ein Makro, das den Funktionsaufruf durch eine Summation der Argumente und eine Division durch die Anzahl der Argumente ersetzt.

6.2.6 Zahlen

Zahlen beginnen mit einer Ziffer, der ein Vorzeichen (`+` oder `-`) vorangestellt werden kann. Es können ganzzahlige Werte (z.B. `12`, `256` oder `10000`), Dezimalwerte (z.B. `1.25`, `-0.05` oder `12000.821`) oder Fließkommazahlen in exponentieller Darstellung (`1.2000821E4` oder `-5.0E-2`) eingegeben werden.

Ganze Zahlen: `12`, `256` oder `10000`
Gleitkommazahlen: `1.25`, `-0.05` oder `12000.8`
Exponentialdarstellung: `1.20008E4` oder `-5.0E-2`.

Als Dezimaltrennzeichen können im Programm GUM Workbench entweder das Komma (,) oder der Punkt (.) verwendet werden. Die einzige Ausnahme besteht in der Eingabe von Zahlen direkt in das Gleichungsfeld. Das Dezimaltrennzeichen muss hier der Punkt (.) sein.

Mit eingeteilten Zahlen wie z.B. 1,000.85 kann GUM Workbench nicht arbeiten. Solche Eingaben werden im Gleichungsfeld und in allen anderen Datenfeldern zurückgewiesen.

Zahlen in exponentieller Darstellung werden im Programm in einer ansprechenden Weise angezeigt, z.B. wird die Eingabe `-5.0E-2` bei der Ausgabe als $-5.0 \cdot 10^{-2}$ angezeigt.

 © 2009 Metrodata GmbH

6.2.7 Benutzerdefinierte Funktionen

Das Gleichungsfeld besitzt Möglichkeiten, die es in gewisser Weise zu einer einfachen Programmierungsumgebung machen. Dazu kann der Anwender seine eigenen Funktionen definieren[8].

Benutzerdefinierte Funktionen werden im Gleichungsfeld in folgender Form geschrieben

```
Funktions_Name(a,b,c,...) = Ausdruck;
```

wobei `(a,b,c,...)` für die Parameterliste steht. Die Darstellung von Funktions- und Parameterbezeichnungen folgt denselben Regeln wie bei der Darstellung von Größenbezeichnungen. Es kann 0, 1 oder mehr Parameter in einer Funktion geben. Der jeweilige Ausdruck einer Funktionsdefinition wird nach den gleichen Regeln aufgebaut wie Ausdrücke in der Modellgleichung. In den jeweiligen Ausdrücken dürfen Parameter eingesetzt werden, die in der Parameterliste enthalten sind, und alle anderen Symbole des Modells.

Anschließend kann im Gleichungsfeld die anwenderdefinierte Funktion in einer ähnlichen Weise wie die eingebauten Funktionen verwendet werden.

Anwenderdefinierte Funktionen sind nützlich, wenn die Messsituation mehrfache Berechnungen benötigt, die einer gleichen mathematischen Struktur folgen und sich mit Hilfe einer Funktion darstellen lassen. Sie dienen auch als Mittel, um zusätzliche Funktionen in eine Unsicherheitsanalyse einzufügen. Anwenderdefinierte Funktionen können z.B. in SMU-Dateien abgespeichert werden, von denen sie bei Bedarf in andere SMU-Dateien kopiert werden können. Anwenderdefinierte Funktionen können auch als Alternative zu Zwischenergebnissen angesehen werden.

Die Funktionsbezeichnung einer anwenderdefinierte Funktion darf nicht für Größen oder andere Funktionen im selben Gleichungsfeld verwendet werden. Bezeichnungen, die schon für die Bezeichnung von Größen herangezogen wurden, dürfen nicht als Funktionsbezeichnungen verwendet werden. Andererseits dürfen Parameterbezeichnungen, die in der Funktionsdefinition enthalten sind, auch für andere Zwecke verwendet werden; es ist allerdings nicht ratsam, da dies manchen Leser der Unsicherheitsanalyse verwirren könnte.

---

[8] Um auf elegante Weise Klarheit in mathematische Formeln zu bringen, kann der Anwender von GUM Workbench Funktionen definieren. So fällt der Umgang mit langen Gleichungsfeldern leichter. Wenn eine Funktion in ein mathematisches Modell eingeführt wird, fällt es oft leichter, dieses nachzuvollziehen und einzugeben. Alles, was mit Standardformeln berechnet werden kann, kann auch mit Funktionen ausgedrückt werden. Wer im Moment keinen Bedarf für anwenderdefinierte Funktionen sieht, für den ist es ausreichend, sich diese Möglichkeit zu merken und gleich mit Abschnitt 6.3 fortzufahren, um mehr über GUM Workbench zu erfahren.

Funktionsbezeichnungen können sowohl den umgekehrten Schrägstrich als auch Unterstrich verwenden. Dasselbe gilt für Parameter.

Funktionen müssen definiert werden, bevor sie verwendet werden können. Sonst würde das Programm den Aufruf der Funktion nicht zulassen und eine Fehlermeldung anzeigen.

Funktionsbezeichnungen erscheinen nicht in der Größenliste. So können Funktionen mit Parametern auch als Mittel angesehen werden, um mit Zwischenergebnissen zu arbeiten, wenn diese in der Größenliste nicht erscheinen sollen.

Parameter werden ebenfalls nicht in der Größenliste aufgeführt. Wenn eine Funktion Parameter benutzt, die nicht in der Parameterliste inbegriffen sind, werden diese als Eingangsgrößen gewertet.

Sie können Funktionen in das Gleichungsfeld eingeben, ohne sie aufzurufen. Wenn in einer Funktion Größen verwendet werden, die nicht Parameter der Funktion sind, werden die Größen in der Größentabelle generiert, auch wenn diese Funktion nicht aufgerufen wird. Werden die Größen außerhalb der Funktion im Modell nicht benutzt, können für den Typ und die Parameter der Größen beliebige Werte eingegeben werden. Eine Eingabe ist notwendig, damit die Größen gültig sind. Die Messunsicherheit und Werte dieser Größen werden nicht in die Berechnung eingehen, da die Sensitivitätskoeffizienten Null betragen, solange die Funktion nicht aufgerufen wird.

6.2.7.1 Beispiel für eine durch den Benutzer definierte Funktion

Dieses Beispiel zeigt die Anwendung einer anwenderdefinierten Funktion für lineare Regression in Verbindung mit einer Kalibrierungskurve mit sechs Punkten. Die sechs Konzentrationen werden als `a`, `b`, `c`, `d`, `e` und `f` bezeichnet. Die entsprechenden sechs Instrumentenanzeigen werden mit `A`, `B`, `C`, `D`, `E` und `F` bezeichnet.

Es werden zwei Funktionen definiert, jede mit 12 Parametern. Die folgenden zwei Zeilen werden in den oberen Teil des Gleichungsfeldes eingetragen.

```
Steigung(a,b,c,d,e,f,A,B,C,D,E,F) = ((a*A+b*B+c*C+d*D+e*E+f*F)
- (a+b+c+d+e+f) * (A+B+C+D+E+F)/6) / (a^2+b^2+c^2+d^2+e^2+f^2
- (a+b+c+d+e+f)^2/6);

Achsenabschnitt(a,b,c,d,e,f,A,B,C,D,E,F) = (A+B+C+D+E+F)/6
- Steigung(a,b,c,d,e,f,A,B,C,D,E,F)*(a+b+c+d+e+f)/6;
```

Mit diesen Funktionen können z.B. Modelle von chemischen Analysen eingegeben werden, in denen die Bestimmung der linearen Regression durch die Nutzung der beiden anwenderdefinierten Funktionen vereinfacht wird.

 © 2009 Metrodata GmbH

Um die Funktionen aufrufen zu können, müssen die zwölf einzugebenden Parameter definiert werden. Nur als Beispiel sollen diese Kalibrierungsdaten angenommen werden:

```
(a,A)    =    (-1,2)
(b,B)    =    (1,-1)
(c,C)    =    (5,5)
(d,D)    =    (7,4)
(e,E)    =    (9,6)
(f,F)    =    (10,6.5)
```

Der Aufruf

```
STEIGUNG = Steigung (-1,1,5,7,9,10,2,-1,5,4,6,6.5);
```

ergibt den Wert

```
STEIGUNG = 0.544750430292599
```

und der Aufruf

```
ABSCHNITT = Achsenabschnitt (-1,1,5,7,9,10,2,-1,5,4,6,6.5)
```

ergibt den Wert

```
ABSCHNITT = 0.935456110154905.
```

6.3 Unabhängige Größen

GUM Workbench verwaltet eine dynamische Liste für alle Größen, die im Modell verwendet werden. Die Liste wird automatisch aus den im Gleichungsfeld verwendeten Symbolen gebildet. Zusätzlich erlaubt GUM Workbench auch die Deklaration von unabhängigen Größen, die ggf. in den Gleichungen verwendet werden können, oder auch nicht. So ist es möglich, z.B. Werte zu definieren, die man in andere Auswertungen importieren kann, oder aber bestimmte Daten vor dem Löschen zu schützen.

Die Deklaration einer unabhängigen Größe muss vor der ersten Benutzung in einer Gleichung erfolgen. Die Deklaration besteht aus dem Namen der Größe gefolgt von einem Semikolon (z.B. `X;`)

Normalerweise wird eine Größe, die in der Modellgleichung nicht mehr verwendet wird, mit allen Daten gelöscht. Möchte man das verhindern, kann man die Größe unabhängig definieren und die Daten bleiben erhalten, ohne dass sie zum Rechnen benutzt werden.

6.4 Bezeichnung der Größen

Für die Bezeichnung der Größen kann eine beliebige Kombination von Buchstaben, Ziffern, dem Unterstrich und Paaren von umgekehrten Schrägstrichen (\...\), die vordefinierte

Sonderzeichen enthalten, verwendet werden. Eine Zahl darf nicht an erster Stelle der Größenbezeichnung stehen. Eine vollständige Tabelle der Worte, die zwischen den umgekehrten Schrägstrichen stehen dürfen, befindet sich in Anhang D. Sie können umgekehrte Schrägstriche mit den kodierten Wörtern zweckmäßigerweise über den Dialog *Sonderzeichen einfügen* unter dem Menüpunkt *Bearbeiten* eingeben (siehe Abschnitt 6.5.3).

Tabelle 5: Reservierte Zeichen mit mathematischer Bedeutung

	!	"	#	$	%	&	,	(	)	*	+	,	-	.	/
0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	:	;	<	=	>	?
@	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O
P	Q	R	S	T	U	V	W	X	Y	Z	[	\	]	^	_
`	a	b	c	d	e	f	g	h	i	j	k	l	m	n	o
p	q	r	s	t	u	v	w	x	y	z	{	|	}	~	□
	¡	¢	£	¤	¥	¦	§	¨	©	ª	«	¬	-	®	¯
°	±	²	³	´	µ	¶	·	¸	¹	º	»	¼	½	¾	¿
À	Á	Â	Ã	Ä	Å	Æ	Ç	È	É	Ê	Ë	Ì	Í	Î	Ï
Ð	Ñ	Ò	Ó	Ô	Õ	Ö	×	Ø	Ù	Ú	Û	Ü	Ý	Þ	ß
à	á	â	ã	ä	å	æ	ç	è	é	ê	ë	ì	í	î	ï
ð	ñ	ò	ó	ô	õ	ö	÷	ø	ù	ú	û	ü	ý	þ	Ÿ

In Tabelle 5 sind die Zeichen Grau unterlegt, die zusammen mit den eingebauten Funktionen (siehe Tabelle 4) der Steuerung der mathematischen Verarbeitung über das Gleichungsfeld dienen. Beachten Sie das Zeichen, dass durch einen Kreis markiert ist. Dies ist kein Minus-Zeichen; die Eingabe in die Modellgleichung erzeugt die Fehlermeldung 100.

Tabelle 6: Liste der Zeichen, die in Größennamen verwendet werden dürfen

	!	"	#	$	%	&	,	(	)	*	+	,	-	.	/
0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	:	;	<	=	>	?
@	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O
P	Q	R	S	T	U	V	W	X	Y	Z	[	\	]	^	_
`	a	b	c	d	e	f	g	h	i	j	k	l	m	n	o
p	q	r	s	t	u	v	w	x	y	z	{	|	}	~	□
	¡	¢	£	¤	¥	¦	§	¨	©	ª	«	¬	-	®	¯
°	±	²	³	´	µ	¶	·	¸	¹	º	»	¼	½	¾	¿
À	Á	Â	Ã	Ä	Å	Æ	Ç	È	É	Ê	Ë	Ì	Í	Î	Ï
Ð	Ñ	Ò	Ó	Ô	Õ	Ö	×	Ø	Ù	Ú	Û	Ü	Ý	Þ	ß
à	á	â	ã	ä	å	æ	ç	è	é	ê	ë	ì	í	î	ï
ð	ñ	ò	ó	ô	õ	ö	÷	ø	ù	ú	û	ü	ý	þ	Ÿ

 © 2009 Metrodata GmbH

In Tabelle 6 sind die Zeichen mit Grau unterlegt, die in Größenbezeichnungen verwendet werden dürfen; außerdem sind auch der umgekehrte Schrägstrich und der Unterstrich (Schwarz eingerahmt) zulässig. Diese beiden Zeichen sind reserviert für die Formatierung von Größenbezeichnungen. Die Eingabe des umgekehrten Schrägstriches wird für die Anzeige von griechischen Buchstaben und einiger anderer Symbole verwendet, der Unterstrich bezeichnet Anfang und Ende der Zeichen, die als Index (tiefer gestellt) einer Größe erscheinen sollen. Die Benutzung des Unterstriches oder des umgekehrten Schrägstriches für andere Zwecke wird nicht empfohlen.

Größenbezeichnungen werden nach Groß- und Kleinschreibung unterschieden. So ist z.B. a unterschieden von A.

Runde (...) und geschweifte {...} Klammern haben eine spezielle Bedeutung im Gleichungsfeld. Folglich dürfen sie nicht in der Bezeichnung der Größen verwendet werden. Die Namen von Funktionen und vordefinierten Konstanten sind als Größenbezeichnungen nicht zugelassen.

Obwohl Größenbezeichnungen bis zu 256 Zeichen lang sein können, ist die Verwendung von langen Größenbezeichnungen nicht sinnvoll. Manche Bildschirmansichten zeigen nur einen begrenzten Teil einer langen Größenbezeichnung; dies hängt von der Fenstergröße ab, in der GUM Workbench ausgeführt wird. Die Wahl der Größenbezeichnungen ist dem Anwender überlassen und sollte in jedem Fall sorgfältig geschehen: Der gewählte Name sollte ein Symbol sein, das kurz, übersichtlich, leicht lesbar, aber dennoch informativ ist. Hier wird der persönliche Geschmack des Anwenders eine wesentliche Rolle spielen. Es hat sich jedoch in vielen Anwendungsfällen bewährt, Größenbezeichnungen in Anlehnung an den physikalischen Hintergrund zu wählen. In jedem Fall sollten die gängigen Bezeichnungen aus der wissenschaftlichen Literatur und der technischen Praxis berücksichtigt werden.

6.5 Bearbeiten der Modellgleichung

Die Modellgleichung kann jederzeit geändert werden. Dazu wird die Ansicht *Modell* aufgerufen und die Karteikarte *Modellgleichung* ausgewählt. Durch Änderungen im Feld *Gleichung* können Erweiterungen hinzugefügt oder Teile gelöscht werden.

Beim Verlassen des Feldes wird die geänderte Modellgleichung analysiert und die Größentabelle angepasst. Das Feld kann nur verlassen werden, wenn die Modellgleichung korrekt ist. Andernfalls wird eine Fehlermeldung ausgegeben und der Cursor an die Stelle gesetzt, an der ein Fehler erkannt wurde.

Ein Fehler in der Modellgleichung blockiert das Programm, bis der Fehler behoben worden ist. Der Anwender sollte dies umgehend tun, da kein anderer Teil des Programms in dieser

Zeit aktiviert werden kann, wie z.B. die Datei abspeichern oder eine andere SMU-Datei öffnen.

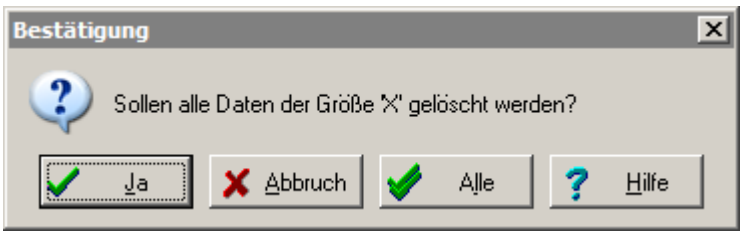


Bild 23: Bestätigungsmeldung beim Löschen von Größen

GUM Workbench kennt zwei Formen der Änderungen in der Modellgleichung, die voneinander unterschieden werden müssen:

1. Für Größenbezeichnungen, die in der Modellgleichung geändert wurden, wird der alte Name aus der Größentabelle gelöscht und der neue Name an der entsprechenden Stelle eingefügt. Dabei werden nach einer Sicherheitsabfrage auch die der alten Größenbezeichnung zugeordneten Daten gelöscht.

2. Soll eine Größe nur umbenannt und die zugehörigen Eintragungen beibehalten werden, kann mit der Menü-Funktion *Bearbeiten* und dem Befehl *Größe umbenennen* eine Größe gleichzeitig in der Modellgleichung und in der Größentabelle umbenannt werden. (Sie können auch die Tastenkombination *Strg+R* verwenden.) Beachten Sie, dass der Menü-Befehl *Größe umbenennen* nur möglich ist, wenn das Gleichungsfeld ausgewählt ist.

Das Programm kann nicht unterscheiden, ob eine Größenbezeichnung in der Gleichung geändert oder ob eine neue Größe hinzugefügt wurde.

Nach der Umbenennung wird der neue Größenname im Programm verwendet. Allerdings gilt dies nicht für Beschreibungs- und Definitionsfelder, die vom Benutzer bearbeitet werden. Folglich ist eine Umbenennung nicht eine *Suchen-und-Ersetzen*-Funktion in der ganzen Datei.

Text, der in Beschreibungs-, Definitions- und Eingabefeldern für Einheiten steht, kann hochgestellte Zeichen beinhalten, indem das Caret- oder Exponentialzeichen (^) verwendet wird (es zeigt die Höherstellung der nachfolgenden Zeichen an); es entspricht dem Unterstrich, der Anfang und Ende der Tieferstellung bezeichnet. In Größenbezeichnungen - z.B. im Gleichungsfeld - sind Höherstellungen allerdings nicht möglich, denn das Exponentialzeichen (^) ist ein vordefiniertes Zeichen, das Operationszeichen der Potenzierung.

 © 2009 Metrodata GmbH

6.5.1 Der Befehl *Größe umbenennen*

Die Bezeichnung einer Größe kann mit dem Befehl *Größe umbenennen* im Menü *Bearbeiten* geändert werden. Der Befehl ist nur im Feld Gleichung in der Ansicht Modell verfügbar. Er ändert den Namen der Größe, ohne dass vorhandene Daten verloren gehen.

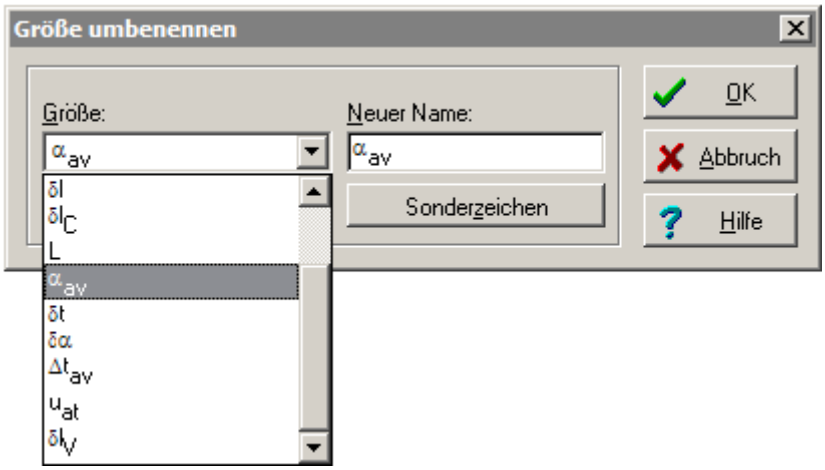


Bild 24: Dialog zum Umbenennen einer Größe

Um eine Größe umzubenennen, wählen Sie in der Ansicht *Modell* die Karteikarte *Modellgleichung* und setzen den Cursor in das Feld *Gleichung*. Aktivieren Sie den Befehl *Größe umbenennen* im Menü *Bearbeiten* oder verwenden Sie die Tastenkombination *Strg-R*. Im Dialog *Größe umbenennen* wählen Sie im Feld *Größe* die Bezeichnung der Größe aus, die Sie umbenennen wollen und geben Sie im Feld *Neuer Name* die neue Bezeichnung ein. Mit *OK* wird die Größe in der Modellgleichung und der Größentabelle umbenannt.

Existiert bereits eine Größe mit dem neuen Namen, wird eine Fehlermeldung ausgegeben.

Im Dialog *Größe umbenennen* kann die Schaltfläche *Sonderzeichen* angeklickt werden, um Sonderzeichen auszusuchen, die bei der Eingabe des neuen Namens zwischen Backslashs erscheinen. Wenn eine Größe umbenannt wird und der Name in einer Funktionsdefinition auch als Parameter verwendet wurde, dann führt dies zu einer Umbenennung aller Namen, unabhängig davon, ob sie Größen oder Parameter sind.

Falls der neue Name länger als das zur Verfügung stehende Feld ist, klicken Sie in das Eingabefeld und verwenden Sie die Taste [→] oder die Taste [Ende] auf der Tastatur, um den hinteren Teil des Namens einsehen zu können.

6.5.2 Der Dialog *Funktion einfügen*

Der Dialog *Funktion einfügen* in Bild 25 kann benutzt werden, wenn sich das Gleichungsfeld im Bearbeitungsmodus befindet. Der Dialog wird über die Schaltfläche [f(x)...] oberhalb des Feldes *Gleichung* aktiviert.

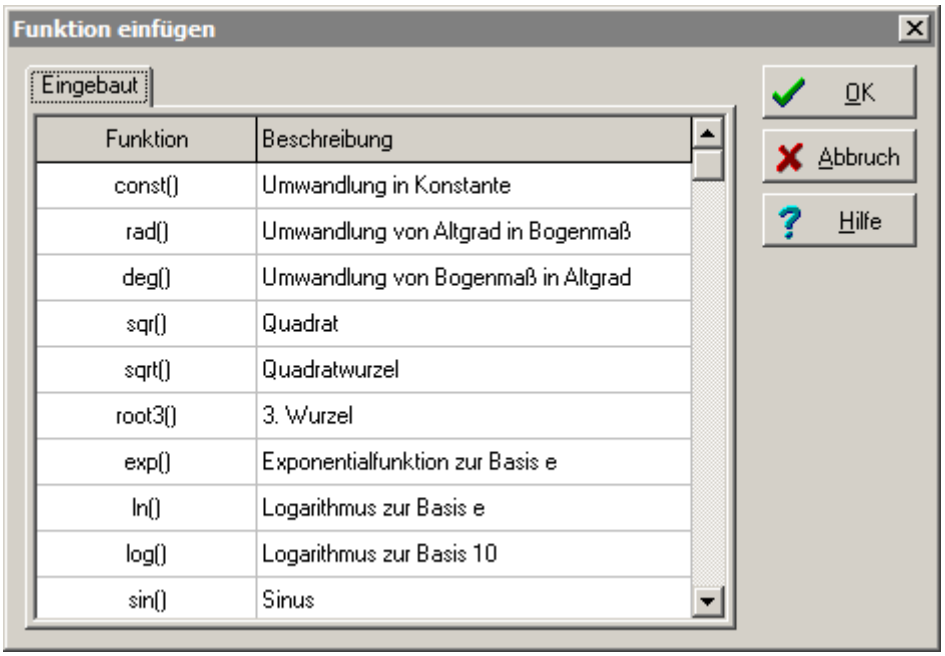


Bild 25: Dialog *Funktion einfügen*

Alle verfügbaren eingebauten Funktionen sind im Dialog aufgelistet. Wählen Sie eine Funktion aus der Liste aus und betätigen Sie *OK* oder wählen Sie eine entsprechende Zeile durch Doppelklick aus und der Name der Funktion wird an der Cursor-Position in das Gleichungsfeld eingefügt.

6.5.3 Der Dialog *Sonderzeichen einfügen*

Der Windows®-Zeichensatz enthält Zeichen, die nicht über die Tastatur eingegeben werden können. Mit dem Befehl *Sonderzeichen einfügen*, können diese Zeichen innerhalb der Beschreibungseingabefelder genutzt werden.

Setzen Sie, um ein Sonderzeichen einzufügen, den Cursor an die vorgesehene Stelle im Text. Rufen Sie den Befehl *Sonderzeichen einfügen* im Menü *Bearbeiten* auf (Abkürzung: *Strg-A*). Wählen Sie das Sonderzeichen in der Matrix an und bestätigen Sie die Auswahl mit *OK*. Das gewählte Zeichen wird im Text eingefügt.

Eine schnellere Möglichkeit besteht darin, auf ein Sonderzeichen doppelt zu klicken oder es mit den Pfeiltasten in der Tabelle auszuwählen.

6.5.4 Griechische Buchstaben und andere Sonderzeichen

Griechische Buchstaben und einige Sonderzeichen werden in die Texte oder das Gleichungsfeld als Kombination mit umgekehrten Schrägstrichen eingefügt. Der Anwender kann die Zeichen über die Tastatur eingeben oder mit dem Menübefehl *Sonderzeichen einfügen* aus einer Tabelle auswählen. Der Dialog wird über das Menü *Bearbeiten*, durch die Tastenkombination *Strg-A* oder durch Betätigen der Schaltfläche Σδ... oberhalb des

 © 2009 Metrodata GmbH

Gleichungsfeldes aufgerufen. Die griechischen Buchstaben befinden sich auf der Karteikarte *Zusätzlich*. Eine Liste der griechischen Buchstaben findet sich in Anhang D.

Die Bezeichnung von griechischen Buchstaben wird in verschiedenen Sprachen unterschiedlich buchstabiert. Damit die unterschiedlichen Sprachversionen von GUM Workbench miteinander vereinbar bleiben, müssen in jedem Fall die Kombinationen mit umgekehrten Schrägstrichen entsprechend Anhang D verwendet werden. Ein Wechsel der Sprache ändert die Kombinationen nicht.

6.6 Beispiele für Modellgleichungen

Die folgenden Beispiele dienen zur Erläuterung, wie das Gleichungsfeld benutzt werden kann, um die Auswertung an eine Messung anzupassen. SMU-Dateien von weiteren Beispielen befinden sich unterhalb des Installationsverzeichnisses im Unterverzeichnis `.\Budgets\Beispiele\`.

6.6.1 Beispiel 1: Kalibrierung eines Gewichtsstückes

Das Beispiel befindet sich in der Datei `Budgets\Beispiele\DKD\S02_ge.SMU` und hat den Titel "Kalibrierung eines Gewichtsstückes mit dem Nennwert 10 kg". Es wurde der DKD-3 [4] entnommen.

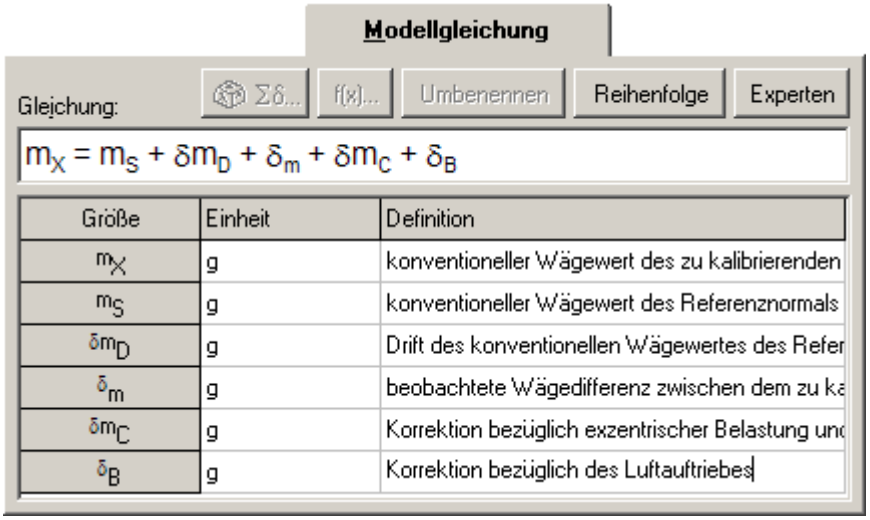


Bild 26: Modellgleichung Beispiel 1 (DKD-3-S02)

Bild 26 zeigt die Gleichung im Darstellungsmodus. Im Bearbeitungsmodus muss die folgende Gleichung eingegeben werden:

```
m_X = m_S + \delta\m_D + \delta\_m + \delta\m_C + \delta\_B;
```

Bezeichnungen, die mit `m` beginnen, stehen für die Masse, während die auf den Unterstrich folgenden Zeichen Indizes angeben, die die betreffende Masse näher spezifizieren.

Bezeichnungen für Korrekturwerte bzw. Abweichungen, die klein sind im Verhältnis zum Sollwert oder zum Messwert, beginnen mit `\delta\`.

Das Symbol `\Delta\` kann man dagegen in Bezeichnungen für Größen verwenden, die gemessene Differenzen darstellen, deren Erwartungswerte von Null verschieden sind.

6.6.2 Beispiel 2: Kalibrierung eines Normalwiderstandes

Das Beispiel befindet sich in der Datei `Budgets\Beispiele\DKD\S03_ge.SMU` und hat den Titel "Kalibrierung eines 10 kΩ Normalwiderstandes". Es wurde der DKD-3 [4] entnommen.

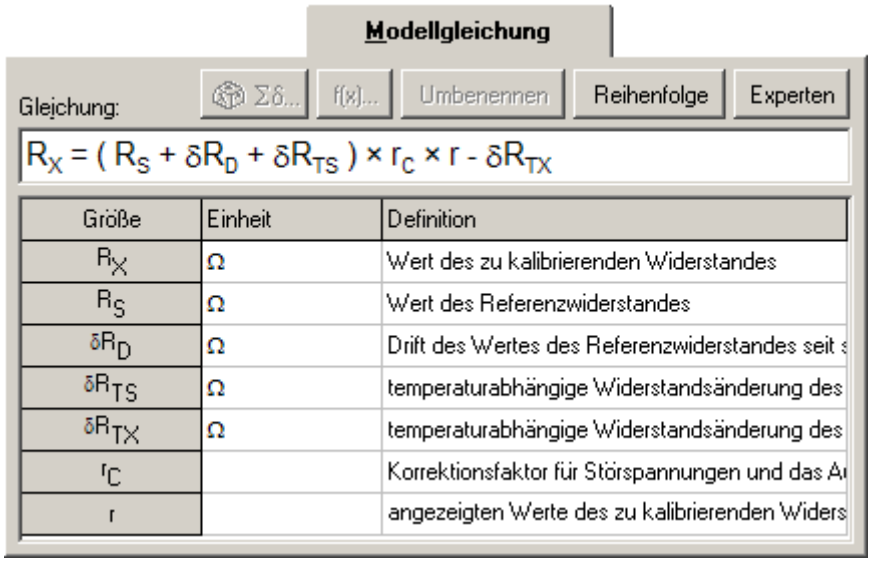


Bild 27: Modellgleichung Beispiel 2 (DKD-3-S03)

Bild 27 zeigt die Gleichung im Darstellungsmodus. Im Bearbeitungsmodus muss die folgende Gleichung eingegeben werden:

```
R_X = (R_S + \delta\R_D + \delta\R_TS) × r_C × r - \delta\R_TX;
```

Bezeichnungen, die mit `R` beginnen, kennzeichnen elektrische Widerstandswerte, während die auf den Unterstrich folgenden Zeichen wieder Indizes angeben, die die elektrischen Widerstände näher spezifizieren. Namen, die mit `r` beginnen, bezeichnen demgegenüber Verhältnisse aus zwei Widerstandswerten.

6.7 Zwischenergebnisse

Die Gleichungen für Zwischenergebnisse besitzen den gleichen Aufbau wie Modellgleichungen für das Ergebnis. Sie werden ebenfalls in der Ansicht Modell in der Karteikarte Modellgleichung in das Feld Gleichung eingetragen. Die Reihenfolge der einzelnen Gleichungen ist beliebig. Die Gleichungen für die Zwischenergebnisse müssen durch ein Semikolon (`;`) voneinander getrennt werden.

 © 2009 Metrodata GmbH

Es erleichtert die Übersicht, wenn nach jedem Semikolon eine neue Zeile begonnen wird.

Für die Zerlegung einer Modellgleichung in mehrere Gleichungen durch die Einführung von Zwischenergebnissen gelten folgende Bedingungen:

1. Bei Version 1.3 darf nur eine Ergebnisgröße auftreten. Jede durch eine Zusatzgleichung definierte Größe eines Zwischenergebnisses muss in einer Teilgleichung auf der rechten Seite verwendet werden. Bei Version 2.3 und 2.4 gibt es keine Beschränkung.
2. Jedes Zwischenergebnis muss berechenbar sein, ohne dass direkt oder indirekt auf den eigenen Wert Bezug genommen wird. Mathematische Schleifen sind nicht zulässig!
3. Die Anzahl der Zwischenergebnisse wird nur durch die maximale Anzahl der Größen (512) und den Hauptspeicher beschränkt.
4. Zwischenergebnisse dürfen mehrfach verwendet werden, d.h. sie dürfen mehrmals (an verschiedenen Stellen) auf der rechten Seite von Gleichungen auftreten.

Die Programmversion 1.3 führt für Zwischenergebnisse keine getrennte Unsicherheitsanalyse durch. Ihr Wert wird jedoch im Messunsicherheitsbudget mit aufgeführt, damit nachgeprüft werden kann, wie der Wert des Messergebnisses berechnet wurde (Transparenz). Version 2.3 und 2.4 erlauben die Berechnung von Budgets für Zwischenergebnisse.

6.7.1 Beispiel für Zwischenergebnisse

Das Beispiel in Bild 28 zur Berechnung der Konzentration einer Natriumhydroxidlösung stammt aus dem Leitfaden der EURACHEM und soll die Benutzung von Zwischenergebnissen erläutern. Es befindet sich unterhalb des Installationsverzeichnisses in der Datei `.\Budgets\Examples\Eurachem\EURACHEM A2.SMU`.

Gleichung:

{Molare Masse von KHP}

$M_{KHP} = 8 * M_C + 5 * M_H + 4 * M_O + M_K;$

{Volumen der Bürette ohne Wiederholbarkeit}

$V_T = V_{nominal} * f_{V\text{-}calibration} * f_{V\text{-}temp};$

{eingewogene Masse des KHP ohne Wiederholbarkeit}

$m_{KHP} = m_{container\ and\ KHP} - m_{container\ less\ KHP};$

{Konzentration der NaOH Lösung}

$c_{NaOH} = (k_{mL} * m_{KHP} * P_{KHP}) / (M_{KHP} * V_T) * f_{rep};$

Bild 28: Modellgleichung mit Zwischenergebnissen

Im Feld *Gleichung* müssen im Bearbeitungsmodus die folgenden Gleichungen eingegeben werden:

```
{Molare Masse von KHP}
M_KHP = 8 * M_C + 5 * M_H + 4 * M_O + M_K;
{Volumen der Bürette ohne Wiederholbarkeit}
V_T = V_nominal * f_V\minus\calibration * f_V\minus\temp;
{eingewogene Masse des KHP ohne Wiederholbarkeit}
m_KHP = m_container\sp\and\sp\KHP - m_container\sp\less\sp\KHP;
{Konzentration der NaOH Lösung}
c_NaOH = (k_mL * m_KHP * P_KHP) / (M_KHP * V_T) * f_rep;
```

Die Ergebnisgröße ist c_{NaOH}. Die Größen M_{KHP}, V_T und m_{KHP} sind Zwischenergebnisse. Die übrigen Größenbezeichnungen bezeichnen Eingangsgrößen oder benannte Konstanten.

Durch die Aufspaltung der Modellgleichung in eine Gruppe von vier Gleichungen wird die Lesbarkeit der Gleichungen erhöht. Zwischenergebnisse können mehrfach verwendet werden und damit kann die Modellgleichung vereinfacht werden. Außerdem kommt der physikalische, bzw. chemische, Hintergrund klarer zum Ausdruck.

6.8 Die Größentabelle

Die Größentabelle befindet sich in der Ansicht *Modell* auf der Karteikarte *Modellgleichung* unter dem Gleichungsfeld. Die Größentabelle verwaltet für jede Größe eine *Einheit* und eine *Definition*. Nachdem im Gleichungsfeld eine Gleichung eingegeben wurde, stellt das Programm automatisch bei Verlassen des Gleichungsfeldes die Größenliste her und gibt die Größenbezeichnungen ein.

Sie können nun in die Spalten *Einheit* und *Definition* Angaben einfügen, wobei die maximale Eingabelänge für jedes Feld 255 Zeichen beträgt. Wenn Sie in der Größentabelle auf die Eingabezeile einer Größe doppelklicken, erscheint die Karteikarte *Größen - Daten* mit der entsprechenden Eingabemaske für die Größe.

Einheiten dienen dazu, die Arbeit mit GUM Workbench zu erleichtern. Es liegt in der Verantwortung des Anwenders, für die ordnungsgemäße Verwendung der Einheiten in der Größentabelle zu sorgen. Version 2.4 erlaubt zusätzlich eine formale Prüfung der Einheiten (siehe Abschnitt 13).

 © 2009 Metrodata GmbH

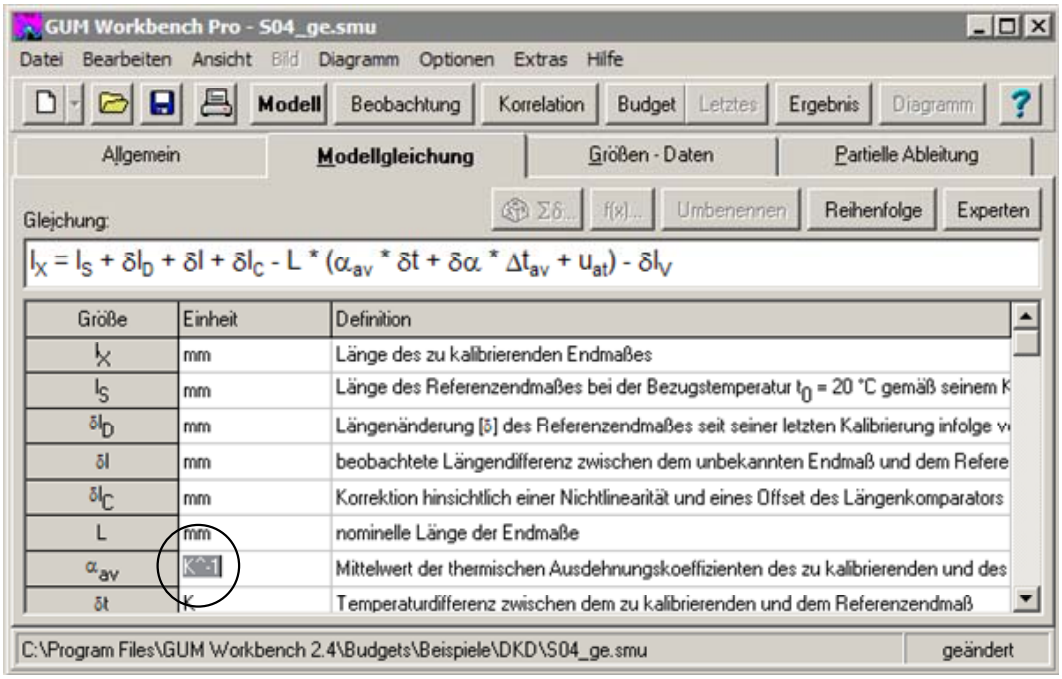


Bild 29: Liste der Größen mit einem Feld für die Einheit im Bearbeitungsmodus

Das Eingabefeld *Definition* dient einer kurzen Beschreibung der Größe. Die *Definition* der Größe wird bei der Bearbeitung der Daten (Karteikarte *Größen - Daten*) und bei der Eingabe der Beobachtungen (Ansicht *Beobachtung*) als Überschrift angezeigt.

In der Bildschirmansicht in Bild 29 befindet sich die Spalte Einheiten für die Größe α_{av} (gekennzeichnet durch einen Kreis) im Bearbeitungsmodus, während alle anderen Felder im Anzeigemodus sind. Das Potenzierungszeichen (^) wird bei Einheiten zur Kennzeichnung der Exponenten verwendet. Beachten Sie auch den Buchstaben δ in der dritten Zeile.

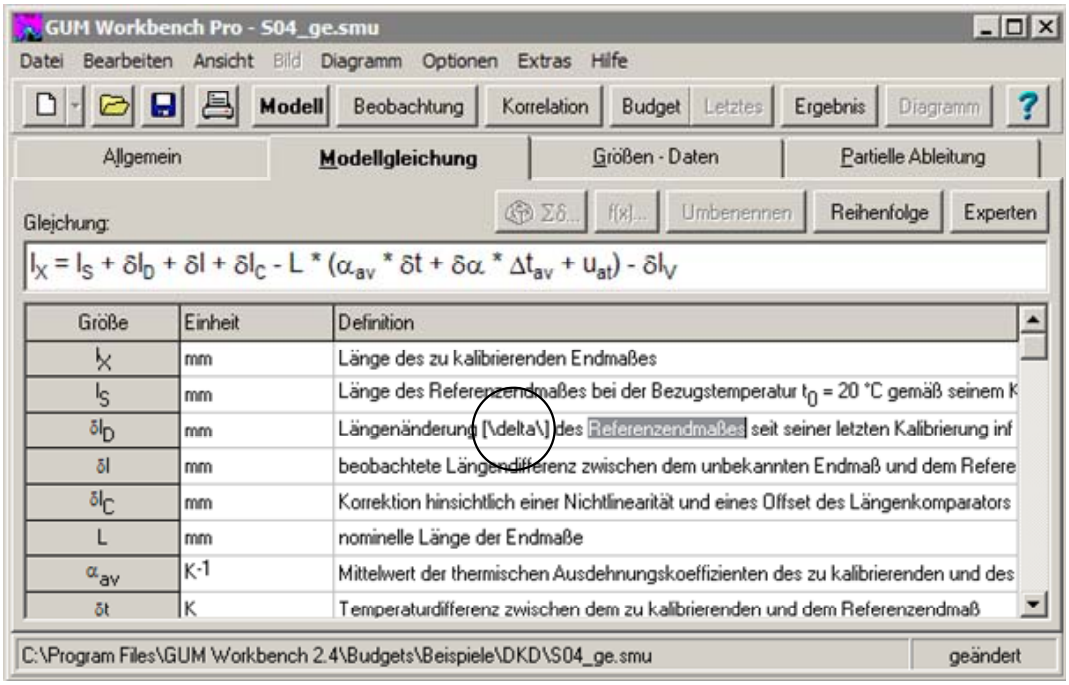


Bild 30: Liste der Größen mit einem Definitionsfeld im Bearbeitungsmodus

In der Bildschirmansicht in Bild 30 befindet sich die Spalte Einheit im Anzeigemodus und zeigt Kelvin hoch -1 in typographischer Weise an, während in der Spalte Definition die dritte Zeile im Bearbeitungsmodus ist. Hier erscheint der griechische Buchstabe als ausgeschriebenes Wort eingerahmt von umgekehrten Schrägstrichen.

6.9 Benutzung der Einheiten

Jeder Größe, die in der Modellgleichung eingeführt wird, ist eine Einheit zugeordnet. Die Einheit ist ein Textfeld mit maximal 255 Zeichen. Standardmäßig sind alle Einheiten leer. Die Einheiten können in der Größentabelle auf der Karteikarte *Modellgleichung* in der Ansicht *Modell* bearbeitet werden.

Einheiten werden als Text bei der Ein- und Ausgabe der Werte angezeigt. Eine Prüfung auf eine sinnvolle Verwendung erfolgt nicht. Für die ordnungsgemäße Verwendung der Einheiten ist der Anwender verantwortlich. Die Programmversion 2.4 unterstützt eine formale Prüfung der Einheiten (siehe Abschnitt 13).

Hinweis: In der Spalte Sensitivitätskoeffizient im Budget wird keine Einheit ausgegeben. Die korrekte Einheit ergibt sich aus der Einheit der Ergebnisgröße geteilt durch die Einheit der entsprechenden Eingangsgröße.

 © 2009 Metrodata GmbH

7 Größen

Bild 31 zeigt einen graphischen Überblick über die unterschiedlichen Größentypen mit ihren jeweiligen Untertypen. Sie werden detailliert auf den folgenden Seiten beschrieben.

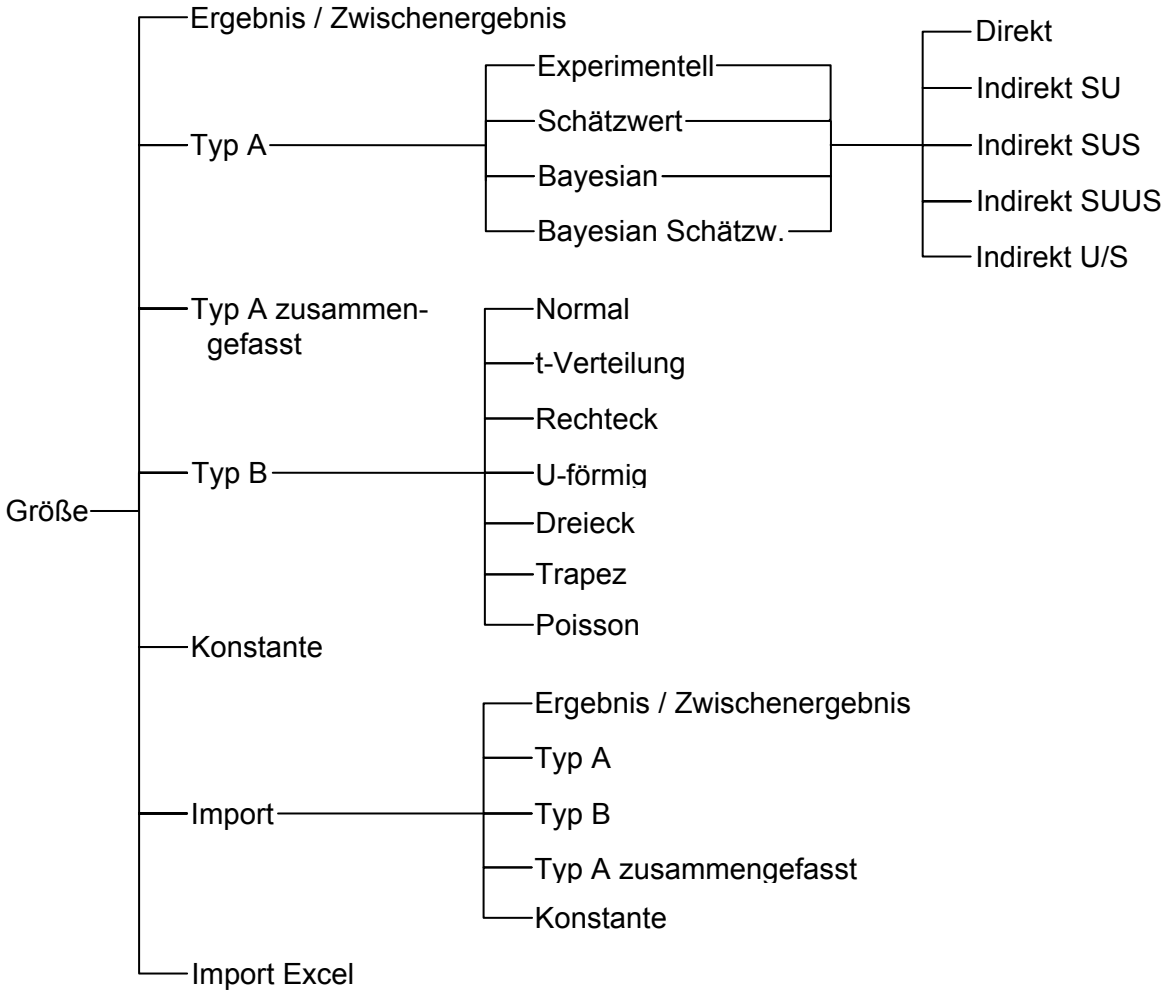


Bild 31: Baum der Größentypen

Die folgenden Regeln legen den Weg durch das Pfaddiagramm fest, nach dem GUM Workbench den Typ für die Eingabe und die Bearbeitung einstellt:

1. Ergebnisse und Zwischenergebnisse werden durch die Gleichungen bestimmt und erhalten den entsprechenden Typ.
2. Die Konstanten π und e erhalten ihren Standardwert (14 Stellen), der Typ wird auf *Konstante* gesetzt.
3. Die übrigen Größen werden auf *Typ B Rechteck* gesetzt.
4. Wird eine Größe in *Typ A* umgeändert, setzt GUM Workbench die Felder *Ermittlung der Unsicherheit* auf *Experimentell* und *Methode der Beobachtung* auf *Direkt*.

Der Anwender kann den Typ jederzeit ändern, sofern er sich nicht auf Ergebnis und Zwischenergebnisse bezieht.

7.1 Die Ansicht *Größen - Daten*

Auf der Karteikarte *Größen - Daten* in der Ansicht *Modell* werden für jede Größe die für die Messung relevanten Daten eingegeben. Mit dem Register wird die Größe ausgewählt, deren Daten bearbeitet werden sollen. Die aktuellen Daten werden angezeigt und können bearbeitet werden.

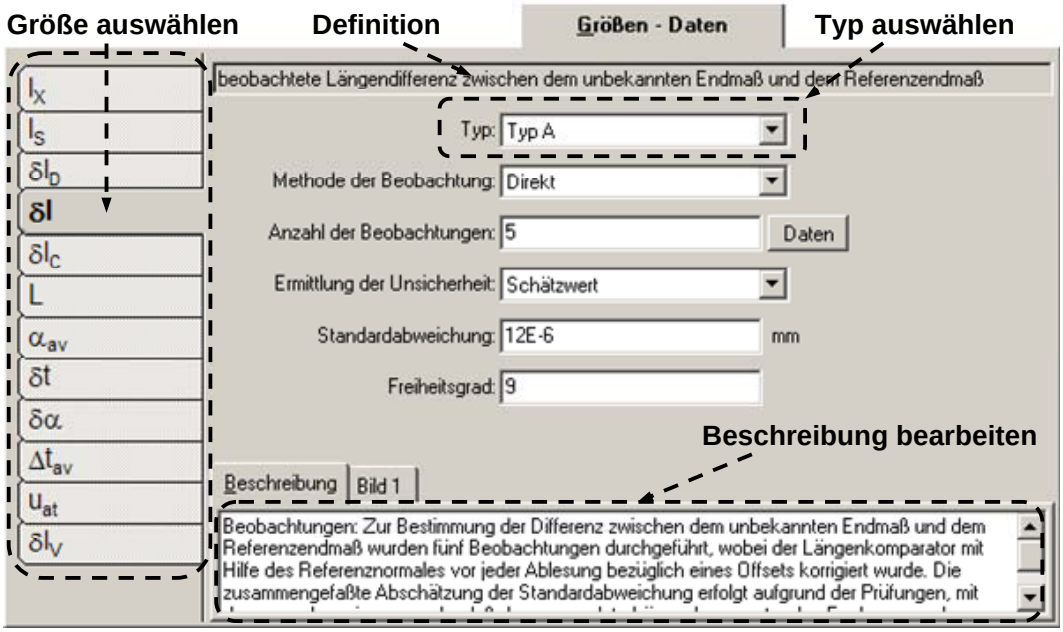


Bild 32: Karteikarte *Größen - Daten*

Bild 32 zeigt die Karteikarte *Größen – Daten*. Auf der linken Seite wird die zu bearbeitende Größe ausgewählt. Rechts stehen die dazugehörigen Daten.

Im obersten Feld wird die Definition der Größe aus der Größentabelle wiedergegeben. Im Feld *Typ* wird aus einer Auswahlliste der Größentyp ausgewählt. Das Feld *Beschreibung* bietet Platz für Erläuterungen. Programmversion 2.4 unterstützt hier auch die Einbindung von Bildern und Grafiken. Welche anderen Felder vorgegeben werden, hängt vom Größentyp ab. Diese Felder werden auf den folgenden Seiten erklärt.

7.1.1 Die Auswahl einer Größe

Mit dem Register auf der Karteikarte *Größen - Daten* in der Ansicht *Modell* wird die Größe ausgewählt, deren Daten bearbeitet werden sollen. Die Größen werden mit der Maus oder den ↑ und ↓ Tasten auf der Tastatur angewählt. Sind mehr Größen vorhanden, als gleichzeitig angezeigt werden können, erscheint links ein Rollbalken, mit dem die Liste durchsucht werden kann.

 © 2009 Metrodata GmbH

7.1.2 Die Beschreibungsfelder für Größen

Auf der Karteikarte *Größen - Daten* existiert für jede Größe das Feld *Beschreibung*. Es ist für erläuternden Text zu der jeweiligen Größe gedacht. Hier können die Größen und die Kenntnisse, aus denen die Werte abgeleitet wurden, näher beschrieben werden.

Die Beschreibungsfelder dienen der Kommentierung der Analyse und werden im Bericht und beim Export ausgegeben.

Mit den Beschreibungsfeldern erhält der Anwender die Möglichkeit, die Auswertung im Detail zu kommentieren und dabei die Hintergründe anzugeben, die zu der Auswahl des Typs und den verwendeten mathematischen Informationen geführt haben. Dazu zählen im Besonderen Informationen und Erklärungen, die in Zukunft mit der Auswertung dokumentiert werden sollen.

- Für Größen, deren Kenntnisse nach Typ A ausgewertet werden, sollten Hinweise für die Durchführung der Beobachtung angegeben werden.
- Die Wahl der Verteilung bei Größen, deren Kenntnisse nach Typ B ausgewertet werden, sollte hier kurz begründet werden.

Der Text der Beschreibung wird im Bericht nach den Daten für jede Größe ausgegeben. Dabei wird der Text auf die Breite des Druckers angepasst. Um beim Ausdruck einen Absatz zu erhalten, muss im Beschreibungsfeld eine Leerzeile eingefügt werden (siehe auch Abschnitt 10.1).

7.1.3 Die Auswahl des Typs einer Größe

Jeder Größe wird im Feld *Typ* (Ansicht *Modell* Karteikarte *Größen - Daten*) ein Größentyp zugeordnet, der die Verarbeitung steuert. Tabelle 7 gibt einen Überblick über die verschiedenen unterstützten Typen.

Tabelle 7: Typen der Größen

Typ	Beschreibung	Kommentar
Ergebnis	Messgröße	Dieser Typ kennzeichnet berechnete Größen. Er wird automatisch den Ergebnissen zugeordnet und kann nicht manuell ausgewählt werden.
Zwischenergebnis	Interne Messgröße	Komplexe Auswertemodelle können mit Hilfe von Zwischenergebnissen vereinfacht werden. Dieser Typ wird automatisch gesetzt. Programm-version 2.3 und 2.4 unterstützen eigene Budgets für Zwischen-ergebnisse.

Typ	Beschreibung	Kommentar
Typ A	Mehrfach beobachtete Größen, ermittelt mit Hilfe einer statistischen Analyse	Der Wert der Größe wird mit einer statistischen Analyse aus einer Datenreihe ermittelt. Bei diesem Typ wird die Methode der Vorverarbeitung und die Anzahl der Beobachtungen benötigt. Optional kann die Standardabweichung vorgegeben werden.
Typ A zusammengefasst	Mehrfach beobachtete Größen, wobei statt der einzelnen Werte eine Zusammenfassung der statistischen Analyse eingegeben wird	Beim Typ A zusammengefasst führt GUM Workbench® keine statistische Analyse durch. Stattdessen werden der Mittelwert, und andere zusammengefasste Daten eingegeben.
Typ B	Nicht mehrfach beobachtete Größen, die kein Ergebnis einer statistischen Analyse sind	Für diese Größen muss eine angenommene Verteilung ausgewählt werden. Die Parameter für die Verteilung müssen eingegeben werden.
Konstante	Mathematische Konstante	Für mathematische Konstanten, die keine Messunsicherheit haben, muss der Wert eingegeben werden.
Import	Importierte Größe (wenn das Ergebnis oder eine Eingangs-größe aus einer bereits existierenden Analyse weiter benutzt werden soll)	Der Dateiname der existierenden Analyse wird benötigt und die Größe, deren Daten importiert werden sollen, muss ausgewählt werden.
Import Excel	Importierte Daten für eine Größe aus MS Excel	Der Name der existierenden Excel-Datei wird benötigt, aus der die Daten ausgelesen werden können. Die Daten-Zellen in der Excel-Datei, die die Daten enthalten, müssen spezifiziert werden.

Hinweis: Das Feld *Typ* zeigt immer dieselben Optionen an. Auch wenn der Typ *Ergebnis* und *Zwischenergebnis* immer mit aufgelistet werden, darf das nicht so verstanden werden, dass dieser Typ ausgewählt werden kann. Ebenso können Größen, die durch die Gleichungen als Ergebnis oder Zwischenergebnis festgelegt werden, nicht in andere Typen geändert werden. Es entspricht der Logik der Modellgleichung, dass darin festlegt wird, welche Größe das Ergebnis ist und welche – falls es sie gibt – die Zwischenergebnisse sind.

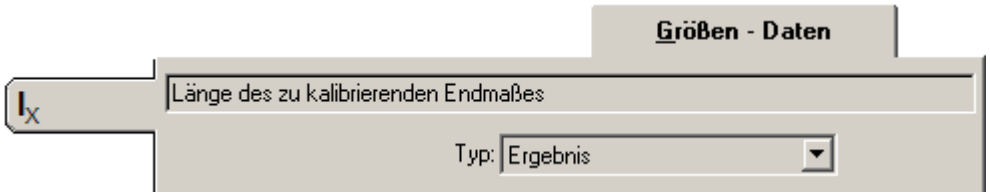


Bild 33: *Größen - Daten* für eine Ergebnisgröße

© 2009 Metrodata GmbH

7.2 Ergebnis

Der *Typ* der Ergebnisgrößen wird automatisch erkannt. Es ist das Ergebnis der Auswertung. Eingaben können nur in das Feld *Beschreibung* gemacht werden.

Der Wert und die Standardmessunsicherheit des Ergebnisses können in der Ansicht *Budget* eingesehen werden. Programmversion 2.3 und 2.4 unterstützen mehrere Ergebnisse innerhalb einer Auswertung. Bei diesen Versionen sind hier verschiedene Anzeigeoptionen einstellbar (für Details siehe Abschnitt 9.1)

7.3 Zwischenergebnis

Der Typ der Zwischenergebnisse wird automatisch erkannt. Diese Größen werden ähnlich wie das Ergebnis angezeigt. Eine Eingabe ist nur im Feld *Beschreibung* möglich.

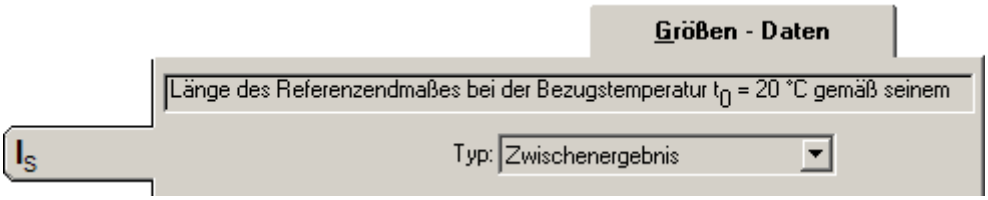


Bild 34: *Größen - Daten* für ein Zwischenergebnis

Der Wert und die Standardmessunsicherheit der Zwischenergebnisse können in der Ansicht *Budget* eingesehen werden. Programmversion 2.3 und 2.4 unterstützen eigene Budgettabellen für Zwischenergebnisse, sofern die Anzeigeoptionen aktiviert werden (für Details siehe Abschnitt 9.1).

7.4 Typ A: Mit statistischen Methoden ermittelte Größen

Für mehrfach beobachtete Größen (Typ A) müssen im Modell folgende Felder ausgefüllt werden, damit die Messunsicherheit ermittelt werden kann.

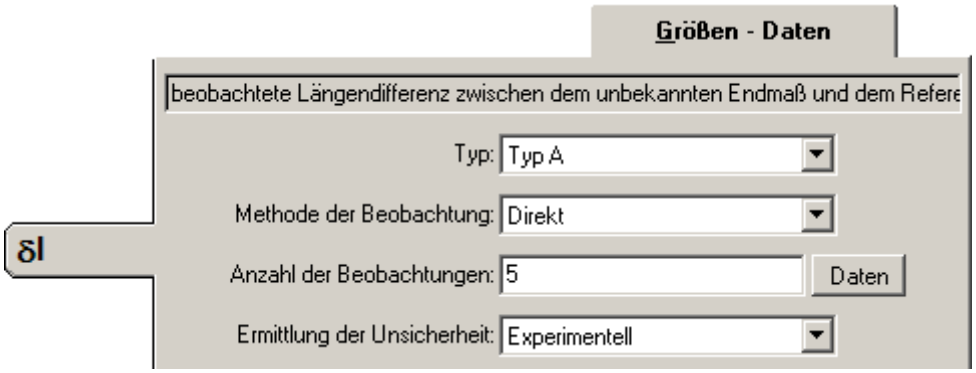


Bild 35: *Größen - Daten* für eine Größe vom Typ A

1. Im Feld *Methode der Beobachtung* wird festgelegt, ob die Beobachtungen direkt oder erst durch eine Vorauswertung der Ablesungen ermittelt werden. Der Standardwert ist die direkte Beobachtung ohne Vorauswertung.

2. Im Feld *Anzahl der Beobachtungen* wird die Anzahl der Werte angegeben, die für die Mittelwertbildung benutzt werden. (Die Anzahl der Ablesungen ergibt sich dann entsprechend der eingestellten *Methode der Beobachtung*).
3. Im Feld *Ermittlung der Unsicherheit* wird das Verfahren festgelegt, mit dem die beizuordnende Messunsicherheit berechnet wird. Entweder wird die empirische Standardabweichung aus den eingegebenen Werten ermittelt, oder es ist ein zusammengefasster Schätzwert einzugeben.
4. Wird im Feld *Ermittlung der Unsicherheit* ein zusammengefasster *Schätzwert* als Verfahren festgelegt, muss in einem weiteren Feld *Standardabweichung* die aus früheren Ermittlungen gebildete zusammengefasste experimentelle Standardabweichung und im Feld *Freiheitsgrad* der zugehörige Freiheitsgrad eingegeben werden.

Im Eingabefeld Anzahl der Beobachtungen können Zahlen von 2 bis 9999 eingegeben werden. Wird ein zusammengefasster Schätzwert für die Unsicherheit benutzt, ist auch eine Beobachtung zulässig.

7.4.1 Typ A zusammengefasster Schätzwert

GUM Workbench unterstützt für die Auswertung der Unsicherheit nach Typ A die Option zusammengefasster *Schätzwert*, um eine im Voraus bekannte experimentelle Standardabweichung mit den aktuellen Daten eines Experiments zu kombinieren.

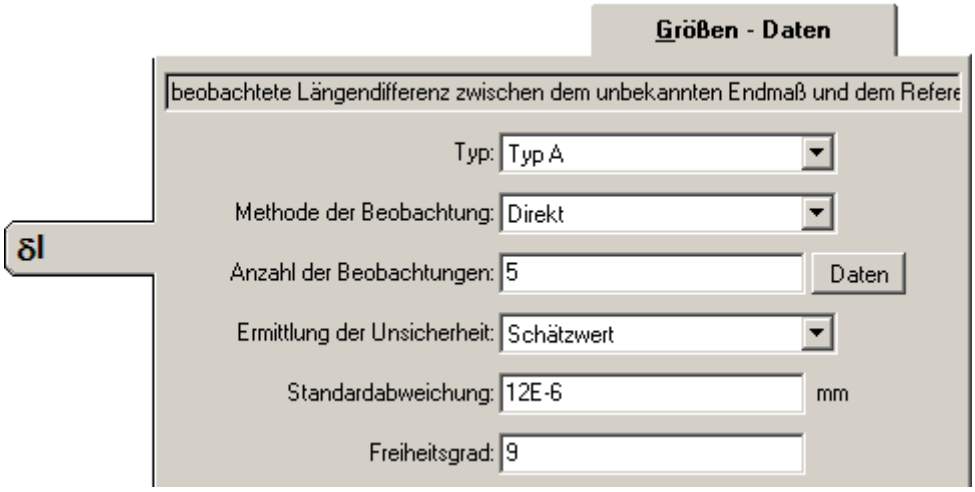


Bild 36: Auswertung vom *Typ A* mit der Option *Schätzwert*

Um diese Option zu nutzen, wird der *Typ* der Größe auf *Typ A* eingestellt und im Feld *Ermittlung der Unsicherheit* wird *Schätzwert* ausgewählt (siehe Bild 36). In zwei weiteren Feldern muss dann die bekannte experimentelle *Standardabweichung* und der dazu gehörige *Freiheitsgrad* eingetragen werden.

 © 2009 Metrodata GmbH

Der Freiheitsgrad wird als Wichtungsfaktor benutzt, wenn die im Voraus bekannte Standardabweichung mit der Standardabweichung der aktuell gemessenen Daten wie folgt kombiniert wird:

$$s_{\text{pooled}}^2 = \frac{s_{\text{exp}}^2 \cdot (n-1) + s_{\text{pre}}^2 \cdot \nu_{\text{pre}}}{\nu_{\text{pooled}}} \text{ mit } \nu_{\text{pooled}} = n - 1 + \nu_{\text{pre}} . \quad (1)$$

Dabei bezeichnet s_{pooled} die zusammengefasste Standardabweichung, s_{exp} ist die Standardabweichung der aktuell gemessenen Daten mit n Beobachtungen, s_{pre} ist die vorher bekannte Standardabweichung mit dem Freiheitsgrad ν_{pre} und ν_{pooled} ist der Freiheitsgrad der zusammengefassten Standardabweichung s_{pooled}. Die Standardmessunsicherheit des Mittelwertes ist gleich s_{pooled} geteilt durch Wurzel n.

7.4.2 Typ A Erweiterung nach Bayes

Als Alternative zur Standardauswertung wird die Auswertung Typ A nach Bayes unterstützt, so wie im Supplement 1 zum GUM [2] beschrieben ist. Die bayessche Auswertung ist nützlich, wenn die Anzahl der Beobachtungen klein ist (kleiner als 10). Durch die Verwendung der Auswertung nach Bayes ist es möglich, komplett auf die Benutzung von Freiheitsgraden in der Messunsicherheitsauswertung zu verzichten.

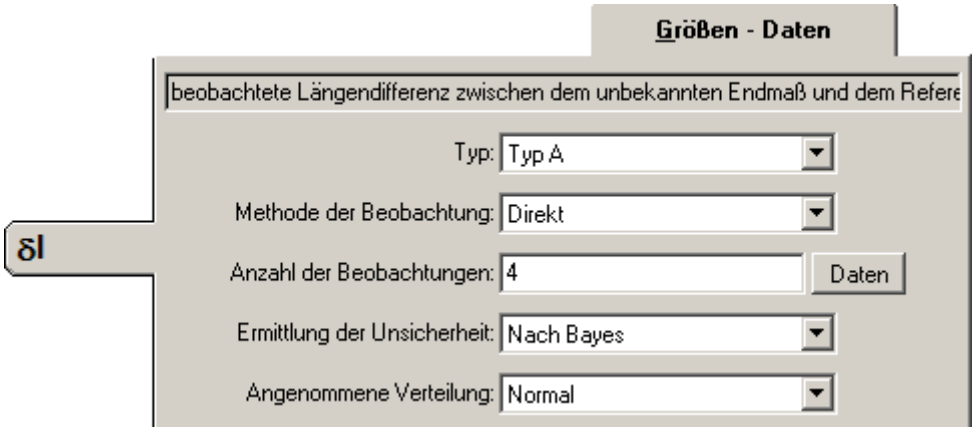


Bild 37: *Typ A* Auswertung *Nach Bayes* mit 4 Beobachtungen

7.4.2.1 Benutzung der Erweiterung nach Bayes

Die Auswertung nach Bayes steht zur Verfügung, wenn der *Typ* einer Größe *Typ A* oder *Typ A zusammengefasst* ist. Um diese Auswertung benutzen zu können, muss der Typ entsprechend eingestellt werden (Ansicht *Modell*, Karteikarte *Größen - Daten*, Feld *Typ*).

Wird *Typ A* gewählt, wird im Feld *Ermittlung der Unsicherheit* entweder *Nach Bayes* oder *Nach Bayes mit Schätzwert* eingestellt (siehe Bild 37). Ein weiteres Feld für die *Angenommene Verteilung* wird sichtbar. Dort wird eine Normalverteilung vorgegeben. Die Auswertung nach Bayes basiert auf einer Annahme über die Verteilung des

Beobachtungsprozesses. Die Standardabweichung wird durch einen zusätzlichen Faktor vergrößert (für die Einzelheiten siehe GUM Supplement 1)

$$s_{\mathrm{Bay}} = s_{\mathrm{exp}} \frac{n-1}{n-3}, \tag{2}$$

wobei s_{Bay} die Standardabweichung nach Bayes ist, s_{exp} ist die experimentelle Standardabweichung der Beobachtungen und n ist die Anzahl der Beobachtungen. Der Freiheitsgrad wird in diesem Fall auf unendlich gesetzt. Die minimale Anzahl für die Beobachtungen ist 3. Die Standardmessunsicherheit des Mittelwertes ist gleich s_{Bay} geteilt durch Wurzel n.

7.4.2.2 Typ A Nach Bayes mit Schätzwert

Wenn im Feld *Ermittlung der Unsicherheit* die Option *Nach Bayes mit Schätzwert* eingestellt wird, werden weitere Felder sichtbar (siehe Bild 38). In diese Felder müssen die bekannte experimentelle *Standardabweichung* und der dazu gehörige *Freiheitsgrad* eingetragen werden. Der Freiheitsgrad muss größer als 2 sein.

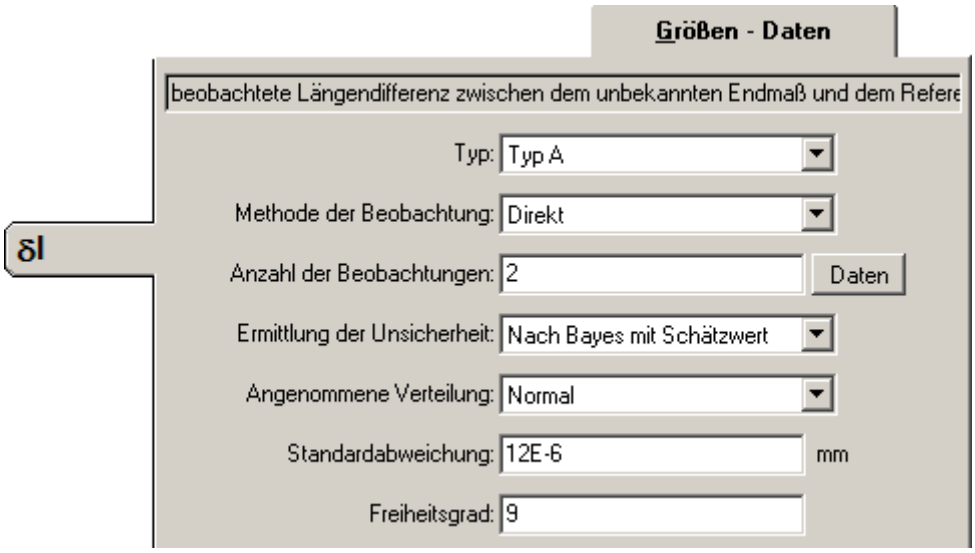


Bild 38: Auswertung *Typ A Nach Bayes mit Schätzwert* für 2 Beobachtungen

Die vorgegebene experimentelle Standardabweichung s_{pre} und die aus den Beobachtungen berechnete Standardabweichung s_{exp} werden, entsprechend den Freiheitsgraden gewichtet, zusammengefasst und die zusammengefasste Standardabweichung nach Bayes $s_{\mathrm{Bay,pooled}}$ ist

$$s_{\mathrm{Bay,pooled}} = \frac{s_{\mathrm{exp}}^2 \cdot (n-1) + s_{\mathrm{pre}}^2 \cdot \nu_{\mathrm{pre}}}{n + \nu_{\mathrm{pre}} - 3}, \tag{3}$$

wobei n die Anzahl der Beobachtungen und ν_{pre} der Freiheitsgrad von s_{pre} ist, die beide vor der Messung bekannt sind. Die Standardmessunsicherheit des Mittelwertes ist gleich $s_{\mathrm{Bay,pooled}}$ geteilt durch Wurzel n.

 © 2009 Metrodata GmbH

Hinweis: Es muss ausdrücklich darauf hingewiesen werden, dass die Auswertung vom Typ A nach Bayes nicht Teil des originalen GUM ist, so wie es 1993 veröffentlicht wurde. Der Anwender ist voll dafür verantwortlich, wenn er diese Option verwendet. Diese Option sollte unter Umständen nicht verwendet werden, wenn eine vollständig formale Übereinstimmung mit dem GUM (1993) erforderlich ist.

7.4.3 Typ A zusammengefasst

In Fällen, in denen die Messunsicherheit einer Eingangsgröße mit Hilfe von statistischen Verfahren außerhalb von GUM Workbench ermittelt wird, kann der *Typ A zusammengefasst* genutzt werden. Bei diesem Typ können keine Beobachtungen eingegeben werden und die Größen dieses Typs erscheinen auch nicht in der Ansicht Beobachtung.

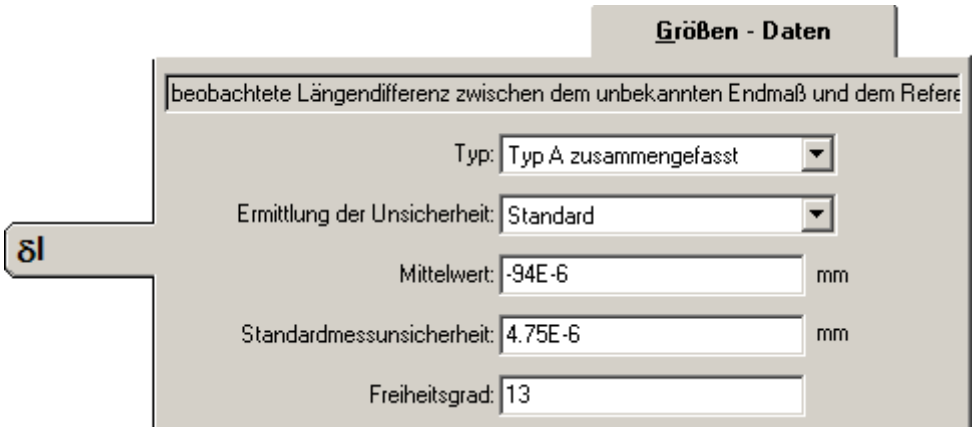


Bild 39: *Typ A zusammengefasst* mit Angabe der Standardmessunsicherheit

Beim Typ A zusammengefasst steuert die Option *Ermittlung der Unsicherheit*, welche Daten eingegeben werden können. Es stehen drei Optionen zur Verfügung.

Mit der Option *Standard* werden *Mittelwert*, *Standardmessunsicherheit* und *Freiheitsgrad* eingegeben (siehe Bild 39).

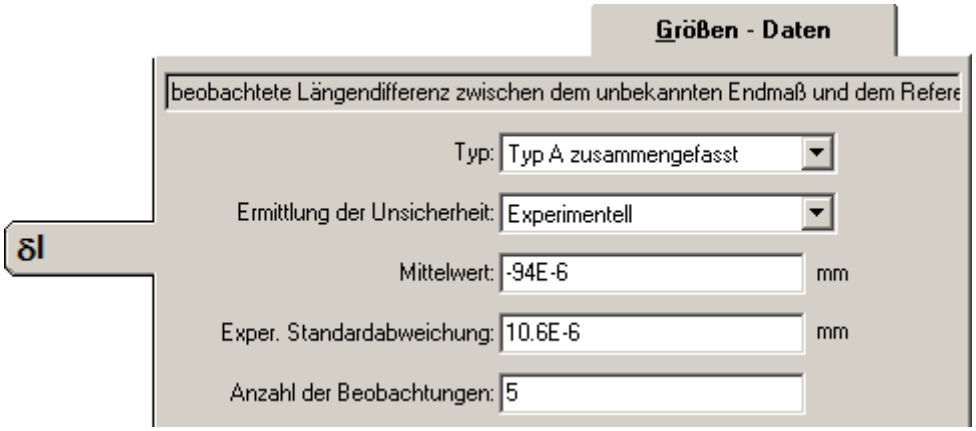


Bild 40: *Typ A zusammengefasst* mit Angabe der experimentellen Standardabweichung

Wird für die *Ermittlung der Unsicherheit* die Option Experimentell gewählt, werden *Mittelwert*, *Experimentelle Standardabweichung* und *Anzahl der Beobachtungen* eingegeben (siehe Bild 40).

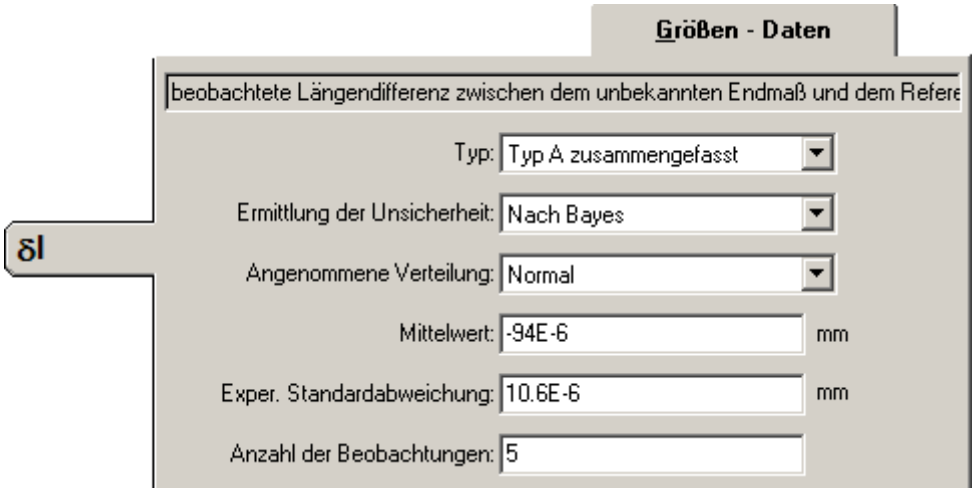


Bild 41: *Typ A zusammengefasst* mit Auswertung nach Bayes

Durch die Auswahl der Option *Nach Bayes* im Feld *Ermittlung der Unsicherheit* wird der Vergrößerungsfaktor nach Bayes (siehe Gleichung 2) benutzt (siehe Bild 41). Die Auswertung benötigt eine *Angenommene Verteilung*, den *Mittelwert*, die *Experimentelle Standardabweichung* und die *Anzahl der Beobachtungen*. Die Details zu den Berechnungen werden im Abschnitt 7.4.2 beschrieben.

Standardabweichungen können auch relativ und in Prozent in Bezug auf den Mittelwert angegeben werden (siehe Abschnitt 21.1). Der Eingabe der Zahl muss dabei entweder die Zeichenfolge `(rel)` (mit den Klammern) für relative oder ein Prozentzeichen für die prozentuale Angabe folgen.

7.4.4 Methode der Beobachtung

Nicht in jedem Fall werden die für die Analyse benötigten Beobachtungen direkt abgelesen. So werden z.B. bei der Kalibrierung von Gewichten abwechselnd die Anzeigen für die Masse eines Referenznormales und der unbekannten Masse an einer Waage abgelesen. Die Beobachtungen ergeben sich dann aus der Differenz zwischen zwei aufeinander folgenden Ablesungen. In diesen Fällen ist eine Vorverarbeitung notwendig, um die Beobachtungen zu erhalten.

GUM Workbench stellt dem Anwender vier verschiedene Vorverarbeitungen zur Verfügung.

 © 2009 Metrodata GmbH

7.4.4.1 Direkte Beobachtung

Diese Option sollte benutzt werden, wenn keine Vorverarbeitung notwendig ist. Die Beobachtungen werden direkt eingegeben. Die Anzahl der Ablesungen ist gleich der Anzahl der Beobachtungen.

7.4.4.2 Indirekt SU

Die Beobachtung wird in Zyklen durchgeführt, in denen abwechselnd der Wert des Referenznormales und der unbekannte Wert abgelesen werden. Beide Werte (unbekannter Wert (U) - Referenzwert (S)) werden voneinander subtrahiert. Die Anzahl der Ablesungen ist das Doppelte der Anzahl der Beobachtungen.

7.4.4.3 Indirekt SUS

Die Beobachtung wird in Zyklen durchgeführt, in denen zunächst der Wert des Referenznormales (S), dann der unbekannte Wert (U) und anschließend wieder der Wert des Referenznormales (S) abgelesen wird. Der Mittelwert der beiden Referenznormale wird vom unbekannten Wert abgezogen (unbekannter Wert - Referenzwert). Die Anzahl der Ablesungen ist das Dreifache der Anzahl der Beobachtungen.

7.4.4.4 Indirekt SUUS

Die Beobachtung wird in Zyklen durchgeführt, in denen zunächst der Wert des Referenznormales (S), dann der unbekannte Wert (U), danach noch einmal der unbekannte Wert (U) und anschließend wieder der Wert des Referenznormales (S) abgelesen wird. Die beiden Ablesungen für das Referenznormal und die beiden Ablesungen des unbekannten Wertes werden gemittelt und die Mittelwerte voneinander abgezogen (unbekannter Wert - Referenzwert). Die Anzahl der Ablesungen ist das Vierfache der Anzahl der Beobachtungen.

7.4.4.5 Indirekt U/S

Die Beobachtung wird in Zyklen durchgeführt, in denen abwechselnd der Wert des Referenznormales (S) und der unbekannte Wert (U) abgelesen werden. Die beiden Werte werden dividiert (unbekannter Wert / Referenzwert). Die Anzahl der Ablesungen ist das Doppelte der Anzahl der Beobachtungen.

Weitere Informationen zur Eingabe von Beobachtungen befinden sich im Abschnitt 8.

7.5 Typ B: Nicht statistische Ermittlungsmethoden

Für alle Eingangsgrößen, deren Messunsicherheit nicht mit Hilfe von statistischen Verfahren aus einer Reihe von wiederholten Beobachtungen ermittelt wird, ist eine Verteilung

auszuwählen, die aus den Kenntnissen abgeleitet wurde. Je nach Verteilung werden weitere Werte angefordert.

Tabelle 8: Zusammenfassung der unterstützten Verteilungen für Typ B

Verteilung	Beschreibung
Normal	Das Wissen über die Größe kann durch eine Normalverteilung beschrieben werden. Der Wert, die erweiterte Messunsicherheit und der Erweiterungsfaktor werden benötigt. Der Freiheitsgrad wird vorgegeben und fest mit 50 angenommen.
t-Verteilung	Die Verteilung ist ähnlich der Normalverteilung. Der Wert, die Standardmessunsicherheit und der Freiheitsgrad werden benötigt.
Rechteck	Das Wissen über die Größe kann durch eine Rechteckverteilung beschrieben werden. Der Wert und die Halbbreite der Grenzen werden benötigt. Der Freiheitsgrad ist per Definition unendlich.
U-förmig	Das Wissen über die Größe kann durch eine U-förmige Verteilung beschrieben werden. Der Wert und die Halbbreite der Grenzen werden benötigt. Der Freiheitsgrad ist per Definition unendlich.
Dreieck	Das Wissen über die Größe kann durch eine Dreiecksverteilung beschrieben werden. Der Wert und die Halbbreite der Grenzen werden benötigt. Der Freiheitsgrad ist per Definition unendlich.
Trapez	Das Wissen über die Größe kann durch eine Trapezverteilung beschrieben werden. Der Wert, die Halbbreite der Grenzen und der gleich verteilte Anteil (Formfaktor) werden benötigt. Der Freiheitsgrad ist per Definition unendlich.
Poisson	Die Standardmessunsicherheit ist gleich der Quadratwurzel des Erwartungswertes. Nur der Erwartungswert wird benötigt. Der Freiheitsgrad ist per Definition unendlich.

Auf den folgenden Seiten finden Sie zusätzliche Erläuterungen zur Verwendung von GUM Workbench bei den genannten Verteilungen.

7.5.1 Normalverteilung

Die Daten einer Eingangsgröße mit dieser Verteilung stammen aus einer Unsicherheitsanalyse, einem Zertifikat oder einer messtechnisch begründeten Einschätzung. Die Werte, die der Eingangsgröße beigeordnet werden, sind normal verteilt und die Parameter Erwartungswert und Streuung sind mit ausreichender statistischer Sicherheit bekannt.

 © 2009 Metrodata GmbH

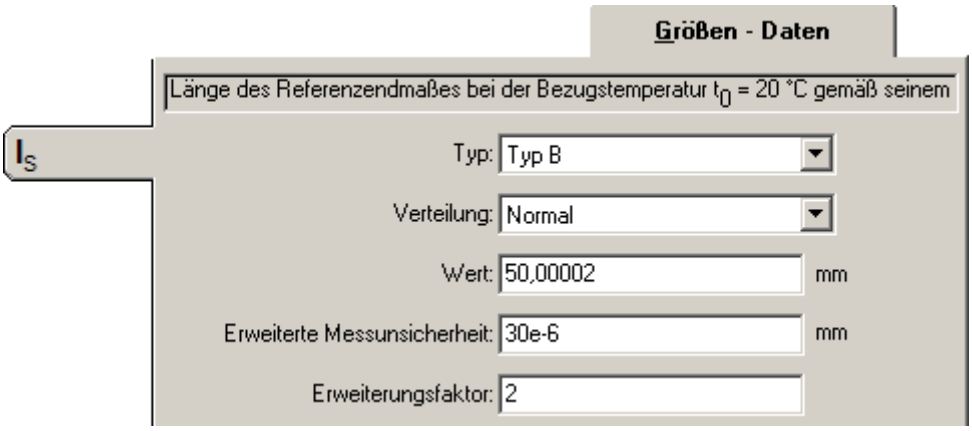


Bild 42: *Größen - Daten* für eine *Typ B Normal*-Verteilung

Benötigt werden der *Wert*, die *Erweiterte Messunsicherheit* und der *Erweiterungsfaktor*. Der Freiheitsgrad wird standardmäßig mit 50 angenommen. Ist für eine normal verteilte Größe nur die Standardmessunsicherheit bekannt, so ist der Erweiterungsfaktor 1.0 einzugeben.

7.5.1.1 Die 50% Technik

Auch wenn Sie nur Ungenaues über die Messunsicherheit einer Komponente wissen, kann daraus trotzdem eine Standardmessunsicherheit berechnet werden.

Dazu ist die "fifty-fifty" Technik oftmals sehr hilfreich. In GUM Workbench kann sie benutzt werden, indem die entsprechende Größe mit *Typ B Normal* definiert wird.

Dieses ungenaue Wissen könnte z.B. so ausgedrückt werden: "Es besteht eine Wahrscheinlichkeit von 50%, dass der Wert der Größe zwischen A und B liegt." Dies kann in der Unsicherheitsanalyse folgendermaßen berücksichtigt werden:

- Berechnen Sie $(A+B)/2$ und geben Sie den Wert im Feld *Wert* ein.
- Berechnen Sie $(B-A)/2$ und geben Sie den Wert im Feld *Erweiterte Messunsicherheit* ein.
- Geben Sie 0,676 in das Feld *Erweiterungsfaktor* ein.

7.5.1.2 Hinweis zur 50% Technik

Die Eingangsgröße wird mit z.B. X bezeichnet. Wir nehmen den Fall an, dass auf der Basis des vorhandenen Wissens eine qualifizierte Schätzung ausgedrückt werden soll. Es besteht eine Wahrscheinlichkeit von 50%, dass die Größe innerhalb eines Bereiches zwischen A und B liegt.

Wenn es keine eindeutigen Anzeichen gibt, dass die Größe nicht normal verteilt sein sollte, dann ist die beste Schätzung des Größenwertes in der Mitte des Intervalls, $(A+B)/2$.

In der Unsicherheitsanalyse gibt man eine Standardmessunsicherheit von $U(x) = 1.48 \times a$ an, wobei $a = (B - A)/2$ ist. Das ist richtig, solange für eine Normalverteilung mit erwartetem Wert x und Standardabweichung s, nahezu 50% der Verteilung innerhalb der Grenzen $x \pm s / 1.48 = x \pm s \times 0.676$ liegt.

Wenn in einer entsprechenden Situation die qualifizierte Schätzung so ausgedrückt wird: "Es besteht eine 2/3 Wahrscheinlichkeit, dass der Wert X innerhalb des Abstandes von A und B liegt", dann werden die gleichen Werte für *Wert* und *Erweiterte Messunsicherheit* wie oben angegeben benötigt, nur muss dann in das Feld *Erweiterungsfaktor* die Zahl 1 eingegeben werden.

(Im GUM wird diese Technik in den Abschnitten 4.3.5 und 4.3.6. beschrieben.)

7.5.2 t-Verteilung

Die Daten der Eingangsgröße stammen aus einer Unsicherheitsanalyse, einem Zertifikat oder einer messtechnisch begründeten Einschätzung.

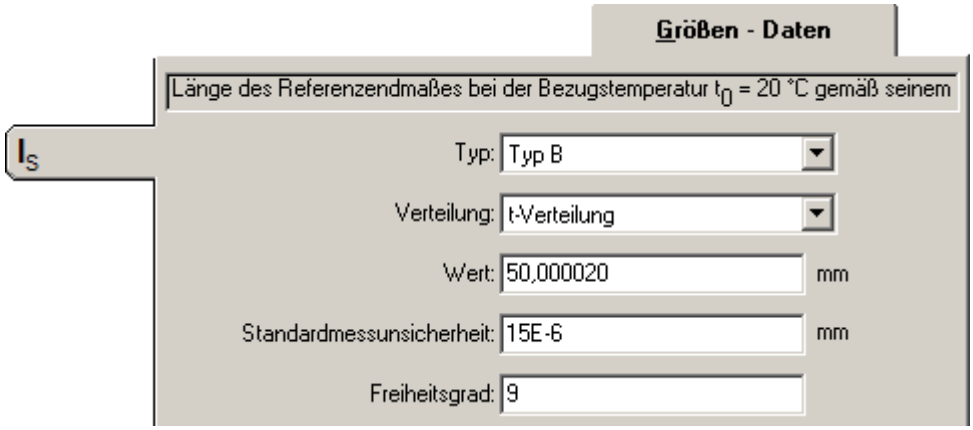


Bild 43: *Größen - Daten* für eine *Typ B t-Verteilung*

Wird für die Eingangsgröße angenommen, dass die Werte normal verteilt sind, aber die Kenntnis (z.B. über die Anzahl der Beobachtungen) nicht umfassend genug ist, um den Wert und die Standardabweichung mit ausreichender statistischer Sicherheit zu ermitteln, kann für die Werteverteilung eine t-Verteilung (oder Student-Verteilung) mit dem angegebenen Freiheitsgrad angenommen werden. Benötigt werden *Wert*, *Standardmessunsicherheit* und *Freiheitsgrad*.

7.5.3 Verteilungen mit fester Ober- und Untergrenze

Die Daten der Eingangsgröße stammen aus einer Unsicherheitsanalyse, einem Zertifikat oder einer wissensbasierten Schätzung. Die Werte, die der Eingangsgröße beigeordnet werden, sind rechteck-, dreieck- oder U-förmig verteilt.

 © 2009 Metrodata GmbH

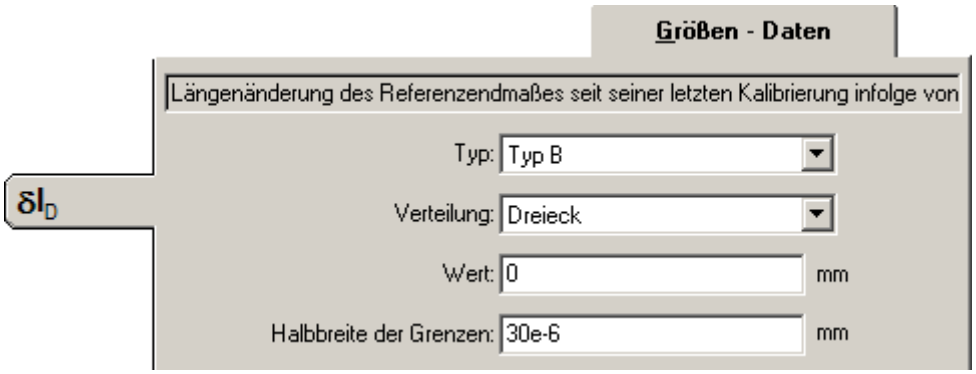


Bild 44: *Größen - Daten* für *Typ B* Verteilungen mit fester Ober- und Untergrenze

Benötigt werden der Mittelwert (Feld *Wert*) und die halbe Breite des Variationsbereichs (Feld *Halbbreite der Grenzen*).

7.5.4 Trapezverteilung

Wird für eine Eingangsgröße angenommen, dass sie über einen bestimmten Bereich gleich verteilt ist, die Grenzen aber nicht genau bekannt sind, kann als Verteilung die Trapezverteilung verwendet werden.

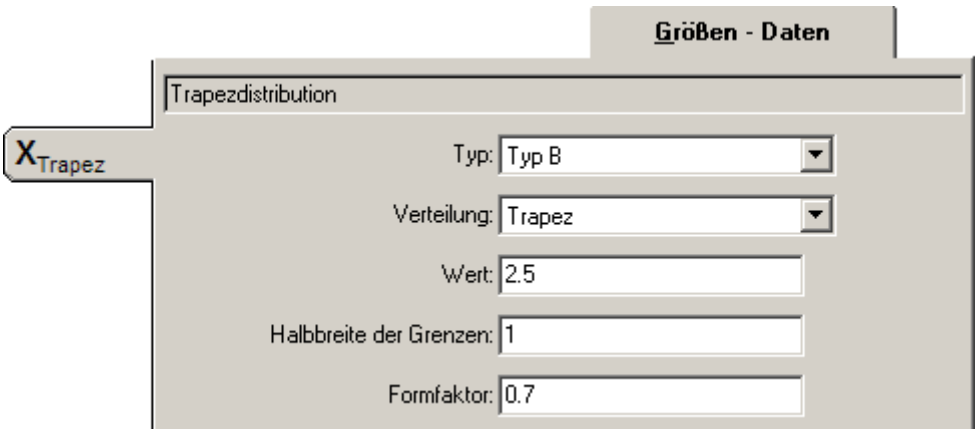


Bild 45: *Größen - Daten* für eine *Typ B Trapez*-Verteilung

Für die Trapezverteilung müssen der *Wert* x_i, die *Halbbreite der Grenzen* a und der *Formfaktor* β eingegeben werden.

Mit dem Formfaktor β (Wert zwischen 0.0 und 1.0) wird der Anteil der Gleichverteilungsbreite an der Gesamtbreite festgelegt. Es lässt sich jede Verteilung zwischen Rechteck- ($\beta = 1$) und Dreieckverteilung ($\beta = 0$) einstellen (siehe Bild 46).

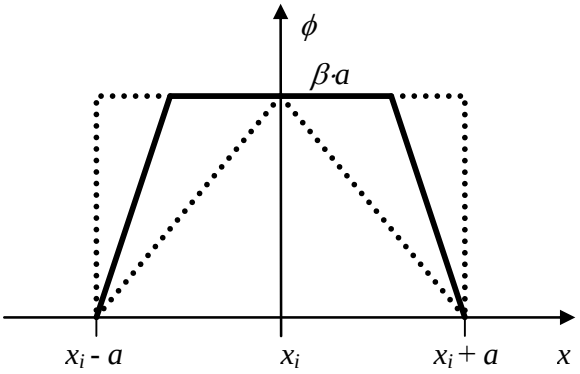


Bild 46: PDF der Trapezverteilung

Obwohl die Grenzwerte 0.0 und 1.0 für den *Formfaktor* zulässig sind, sollten diese Verteilungen besser direkt als Dreieck- bzw. Rechteckverteilung angegeben werden.

7.5.5 Poisson Verteilung

Bei der Poissonverteilung braucht nur der *Erwartungswert (λ)* eingegeben werden (siehe Bild 47).

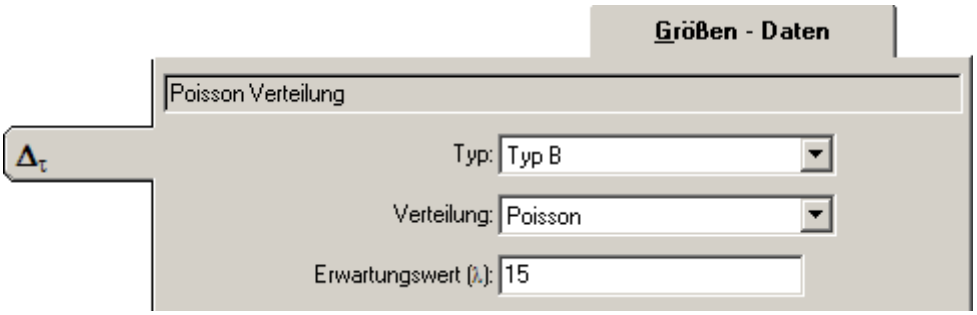


Bild 47: *Größen - Daten* für eine *Poisson*-Verteilung

Die Standardmessunsicherheit ist gleich der Wurzel aus dem Erwartungswert.

7.6 Konstante

Der Größentyp *Konstante* wird für benannte Konstanten in der Modellgleichung verwendet. Größen dieses Typs sind keine Messunsicherheit und kein Freiheitsgrad beigeordnet. In der Praxis handelt es sich meist um Bezugs- oder Normierungsgrößen, für die per Definition keine Messunsicherheit berücksichtigt werden muss.

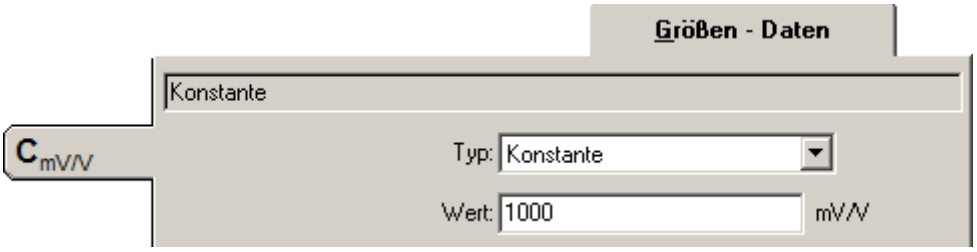


Bild 48: *Größen - Daten* für eine *Konstante*

Für Konstanten wird deren Wert in der angegebenen Einheit benötigt (Feld *Wert*).

© 2009 Metrodata GmbH

Es ist auch möglich, die Konstanten direkt als Zahl in der Modellgleichung einzugeben. Das Dezimaltrennzeichen ist der Punkt (.).

GUM Workbench ordnet die Symbole `pi`, `\pi\` und `e` automatisch dem Typ Konstante zu. Als Wert wird ein fest gespeicherter Vorgabewert mit 14 Stellen eingetragen. Typ und Wert können bei Bedarf aber jederzeit geändert werden.

7.7 Importierte Größen

Aus in SMU-Dateien gespeicherten Unsicherheitsanalysen können die Werte der Eingangsgrößen und das Messergebnis in die aktuelle Analyse übernommen bzw. importiert werden.

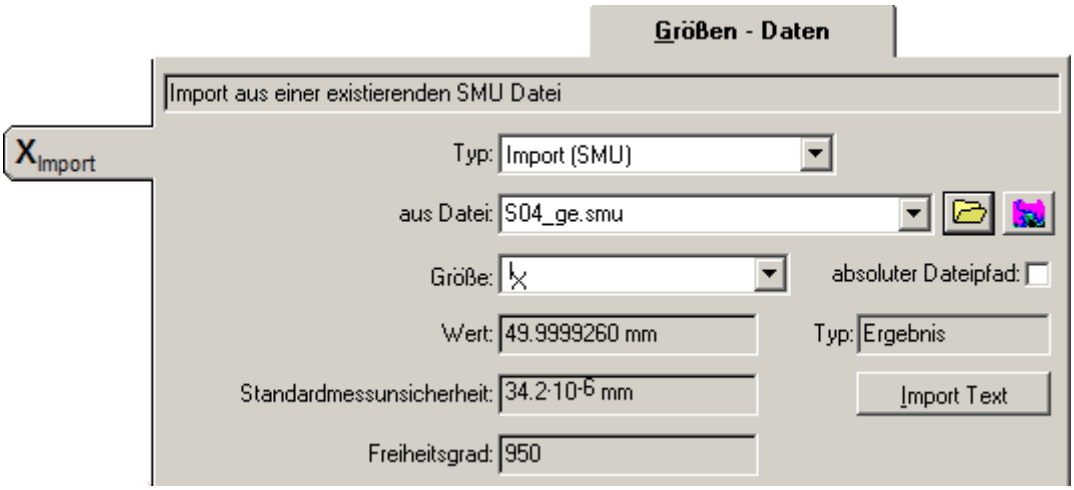


Bild 49: *Größen - Daten* für den *Import* aus einer SMU-Datei

Dazu wird auf der Karteikarte *Größen-Daten* in der Ansicht *Modell* der *Typ Import (SMU)* für die Größe ausgewählt. In der dann erscheinenden Maske ist der Dateiname der Quelle einzugeben und anschließend ist die Bezeichnung der Größe auszuwählen, deren Wert übernommen werden soll.

Größen, die selber importiert wurden, können nicht ausgewählt werden. Stattdessen muss die Größe direkt aus der Datei importiert werden, in der die Daten für die Größe definiert werden.

Die Einheit der importierten Größe muss mit der Einheit übereinstimmen, die in der Größentabelle für die Größe eingetragen ist, für die ein Wert übernommen werden soll.

- Um eine Größe aus einer anderen Unsicherheitsanalyse zu übernehmen, muss diese existieren und gespeichert sein.
- Wählen Sie im Feld *Typ* der Größe, die den importierten Wert repräsentieren soll, den Typ *Import (SMU)* aus.

- Im Feld *aus Datei* geben Sie den Namen der Datei an, aus der Sie den Wert der Größe importieren wollen. Mit Hilfe der Schaltfläche *Suchen* können Sie im Dateisystem nach der Datei suchen und eine existierende Datei auswählen.
- Im Feld *Größe* legen Sie fest, welche Größe aus der Unsicherheitsanalyse importiert werden soll. Neben dem Feld *Größe* wird der Typ der Größe angezeigt.
- Die Felder *Wert*, *Standardmessunsicherheit* und *Freiheitsgrad* zeigen die aktuellen Werte für die importierte Größe an. Wenn die gespeicherte Unsicherheitsanalyse geändert wird, werden die Daten automatisch aktualisiert.

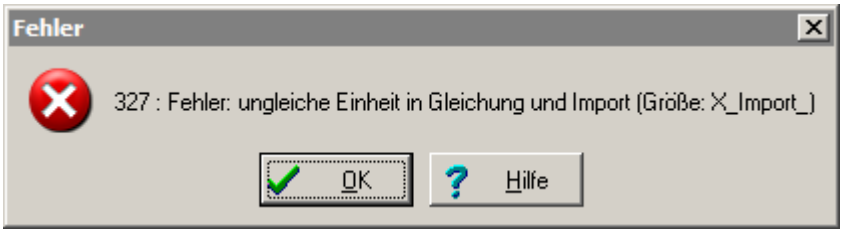


Bild 50: Fehlermeldung, wenn die Einheiten nicht übereinstimmen

Beim Import einer Größe führt GUM Workbench eine Prüfung der Einheiten durch. Wenn sie nicht übereinstimmen, wird eine Fehlermeldung angezeigt.

Wenn die Option *absoluter Dateipfad* nicht aktiv ist, sollte die relative Position der Quelldatei zur importierten Datei beibehalten werden. Die Ordnerstruktur, in der sie abgelegt wurden, kann als Ganzes verschoben werden oder gleiche Ordnernamen können umbenannt werden, aber sie sollten nicht relativ zueinander verändert werden. Sonst kann GUM Workbench die Datei nicht mehr finden, aus der importiert werden soll. Das würde die Fehlermeldung 319 hervorrufen.

Bei aktivierter Option *absoluter Dateipfad* darf die Quelldatei nicht verschoben werden.

7.7.1 Auswählen einer existierenden Messunsicherheitsanalyse

Mit der Schaltfläche (*Suchen*) können Sie eine bestehende Unsicherheitsanalyse im Dateisystem suchen und zum Importieren einer Größe öffnen. Wählen Sie eine gespeicherte Analyse aus und bestätigen Sie Ihre Wahl mit *OK*. Mit der Schaltfläche kann die Quelldatei für den Import in einem weiteren GUM Workbench Fenster geöffnet werden.

 © 2009 Metrodata GmbH

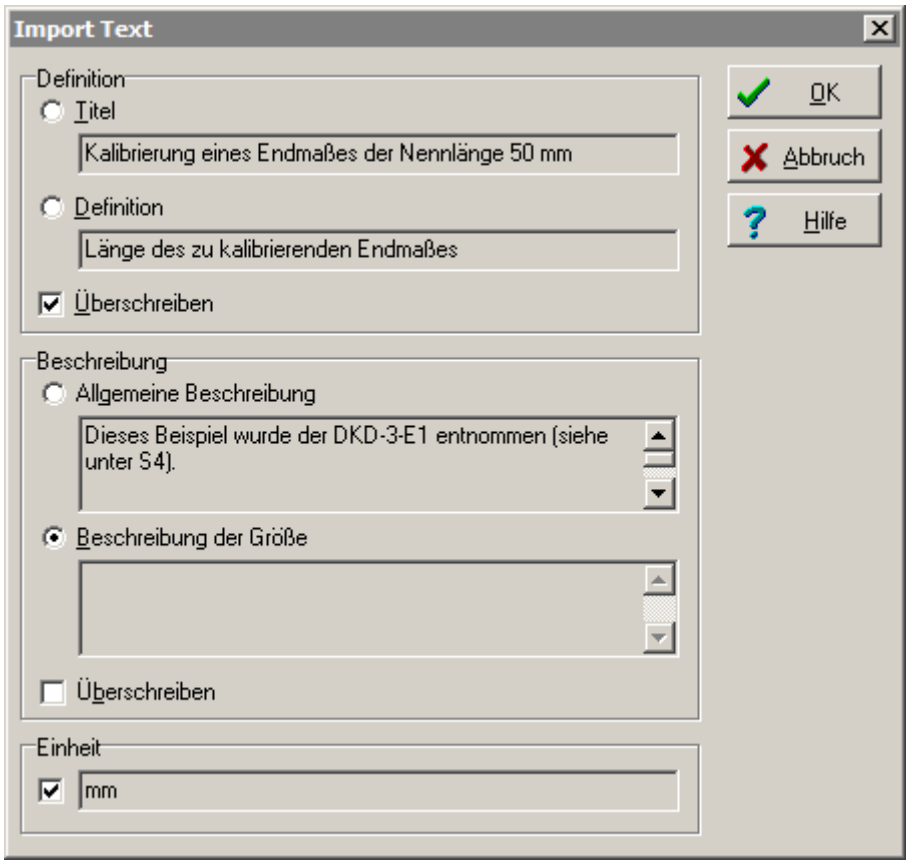


Bild 51: Dialog *Import Text*

7.7.2 Importieren von Texten zur importierten Größe

Während GUM Workbench automatisch die angeforderten Daten der Größen für eine Unsicherheitsanalyse importiert, werden die Texte, die mit der Quellgröße verbunden sind, nur bei Bedarf importiert. Die Schaltfläche *Import Text* in Bild 49 ruft dazu den Dialog *Import Text* in Bild 51 auf.

Welche Texte importiert werden können, hängt dabei von dem Typ der Größe ab, die importiert werden soll.

- Beim Import einer Ergebnisgröße ist es möglich, den Titel, die allgemeine Beschreibung, die Definition und die Beschreibung der Größe einzulesen.
- Beim Import einer Eingangsgröße ist es möglich, die Definition und die Beschreibung der Größe einzulesen.

Es kann je ein Text für die *Definition* und für die *Beschreibung* ausgewählt werden. Sofern die jeweilige Option *Überschreiben* aktiviert ist, wird der existierende Text überschrieben, andernfalls wird der neue Text angehängt.

Die Einheit wird importiert, wenn die entsprechende Option aktiviert ist.

7.8 Import aus Microsoft Excel®

GUM Workbench unterstützt einen dynamischen Import von zusammengefassten Daten aus MS Excel® in die Messunsicherheitsanalyse. Damit Daten aus einer XLS-Datei importiert werden können, muss MS Excel® vollständig installiert sein. Der Import benutzt die OLE Automatisierungsschnittstelle, die von Excel zur Verfügung gestellt wird. MS Excel® wird automatisch unsichtbar im Hintergrund gestartet, falls es nicht schon gestartet ist, sobald Daten aus MS Excel® importiert werden. Ggf. kann das Starten von MS Excel® die Ladezeit von SMU-Dateien verzögern, wenn Daten von MS Excel importiert werden. Mit der Schaltfläche oder einer der Schaltflächen kann man MS Excel sichtbar machen und sich die Datei anzeigen lassen, aus der importiert wird.

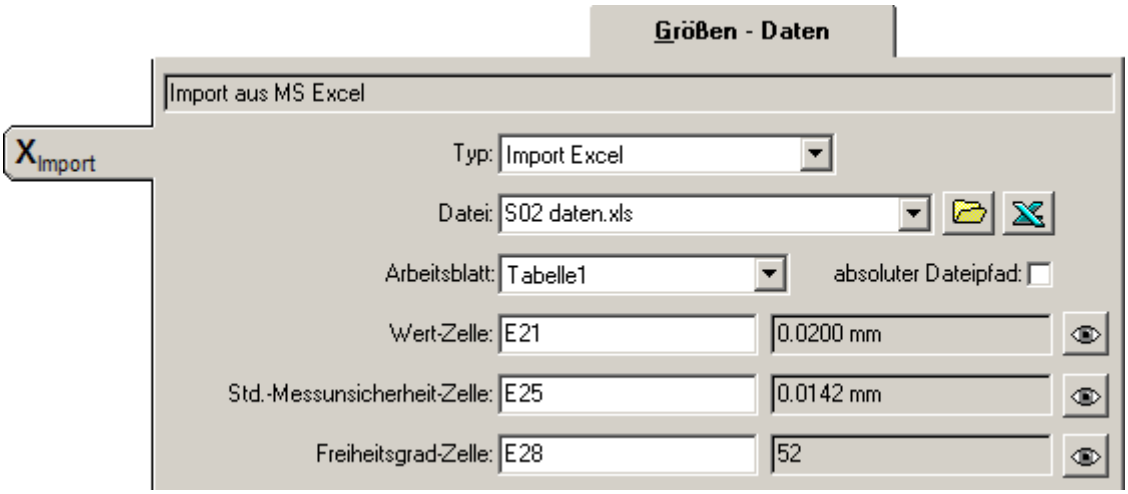


Bild 52: *Größen - Daten* für den *Import* aus *Excel*

Der Import von MS Excel® ist ein dynamischer Import. Änderungen in den Daten in MS Excel werden unmittelbar (innerhalb einer Sekunde) in GUM Workbench sichtbar. Allerdings kann GUM Workbench nicht auf Daten von MS Excel® zugreifen, solange sich eine Zelle in MS Excel® im Bearbeitungsmodus befindet. In den Ausgabefeldern für die importierten Daten erscheint dann der Text *Fehler*. Es ist deshalb wichtig, dass der Bearbeitungsmodus in MS Excel® immer verlassen wird, sobald man Daten geändert hat. Der Bearbeitungsmodus wird in MS Excel® verlassen, indem man die Taste zur Zeilenschaltung betätigt oder eine andere Zelle anwählt.

Um zusammengefasste Daten aus Excel zu importieren, wählt man im Feld *Typ* (Ansicht *Modell*, Karteikarte *Größen - Daten*) die Option *Import Excel* aus. Im Feld *Datei* wird der Name der XLS-Datei eingetragen. GUM Workbench kann nur Daten aus MS Excel® importieren, die einer Datei zugeordnet sind. Damit wird sichergestellt, dass die Datenquelle eindeutig ist. Im Auswahlfeld *Arbeitsblatt* stehen die Arbeitsblätter zur Auswahl, die in der angegebenen Datei vorhanden sind. Wählen Sie hier das Arbeitsblatt aus, auf dem sich die Daten befinden, die Sie importieren möchten.

 © 2009 Metrodata GmbH

Mit den drei Zellen-Feldern werden die Zellen in der Schreibweise von MS Excel® angegeben, aus denen GUM die jeweiligen Werte auslesen soll. Es werden immer zusammengefasste Daten importiert. Mittelwert und Standardunsicherheit sollten deshalb zuerst in MS Excel® ausgerechnet werden, bevor man sie importieren kann. Wenn keine Zellenbezeichnung für die Standardmessunsicherheit angegeben ist, ist die Unsicherheit Null. Wenn keine Zelle für den Freiheitsgrad angegeben ist, wird ein Freiheitsgrad von 50 angenommen.

Hinweis: Es ist möglich die Zelleninformation für den Import aus MS Excel® mit Hilfe der Zwischenablage durchzuführen. Wählen Sie dazu im Feld *Typ* die Option *Import Excel* und markieren Sie dann in Excel eine Zelle, aus der Sie den Wert importieren wollen. Kopieren Sie die Zelle in die Zwischenablage (*Strg-C*) Wählen Sie dann in GUM Workbench das Zellen-Feld an, für das Sie die Daten in die Zwischenablage kopiert haben. Wählen Sie im Menü *Bearbeiten* das Kommando *Einfügen* (oder *Strg-V*). GUM Workbench trägt jetzt automatisch die Feldbezeichnung ein und sofern die Felder *Datei* und *Arbeitsblatt* leer sind, werden sie automatisch auf die richtigen Werte gesetzt.

Wenn die Option *absoluter Dateipfad* nicht aktiv ist, sollte die relative Position der Quelldatei zur importierten Datei beibehalten werden. Die Ordnerstruktur, in der die Dateien abgelegt wurden, kann als Ganzes verschoben werden oder gemeinsame übergeordnete Ordner können umbenannt werden, aber sie sollten nicht relativ zueinander verändert werden. Sonst kann GUM Workbench® die Datei nicht mehr finden, aus der Daten importiert werden sollen. Bei aktivierter Option *absoluter Dateipfad* darf die Quelldatei nicht verschoben werden.

Die Schaltfläche hilft, die XLS-Datei zu finden, aus der Daten importiert werden sollen. Wählen Sie im Dialog *Datei öffnen* die Datei aus und betätigen Sie *OK*. Mit der Schaltfläche öffnen Sie die in MS Excel. Um die Quelldatei in Excel zu sehen, aus der Sie importieren, betätigen Sie die entsprechende Schaltfläche.

Hinweis: In MS Excel ist es möglich, Zellen Namen zu geben. Da GUM Workbench beim Import aus Excel mit den Bezeichnungen von Excel operiert, ist es möglich, an Stelle der Zellenbezeichnungen im in MS Excel üblichen A1 Format die entsprechend definierten Namen für die Zelle anzugeben. Das ist in vielen Fällen praktisch, in denen die gleiche SMU-Datei oder z.B. eine Vorlage für verschiedene Daten angewendet werden soll. Die importierten Daten können sich dann auf ganz unterschiedlichen Feldern befinden, sofern nur die Namen immer richtig definiert sind.

7.9 Mehrere importierte Größen

In einer Auswertung können die Daten für mehr als eine Größe aus einer oder auch mehreren Dateien importiert werden. Sobald die Daten von mehr als einer Größe aus ein und derselben SMU-Datei importiert werden, werden automatisch auch die Korrelationskoeffizienten zwischen den importierten Größen mit importiert. Deshalb ist in einer SMU-Datei die Korrelationsmatrix zwischen allen Größen gespeichert. Die importierten Korrelationskoeffizienten können in der Ansicht *Korrelation* eingesehen, aber nicht geändert werden.

Mit dem Dialog *Importierte Dateien* kann man sich einen Überblick über die Dateien verschaffen (siehe Bild 53). Jeweils für SMU- und Excel-Dateien getrennt werden die Dateinamen und die Namen der Größen aufgelistet, die aus den Dateien Daten importieren. Mit Hilfe des Feldes *Neuer Dateiname* kann der Import für mehrere Größen auf eine andere Datei umgeschaltet werden. Benutzen Sie ggf. die Schaltfläche , um die passende neue Datei zu suchen. Alle Größen, die aus der alten Datei Daten importieren, werden so geändert, dass sie ihre Daten aus der neuen Datei importieren. Die neue Datei sollte eine ähnliche Datenstruktur haben, um Fehler beim Import zu vermeiden.

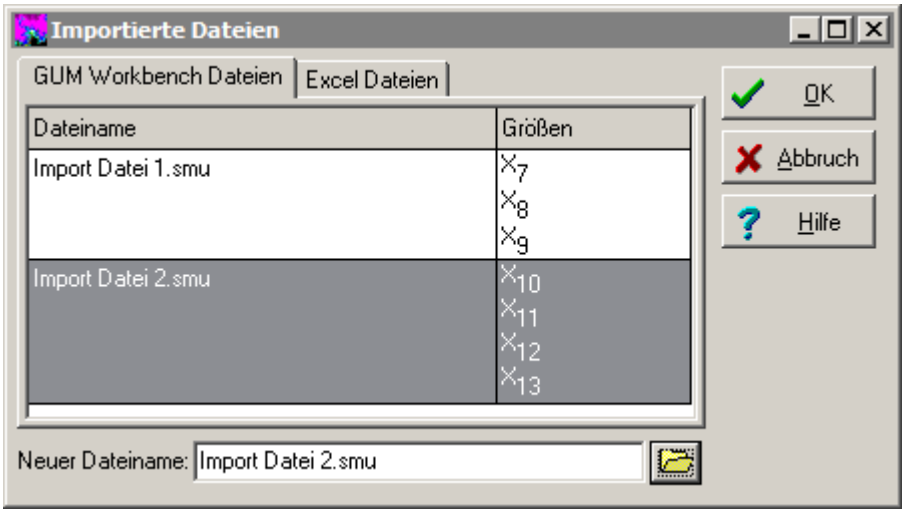


Bild 53: Dialog *Importierte Dateien*

7.10 Ändern der Reihenfolge der Größen

Standardmäßig ergibt sich die Reihenfolge der Größen in der Größentabelle für die Eingabe der Daten und im Budget aus der Reihenfolge, in der die Größen in der Modellgleichung auftreten.

Mit dem Befehl *Reihenfolge der Größen* im Menü *Bearbeiten* kann die Größenreihenfolge geändert werden. So kann die Reihenfolge der Größen bei Bedarf logischer gestaltet und die Anwendung des Programms den Vorstellungen des Anwenders angepasst werden.

 © 2009 Metrodata GmbH

Mit folgenden Schritten wird die Reihenfolge der Größen geändert:

1. Wählen Sie die Größen mit der Maus an, die Sie verschieben wollen.
2. Mit den Tasten Nach Oben und Nach Unten werden die angewählten Größen gemeinsam verschoben.
3. Wiederholen Sie Schritt 1 und 2, bis die Reihenfolge Ihren Wünschen entspricht, und beenden Sie die Umordnung mit OK.
4. Falls Sie die Reihenfolge nicht ändern wollen, betätigen Sie Abbruch.

Die Reihenfolge der Größen ist Bestandteil der SMU-Datei und wird mitgespeichert, wenn die Auswertung abgespeichert wird. Beim nächsten Öffnen der Datei werden die Größen in der Reihenfolge angezeigt, die Sie festgelegt haben. Die Reihenfolge der Größen wird in allen Listen in GUM Workbench übernommen. Das betrifft ebenso gedruckte wie auch exportierte Berichte.

7.10.1 Sortierungsoptionen

Folgende Optionen stehen zur Verfügung, um die Größen automatisch zu ordnen:

Alphabetisch: Die Größen werden alphabetisch sortiert. Die griechischen Buchstaben werden alphabetisch hinter dem Buchstaben Z sortiert.

Nach Typ: Die Größen werden nach Ihrem Typ wie folgt sortiert:
Typ A, Typ A zusammengefasst, Typ B Normal, Typ B t-Verteilung, Typ B Rechteck, Typ B U-förmig, Typ B Dreieck, Typ B Trapez, Typ B Poisson, Konstante, Import (SMU), Import Excel, Zwischenergebnis, Ergebnis.

Standard: Die Reihenfolge der Größen ergibt sich aus der Reihenfolge, in der sie in der Modellgleichung auftreten.

7.10.2 Verschieben eines Größenblocks

Größen, die in einem Block aufeinander folgen, können ausgewählt werden, indem entweder die Umschalttaste zu Hilfe genommen wird oder indem der Mauszeigers bei gedrückter linker Maustaste über mehrere Zeilen bewegt wird. Der ausgewählte Größenblock wird mit den Schaltflächen *Nach Oben* oder *Nach Unten* verschoben.

Hinweis: Im Dialog *Reihenfolge der Größen ändern* werden die Tasten ↓ und ↑ auf der Tastatur zur Auswahl der Größen in der Liste verwendet. Zum Verschieben dienen die Schaltflächen *Nach Oben* oder *Nach Unten*.

7.10.3 Sortieren in zwei Schritten

In der Praxis ist es oft der Fall, dass mehrere Größen in einer Analyse den gleichen Typ haben. So mag es z.B. mehrere Größen vom Typ B Rechteck geben. Die automatische

Sortierung nach dem Typ ändert die Reihenfolge von Größen des gleichen Typs nicht. Führen Sie deshalb folgende Schritte aus, um die Größen nach Typ und innerhalb gleicher Typen alphabetisch zu ordnen: Klicken Sie zuerst die Option *Alphabetisch* an und dann die Option *Nach Typ*.

7.10.4 Neue Größen

Wenn der Modellgleichung weitere Größen hinzugefügt werden, wird abhängig von der gewählten Sortierungsoption verfahren. Wurde keine Sortierungsoption ausgewählt, wird die bestehende Reihenfolge beibehalten und die neuen Größen an die Liste in der Reihenfolge angehängt, in der sie in der Modellgleichung erscheinen. Um die Sortierung zu ändern, muss der Dialog *Reihenfolge der Größen ändern* nochmals aufgerufen werden.

 © 2009 Metrodata GmbH

8 Ablesungen und Beobachtungen

In der Ansicht „Beobachtung“ werden die Werte für Beobachtungen bearbeitet. Die Eingabe der Werte erfolgt in Tabellenform (siehe Bild 54). Der Aufbau der Tabelle ist von der gewählten Methode der Beobachtung abhängig.

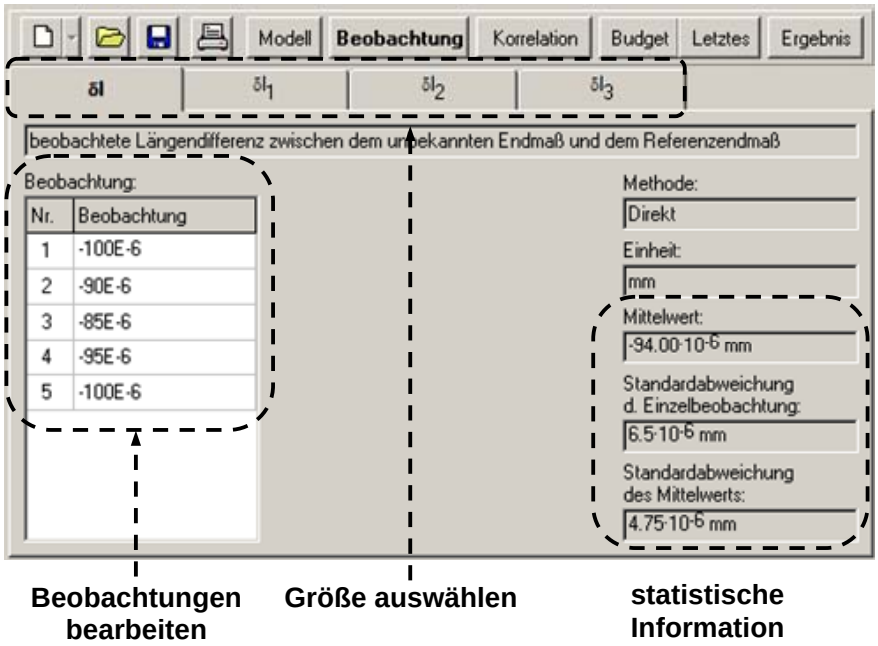


Bild 54: Ansicht *Beobachtung*

Wenn für alle Beobachtungen gültige Werte eingegeben sind, wird in den Ausgabefeldern der *Mittelwert*, die empirische *Standardabweichung der Einzelbeobachtung* und die *Standardabweichung des Mittelwerts* ausgegeben. Alle Werte müssen sich auf die im Feld *Einheit* angegebene Einheit beziehen.

Hinweis: Die verwendete Berechnung des Mittelwert und der Standardabweichung gehen von trendfreien und statistisch unabhängigen Beobachtungen aus, die unter entsprechenden Bedingungen erfasst wurden. Das Programm führt keinerlei Tests an den Daten durch, ob diese Bedingungen erfüllt sind. Der Benutzer ist deshalb dafür verantwortlich, geeignete Daten zur Verfügung zu stellen bzw. die Daten in geeigneter Weise vorher aufzubereiten.

Sind in einem Modell mehrere Größen vom Typ A, so erfolgt die Auswahl der beobachteten Größe am oberen Fensterrand. Bei besonders vielen Größen vom Typ A, vor allem bei sehr langen Bezeichnungen, erscheinen am oberen Rand auf der rechten Seite Rollpfeile, mit denen die gewünschte Größe gesucht werden kann.

8.1 Der Dialog *Beobachtungen einlesen*

Mit dem Befehl *Beobachtungen einlesen* (unter dem Menüpunkt *Extras*) können die Daten für eine beobachtete Größe (Typ A) aus der Zwischenablage oder einer Text-Datei mit passendem Format eingelesen werden (siehe Bild 55). Dabei werden die Werte gelesen, überprüft und in die Tabelle für die Beobachtungen geschrieben. Vorhandene Werte werden überschrieben.

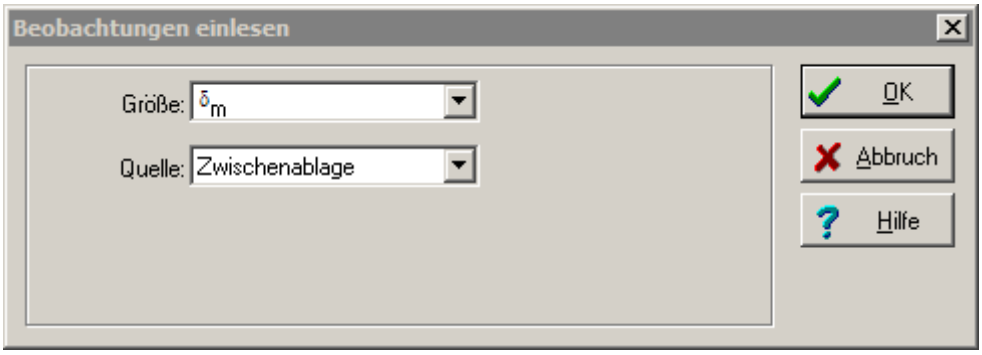


Bild 55: Dialog *Beobachtungen einlesen*

Um Werte z.B. aus MS Excel® zu übernehmen, wird in MS-Excel® die Spalte mit den Werten markiert und in die Zwischenablage kopiert. Danach werden die Daten in GUM Workbench eingelesen, indem der Befehl *Beobachtungen einlesen* im Menü *Extras* aufgerufen wird. Im Auswahlfeld *Größe* wird der Name der Größe vom Typ A ausgewählt, für die Werte in die Zwischenablage kopiert wurden. Im Auswahlfeld *Quelle* wird als Herkunft der Daten die *Zwischenablage* angegeben und mit *OK* bestätigt.

Alternativ kann als Herkunft auch *Textdatei mit Zahlen* ausgewählt werden, sofern die Daten in einer Datei stehen. Im Feld *Datei* muss ggf. der Dateiname angegeben werden. Die Schaltfläche ruft einen Dialog auf, um die Datei im Dateiverzeichnis zu suchen. Wählen Sie die Textdatei aus, in der die Beobachtungen gespeichert sind, die Sie einlesen wollen, und bestätigen Sie mit *OK*. Existiert die Datei nicht, wird eine Fehlermeldung ausgegeben.

8.1.1 Format der Text-Datei mit den Beobachtungen

Die Daten für Beobachtungen können aus Dateien eingelesen werden, die folgendes Format besitzen: Jede Zeile besteht aus einer entsprechend den Regeln für Zahlen aufgebauten Zahl.

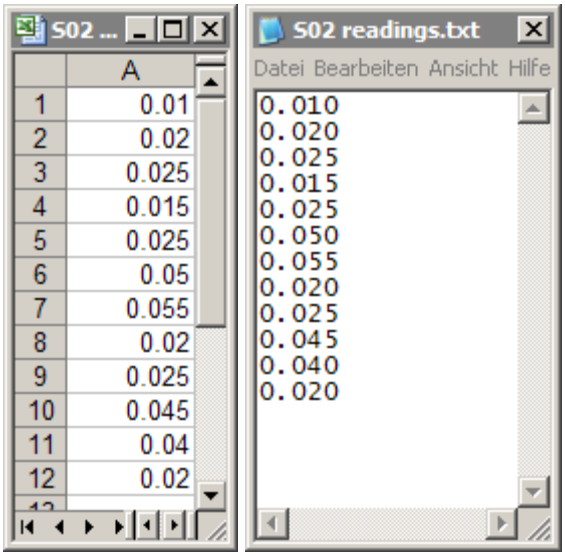
- Leerzeichen sind vor und hinter der Zahl zulässig.
- Eine Zeile darf maximal 255 Zeichen lang sein.
- Jede Zeile wird mit Wagenrücklauf (Return) beendet.
- Leerzeilen sind nicht zulässig.

 © 2009 Metrodata GmbH

Es werden maximal so viele Werte eingelesen, wie in der Anzahl an Beobachtungen vorgegeben wurde. Überzählige Werte werden ignoriert. Ist die Anzahl der Werte in der Textdatei kleiner als die Anzahl der Beobachtungen, werden entsprechend weniger Werte eingelesen. Ggf. werden Beobachtungsfelder nicht überschrieben oder bleiben leer.

8.1.2 Einfügen der Beobachtungen

In Bild 56 sind zwei Situationen zu sehen, in denen Daten von einer Spalte in MS Excel® (links) oder von einem Text-Editor (Mitte) eingelesen werden. Ebenso ist die Tabelle aus der Ansicht *Beobachtung* in GUM Workbench zu sehen (rechts), in der die Daten eingefügt worden sind. In diesem Beispiel wurden Daten für drei Beobachtungen mit der *Methode der Beobachtung SUUS* eingefügt.



Nr.	Hinweis	Ablesung	Beobachtung
1	Standard	0.010	
	Unbekannt	0.020	
	Unbekannt	0.025	
	Standard	0.015	0.0100 g
2	Standard	0.025	
	Unbekannt	0.050	
	Unbekannt	0.055	
	Standard	0.020	0.0300 g
3	Standard	0.025	
	Unbekannt	0.045	
	Unbekannt	0.040	
	Standard	0.020	0.0200 g

Bild 56: Beobachtete Werte in Excel, in einer Text Datei und in der Ansicht Beobachtung

Aus MS Excel® können die Daten über die Zwischenablage übertragen werden. Wählen Sie dazu das Kommando *Bearbeiten|Kopieren* in MS Excel® um die Daten in die Zwischenablage zu kopieren. Benutzen Sie dann das Kommando *Beobachtungen einlesen* mit der *Quelle Zwischenablage* um die Daten in GUM Workbench einzulesen. Beachten Sie, dass die Daten in MS Excel® in einer Spalte stehen müssen. Daten aus einer Textdatei können entweder über die Zwischenablage übertragen oder direkt aus der Datei eingelesen werden, falls sie geeignet formatiert sind.

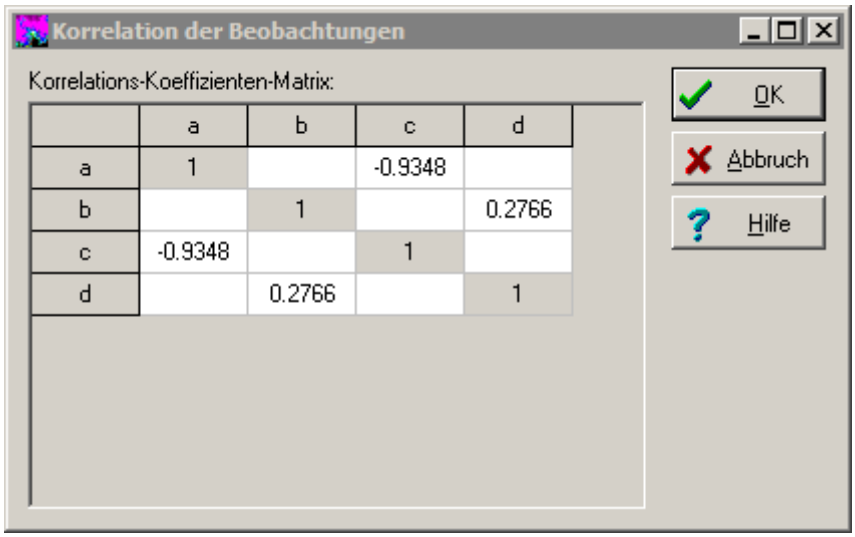
8.2 Korrelationsanalyse für Typ A

Mit dem Befehl *Korrelationsanalyse für Typ A* im Menü *Extras* werden die Korrelationen zwischen beobachteten Größen analysiert. Die Korrelationskoeffizienten werden paarweise nach folgender Formel berechnet.

$$r(q_i, q_j) = \frac{1}{(n-1)\cdot s(q_i)\cdot s(q_j)} \cdot \sum_{k=1}^{n} (q_{i,k} - \overline{q}_i)\cdot(q_{j,k} - \overline{q}_j) \qquad (4)$$

Eine Korrelationsanalyse kann nur für Messungen durchgeführt werden, für die der Wert der Standardabweichung durch mehrere Beobachtungen festgelegt wurde und deren Daten GUM Workbench zur Verfügung stehen. Das heißt, dass Größen vom *Typ A Schätzwert* oder *Typ A zusammengefasst* nicht für die Analyse verwendbar sind. Nur Größen vom *Typ A Experimentell* können in die Analyse eingehen.

Es ist eine weitere Voraussetzung für die Analyse, dass die Anzahl der Beobachtungen zweier Größen gleich ist und alle Werte dieser Größen gültig sind. Wenn z.B. fünf Größen A, B, C, D und E in einer Analyse vom *Typ A Experimentell* sind, wird keine Korrelationsanalyse durchgeführt, wenn alle Größen eine unterschiedliche Anzahl von Beobachtungen haben. Wenn A und B dieselbe Anzahl von Beobachtungen haben, aber C, D und E unterschiedliche, dann wird nur ein Koeffizient berechnet. Wenn A und B jeweils vier Beobachtungen und C und D jeweils fünf Beobachtungen haben, während E sechs hat, dann werden nur zwei Koeffizienten berechnet. Wenn alle fünf dieselbe Anzahl von Beobachtungen hat, werden zehn Koeffizienten berechnet.



	a	b	c	d
a	1		-0.9348	
b		1		0.2766
c	-0.9348		1	
d		0.2766		1

Bild 57: Korrelationsanalyse für Typ A der Daten in Tabelle 9

Die Matrix in der Bildschirmansicht in Bild 57 wurde aus den Daten in Tabelle 9 berechnet.

© 2009 Metrodata GmbH

Tabelle 9: Beispiel für korrelierte Beobachtungen

a	b	c	d
23.31	0.03678	0.3456	67.5
23.24	0.03681	0.3457	67.5
23.20	0.03685	0.3458	67.4
23.17	0.03684	0.3460	67.5
	0.03688		67.6

Warnung: Diese Analyse sollte nur durchgeführt werden, wenn durch zusätzliches Wissen bekannt ist, dass die Größen korreliert sind. Wird diese Analyse auf Daten angewandt, die dazu nicht geeignet sind, kann dies zu falschen Ergebnissen führen.

Ob eine Korrelationsanalyse in dieser Form sinnvoll ist, hängt von der Durchführung der Messung ab. Eine wichtige Voraussetzung ist, dass die Beobachtung der verschiedenen Größen gleichzeitig erfolgte.

8.2.1 Analyse

Um eine Analyse durchzuführen, aktivieren Sie den Befehl *Korrelationsanalyse für Typ A* im Menü *Extras*. Das Programm analysiert alle Größen vom Typ A und zeigt die berechneten möglichen Korrelationskoeffizienten in Form einer Matrix an. Der Korrelationskoeffizient wird mit vier Nachkommastellen angegeben.

Wenn entweder eine der beiden Größen eine abweichende Anzahl von Beobachtungen hat oder wenn die Korrelation sehr nahe an Null herankommt ($-0.005 < r < 0.005$), bleiben die Felder der Korrelationskoeffizienten leer.

Ungültig! sind Zellen, wenn nicht alle Beobachtungen für eine oder mehrere Größen eingegeben wurden. Selbst wenn nur eine Zelle in der *Matrix* ungültig ist, ist die Weiterarbeit mit *OK* nicht möglich; die Analyse muss abgebrochen werden, um die fehlenden Daten einzugeben.

8.2.2 Übertragen der Korrelationskoeffizienten

Mit Betätigen von *OK* im Dialog *Korrelation der Beobachtungen* werden die Werte nach einer Sicherheitsabfrage (siehe Bild 58) in die *Korrelations-Matrix* der Eingangsgrößen des Modells übernommen.

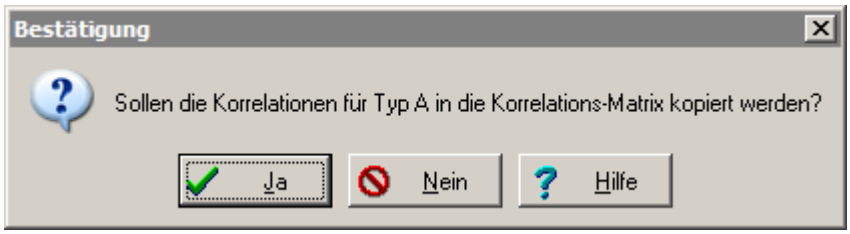


Bild 58: Bestätigung der Übertragung Koeffizienten in die Korrelationsmatrix

Bei der Übernahme werden alle Daten, die bereits in den Feldern der *Korrelations-Matrix* eingegeben waren, ohne eine weitere Warnung überschrieben. Beachten Sie, dass alle Felder, die in der Sub-Matrix leer waren, unverändert bleiben. Das gilt auch für alle Felder, deren Betrag kleiner als 0,005 ist.

Es werden immer alle Koeffizienten übernommen. Wenn der Anwender nur eine Auswahl an Koeffizienten in die *Korrelations-Matrix* übernehmen möchte, sollten sie von Hand übertragen werden.

8.2.3 Zukünftige Aktualisierungen

Die Korrelationskoeffizienten werden von den aktuellen Beobachtungsdaten abgeleitet, die in der Ansicht *Beobachtung* eingetragen sind. Die Funktion, die Korrelations-Submatrix zu übertragen, wirkt so, dass die Werte auf die Felder der *Korrelations-Matrix* in der Ansicht *Korrelation* einmal aufgeprägt werden. Wenn zu einem späteren Zeitpunkt neue Daten für Größen vom *Typ A Experimentell* eingegeben werden, sollte eine neue *Korrelationsanalyse für Typ A* durchgeführt werden. GUM Workbench passt die Werte der *Korrelations-Matrix* nicht automatisch an, falls die Datenbasis sich ändert, nachdem die Analyse durchgeführt wurde. Um dies zu erreichen, muss eine neue *Korrelationsanalyse für Typ A* durchgeführt und die ermittelten Daten in die Haupt-Matrix übertragen werden.

8.2.4 Wenn die Standardabweichung Null ist

Wie aus der Gleichung 4 zu ersehen ist, ist der Korrelationskoeffizient nicht berechenbar, wenn eine Standardabweichung null ist. Die Funktion ist dann nicht definiert und eine Fehlermeldung wird ausgegeben. In vielen Fällen kann man das dadurch vermeiden, dass man die Daten ein kleines bisschen im Rahmen der Rundungsgenauigkeit ändert, sodass die Standardabweichung ungleich Null wird.

 © 2009 Metrodata GmbH

9 Mehrere Ergebnisse

GUM Workbench Version 2.3 und 2.4 unterstützen die gleichzeitige Auswertung von mehreren Ergebnissen. Eine Mehrergebnisauswertung ist eine Auswertung, bei der es mehrere zum Teil unabhängige Ergebnisse gibt oder bei der für Zwischenergebnisse ein Budget erstellt werden soll.

Drei grafische Bedienelemente ermöglichen die Handhabung von Auswertungen mit mehreren Ergebnissen.

- In der Ansicht *Modell*, auf der Karteikarte *Größen - Daten*, sind bei Ergebnissen und Zwischenergebnissen Darstellungsoptionen vorhanden, die steuern, ob das jeweilige Ergebnis oder Zwischenergebnis in anderen Ansichten sichtbar ist.
- Die Ansicht *Budget* unterstützt die Darstellung von mehreren Budgets mit einer separaten Karteikarte für jedes Budget.
- Eine zusätzliche Ansicht *Ergebnis* zeigt die Zusammenfassung aller Ergebnisse und ggf. die Korrelationsmatrix zwischen den Ergebnissen.

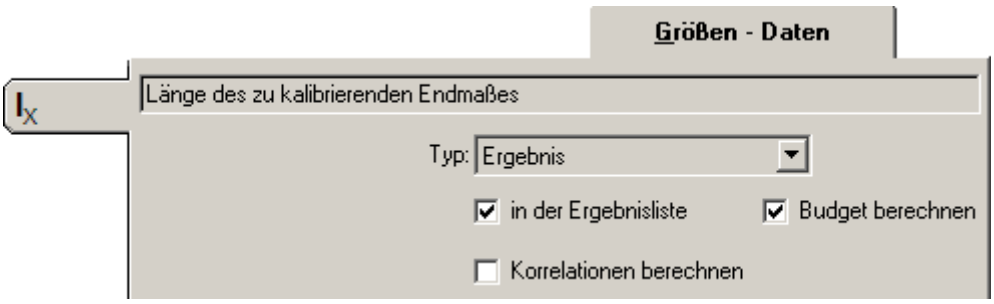


Bild 59: Darstellungsoptionen für Ergebnisse

9.1 Darstellungsoptionen für Ergebnisse

Mit den Darstellungsoptionen, die sich auf der Karteikarte *Größen - Daten* in der Ansicht *Modell* befinden, kann gesteuert werden, welche Ergebnisse und Zwischenergebnisse in den Ansichten *Budget* und *Ergebnis* dargestellt werden sollen (siehe Bild 59).

Mit den Optionen ist es möglich gezielt die Generierung z.B. der Budget-Tabellen zu steuern und Budgets auf die relevanten Größen zu beschränken. Die Darstellungsoptionen haben nur Einfluss auf die Darstellung der Daten. Die Rechnungen werden unabhängig von diesen Optionen immer gleich ausgeführt.

Diese Optionen steuern auch die Ausgabe im Bericht.

- Die Option *in der Ergebnisliste* steuert, ob ein Ergebnis oder Zwischenergebnis in der Tabelle auf der Karteikarte *Ergebnis* in der Ansicht *Ergebnis* aufgeführt wird. Nur wenn diese Option aktiviert ist, wird das Ergebnis dort eingetragen.
- Die Option *Budget berechnen* steuert, ob das Ergebnis oder Zwischenergebnis in der Ansicht *Budget* sichtbar ist. Ist die Option aktiviert, wird für das Ergebnis eine separate Budgettabelle erzeugt.
- Die Option *Korrelationen berechnen* steuert, ob das Ergebnis oder Zwischenergebnis in der *Korrelationsmatrix* für die Ergebnisse in der Ansicht *Ergebnis* aufgeführt wird. Diese Option kann nur ausgewählt werden, sofern die Option *in der Ergebnisliste* vorher aktiviert wurde.

Wenn die Option *in der Ergebnisliste* aktiviert ist und die Option *Budget berechnen* für das gleiche Ergebnis nicht aktiviert ist, sind unterhalb der Darstellungsoptionen zwei weitere Felder eingeblendet, mit denen festgelegt wird, wie die erweiterte Messunsicherheit berechnet und angegeben wird (siehe Bild 60).

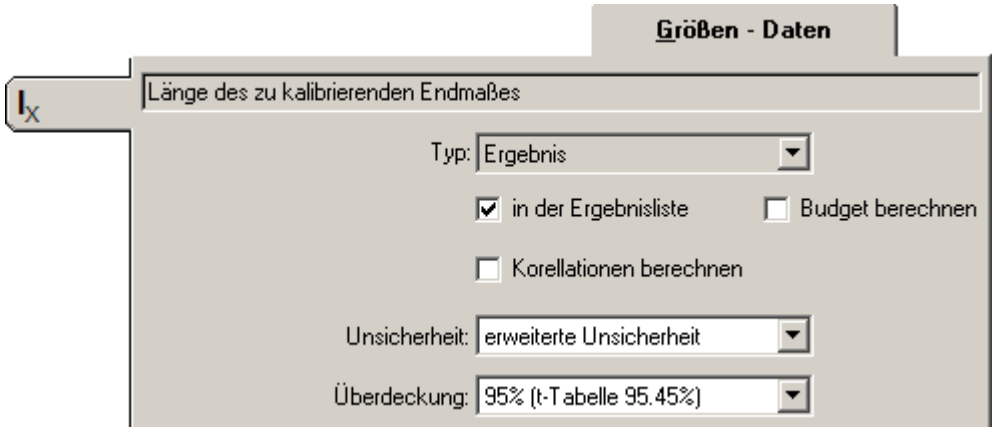


Bild 60: Darstellungsoptionen, wenn die Option *Budget berechnen* abgeschaltet ist

Im Feld *Unsicherheit* wird ausgewählt, wie die Messunsicherheit des Ergebnisses dargestellt werden soll. Zur Auswahl stehen: *erweiterte Unsicherheit*, *relative erweiterte Unsicherheit* und *relative erweiterte Messunsicherheit in %*.

Im Feld *Überdeckung* wird festgelegt, wie die Überdeckung ermittelt wird (siehe Abschnitt 5.4.1). Wird die Option *manuell* ausgewählt, erscheint ein weiteres Feld, in dem der *Erweiterungsfaktor* eingegeben werden kann.

Diese Felder korrespondieren mit den Feldern im Bereich *Ergebnis* in der Ansicht *Budget*, wenn die Option *Budget berechnen* aktiviert ist.

 © 2009 Metrodata GmbH

9.2 Die Ansicht für mehrere Budgets

In der Ansicht *Budget* steht für jedes Ergebnis oder Zwischenergebnis, dessen Option *Budget berechnen* aktiviert ist, eine separate Karteikarte mit einer Budgettabelle zur Verfügung, die mit dem Namen der Größe beschriftet ist. Durch Anwahl der entsprechenden Karteikarte kann die Budgettabelle eines jeden Ergebnisses angezeigt werden. Alle Budgettabellen, die hier angezeigt werden, werden auch im Bericht ausgedruckt.

Die Budgettabellen haben alle den gleichen Aufbau und die Spalten werden im Dialog *Einstellungen* kontrolliert (siehe Abschnitt 15.3). Die Reihenfolge der Größen wird im Dialog *Reihenfolge der Größen* global für alle Listen und Tabellen eingestellt.

Die *Überdeckung* wird für jedes Ergebnis getrennt gewählt. Die *erweiterte Messunsicherheit* wird nur aus der *Standardmessunsicherheit* des Ergebnisses und dem *Erweiterungsfaktor* berechnet. Alle Ergebnisse werden in dieser Rechnung als unabhängig betrachtet.

Hinweis: Es liegt in der Verantwortung des Benutzers eine geeignete Methode zu wählen, um die *Überdeckung* auszuwählen. In manchen Fällen kann es ratsam sein, statt der erweiterten Messunsicherheit nur die Standardmessunsicherheit zusammen mit einer Korrelationsmatrix anzugeben. Ggf. sollte für die Entscheidung darüber die *Korrelationsmatrix* in der Ansicht *Ergebnis* berücksichtigt werden.

9.3 Begrenzungen und Performanz

Die Anzahl der gleichzeitig berechenbaren Ergebnisse wird praktisch nur durch den zur Verfügung stehenden Speicher des Computers beschränkt. Die für die gleichzeitige Berechnung von Auswertungen mit vielen Ergebnissen (mehr als 20) benötigte Rechenzeit ist abhängig von der Leistungsfähigkeit des Computers und kann einige Sekunden bis hin zu Minuten betragen. Das Umschalten auf die Ansicht Budget kann dadurch verzögert werden. In diesen Fällen kann der Gebrauch der Schaltfläche *Letztes* sinnvoll sein, weil dabei auf das Budget umgeschaltet wird, ohne das Modell neu zu berechnen.

In einigen Fällen kann es sinnvoll sein, ein großes Budget auf mehre SMU-Dateien aufzuteilen und die Daten mit Hilfe von importierten Größen auszutauschen.

© 2009 Metrodata GmbH

10 Drucken und Export

GUM Workbench unterstützt die automatische Generierung von qualitativ hochwertigen Dokumenten und Berichten, mit denen Entscheidungen unterstützt werden können, die auf Messungen basieren. Der Standardbericht ist ein strukturiertes Dokument, das alle eingegebenen Informationen und alle berechneten Werte enthält. Zusätzlich kann der Inhalt auch in eine Datei als Rich Text Format oder HTML Format exportiert werden, die dann durch den Anwender nach seinen Bedürfnissen formatiert werden kann.

10.1 Automatische Dokumentation

Das Programm unterstützt an vielen Stellen Beschreibungsfelder. Sie sollten vom Anwender dazu benutzt werden, die Experimente zu kommentieren und Gründe für die verschiedenen Entscheidungen zu dokumentieren. Der Inhalt der Beschreibungsfelder wird automatisch entsprechend der Papiergröße formatiert. Tabelle 10 zeigt die Konventionen, wie die Formatierung von Text in Beschreibungsfeldern beeinflusst werden kann.

Tabelle 10: Formatierung der Beschreibungsfelder

Zeichenfolge	Beschreibung
einfacher Zeilenumbruch	Ein einfacher Zeilenumbruch wird wie ein Leerzeichen behandelt.
mehrfache Leerzeichen	Mehrfache Leerzeichen werden durch ein Leerzeichen ersetzt.
Doppelter Zeilenumbruch	Ein Doppelter Zeilenumbruch (leere Zeile) wird als Ende des Abschnitts interpretiert. Im Bericht wird ein extra Zwischenraum eingefügt.
`\n\`	Die Zeichenkette `\n\` wird als Zeilenumbruch interpretiert.
`\t\`	Die Zeichenkette `\t\` wird als Tabulatorzeichen interpretiert. Damit lassen sich einfache Tabellen erzeugen.
`\b+\` ... `\b-\`	Der Text zwischen `\b+\` und `\b-\` wird fett gedruckt.
`\i+\` ... `\i-\`	Der Text zwischen `\i+\` und `\i-\` wird kursiv gedruckt.
`\u+\` ... `\u-\`	Der Text zwischen `\u+\` und `\u-\` wird unterstrichen.
`\rm+\` ... `\rm-\`	Der Text zwischen `\rm+\` und `\rm-\` wird mit Times New Roman Zeichensatz gedruckt.
`\ss+\` ... `\ss-\`	Der Text zwischen `\ss+\` und `\ss-\` wird mit Arial Zeichensatz gedruckt.

10.2 Dokument-Informationsfelder

Die Dokument-Informationsfelder sind zusätzliche Textfelder zur Verbesserung der Dokumentation der Messunsicherheitsauswertungen. Die vier Informationsfelder befinden sich auf

 © 2009 Metrodata GmbH

der Karteikarte *Allgemein* in der Ansicht *Modell* unterhalb des Feldes *Titel* (siehe Bild 61). Die Nutzung ist optional.

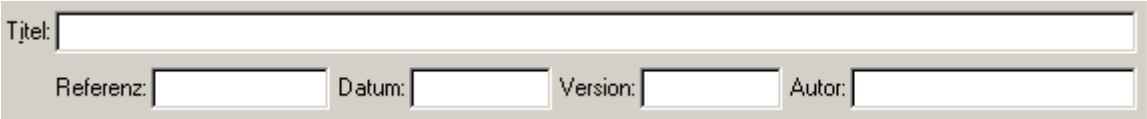


Bild 61: Dokument Informationsfelder

Das Feld *Referenz* ist für eine kurze Zeichenkette gedacht, mit der auf die Messunsicherheitsauswertung Bezug genommen werden kann. Das kann z.B. eine Nummer oder eine Abkürzung sein. Im Standardbericht wird der Inhalt dieses Feldes in die obere linke Ecke fett gedruckt (siehe Bild 62).

Das Feld *Datum* enthält das Datum, an dem die Auswertung durchgeführt wurde. Abhängig von der Konfiguration im Dialog Einstellungen (siehe Abschnitt 15.1) ist das Feld entweder automatisch das Datum, an dem die Auswertung als letztes geändert wurde, und kann vom Anwender nicht geändert werden, oder der Anwender kann hier ein gültiges Datum entsprechend dem eingestellten Format eingeben.

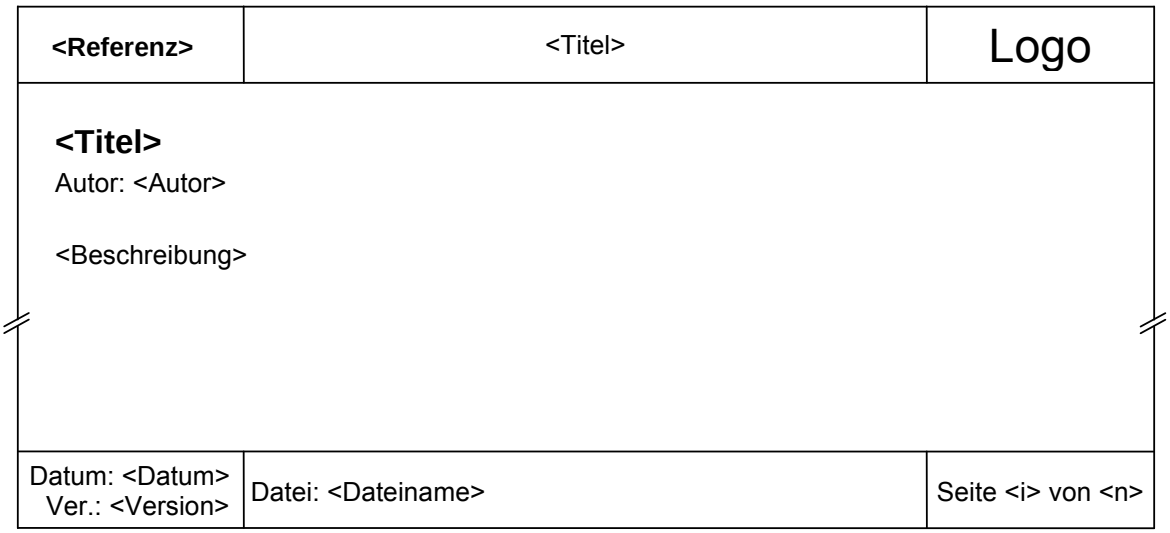


Bild 62: Struktur der Berichtsseiten

Das Feld *Version* soll die Unterscheidung von verschiedenen Versionen einer Messunsicherheitsauswertung unterstützen. Der Inhalt des Feldes wird im Standardbericht zusammen mit der Beschriftung "Ver.:" in die untere linke Ecke unterhalb des Datums gedruckt (siehe Bild 62).

Mit dem Feld *Autor* kann der Autor einer Messunsicherheitsauswertung verwaltet werden. Im Standardbericht wird der Inhalt dieses Feldes zusammen mit der Beschriftung "Autor" auf die erste Seite unterhalb des Titels gedruckt. Wenn das Feld leer ist, wird die Zeile nicht gedruckt.

10.3 Der Befehl *Bericht drucken*

Mit dem Befehl *Bericht drucken* im Menü *Datei* wird ein Protokoll erstellt, das alle eingegebenen Daten und Beschreibungen und das Messunsicherheits-Budget enthält. Sprache und Formatierung für den Bericht werden im Dialog *Einstellungen* im Menü *Optionen* eingestellt (siehe Abschnitt 15.2 für weitere Details).

Der Bericht kann vor dem Ausdrucken in der Voranzeige betrachtet werden (siehe Bild 63).

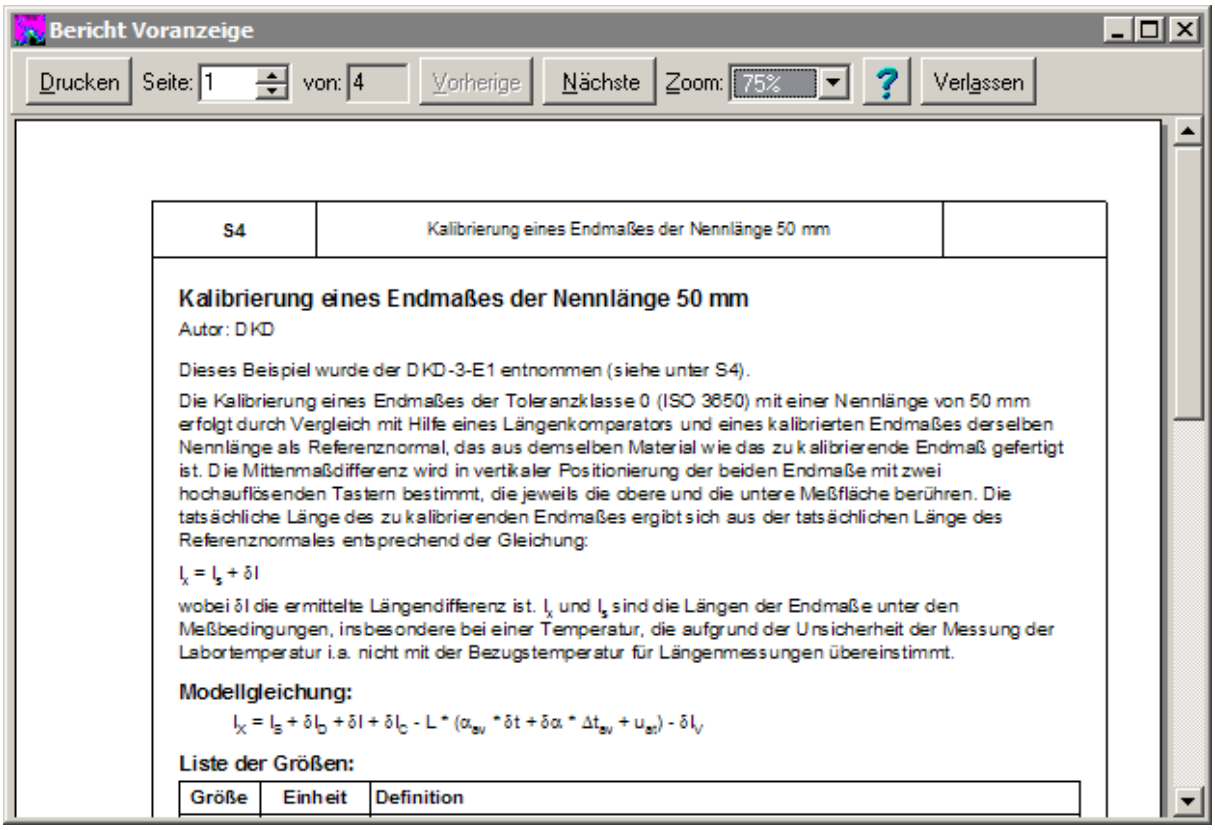


Bild 63: Voranzeige für den Bericht

Mit der Schaltfläche *Drucken* wird - nach einem weiteren Dialog *Drucken* - der Bericht ausgedruckt und die Voranzeige geschlossen.

Der Seitenzähler zeigt die aktuelle Seitennummer und die Anzahl der Seiten an. Mit den Schaltflächen *Vorherige* und *Nächste* kann in der Voranzeige seitenweise geblättert werden. Im Feld *Zoom* wird der Vergrößerungsfaktor für die Anzeige eingestellt. Mit der Schaltfläche *Verlassen* wird die Voranzeige geschlossen, ohne den Bericht zu drucken.

Anhang J zeigt den Ausdruck eines kompletten Berichts, wie er mit GUM Workbench erstellt werden kann.

Papierformat und Ausrichtung: Bitte beachten Sie, dass der Bericht standardmäßig auf Papier im DIN A 4 Format oder in einem US Format gedruckt werden kann. Außerdem kann zwischen Hoch- und Querformat gewählt werden (siehe Abschnitt 15.2). Wird ein anderes

 © 2009 Metrodata GmbH

Papierformat benötigt, sollte der Dialog *Export* im Menü *Extras* benutzt werden um den Inhalt des Berichts in eine Textverarbeitung zu exportieren (siehe Abschnitt 10.4). Der Bericht kann dann beliebig bearbeitet und gedruckt werden.

10.3.1 Der Dialog *Drucker einrichten*

Der Dialog *Drucker einrichten* im Menü *Datei* dient dazu den Drucker für den Bericht auszuwählen. Er zeigt eine Liste der installierten Drucker an, legt den Standarddrucker fest und stellt weitere Druckoptionen für den gewählten Drucker zur Verfügung.

Für weitere Informationen sehen Sie bitte in Ihrem Druckerhandbuch oder in der Windows Dokumentation nach.

Die Auswahl der Druckoptionen sollte mit dem Papierformat im Dialog *Einstellungen* (Menü *Optionen*) übereinstimmen (siehe Abschnitt 15.2).

10.3.2 Auswahl des Druckbereichs

Im Dialog *Bericht Voranzeige* wird mit der Schaltfläche *Drucken* der Bericht auf dem aktuellen Drucker ausgegeben. Zuvor wird im Dialog *Drucken* der Bereich ausgewählt, der gedruckt werden soll (siehe Bild 64).

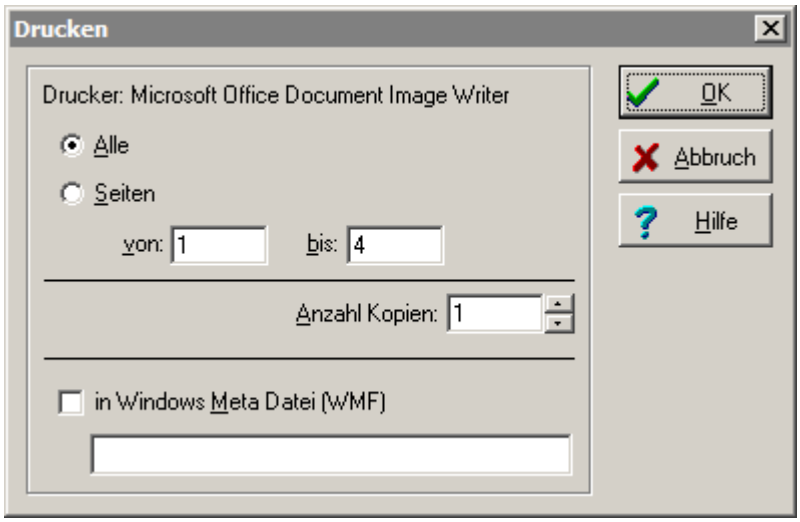


Bild 64: Dialog zur Auswahl des Druckbereichs

Außerdem können folgende Optionen ausgewählt werden:

- Mit der Option *Alle* werden alle Seiten ausgedruckt.
- Mit der Option *Seiten* wird ein Bereich ausgedruckt, der in den Feldern *von* und *bis* anzugeben ist.
- Mit der Option *in Windows Meta Datei (WMF)* kann die Ausgabe in eine Datei umgeleitet werden. In dem Feld unterhalb dieser Option muss ein Dateiname

angegeben werden, der entweder die Erweiterung ".WMF" oder ".EMF" haben muss, je nach dem welches Format die Datei haben soll. Für jede Seite wird eine eigene Datei erzeugt, indem in den vorgegebenen Dateinamen vor der Erweiterung die Zeichenkette "_p<i>" eingefügt wird, wobei <i> durch 0,1,…,n–1 für n Seiten ersetzt wird.

Mit *OK* wird der Ausdruck gestartet.

10.3.3 Berichtsoptionen

Die Anzahl und Reihenfolge der Absätze können im Standardbericht nicht abgeändert werden. Für den Ausdruck des Berichts kann im Menü *Optionen* mit dem Dialog *Einstellungen* das Papierformat DIN A4 im Hoch- (Portrait) oder Querformat (Landscape) und das Format US Letter im Hochformat (Portrait) festgelegt werden (siehe Abschnitt 15.2). Außerdem kann in den *Einstellungen* bestimmt werden, welche Spalten des Budgets während der Unsicherheitsanalyse und damit auch im Bericht dargestellt werden sollen.

Es ist möglich den Bericht an spezielle Bedürfnisse anzupassen, indem eine spezifische Steuerdatei erstellt und installiert wird. Wenn Sie entsprechenden Bedarf haben, wenden Sie sich bitte an die Firma Metrodata GmbH.

10.3.4 Einfügen eines Logos in die Berichtsseiten

GUM Workbench verfügt über eine einfache Möglichkeit ein Logo in den Standardberichts einzufügen. Es wird dann automatisch auf jede Seite gedruckt.

10.3.4.1 Voraussetzungen

- Das Logo muss als Bitmap-Datei (.BMP) oder als JPEG-Datei (.JPG) vorhanden sein.
- Das Logo muss in die vorgesehene Fläche von 30 mm Breite mal 10 mm Höhe passen.

10.3.4.2 Das Logo einfügen

Folgende Schritte sind notwendig, damit ein Logo mit dem Report ausgedruckt wird:

1. Die Logo-Datei (entweder ".BMP" oder ".JPG") muss in das Unterverzeichnis `.\etc\` unterhalb des GUM Workbench Installationsverzeichnisses (normalerweise `C:\Programme\GUM Workbench ...\`) kopiert werden. Der Standardname ist `LOGO.BMP` bzw. `LOGO.JPG`.

2. Die Datei `etc\LOGO.TXT` muss bearbeitet werden. Die Datei enthält wichtige Informationen über die Größe des Logos und den Speicherort der Logo-Bilddatei. GUM Workbench erkennt anhand der Erweiterung des Dateinamens, ob es sich um

 © 2009 Metrodata GmbH

eine Bitmap- oder eine JPEG-Datei handelt. Alle Zeilen, die mit einem Semikolon beginnen, werden ignoriert. Die relevanten Zeilen stehen im Abschnitt `[Logo]`:

```
[Logo]
width=250
height=50
filename='etc\LOGO.bmp'
```

Die Größe, auf die das Logo gedruckt werden soll muss in 1/10 mm angegeben werden (width=250 bedeutet Breite = 25,0 mm; height=50 bedeutet Höhe = 5,0 mm). Der Dateiname muss mit einem Pfad relativ zum GUM Workbench Verzeichnis angegeben werden (`filename='etc\LOGO.bmp'` bedeutet, dass die Bitmap-Datei `LOGO.bmp` im Unterverzeichnis `.\etc\` zu finden ist.
Existiert die Datei nicht, so wird einfach kein Logo gedruckt.

Sobald die Logo-Datei existiert und die Angaben in der Datei `.\etc\LOGO.TXT` angepasst wurden, wird das Logo auf jede Seite oben links zentriert um den Punkt 185,0 mm vom linken Seitenrand und 20,0 mm vom oberen Seitenrand in das Rechteck mit den Maßen 30 mm mal 10 mm gedruckt.

10.3.4.3 Problemlösungen

Wenn kein Logo gedruckt wird, kann das folgende Ursachen haben:

- Die Logo-Bilddatei (`LOGO.BMP` oder `LOGO.JPG`) existiert nicht an der Stelle, die in `LOGO.TXT` angegeben ist oder sie hat ein falsches Format. Das Format muss mit der Erweiterung angegeben werden (.BMP oder .JPG).
- Der Eintrag `filename=` in der Datei `LOGO.TXT` ist nicht korrekt, oder die Höhe oder Breite ist Null.
- Die Datei `LOGO.TXT` existiert nicht oder hat ein falsches Format.

10.4 Der Dialog *Export*

Die für die Unsicherheitsanalyse eingegebenen Daten, das Budget und das Ergebnis können für eine weitere Verarbeitung in die Zwischenablage oder in eine Datei ausgegeben werden. Der Befehl ist für die Ausgabe in eine Textverarbeitung (z.B. MS Word®) gedacht, um einen individuellen Bericht erstellen zu können.

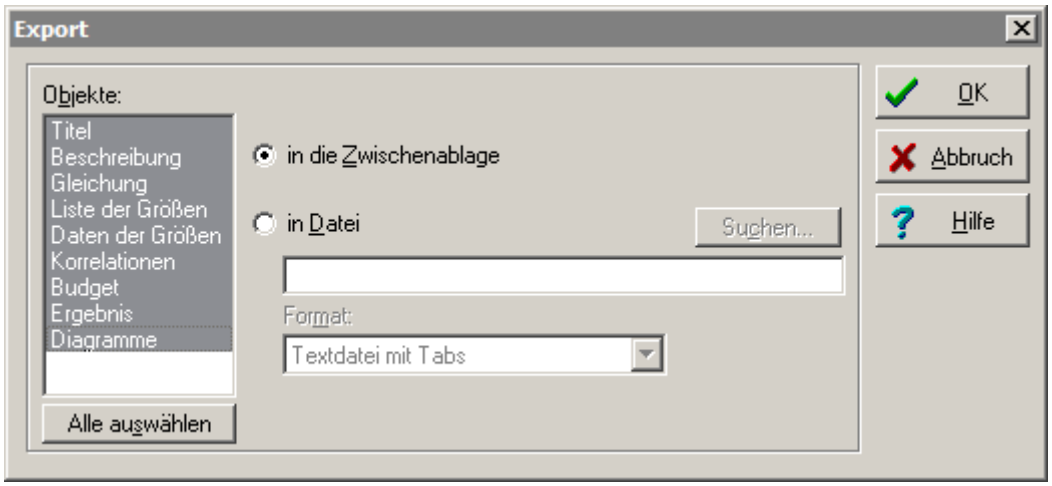


Bild 65: Dialog *Export* mit allen *Objekten* ausgewählt

Die Sprache für den Export wird im Dialog *Einstellungen* (Menü *Optionen*) eingestellt.

Um die Daten zu exportieren, muss der Dialog *Export* im Menü *Extras* aufgerufen werden (siehe Bild 65). Im Auswahlfeld *Objekte* sind dann die Teile der Untersuchung entsprechend Tabelle 11 auszuwählen, die exportiert werden sollen.

Tabelle 11: Liste der Export-Objekte

Objekt	**Beschreibung**
Titel	Titel der Messunsicherheitsbetrachtung
Beschreibung	Inhalt des Feldes allgemeine Beschreibung
Gleichung	Inhalt des Feldes Gleichung
Liste der Größen	Liste aller Größen mit der Einheit und der Definition
Daten der Größen	Alle eingegebenen Daten und Beschreibungen
Korrelationen	Korrelationsmatrix und Beschreibung
Budget	Messunsicherheitsbudgets in Tabellenform
Ergebnis	Ergebnisse der Analyse mit erweiterter Messunsicherheit und Überdeckungsfaktor und optionaler Korrelationsmatrix zwischen den Ergebnissen
Diagramme	Version 2.4 kann die Diagramme (Abschnitt 14) im RTF-Format als eingebettete Metafile-Objekte exportieren

Die Auswahl mehrerer Objekte in Reihe erfolgt mit gedrückter Umschalt-Taste. Die Auswahl einzelner Objekte erfolgt mit gedrückter Strg-Taste. Mit der Schaltfläche *Alle auswählen* werden alle Objekte ausgewählt.

Die Option *in die Zwischenablage* ist zu aktivieren, wenn die Daten mit Hilfe der Zwischenablage übertragen werden sollen.

Mit der Option *in Datei* wird eine Datei erstellt, deren Name im darunter liegenden Feld eingegeben werden muss. Dabei wird das im Feld *Format* eingestellte Format verwendet. Mit

 © 2009 Metrodata GmbH

der Schaltfläche *Suchen* kann im Dateisystem nach einem geeigneten Dateinamen bzw. Dateipfad gesucht werden.

Mit *OK* werden die Daten in das angegebene Ziel exportiert.

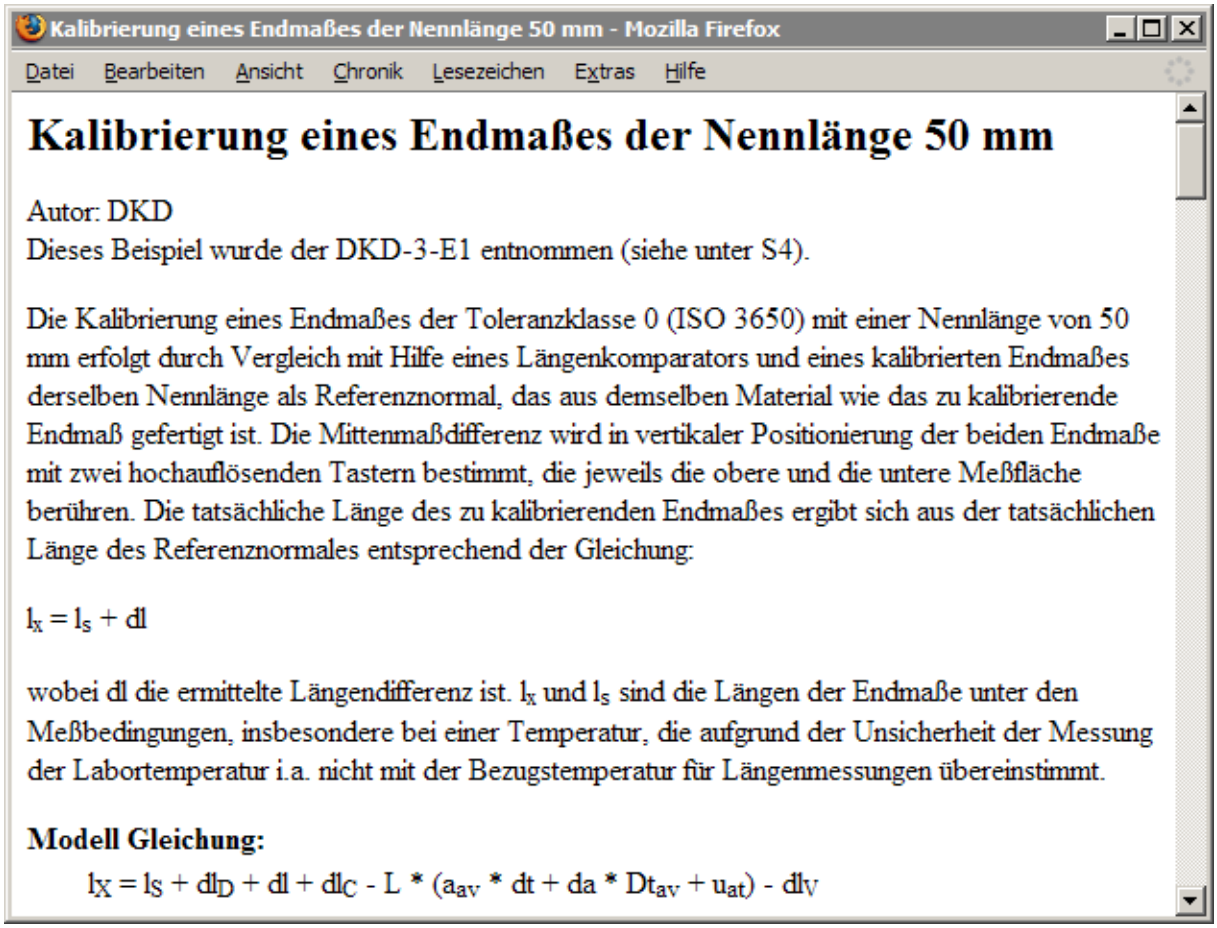


Bild 66: Exportierte HTML-Datei, angezeigt im Internet Browser

Bild 66 zeigt den Inhalt einer im HTML Format exportierten Datei in einem Internet Browser.

Bild 67 zeigt die die gleiche Auswertung exportiert als Datei im RTF Format und dargestellt im Microsoft Word Viewer.

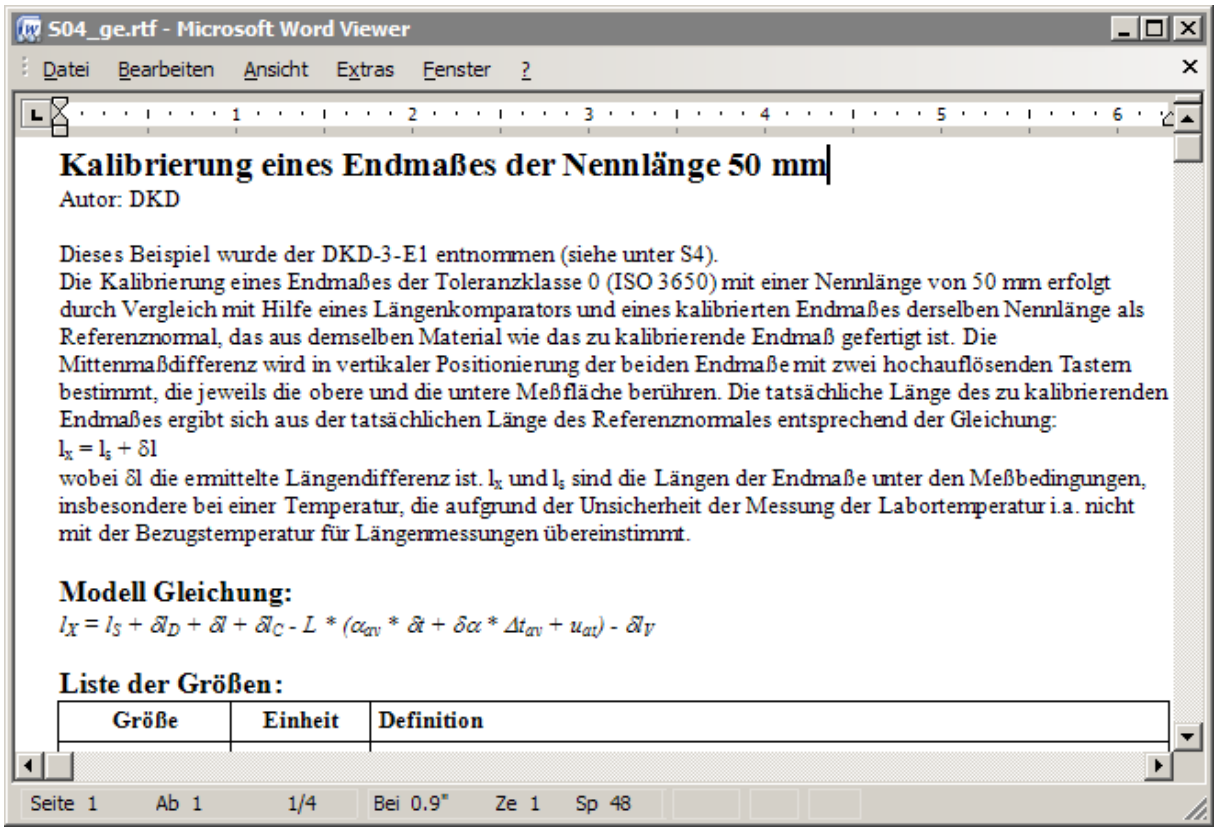


Bild 67: Exportierte RTF-Datei, dargestellt mit dem Microsoft Word Viewer

10.4.1 Export über die Zwischenablage

Beim Export von Daten über die Zwischenablage werden alle Formate parallel exportiert und die Anwendung, die die Daten ausliest, entscheidet, welches Format sie verwenden will. Üblicherweise wird das Format gewählt, bei dem die Formatierungen weitgehend erhalten bleiben. Sofern die Anwendung das Rich Text Format unterstützt, wird beim Export von GUM Workbench dieses Format verwendet.

Textverarbeitungen wie MS Word® o.ä. unterstützen üblicherweise ein Befehl bei dem das Format ausgewählt werden kann, in dem die Daten übertragen werden (*Inhalte einfügen*).

Beim Export der Daten in eine Tabellenkalkulation (wie z.B. MS Excel®) sollte man beachten, dass GUM Workbench, unabhängig vom verwendeten Format, alle Zahlen immer zusammen mit der entsprechenden Einheit ausgibt. Die Tabellenkalkulation kann üblicherweise Zahlen aber nicht als solche erkennen, wenn gleichzeitig eine Einheit angegeben wird. Man muss entweder alle Felder für die Einheiten leer lassen, oder aber man kann für den Export nach MS Excel® den in Abschnitt 17.1 beschriebenen Experten *Export2Excel2* verwenden.

 © 2009 Metrodata GmbH

11 Laden und Speichern von Dateien

GUM Workbench® speichert Messunsicherheitsauswertungen in Textdateien mit der Erweiterung ".SMU". SMU-Dateien haben eine interne Struktur, die auf der Struktur der Windows INI-Dateien basiert. Es existieren verschiedene Versionen der Dateistruktur (1 – 4), die alle aufwärtskompatibel sind. Version 1.3 und 2.3 lesen alle Strukturen bis zur Version 3 und Version 2.4 ließt alle Dateistrukturen bis Version 4. Der Unterschied zwischen Dateistruktur 3 und 4 ist, dass die Struktur 4 Bilder und Diagramme enthalten kann, während die Struktur 3 diese noch nicht unterstützt.

GUM Workbench Version 1.3 und 2.3 verwenden beim Schreiben immer die Struktur 3. GUM Workbench Version 2.4 verwendet so lange die Struktur 3, wie der Anwender keinen Gebrauch von den neuen Möglichkeiten macht (also weder Bilder, noch Diagramme, noch die Monte Carlo Simulation verwendet), andernfalls wird Struktur 4 verwendet. Es ist also eingeschränkt möglich, mit Version 2.3 und Version 2.4 die gleichen Dateien zu bearbeiten. Ggf. kann man auch den im Abschnitt 17.2 beschriebenen Experten *SaveAsVer3* benutzen.

11.1 Der Befehl *Speichern*

Um eine Analyse beliebig wiederholen zu können, wird sie in einer Datei gespeichert. Dabei werden alle Eingaben gesichert. Das Speichern erfolgt mit dem Befehl *Speichern* oder *Speichern unter* im Menü *Datei*. Klicken Sie in der Symbolleiste auf die Schaltfläche , um ein Dokument auf einfache Weise mit seinem Namen und Pfad zu speichern. Wenn keine Analyse geladen wurde, d.h. das Feld für den Dateinamen in der Statuszeile leer ist, wird immer der Dialog *Speichern unter* aufgerufen. Als Name kann jeder gültige Dateiname benutzt werden, der die Erweiterung ".SMU" oder ".SMT" (Vorlagenformat siehe Abschnitt 20) besitzt.

Wird keine Erweiterung angegeben, wird automatisch ".SMU" ergänzt. Wurde zuvor eine Analyse geladen, werden mit dem Befehl *Speichern* alle Eingaben in die geladene Datei ohne Dialog geschrieben. Vor dem Überschreiben wird eine existierende Datei immer in eine Datei mit der Erweiterung ".BAK" umbenannt. Eine existierende BAK-Datei wird gelöscht.

Ist eine Datei schreibgeschützt, kann sie nicht überschrieben werden. Der Versuch, eine schreibgeschützte Datei zu speichern, wird mit einer Fehlermeldung abgebrochen.

GUM Workbench zeigt den Zustand *geändert* im rechten Feld in der Statuszeile an, sobald etwas an der geladenen Auswertung verändert wurde.

Beachten Sie, dass ein ungültiges Gleichungsfeld den Befehl *Speichern* unmöglich macht. Wenn der Cursor im Gleichungsfeld platziert wurde und der Inhalt dieses Feldes

mathematisch nicht korrekt ist, kann die SMU-Datei nicht gespeichert werden. Der Inhalt muss erst korrigiert werden. Dann ist das Speichern möglich.

11.2 Die Option *Schreibschutz*

Soll eine gespeicherte Unsicherheitsanalyse gegen versehentliches Überschreiben geschützt werden, kann im Menü *Optionen* die Option *Schreibschutz* aktiviert werden. Damit wird nach einer Sicherheitsabfrage das Schreibschutzattribut der Datei gesetzt. Die Datei kann nicht überschrieben werden, solange sie schreibgeschützt ist.

Wenn eine Datei geladen wird, die schreibgeschützt ist, wird die Option *Schreibschutz* im Menü *Optionen* mit einem Häkchen markiert. Durch Deaktivieren dieser Option wird nach einer Sicherheitsabfrage der Schreibschutz wieder entfernt.

Diese Option sollte verwendet werden, um Analyse-Schablonen, die den Ausgangspunkt für wiederholte Analysen bilden, vor Überschreiben zu schützen. Als Alternative kann man für diesen Zweck auch spezielle Vorlagen-Dateien verwenden (siehe Abschnitt 20).

11.3 Der Befehl *Speichern unter*

Wenn Sie den Befehl *Speichern unter* im Menü *Datei* wählen, wird der Windows Dialog *Speichern unter* angezeigt. In diesem Dialogfeld können Sie den Namen und den Pfad festlegen, unter dem Sie die aktive Messunsicherheitsauswertung speichern wollen. Schreibgeschützte Dateien können jedoch nicht überschrieben werden. Der Versuch, in eine schreibgeschützte Datei zu speichern, wird mit einer Fehlermeldung abgebrochen.

11.3.1 Dateiname

Geben Sie einen neuen Dateinamen ein, um ein Modell mit einem anderen Namen oder Pfad zu speichern. Möchten Sie eine Datei unter einem bestehenden Dateinamen speichern, wählen Sie den Namen aus der Liste, oder geben Sie den betreffenden Namen ein. Wenn Sie die Schaltfläche *OK* betätigen, fragt das Programm, ob Sie das bestehende Dokument überschreiben möchten. Ein Dateiname kann mit einer Erweiterung aus bis zu drei Buchstaben enden, andernfalls wird ".SMU" ergänzt.

11.3.2 Datei Typ

Wählen Sie das Dateiformat aus, in dem das Modell gespeichert werden soll. Das Standardformat ist `*.SMU`. Alternativ können auch Vorlagen-Dateien im SMT-Format gespeichert werden (siehe Abschnitt 20).

 © 2009 Metrodata GmbH

11.4 Der Befehl *Öffnen*

Mit dem Befehl *Öffnen* im Menü *Datei* kann eine bestehende Unsicherheitsanalyse geöffnet werden. Klicken Sie in der Symbolleiste auf die Schaltfläche , um ein Dokument auf einfache Weise zu öffnen.

11.4.1 Dateiname

Im Feld *Dateiname* wird der Name der Analyse, die geöffnet werden soll, eingegeben oder aus der Dateiliste ausgewählt. In der Dateiliste werden nur Dokumente mit der im Feld *Dateityp* gewählten Dateinamenerweiterung angezeigt.

11.4.2 Dateityp

Im Feld *Dateityp* wird der Typ der Dateien festgelegt, die in der Dateiliste angezeigt werden. Das Standardformat ist SMU. Alternativ können auch Vorlagendateien (Typ SMT, siehe Abschnitt 20) geladen werden, um sie zu bearbeiten. Das Laden unterscheidet sich vom Benutzen einer Vorlage. Die Benutzung der Vorlagen erfolgt im Menü unter *Datei*|*Neu*|*Vorlagen*.

12 Grafiken und Bilder

GUM Workbench Version 2.4 unterstützt das Einbetten von Bildern und Grafiken in den Bericht.

12.1 Voraussetzungen

- Die Bilder und Grafiken müssen in einem der folgenden Formate vorliegen: Bitmap-Datei (BMP), JPEG-Datei (JPG), PNG-Datei (PNG) oder Metafile (WMF, EMF).
- Die Verarbeitung von Bildern erfordert eine ausreichende Speicherausstattung (> 1GB).

12.2 Benutzerschnittstelle

Die Einbettung von Grafiken und Bildern erfolgt auf zusätzlichen Karteikarten, die sich neben den Beschreibungsfeldern auf der Karteikarte *Allgemein* in der Ansicht *Modell* befinden (siehe Bild 68).

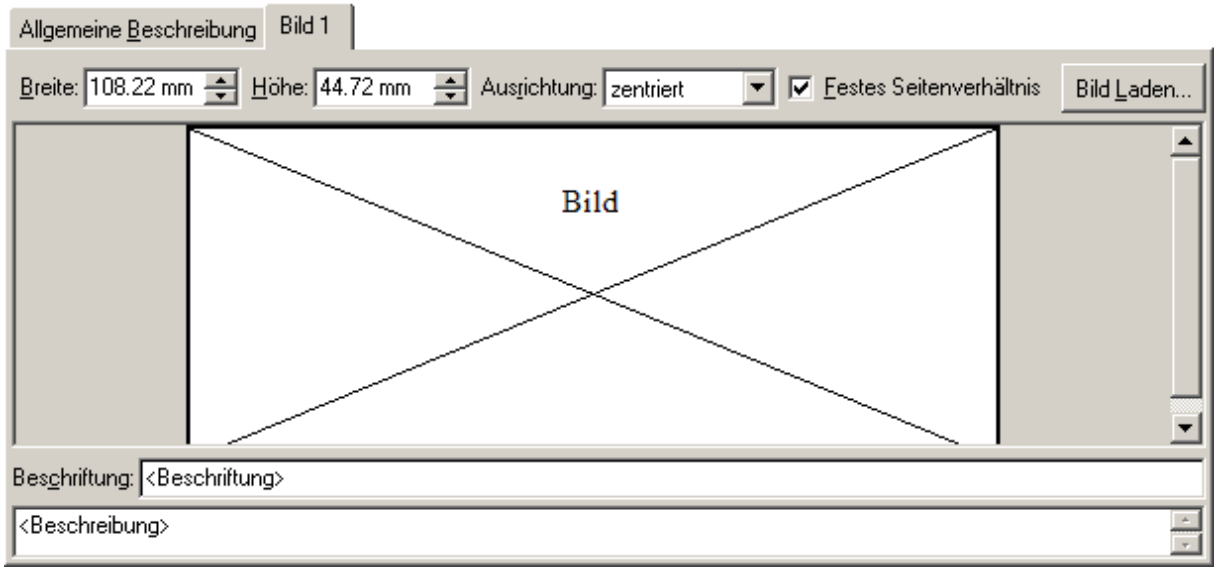


Bild 68: Die Karteikarte zur Verwaltung eines Bildes.

Mit der Schaltfläche Bild Laden wird der Dialog zum Bearbeiten des Bildes aufgerufen. Ein Bild kann entweder aus einer Datei geladen oder über die Zwischenablage kopiert werden.

Nach dem Laden kann die Größe des Bildes so geändert werden, wie es für den Bericht gewünscht ist. Die Größe der Anzeige entspricht ungefähr der Größe im Bericht. Das Feld *Ausrichtung* gibt an, wie das Bild auf der Seite im Bericht ausgerichtet wird.

Unterhalb des Bildes kann im Feld *Beschriftung* das Bild beschriftet werden. Der Inhalt des Feldes wird wie das Bild ausgerichtet und fett unter das Bild gedruckt. Außerdem steht ein weiteres Beschreibungsfeld zur Verfügung, dessen Inhalt unter die Beschriftung gedruckt wird.

 © 2009 Metrodata GmbH

Mit Hilfe des Menüs *Bild* können eingebettete Bilder gelöscht, vertauscht oder weitere Bilder hinzugefügt werden.

12.2.1 Der Dialog *Bild Laden*

Bild 69 zeigt den Dialog *Bild Laden*. Das Bild kann entweder mit der Schaltfläche *Laden* aus einer Datei geladen werden oder mit der Schaltfläche *Einfügen* aus der Zwischenablage entnommen werden. Die Schalfläche *Löschen* löscht das Bild. Das geladene Bild wird in der Voranzeige dargestellt und mit *OK* in die Auswertung übernommen. Mit *Abbruch* wird der Dialog beendet ohne die Auswertung zu ändern.

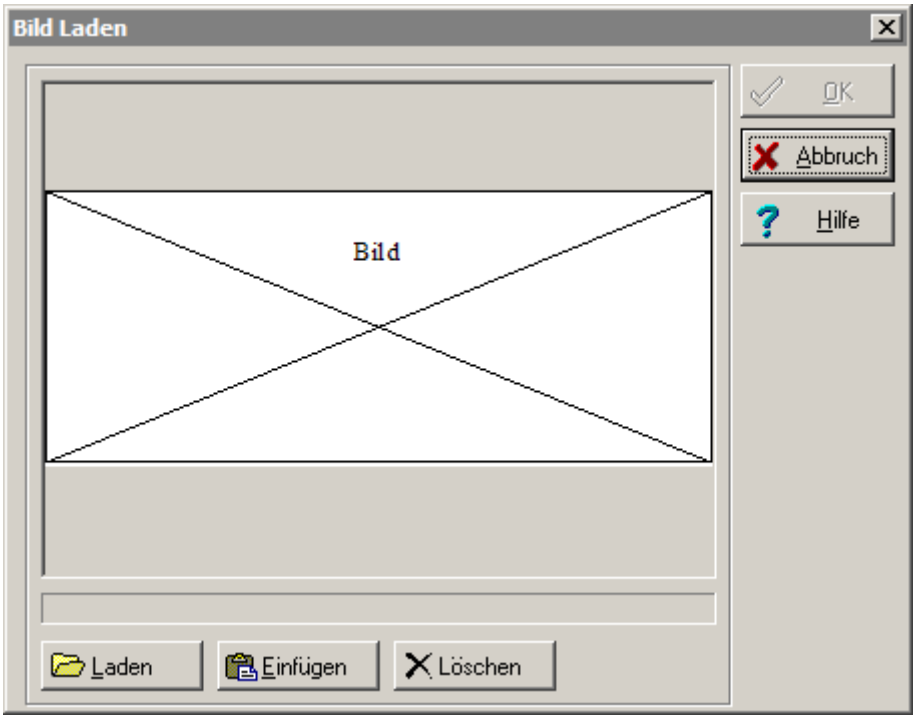


Bild 69: Bild Laden Dialog

Tabelle 12 zeigt die unterstützten Bild- und Grafikformate.

Tabelle 12: Unterstützte Bild- und Grafikformate

Format	Beschreibung	Erweiterung
JPEG	Komprimiertes Grafikformat der Joint Photographic Experts Group, nützlich für Fotos und Diagramme	`*.jpg`, `*.jpeg`
Bitmap	Bitmap Grafikformat, nützlich für kleine Grafiken	`*.bmp`
PNG	Portable Network Graphics Format mit verlustfreier Bildkompression	`*.png`
Metafile	Windows-Metafile-Format, Standardformat der Zwischenablage	`*.wmf`
Erw. Metafile	Erweiterte Version des Windows-Metafile-Formats	`*.emf`

12.3 Das Menü *Bild*

Bilder werden mit dem Menü *Bild* verwaltet. Tabelle 13 gibt einen Überblick über die unterstützten Befehle im Menü Bild.

Tabelle 13: Befehle im Menü *Bild*

Menü-Befehl	Beschreibung
Bild anfügen	Fügt ein zusätzliches Bild am Ende an
Bild entfernen	Löscht das dargestellte Bild
Bild einfügen	Fügt ein neues Bild an der dargestellten Stelle ein
Bild vertauschen	Vertauscht das dargestellte Bild mit dem rechts daneben liegenden.
Bild laden …	Öffnet den Bild laden Dialog

12.4 Bilder drucken

Bilder werden im Bericht unterhalb des Inhaltes des Feldes *Allgemeine Beschreibung* gedruckt. Jedem Bild ist eine weitere Beschreibung zugeordnet, die unter das Bild gedruckt wird. Das ermöglicht es, einen Bericht zu erstellen, in dem sich Bilder und Text abwechseln.

Bild 70 zeigt den Aufbau der ersten Seite eines Berichtes mit einem Bild. Unterhalb des Titel und der Autorzeile wird die *Allgemeine Beschreibung* gedruckt, gefolgt von Bild 1 und der Beschreibung von Bild 1. Danach folgt der Rest der Messunsicherheitsauswertung.

12.5 Mehrere Bilder

Dem Beschreibungsfeld *Allgemeine Beschreibung* und dem Feld *Beschreibung* auf der Karteikarte *Daten - Größen* können jeweils mehrere Bilder zugeordnet werden. Neben jeder Beschreibung existiert automatisch eine leere *Bild*-Karteikarte, die auch nicht entfernt werden kann (nur der Inhalt des Bildes kann gelöscht werden). Weitere Karteikarten für weitere Bilder können im Menü *Bild* mit dem Befehl *Bild anfügen* erzeugt werden. Jede *Bild*-Karteikarte verfügt über ein Feld Beschreibung. Im Prinzip ist die Anzahl der Bilder, die in eine Auswertung eingebettet werden können, nicht begrenzt. In der Praxis kann die Leistung des Computers die Anzahl der Bilder auf unter 10 begrenzen.

 © 2009 Metrodata GmbH

<Ref>	<Titel>	<Logo>

<Titel>
Autor: <Autor>

<Beschreibung>

Bild

<Beschriftung>

<Beschreibung>

Modellgleichung:
X;

Liste der Größen:

Größe	Einheit	Definition
X	mm	<Definition>

X: Typ B Rechteckverteilung
Wert: 0 mm
Halbbreite der Grenzen: 0.1 mm

<Beschreibung>

Datum: <Datum> Ver.: <Ver>	Datei: <Dateiname>.SMU	Seite <i> von <n>

Bild 70: Aufbau einer Berichtsseite mit Bildern

12.6 Speicherung der Bilder

Alle Bilder, die in eine Auswertung eingebettet sind (siehe Bild 68), werden in ihrem Originalformat Teil der Auswertung. Sie werden mit allen anderen Daten in der SMU-Datei gespeichert. SMU-Dateien sind Textdateien und die Bilder werden auch als Text kodiert. Dazu wird das base64 (MIME) Kodierungsverfahren verwendet. Beim Speichern der SMU-Datei werden die Binärdaten des Bildes mit diesem Verfahren in einen Textabsatz umgewandelt und beim Laden werden aus dem Textabsatz wieder die binären Bilddaten erzeugt. Der Größenzuwachs beträgt 37%, d.h. die Bilddaten sind in einer SMU-Datei 37% größer als in ihrem Originalformat.

Eine SMU-Datei, die Bilder enthält, hat die Dateistruktur 4. Diese Dateistruktur ist nicht abwärtskompatibel mit den GUM Workbench Version 1.3 und 2.3, die nur maximal Dateistruktur 3 unterstützen. Um eine Datei zwischen Version 2.4 und den anderen Versionen austauschen zu können, darf sie keine Bilder oder Diagramme enthalten. Ggf. müssen vorhandene Bilder und Diagramme gelöscht werden. Mit Version 2.4 wird ein

Experte `SaveAsVer3.DLL` ausgeliefert, mit dem eine Auswertung der Version 2.4 in der Dateistruktur 3 gespeichert werden kann (siehe Abschnitt 17.2).

12.7 Rechenleistung mit Bildern

Hochaufgelöste Bilder und Fotos benötigen zum Teil große Mengen an Speicher und Rechenzeit. GUM Workbench ist für diesen Anwendungszweck nicht optimiert. Deshalb kann es zu Reaktionsverzögerungen kommen, wenn in einer Auswertung große Bilddateien eingebunden werden. Große Bilder führen außerdem zu großen SMU-Dateien, die zusätzliche Zeit zum Laden und Speichern benötigen.

Verwenden Sie deshalb Bilder und Fotos mit hoher Auflösung nur, wo es notwendig ist. Reduzieren Sie ggf. die Auflösung der Bilder, bevor sie eingebunden werden. Erweitern Sie ggf. den Speicher des Computers, wenn Probleme mit großen Grafiken auftreten.

 © 2009 Metrodata GmbH

13 Prüfung der Einheiten

GUM Workbench Version 2.4 unterstützt die Prüfung der Verwendung von Einheiten durch zwei zusätzliche Dialoge. Im Dialog *Einheit einfügen* (*Menü Bearbeiten*) kann eine der unterstützten Einheiten aus einer Liste ausgewählt und in das Feld für die Einheit eingefügt werden. Der Dialog *Überprüfung der Einheiten* führt eine Überprüfung der Benutzung aller Einheiten entsprechend den eingegebenen Modellgleichungen durch.

Warnung: Die automatische Überprüfung der Einheiten garantiert *nicht*, dass die Modellgleichung für die vorgesehene Nutzung auch geeignet ist und damit die berechneten Werte korrekt sind. Es wird nur geprüft, ob die Benutzung der Einheiten formal konsistent ist. Die formale Konsistenz ist eine Vorbedingung für sinnvolle Ergebnisse und es ist deshalb sinnvoll, sie zu überprüfen. Aber eine Überprüfung der Einheiten ist keine ausreichende Modell-Validierung. Die Einheitenprüfung kann nicht die notwendigen Fachkenntnisse und Erfahrungen ersetzen, die notwendig sind, um beurteilen zu können, ob ein Modell für die Auswertung einer Messung geeignet ist.

13.1 Das SI-System der Einheiten

Dieser Abschnitt gibt einen Überblick über das SI-Einheitensystem soweit es in GUM Workbench implementiert ist. Das SI-Einheitensystem ist das metrische System der Einheiten, auf das man sich international geeinigt hat. Es definiert zwei Klassen von Einheiten: Basiseinheiten und abgeleitete Einheiten. Die sieben Basiseinheiten haben jeweils einen speziellen Namen und sind in sofern fundamental, als dass sie nicht durch eine Kombination anderer Basiseinheiten ausgedrückt werden können. Abgeleitete Einheiten können einen speziellen Namen haben oder auch nicht. Sie können aber immer als eine Kombination von Basiseinheiten ausgedrückt werden. Die benannten Einheiten werden in Tabelle 14 und Tabelle 15 aufgelistet.

Tabelle 14: SI-Basiseinheiten

Zeichen	Einheit	Größe
m	Meter	Länge
kg	Kilogramm	Masse
s	Sekunde	Zeit
A	Ampere	elektrischer Strom
K	Kelvin	thermodynamische Temperatur
mol	Mol	Stoffmenge
cd	Candela	Lichtstärke

Tabelle 15: Abgeleitete SI-Einheiten mit Namen

Zeichen	Name	Größe	SI-Basiseinheiten
Hz	Hertz	Frequenz	s^{-1}
N	Newton	Kraft, Gewicht	$m \cdot kg \cdot s^{-2}$
J	Joule	Energie, Arbeit	$m^2 \cdot kg \cdot s^{-2}$
W	Watt	Leistung,	$m^2 \cdot kg \cdot s^{-3}$
Pa	Pascal	Druck	$m^{-1} \cdot kg \cdot s^{-2}$
lm	Lumen	Lichtstrom	cd
lx	Lux	Beleuchtungsstärke	$m^{-2} \cdot cd$
C	Coulomb	elektrische Ladung	$s \cdot A$
V	Volt	elektrische Spannung	$m^2 \cdot kg \cdot s^{-3} \cdot A^{-1}$
Ω	Ohm	elektrischer Widerstand	$m^2 \cdot kg \cdot s^{-3} \cdot A^{-2}$
F	Farad	elektrische Kapazität	$m^{-2} \cdot kg^{-1} \cdot s^4 \cdot A^2$
Wb	Weber	magnetischer Fluss	$m^2 \cdot kg \cdot s^{-2} \cdot A^{-1}$
T	Tesla	magnetische Flussdichte, Induktion	$kg \cdot s^{-2} \cdot A^{-1}$
H	Henry	Induktivität	$m^2 \cdot kg \cdot s^{-2} \cdot A^{-2}$
S	Siemens	elektrischer Leitwert	$m^{-2} \cdot kg^{-1} \cdot s^3 \cdot A^2$
Bq	Becquerel	Radioaktivität	s^{-1}
Gy	Gray	Energiedosis	$m^2 \cdot s^{-2}$
Sv	Sievert	Äquivalentdosis	$m^2 \cdot s^{-2}$
Kat	Katal	katalytische Aktivität	$s^{-1} \cdot mol$
°C	Grad Celsius	Celsius-Temperatur (1) $T_{°C} = T_K - 273.15$	K (1)

13.2 Einheiten-Vorsätze (Präfixe)

Das SI-Einheitensystem unterstützt spezielle Vorsätze für alle benannten Einheiten. Die Vorsätze bestehen aus einer Buchstabenkombination mit ein oder zwei Buchstaben und erlauben es, die Einheit für den Gebrauch zu skalieren. Tabelle 16 zeigt eine Liste der definierten Vorsätze für die benannten Einheiten.

Beispiel: Der Vorsatz Kilo gibt einen Multiplikator mit 1000 an, sodass ein Kilometer gleich 1000 Meter, ein Kilogramm gleich 1000 Gramm und ein Kilowatt gleich 1000 Watt sind. Jedem Vorsatz ist eine Buchstabenkombination zugeordnet, die in Verbindung mit den Einheitenzeichen verwendet werden kann. Der Vorsatz Kilo hat z.B. das Symbol k und durch Kombination mit den Einheitenzeichen ergibt sich km, kg und kW (Kilometer, Kilogramm und Kilowatt).

 © 2009 Metrodata GmbH

Tabelle 16: Durch das SI-System definierte Vorsätze für benannte Einheiten

Vorsatz	Name	Faktor	Wert
Y	Yotta-	10^{24}	Quadrillion
Z	Zetta-	10^{21}	Trilliarde
E	Exa-	10^{18}	Trillion
P	Peta-	10^{15}	Billiarde
T	Tera-	10^{12}	Billion
G	Giga-	10^{9}	Milliarde
M	Mega-	10^{6}	Million
k	Kilo-	10^{3}	Tausend
h	Hekto-	10^{2}	Hundert
da	Deka-	10^{1}	Zehn
d	Deci-	10^{-1}	Zehntel
c	Centi-	10^{-2}	Hundertstel
m	Milli-	10^{-3}	Tausendstel
µ	Mikro-	10^{-6}	Millionstel
n	Nano-	10^{-9}	Milliardstel
p	Piko-	10^{-12}	Billionstel
f	Femto-	10^{-15}	Billiardstel
a	Atto-	10^{-18}	Trillionstel
z	Zepto-	10^{-21}	Trilliardstel
y	yocto-	10^{-24}	Quadrillionstel

Obwohl alle Kombinationen von Vorsätzen und Einheitenzeichen im System zulässig sind, werden einige benannte Einheiten in der Praxis nicht zusammen mit Vorsätzen benutzt. Die Einheit °C wird z.B. nicht mit Vorsatz verwendet, stattdessen wird K benutzt (z.B. mK).

13.3 Andere abgeleitete Einheiten

Tabelle 17 listet andere abgeleitete Einheiten auf, die im SI-Einheitensystem definiert sind und die in der Praxis benutzt werden.

Tabelle 17: Andere abgeleitete Einheiten

Zeichen	Name	Größe	SI-Basiseinheiten
m^2	Quadratmeter	Fläche	m^2
m^3	Kubikmeter	Volumen	m^3
m/s	Meter pro Sekunde	Geschwindigkeit	$m \cdot s^{-1}$
m/s^2	Meter pro Sekunde Quadrat	Beschleunigung	$m \cdot s^{-2}$
m/s^3	Meter pro Sekunde Kubik	Ruck	$m \cdot s^{-3}$
rad/s	Radiant pro Sekunde	Winkelgeschwindigkeit	s^{-1}
N·s	Newton Sekunde	Impuls	$kg \cdot m \cdot s^{-1}$
N·m·s	Newtonmeter Sekunde	Drehimpuls	$kg \cdot m^2 \cdot s^{-1}$
N·m	Newtonmeter	Drehmoment, Arbeit, Energie	$kg \cdot m^2 \cdot s^{-2}$
m^{-1}	reziprokes Meter	Wellenzahl	m^{-1}
kg/m^3	Kilogramm pro Kubikmeter	Dichte	$kg \cdot m^{-3}$
m^3/kg	Kubikmeter pro Kilogramm	spezifisches Volumen	$kg^{-1} \cdot m^3$
mol/m^3	Mol pro Kubikmeter	Stoffmengenkonzentration	$m^{-3} \cdot mol$
m^3/mol	Kubikmeter pro Mol	molares Volumen	$m^3 \cdot mol^{-1}$
J/K	Joule pro Kelvin	Wärmekapazität, Entropie	$kg \cdot m^2 \cdot s^{-2} \cdot K^{-1}$
J/(K·mol)	Joule pro Kelvin und Mol	molare Wärmekapazität, molare Entropie	$kg \cdot m^2 \cdot s^{-2} \cdot K^{-1} \cdot mol^{-1}$
J/(K·kg)	Joule pro Kilogramm und Kelvin	spezifische Wärmekapazität, spezifische Entropie	$m^2 \cdot s^{-2} \cdot K^{-1}$
J/mol	Joule pro Mol	molare Energie	$kg \cdot m^2 \cdot s^{-2} \cdot mol^{-1}$
J/kg	Joule pro Kilogramm	spezifische Energie	$m^2 \cdot s^{-2}$
J/m^3	Joule pro Kubikmeter	Energiedichte	$kg \cdot m^{-1} \cdot s^{-2}$
N/m	Newton pro Meter	Oberflächenspannung	$kg \cdot s^{-2}$
J/m^2	Joule pro Quadratmeter	Oberflächenspannung	$kg \cdot s^{-2}$
W/m^2	Watt pro Quadratmeter	Wärmeflussdichte, Bestrahlungsstärke	$kg \cdot s^{-3}$
W/(m·K)	Watt pro Meter und Kelvin	Wärmeleitfähigkeit	$kg \cdot m \cdot s^{-3} \cdot K^{-1}$
m^2/s	Quadratmeter pro Sekunde	kinematische Viskosität, Diffusionskoeffizient	$m^2 \cdot s^{-1}$
Pa·s	Pascal Sekunde	dynamische Viskosität	$kg \cdot m^{-1} \cdot s^{-1}$
$N \cdot s/m^2$	Newton Sekunde pro Quadratmeter	dynamische Viskosität	$kg \cdot m^{-1} \cdot s^{-1}$
C/m^3	Coulomb pro Kubikmeter	elektrische Ladungsdichte	$m^{-3} \cdot s \cdot A$
A/m^2	Ampere pro Quadratmeter	elektrische Stromdichte	$A \cdot m^{-2}$
S/m	Siemens pro Meter	Leitfähigkeit	$kg^{-1} \cdot m^{-3} \cdot s^3 \cdot A^2$
$S \cdot m^2/mol$	Siemens Quadratmeter	molare Leitfähigkeit	$kg^{-1} \cdot s^3 \cdot mol^{-1} \cdot A^2$

 © 2009 Metrodata GmbH

Zeichen	Name	Größe	SI-Basiseinheiten
	pro Mol		
F/m	Farad pro Meter	Permittivität	$kg^{-1}\cdot m^{-3}\cdot s^{4}\cdot A^{2}$
H/m	Henry pro Meter	magnetische Permeabilität	$kg\cdot m\cdot s^{-2}\cdot A^{-2}$
V/m	Volt pro Meter	elektrische Feldstärke	$kg\cdot m\cdot s^{-3}\cdot A^{-1}$
A/m	Ampere pro Meter	magnetische Feldstärke	$A\cdot m^{-1}$
cd/m^2	Candela pro Quadratmeter	Luminanz	$cd\cdot m^{-2}$
C/kg	Coulomb pro Kilogramm	Bestrahlung (Röntgen- und Gammastrahlung)	$kg^{-1}\cdot s\cdot A$
Gy/s	Gray pro Sekunde	aufgenommene Dosisleistung	$m^{2}\cdot s^{-3}$

13.4 Nicht-SI-Einheiten

Obwohl die Einheiten des SI-Systems für viele Messungen verwendet werden, sind trotzdem noch andere Einheiten im praktischen Gebrauch. Im Kontext des SI-Systems wird dringend empfohlen, auf die Verwendung von nicht SI-Einheiten zu verzichten, wenn eine passende SI-Einheit verfügbar ist. Tabelle 18 gibt einige nicht SI-Einheiten an, die zusammen mit SI-Einheiten verwendet werden dürfen. GUM Workbench warnt nicht, wenn diese Einheiten verwendet werden.

Tabelle 18: Nicht SI-Einheiten, die zusammen mit den SI-Einheiten benutzt werden können

Zeichen	Definition	Name	Größe
bar	10^{5} Pa	Bar	Druck
l, L	10^{-3} m^3	Liter	Volumen
t	10^{3} kg	Tonne	Masse
min	60 s	Minute	Zeit
h	60 min	Stunde	Zeit
d	24 h	Tag	Zeit
eV		Elektronenvolt	Energie
u		atomare Masseneinheit	atomare Masse
dB		Dezibel	logarithmisches Verhältnis (Basis 10)
Np		Neper	logarithmisches Verhältnis (Basis e)
%	10^{-2}	Prozent	Prozentanteil
°		Grad	ebener Winkel
Å	10^{-10} m	Ångström	Länge (atomare Skala)

13.5 Der Dialog *Einheiten einfügen*

GUM Workbench unterstützt direkt die Verwendung von benannten SI-Einheiten (Tabelle 14 und Tabelle 15), abgeleitete Einheiten ohne Namen (Tabelle 17) und nicht SI-Einheiten, die zusammen mit SI-Einheiten verwendet werden dürfen (Tabelle 18). Mit dem Dialog *Einheit einfügen* wird der Benutzer bei der Verwendung der eingebauten Einheiten unterstützt (siehe Bild 71).

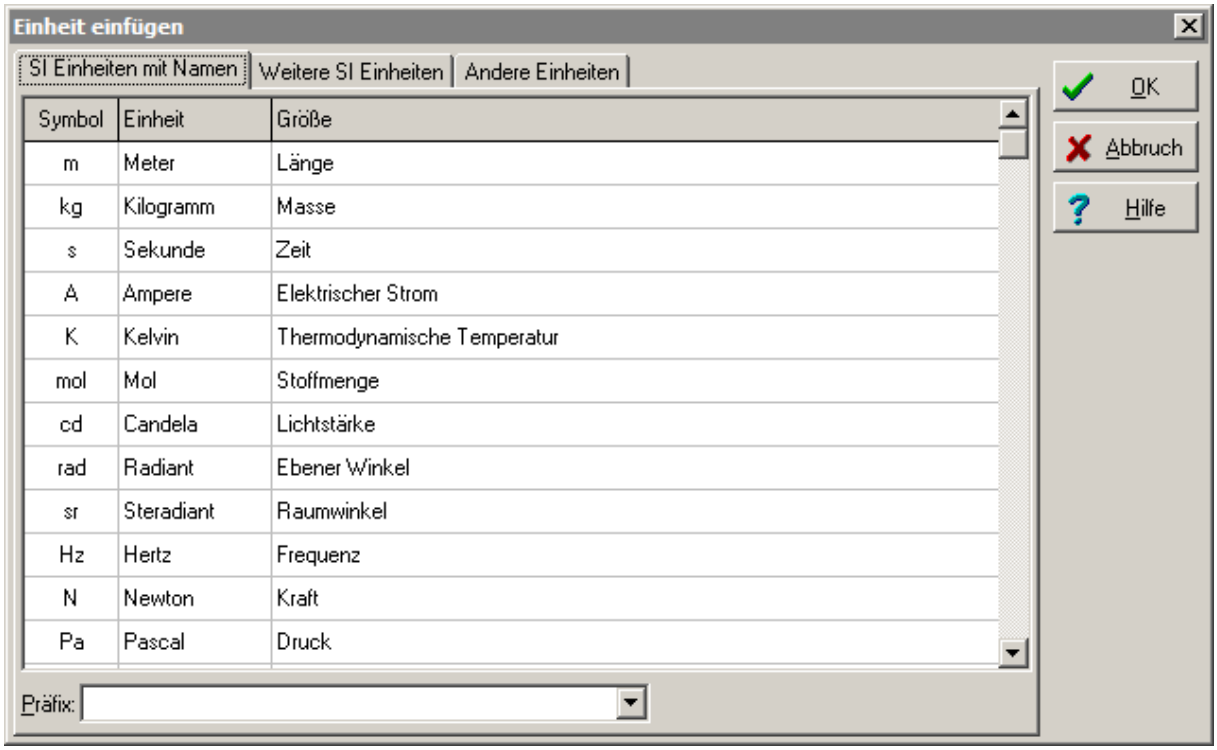


Bild 71: Dialog *Einheiten einfügen*

Die Benutzung des Dialogs *Einheit einfügen* ist besonders sinnvoll, um Einheiten in der Spalte *Einheit* unterhalb des Feldes *Gleichung* in der Ansicht *Modell* einzugeben. Die Benutzung ist aber auch an anderer Stelle, z.B. in Beschreibungsfeldern, möglich. Um eine Einheit einzugeben, positionieren Sie den Cursor an die Stelle, wo Sie die Einheit eingeben wollen und öffnen Sie den Dialog *Einheit einfügen* im Menü *Bearbeiten* (Tastenkommando *Strg-U*). Jetzt kann die benötigte Einheit aus einer der Tabellen ausgewählt werden. Für die benannten Einheiten kann zusätzlich ein Vorsatz ausgewählt werden. Mit OK wird die Ausgewählte Einheit ggf. zusammen mit dem Vorsatz an der Position des Cursors eingefügt.

Hinweis: Einige nicht SI-Einheiten wie bar, l, L, t und eV unterstützen die Verwendung von Vorsätzen, obwohl im Dialog *Einheiten einfügen* die Auswahl eines Vorsatzes für diese Einheiten nicht möglich ist. Der Vorsatz kann aber jederzeit manuell an der passenden Stelle eingetragen werden.

 © 2009 Metrodata GmbH

13.6 Der Dialog *Überprüfung der Einheiten*

Nachdem alle Einheiten in der Spalte *Einheit* der Größentabelle unterhalb des Feldes *Gleichung* (Ansicht *Menü*, Karteikarte *Modellgleichung*) eingetragen wurden, kann die konsistente Benutzung der Einheiten entsprechend den Regeln des SI-Systems geprüft werden. Die Überprüfung erfolgt mit dem Dialog *Überprüfung der Einheiten* im Menü *Extras*.

Die Überprüfung erfolgt in drei Schritten:

1. Für alle Einheiten wird getrennt geprüft, ob sie nach den Regeln des SI-Systems aufgebaut sind. Das stellt sicher, dass alle Einheiten-Felder gültige Einheiten enthalten.
2. Alle Einheiten werden in Basiseinheiten übersetzt. Wenn eine Einheit nicht in SI-Basiseinheiten oder in erlaubte Nicht-SI-Einheiten übersetzt werden kann, wird eine Warnung ausgegeben.
3. Die Größen im eingegebenen Gleichungssystem werden jetzt durch die angegebene Einheit ersetzt (übersetzt in Basiseinheiten) und die Gleichungen werden mit den Einheiten durchgerechnet. Am Ende muss sich auf der linken Seite der Gleichungen die gleiche Einheit, wie auf der rechten Seite ergeben. Andernfalls wird eine Fehlermeldung mit dem Unterschied ausgegeben.

Eine Zusammenfassung des Ergebnisses aller drei Schritte wird auf der Karteikarte *Zusammenfassung* ausgegeben (siehe Bild 72).

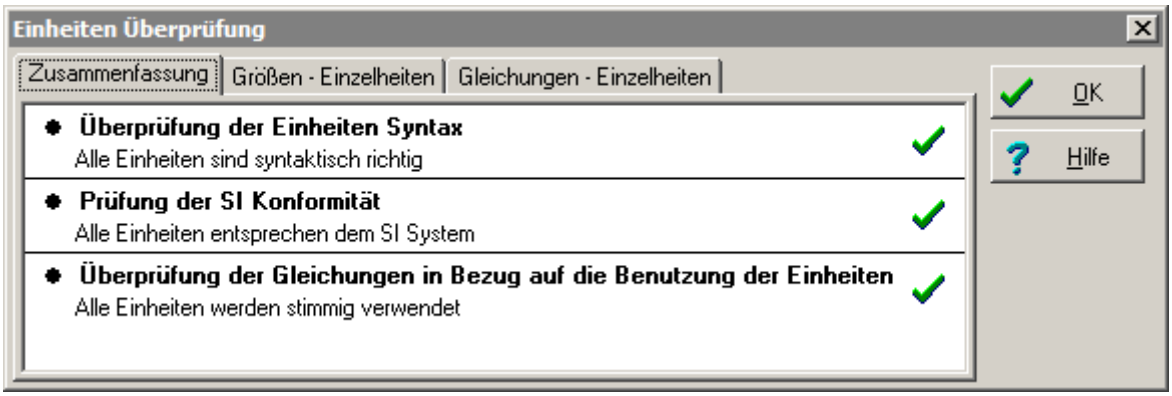
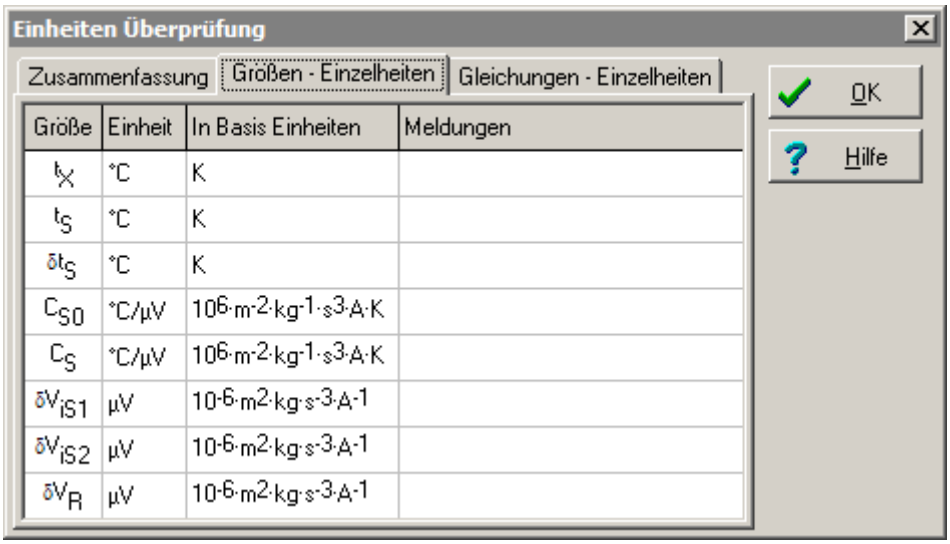


Bild 72: Dialog *Überprüfung der Einheiten – Zusammenfassung*

Jeder Schritt der Überprüfung kann entweder erfolgreich (✔), mit Warnung (!) oder fehlerhaft (⊘) sein. Werden Fehler angezeigt, ist die Verwendung der Einheiten nicht konsistent und die Einheiten oder das Modell sollten geändert werden. Warnungen zeigen an, dass nicht automatisch entschieden werden kann, ob die Benutzung der Einheiten konsistent ist. Der Anwender sollte der Warnung auf den Grund gehen und entscheiden, ob er entweder die Warnung ignorieren kann, oder ob die Einheiten oder das Modell geändert werden sollten.

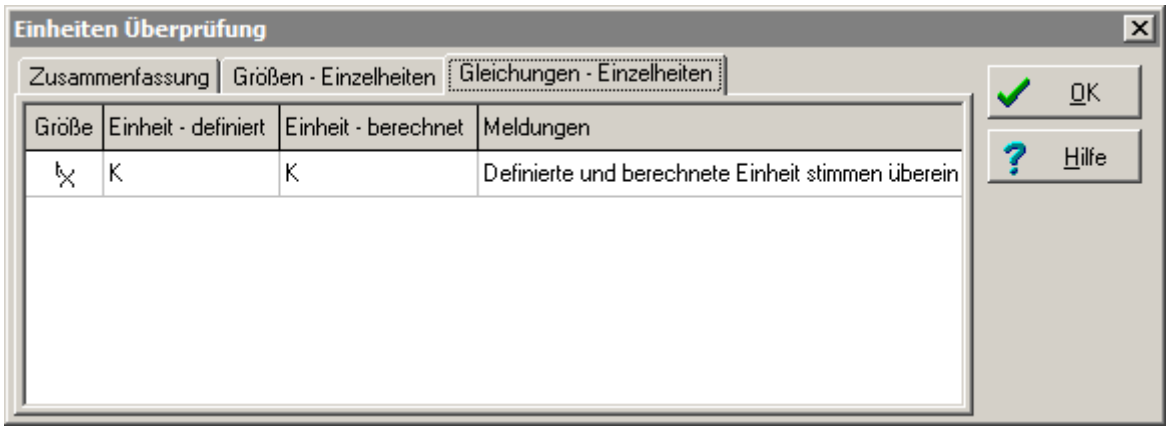
Auf der Karteikarte *Größen - Einzelheiten* wird das Ergebnis der Übersetzung der angegebenen Einheit in die SI-Basiseinheiten dargestellt (siehe Bild 73). Wenn Warnungen oder Fehler auftreten, werden die Einzelheiten in der Spalte *Meldungen* ausgegeben.



Größe	Einheit	In Basis Einheiten	Meldungen
t_X	°C	K	
t_S	°C	K	
δt_S	°C	K	
C_{S0}	°C/µV	$10^6 \cdot m^{-2} \cdot kg^{-1} \cdot s^3 \cdot A \cdot K$	
C_S	°C/µV	$10^6 \cdot m^{-2} \cdot kg^{-1} \cdot s^3 \cdot A \cdot K$	
δV_{iS1}	µV	$10^{-6} \cdot m^2 \cdot kg \cdot s^{-3} \cdot A^{-1}$	
δV_{iS2}	µV	$10^{-6} \cdot m^2 \cdot kg \cdot s^{-3} \cdot A^{-1}$	
δV_R	µV	$10^{-6} \cdot m^2 \cdot kg \cdot s^{-3} \cdot A^{-1}$	

Bild 73: Dialog *Überprüfung der Einheiten – Größen - Einzelheiten*

Die Karteikarte *Gleichungen - Einzelheiten* zeigt das Ergebnis der Überprüfung der Modellgleichungen in Bezug auf die Einheiten der verwendeten Größen (siehe Bild 74). Bei korrekten Gleichungen ist die definierte Einheit exakt gleich der berechneten Einheit. Fehler und Warnungen werden ggf. in der Spalte Meldungen angezeigt.



Größe	Einheit - definiert	Einheit - berechnet	Meldungen
t_X	K	K	Definierte und berechnete Einheit stimmen überein

Bild 74: Dialog *Überprüfung der Einheiten – Gleichungen - Einzelheiten*

13.7 Syntaktische Regeln für Einheiten

Alle Zeichenketten in der Spalte Einheit (Karteikarte *Modellgleichung*) müssen nach vorgegebenen syntaktischen Regeln aufgebaut sein. Diese Regeln gelten für SI-Einheiten und auch für alle Nicht-SI-Einheiten. Sie sind untrennbar mit dem Konzept von Einheit und Einheitensystem verbunden. Ein Wert für eine Größe ergibt sich damit als Produkt von Zahlenwert mal Einheitenzeichen. Daraus folgt, dass eine Einheit entweder eine Basiseinheit sein muss oder als Produkt bzw. Quotient aus ggf. potenzierten Basiseinheiten ausgedrückt werden kann.

Jede SI Einheit kann deshalb durch folgendes generelle Produkt ausgedrückt werden:

$$\text{SI-Einheit} = f_{prefix} \cdot m^{i1} \cdot kg^{i2} \cdot s^{i3} \cdot A^{i4} \cdot K^{i5} \cdot mol^{i6} \cdot cd^{i7}$$

 © 2009 Metrodata GmbH

Dabei sind die Exponenten i1 to i7 ganze Zahlen im Bereich -4 bis 4 und f_{prefix} ist der dem Vorsatz entsprechende Faktor. Im Bereich von Rauschspannungen wird aber die theoretische Einheit $Hz^{-0.5}$ ($s^{0.5}$) verwendet. Deshalb wird in GUM Workbench jede reelle Zahl bei Einheiten als Exponent zugelassen.

Folgende Regeln müssen beachtet werden, wenn Einheiten in GUM Workbench korrekt benutzt werden sollen:

1. Eine Einheit ist entweder ein Einheitenzeichen einer benannten Einheit oder ein Produkt (`*` oder `·`) oder Quotient (`/`) aus potenzierten Einheitenzeichen oder Zahlen. Addition (+) und Subtraktion (–) sind nicht zulässig.
2. Die Faktoren des Produktes bzw. Quotienten sind entweder weitere Produkte oder Quotienten oder benannte Einheiten oder Zahlen.
3. Das Exponentialzeichen (^) wird benutzt, um Exponenten der Faktoren zu kennzeichnen. Beispiel: `m^2` wird als m^2 interpretiert.
4. Funktionen können in Einheiten nicht verwendet werden. Eine Quadratwurzel sollte als Potenzierung mit 0.5 geschrieben werden. Beispiel: $Hz^{-0.5}$
5. Vorsätze können im Zusammenhang mit benannten Einheiten benutzt werden. Sie werden in Skalierungsfaktoren übersetzt.

Alle Einheiten, die im Dialog *Einheit einfügen* aufgelistet werden, sind syntaktisch korrekt und können als Beispiel für gültige Einheiten dienen. Auch Nicht-SI-Einheiten sind syntaktisch korrekt. Tabelle 19 zeigt einige Beispiele von syntaktisch korrekten Einheiten, die nicht dem SI-System entsprechen.

Tabelle 19: Beispiele für gültige aber nicht SI konforme Einheiten

Einheiten	Basis Einheiten	Kommentar
`psi`	psi	nicht SI konformes Einheitenzeichen (wird nicht weiter übersetzt)
`psi/Pa`	$m \cdot kg^{-1} \cdot s^2 \cdot psi$	Kombination aus SI konformer Einheit und nicht SI konformer Einheit (psi ist eine nicht SI konforme Einheit und wird nicht weiter übersetzt)
`10^-3·°F·L`	$10^{-6} \cdot m^3 \cdot °F$	Kombination aus Numerischem Faktor und Einheit (°F ist eine nicht SI konforme Einheit und wird nicht weiter übersetzt)
`µin·Gkat`	$10^9 \cdot s^{-1} \cdot mol \cdot µin$	Gkat wird in $10^9 \cdot s^{-1} \cdot mol$ übersetzt, aber µin wird nicht in 10^{-6} in übersetzt, da Präfixe für nicht SI Einheiten nicht definiert sind

13.8 Überprüfung der Modellgleichung

Einheiten sind Faktoren, die unabhängig von den Werten ausgewertet werden können. Deshalb kann man die Modellgleichungen ohne Kenntnis der Werte überprüfen. Das wird auch als Einheiten-Rechnung bezeichnet.

Alle syntaktisch richtigen Einheiten werden in Basiseinheiten übersetzt. Mit der Darstellung in Basiseinheiten wird nach folgenden Regeln das Gleichungssystem ausgewertet und geprüft:

1. Werden zwei Größen addiert (+) oder subtrahiert (-), dann müssen beide Größen exakt die gleiche Einheit haben und die Einheit des Ergebnisses ist gleich dieser Einheit.
2. Zwei Größen, die multipliziert (*) oder dividiert (/) werden, können eine beliebige Einheit haben. Die Einheit des Ergebnisses ist das Produkt bzw. der Quotient aus den beiden Einheiten.
3. Beim Exponentialoperator (^) werden zwei Fälle unterschieden:
    a. Der Exponent ist eine fest angegebene Zahl. Dann kann die Basis eine beliebige Einheit haben und die Einheit des Ergebnisses berechnet sich aus der Einheit potenziert mit der angegebenen Zahl.
    b. Der Exponent enthält Ausdrücke mit Größensymbolen. In dem Fall muss sowohl die Basis als auch der Exponent die Einheit Eins (1) haben und das Ergebnis der Operation hat ebenfalls die Einheit Eins (1).
4. Die Argumente der Funktionen `sqr()`, `sqrt()` und `root3()` können eine beliebige Einheit haben und die Einheit des Ergebnisses berechnet sich entsprechend der Funktion (Beispiel: `sqrt(`m^2`) = m`).
5. Die Einheit des Arguments der Funktionen `rad()` sollte Grad (°) sein und das Ergebnis der Funktion hat die Einheit Eins (1).
6. Das Argument der Funktion `deg()` sollte die Einheit Eins (1) haben und das Ergebnis der Funktion hat die Einheit Grad (°).
7. Die Argumente der Funktion `const()` und der Absolutfunktion (| |) können eine beliebige Einheit haben und die Einheit der Ergebnisse ist gleich der Einheit der Argumente.
8. Alle Argumente der Funktion `average()` sollten die gleiche Einheit haben und das Ergebnis ist gleich dieser Einheit. Die Funktion `average()` wird intern in eine Summe der Argumente geteilt durch die Anzahl der Argumente übersetzt. Deshalb können Fehlermeldungen auftreten, die sich auf die Addition beziehen.
9. Die Argumente aller anderen Funktionen sollten die Einheit Eins (1) haben und die Ergebnisse haben die Einheit Eins (1).

13.9 Von der Einheitenüberprüfung unterstützte Einheiten

Der Dialog *Überprüfung der Einheiten* unterstützt alle benannten Einheiten zusammen mit den definierten Vorsätzen (siehe Tabelle 14, 15 und 16). Auch die im Zusammenhang mit den SI Einheiten erlaubten Nicht-SI-Einheiten werden unterstützt (siehe Tabelle 18). Alle diese Einheiten und jede geeignete Kombination daraus wird in Basiseinheiten übersetzt.

13.9.1 Kelvin und Grad Celsius

Das SI-System der Einheiten definiert das Kelvin (K) als die Einheit für die thermodynamische Temperatur. Zusätzlich ist aber auch das Grad Celsius (°C) eine offizielle SI Einheit und per Definition ist 1 °C exakt gleich 1 K. Der Dialog *Überprüfung der Einheiten* benutzt die

 © 2009 Metrodata GmbH

Äquivalenz zwischen Grad Celsius (°C) und Kelvin (K), wenn Einheiten verglichen werden. Da aber 0 °C gleich 273,15 K ist, kann diese Annahme im Fall von absoluten Temperaturangaben nicht richtig sein. In dem Fall, dass in einer Gleichung Größen verwendet werden, deren Einheiten sowohl °C als auch K verwenden, wird eine Warnung ausgegeben, da die Möglichkeit besteht, dass absolute und relative Temperaturangaben nicht korrekt benutzt wurden. Der Anwender sollte entweder die Vermischung von °C und K in den Einheiten vermeiden, oder aber sorgfältig prüfen, dass die Einheiten richtig verwendet wurden.

13.10 Physikalische Gleichungen und numerische Gleichungen

Solange in den Einheiten nur benannte Größen ohne Vorsatz verwendet werden, repräsentieren die Modellgleichungen die physikalischen Beziehungen zwischen den Größen (das kg ist in diesem Zusammenhang die benannte Einheit der Masse obwohl es einen Vorsatz enthält). Diese Gleichungen sind universell gültig und können unabhängig von der aktuellen Skalierung der Größen verwendet werden.

Der Nachteil von physikalischen Modellgleichungen ist, dass alle Werte in Einheiten ohne Vorsatz umgerechnet werden müssen, bevor man mit den Werten rechnen kann. Deshalb werden in der Praxis häufig Wertegleichungen benutzt. Wertegleichungen sind Modellgleichungen, bei denen die Werte für eine oder mehrere Größen in Einheiten mit Vorsatz eingegeben werden. In einer chemischen Wertegleichung wird z.B. das Volumen in Liter und nicht in m^3 angegeben oder bei der Messung kleiner Spannung verwendet man die Einheit µV an Stelle von Volt.

Als Folge muss man in Wertegleichungen häufig die Größenordnungen anpassen und so treten in der Modellgleichung Zahlen wie 1000 oder 10^{-6} (`1E-6`) als Faktoren auf. Obwohl die Wertegleichungen mit Zahlen den richtigen Ergebniswert ausrechnen, sind sie in Bezug auf die Einheiten-Rechnung, nicht korrekt. Der Dialog *Überprüfung der Einheiten* wird deshalb Fehlermeldungen ausgeben, die besagen, dass die berechnete und die definierte Einheit nicht gleich sind. Zusätzlich wird eine Warnung ausgegeben, dass Zahlen in der Modellgleichung verwendet werden.

Der Grund für diese Probleme ist, dass Faktoren zum Skalieren von Einheiten in Wertegleichungen eigentlich auch eine Einheit haben. Der Umrechnungsfaktor von L nach mL ist 1000 mL/L (= 1000×10^{-3}). Eine Wertegleichung wird formal richtig, wenn für die Umrechnungsfaktoren zur Skalierung der Einheiten die richtigen Einheiten verwendet werden.

In GUM Workbench muss man die Umrechnungsfaktoren als Größen vom Typ *Konstante* in die Modellgleichung einführen und den richtigen Wert und die richtige Einheit eintragen.

Das folgende Beispiel soll die Benutzung von benannten Umrechnungsfaktoren verdeutlichen. Die Konzentration einer hergestellten Lösung sei durch das folgende Modell beschrieben:

```
c = k_mL · m / V
```

Die Einheit des Ergebnisses `c` soll mg/L sein. Um die Benutzung zu erleichtern, soll die Masse `m` in mg und das Volumen `V` in mL eingegeben werden. Deshalb ist ein Umrechnungsfaktor `k_mL` = 1000 mL/L notwendig, um die Werte von mg/ml auf mg/L umzurechnen.

13.11 Nicht-SI-konforme Einheiten

Das in GUM Workbench implementierte Konzept unterstützt auch alle nicht SI-Einheiten, solange sie entsprechend konstruiert sind und den allgemeinen syntaktischen Regeln für Einheiten folgen.

Jedes Einheitenzeichen, das weder in GUM Workbench definiert ist, noch sich in eine Kombination aus Vorsatz und definierter Einheit zerlegen lässt, wird als neue nicht SI-Basiseinheit betrachtet und eine Warnmeldung wird ausgegeben. Die Erkennung von Vorsätzen wird dabei nicht unterstützt. Bei der Überprüfung der Einheiten wird verifiziert, ob die zusätzlichen Einheiten folgerichtig zusammen mit den SI-Einheiten benutzt werden.

GUM Workbench unterstützt keine automatische Umrechnung von Nicht-SI-Einheiten in SI-Einheiten. Allerdings lassen sich diese Umrechnungen relativ einfach in die Modellgleichung einbauen. Die folgenden Beispiele zeigen, wie das für die Umrechnung von Temperaturen und Drücken zwischen SI-Einheiten und gebräuchlichen amerikanischen Einheiten implementiert werden kann. Dabei werden anwenderdefinierte Funktionen und Größen mit dem Typ *Konstante* verwendet.

13.11.1 Beispiel - Umrechnung der Temperatur zwischen °F und °C

Durch die Definition der folgenden beiden Funktionen kann man in Modellgleichungen Temperaturen zwischen °F und °C umrechnen:

```
f_C(t_F) = k_F·(t_F – t_F0); {Umrechnung von °F nach °C}
f_F(t_C) = t_C/k_F + t_F0; {Umrechnung von °C nach °F}
```

Die Umrechnungsparameter k_F und t_{F0} haben per Definition folgende Werte:

k_F: Konstante = 5/9, Einheit: °C/°F

t_{F0}: Konstante = 32, Einheit: °F

Die Verwendung der Umrechnungsfunktionen zeigt die Umrechnung der folgenden Werte:

 © 2009 Metrodata GmbH

Modell Gleichung	Eingangsgrößen	Ergebnis
`t_C1 = f_C(t_F1)`	t_{F1} = 0 °F ± 0.1 °F (k=2)	t_{C1} = -17.778 °C ± 0.056 °C (k=2).
`t_F2 = f_F(t_C2)`	t_{C2} = 50 °C ± 0.1 °C (k=2)	t_{F2} = 122.00 °F ± 0.18 °F (k=2)

13.11.2 Beispiel - Umrechnung des Druckes zwischen psi und Pa

Basierend auf einer einheitlichen Gravitationskonstante von 9.80665 m/s^2, die allgemein verwendet wird und den Umrechnungsfaktoren für Pfund (lb) und Inch lassen sich Drücke zwischen psi und Pa umrechnen. Die folgenden zwei Funktionen führen die Umrechnung durch:

```
f_Pa(p_psi) = k_psi·p_psi; {Umrechnung von psi nach Pa}
f_psi(p_Pa) = p_Pa/k_psi; {Umrechnung von Pa nach psi}
```

Der Umrechnungsfaktor k_{psi} hat folgenden konstanten Wert:

k_{psi}: Konstante = $0.45359237 \cdot 9.80665/(25.4 \cdot 10^{-3})^2$, Einheit: Pa/psi

Die Verwendung der Umrechnungsfunktionen zeigt die Umrechnung der folgenden Werte:

Modell Gleichung	Eingangsgrößen	Ergebnis
`f_Pa(p_PSI)`	p_{PSI} = 1.00 psi ± 0.01 psi (k=2)	6895 Pa ± 69 Pa (k=2)
`f_PSI(p_Pa)`	p_{Pa} = 10 kPa ± 5.00 Pa (k=2)	1.4504 psi ± $1.5 \cdot 10^{-3}$ psi (k=2)

13.12 Fehlermeldungen und Warnungen

Die folgenden Warnungen werden durch die Einheitenüberprüfung benutzt:

Warnung: Es wurden Zahlen in der Modellgleichung verwendet

Diese Warnung wird ausgegeben, wenn in der Modellgleichung explizite Zahlenwerte größer als 10 oder kleiner als 0.1 verwendet werden. Um diese Warnung zu vermeiden, sollten Größen vom Typ Konstante in der Modellgleichung an Stelle der Zahlen verwendet werden (siehe Abschnitt 13.10).

Warnung: Sowohl °C als auch K werden in einer Gleichung verwendet

Diese Warnung wird ausgegeben, wenn in einer Gleichung sowohl K als auch °C verwendet werden. Diese Warnung kann man nicht vermeiden wenn man in einer Gleichung mit K und °C rechnen muss. Die Gleichung sollte aber sorgfältig geprüft werden, um sicherzustellen, dass die Temperaturgrößen richtig verwendet werden (siehe Abschnitt 13.9.1).

Warnung: Nicht-SI-konforme Einheiten wurden benutzt (<Namen>)

Diese Warnung wird ausgegeben, wenn ein Nicht-SI-konforme Einheit verwendet wird. Die Einheit sollte überprüft werden, um sicherzustellen, dass kein Schreibfehler vorliegt. Wenn die Benutzung der Nicht-SI-konformen Einheit beabsichtigt war, lässt sich die Warnung nicht vermeiden.

Warnung: Die Einheit enthält nur Zahlen und kein Symbol

Obwohl Zahlen als Einheiten syntaktisch korrekt sind, kann diese Benutzung der Einheiten zu Fehlinterpretationen führen. Deshalb sollte die Benutzung vermieden werden. Für die Einheit Eins sollte besser eine leere Zeichenkette verwendet werden.

Die folgenden Fehlermeldungen werden bei der Einheitenüberprüfung ausgegeben, wenn ein syntaktischer Fehler in der Einheit erkannt wird:

Fehler: Funktionen sind in Einheiten nicht zulässig!

Diese Fehlermeldung wird ausgegeben, wenn ein Funktionsaufruf in einer Einheit verwendet wird. Funktionen können in Einheiten nicht verwendet werden.

Fehler: Der Exponent muss eine konstante Zahl sein!

Der '^'-Operator hat eine spezielle Funktion innerhalb von Einheiten. Ihm muss unbedingt eine Zahl folgen mit einem vorangestellten optionalen '+' oder '-' Zeichen. Als Dezimaltrennzeichen muss der Punkt verwendet werden. Das Komma wird nicht unterstützt.

Fehler: Eine Klammer zu ')' fehlt!

Fehler: Die Multiplikation ist nicht vollständig!

Fehler: Der Exponent fehlt!

Diese Fehlermeldungen werden ausgegeben, wenn die Einheit nicht vollständig ist.

Fehler: '<Zeichen>' ist in Einheiten nicht zulässig!

Fehler: '<Zeichen>' ist hier nicht gültig!

Fehler: '<Zeichen>' ist keine gültige Einheit!

Fehler: Der Absolut-Operator ist in Einheiten nicht zulässig!

Fehler: Ein Komma ist in Einheiten nicht zulässig!

Fehler: '+' und '-' Operationen sind in Einheiten nicht zulässig!

Diese Fehlermeldungen weisen darauf hin, dass ein ungültiges Zeichen in einer Einheit verwendet wurde. Eine mögliche Ursache kann ein fehlendes Multiplikations- oder Divisionszeichen sein.

Die folgenden Fehlermeldungen werden bei der Einheitenüberprüfung ausgegeben, wenn ein Fehler in der Benutzung der Einheiten in den Gleichungen erkannt wird:

 © 2009 Metrodata GmbH

Fehler: Die Einheiten müssen bei '+' und '-' Operationen übereinstimmen!

Größen können nur addiert und subtrahiert werden, wenn sie exakt die gleiche Einheit haben einschließlich der Präfixfaktoren. Diese Fehlermeldung kann auch auftreten, wenn die `average()` Funktion benutzt wird.

Fehler: Die Einheit des Arguments der Funktion <Name>() muss 1 sein!

Die Einheiten der Argumente der meisten vordefinierten Funktionen muss Eins sein. Die trigonometrischen Funktionen wie `sin()` und `cos()` erwarten als Argument einen Winkel im Bogenmaß.

Fehler: Die rad-Funktion erwartet als Argument die Einheit '°'!

Die Umwandlungsfunktion von Grad in Bogenmaß `rad()` erwartet als Argument einen Winkel in Grad ('°').

Fehler: Die Einheiten vor und nach einem '^'-Operator müssen 1 sein!

Wenn der Exponent keine Zahl ist, dann müssen Basis und Exponent die Einheit Eins haben.

13.13 Kompatibilität mit älteren Versionen

Die Einheitenprüfung ist kompatibel mit allen älteren Versionen von GUM Workbench. Das Dateiformat wird durch die Einheitenprüfung nicht geändert.

14 Arbeiten mit Diagrammen

GUM Workbench® Version 2.4 unterstützt eine zusätzliche Diagrammansicht. Diagramme werden am Bildschirm angezeigt und im Bericht ausgedruckt. Sie können auch als RTF-Datei exportiert werden.

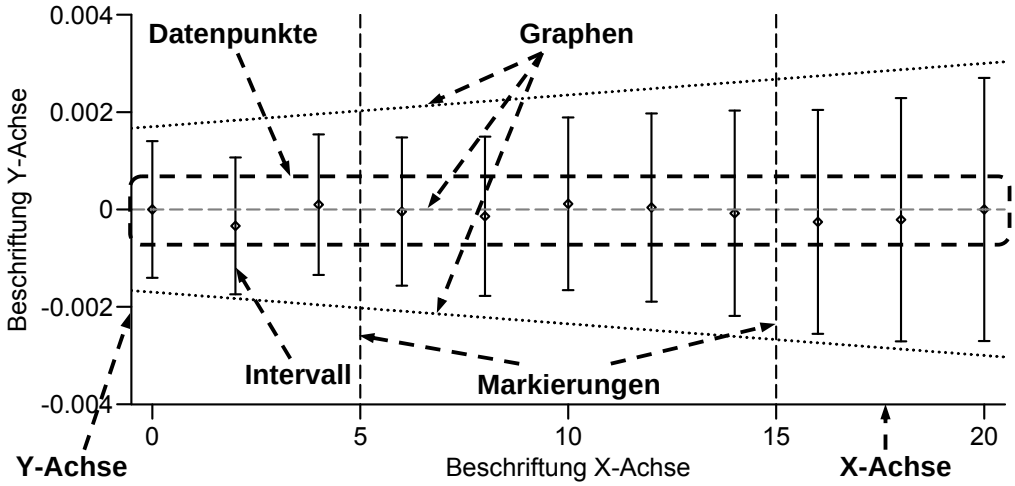


Bild 75: Aufbau eines Diagramms

Diagramme werden dazu benutzt, um die Ergebnisse einer Messunsicherheitsauswertung in grafischer Form darzustellen. Bild 75 zeigt den Aufbau eines Diagramms. Diagramme sind grafische 2-D Darstellungen mit Datenpunkten, Funktionsgraphen und Markierungen (senkrechte Linien). Die waagerechte Achse wird als X-Achse und die senkrechte Achse wird als Y-Achse bezeichnet. Es werden unterschiedliche Diagrammtypen unterstützt, die sich hinsichtlich der dargestellten Daten und der Art der Darstellung unterscheiden.

Das *Punkte Diagramm (X|Y)* zeigt Punkte in einem 2-D X-Y-Diagramm. Die X- und Y-Koordinaten jedes Punktes werden durch zwei getrennte Größen der Messunsicherheitsauswertung festgelegt. Die Messunsicherheit der Größen wird als "Fehlerbalken" ausgegeben.

Das *Unsicherheitsdiagramm (X|U)* zeigt die Messunsicherheit für verschiedene Größen als Balken in Y-Richtung. Die X-Position der Balken wird durch die Werte der Größen bestimmt. Dieses Diagramm kann verwendet werden, um die Messunsicherheit für einen Arbeitsbereich darzustellen, nachdem verschiedene Ergebniswerte aus dem Arbeitsbereich ermittelt wurden.

Das *Werte-Diagramm (Y)* dient zur Darstellung und zum Vergleich von Messwerten. Die ausgewählten Größen werden nebeneinander als Punkte mit "Fehlerbalken" für die Messunsicherheit in Bezug auf eine gemeinsame Skala dargestellt. Die X-Achse wird mit den Namen der Größen beschriftet.

 © 2009 Metrodata GmbH

Das *ζ-Wert Diagramm* zeigt den ζ-Wert der ausgewählten Größen in Balkenform an. Der ζ-Wert ergibt sich aus der folgenden Formel:

$$\zeta(y) = \frac{|y|}{u(y)} . \tag{5}$$

Dieses Diagramm kann nützlich sein, um den ζ-Wert von Differenzen darzustellen. Der ζ-Wert ist ein Maß für die Signifikanz einer Differenz in Bezug auf die Unsicherheit der Differenz. Es ist sinnvoll, dem Diagramm noch einen Graphen (Gerade) hinzuzufügen, der die Signifikanzschwelle darstellt. Die Funktion des Graphen enthält einen festen Wert z.B. $f(x) = 2$ (siehe Abschnitt 14.2.5).

Das *Histogramm* dient zur Darstellung von Verteilungen. Es kann nicht direkt durch den Anwender erzeugt werden und die Daten können nicht verändert werden. Ein Histogramm wird durch eine Monte Carlo Simulation erzeugt. Der Anwender kann nur die Achsen anpassen oder Graphen und Markierungen ändern.

14.1 Die Ansicht *Diagramm*

Bild 68 zeigt die zusätzliche Ansicht *Diagramm* zum Bearbeiten von Diagrammen. Die Ansicht unterstützt die Verwaltung mehrer zweidimensionaler (2-D) Diagramme. Jedes Diagramm kann andere Daten der Auswertung darstellen.

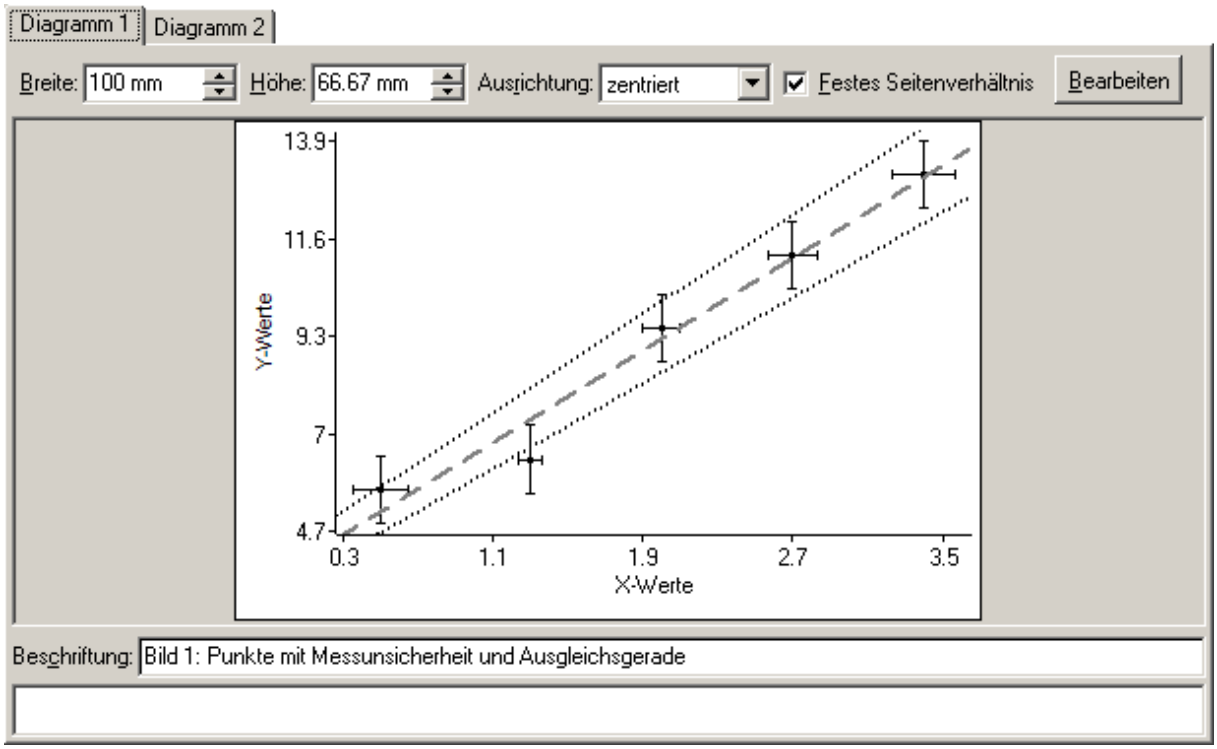


Bild 76: *Diagramm* Ansicht

Die Größe jedes Diagramms wird durch die Eingabefelder Breite und Höhe bestimmt. Das Feld Ausrichtung bestimmt, wie das Diagramm im Bericht ausgedruckt wird. Die Größe der Darstellung auf dem Bildschirm entspricht etwa der Größe des Diagramms im Bericht. Die Standardgröße für neue Diagramme ist 15 cm x 10 cm.

Mit der Option *Festes Seitenverhältnis* wird erreicht, dass die Breite und die Höhe des Diagramms automatisch mitgeändert werden, wenn eines der Felder geändert wird.

Das Feld *Ausrichtung* steuert die Ausrichtung des Diagramms beim Ausdruck auf einer Seite des Berichts. Standardmäßig werden Diagramme zentriert.

Einzelheiten zu den Diagrammen können mit dem Dialog *Diagramm Eigenschaften* eingesehen und geändert werden. Der Dialog kann über die Taste *Bearbeiten*, mit einem Doppelklick auf das Diagramm sowie über das Menü mit *Diagramm* | *Diagramm bearbeiten...* aufgerufen werden.

Für jedes Diagramm gibt es ein Beschriftungs- und ein Beschreibungsfeld, deren Inhalte im Bericht unterhalb des Diagramms ausgedruckt werden.

Über das *Diagramm* Menü lassen sich weitere Diagramme erstellen oder existierende Diagramme löschen, sowie die Reihenfolge der Diagramme ändern.

14.2 Diagramm-Eigenschaften

Bild 69 zeigt den Dialog zum Bearbeiten der *Diagramm Eigenschaften*. Der Dialog ist in verschiedene Tabulatorseiten untergliedert, auf denen sich verschiedene Aspekte des Diagramms ändern lassen.

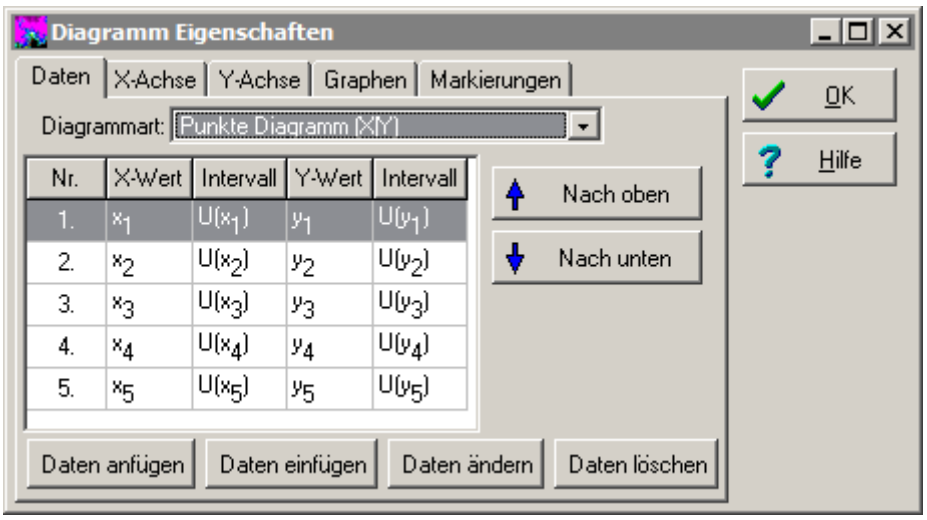


Bild 77: Dialog *Diagramm Eigenschaften*, Karteikarte *Daten*

Die Karteikarte *Daten* zeigt die Einzelheiten zu den dargestellten Daten. Auf den Karteikarten *X-Achse* und *Y-Achse* lassen sich die Eigenschaften der Achsen und deren Beschriftung

 © 2009 Metrodata GmbH

bearbeiten. Auf den Karteikarten *Graphen* und *Markierungen* werden zusätzliche Linien verwaltet, die im Diagramm dargestellt werden sollen.

Alle Änderungen im Dialog *Diagramm Eigenschaften* sind sofort im Diagramm sichtbar.

14.2.1 Karteikarte *Daten*

Auf der Karteikarte *Daten* wird die *Diagrammart* eingestellt (siehe Tabelle 20) und die Datenmatrix angezeigt.

Tabelle 20: Unterstützte Diagrammarten

Diagrammart	Beschreibung	Daten
Punkte Diagramm (X|Y)	Stellt Datenpunkte mit einem getrennten X- und Y-Wert dar, wobei beide unsicher sein können.	X, U(x), Y, U(Y)
Unsicherheitsdiagramm (Y|U)	Stellt Unsicherheitsbalken für die ausgewählten Größen (Y-Werte) dar.	Y, U(Y)
Werte-Diagramm (Y)	Stellt die ausgewählten Größen als Y-Werte mit Unsicherheit dar. Die X-Achse wird mit den Namen der Größen beschriftet.	Y, U(Y)
ζ-Wert Diagramm	Stellt die ζ-Werte der Ausgewählten Größen als Balken dar. Die X-Achse wird mit dem ζ-Wert des Namens der Größe beschriftet.	Y
Histogramm	Zeigt die Daten als Histogramm. Ein Histogramm kann nicht direkt durch den Anwender erzeugt werden und die Daten lassen sich nicht ändern.	

Die Datenmatrix (Tabelle in Bild 77) zeigt die ausgewählten Datenpunkte. Der Aufbau und Inhalt der Datenmatrix ist abhängig von der Diagrammart.

Der Inhalt der Datenmatrix wird gelöscht, sobald die Diagrammart geändert wird.

Mit Hilfe der Schaltflächen *Nach oben* und *Nach unten* kann die Reihenfolge der Einträge in der Datenmatrix geändert werden. Änderungen an der Reihenfolge sind nur sichtbar, wenn die Diagrammart *Werte-Diagramm (Y)* oder *ζ-Wert Diagramm* ist.

Mit den Tasten *Daten anfügen*, *Daten einfügen*, *Daten ändern* und *Daten löschen* kann der Inhalt der Datenmatrix entsprechend manipuliert werden.

14.2.2 Daten an- und einfügen

Mit den Dialogen *Daten anfügen* und *Daten einfügen* können zusätzliche Daten in die Datenmatrix an- bzw. eingefügt werden (siehe Bild 78). Der Dialog wird mit den Tasten *Daten anfügen* und *Daten einfügen* aufgerufen.

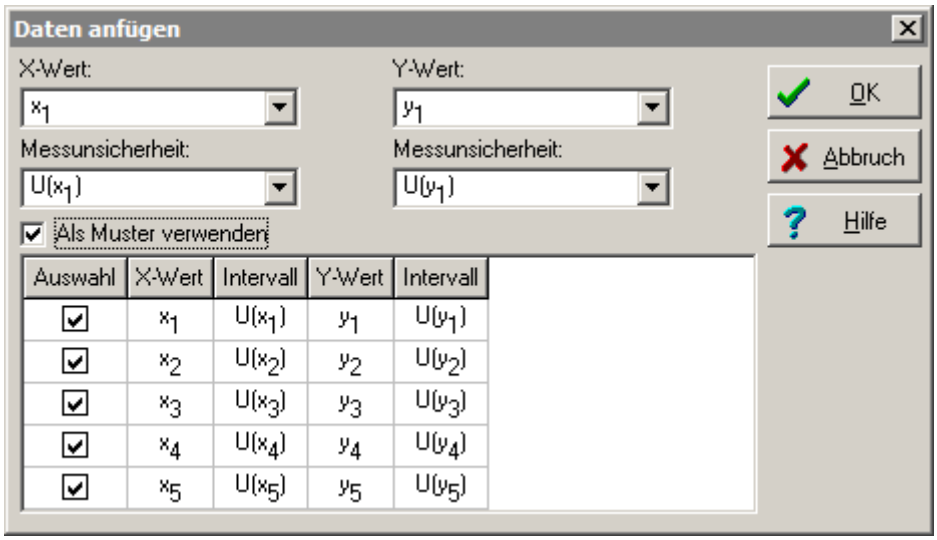


Bild 78: Der Dialog *Daten anfügen* für ein *Punkte Diagramm (X|Y)*

Welche Elemente bei *Daten anfügen* und *Daten einfügen* zu Verfügung stehen, ist abhängig von der Art des Diagramms (siehe Tabelle 20). Die zur Verfügung stehenden Datenwerte können auf der Basis der Größen aus der Modellgleichung ausgewählt werden. Nur Größen eines bestimmten Typs (z.B. Ergebnis, Zwischenergebnis und Typ B normal verteilt) können dargestellt werden.

Mit der Option *Als Muster verwenden* können mehrere Dateneinträge gleichzeitig an die Datenmatrix angefügt werden. Mit der Option *Auswahl* lässt sich jeder Eintrag einzeln auswählen, der an die Datenmatrix angefügt werden.

Die Taste *OK* schließt den Dialog und fügt die Daten hinzu und die *Abbruch* Taste schließt den Dialog ohne die Datenmatrix zu ändern.

14.2.3 Daten ändern

Die Einträge der Datenmatrix können einzeln mit dem Dialog *Daten ändern* bearbeitet werden. Der Dialog wird mit der Taste *Daten ändern* aufgerufen und ist wie der Dialog *Daten anfügen* aufgebaut. Die *Als Muster verwenden* Option ist aber nicht verfügbar.

14.2.4 Achsenparameter

Die Parameter für die X- und Y-Achse können auf den Tabulatorseiten *X-Achse* und *Y-Achse* geändert werden (siehe Bild 79). Der Inhalt des Beschriftungsfeldes kann frei gewählt werden und es wird neben bzw. unter der Achse dargestellt.

Der Bereich *Skalierung* steuert die Skala der Achse. Der dargestellte Bereich wird über die Felder *Minimalwert* und *Maximalwert* festgelegt. Mit der Option *Automatisch* wird der entsprechende Wert aus dem Inhalt der Datenmatrix ermittelt. Das Feld *Anzahl Teilstriche* steuert, wie viele Teilstriche die Achse hat.

 © 2009 Metrodata GmbH

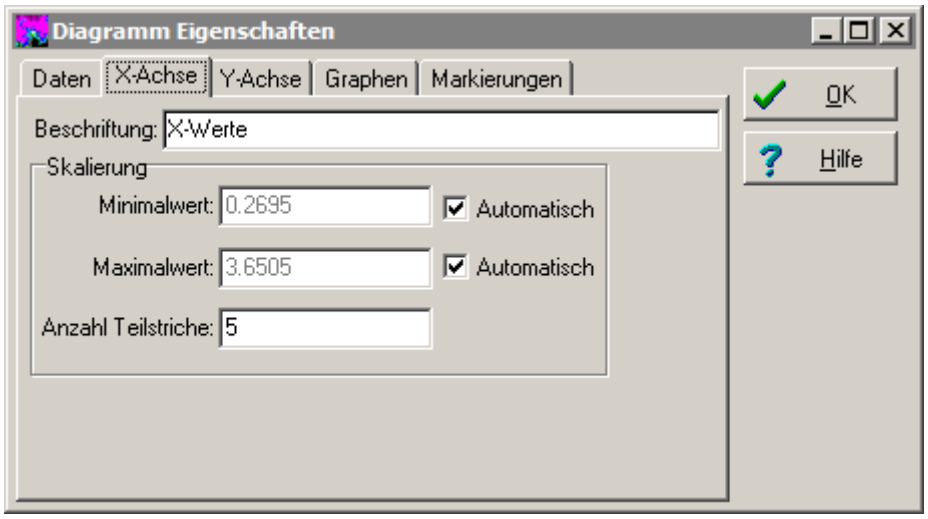


Bild 79: Dialog *Diagramm Eigenschaften*, Karteikarte *X-Achse*

14.2.5 Karteikarte *Graphen*

Neben den Daten der Datenmatrix kann ein Diagramm auch Graphen von Funktionen enthalten. Damit lassen sich alle Linien auf dem Diagramm erzeugen, die durch eine Gleichung der Form $f(x)$ beschrieben werden können, wie z.B. Geraden, Parabeln oder Exponentialfunktionen.

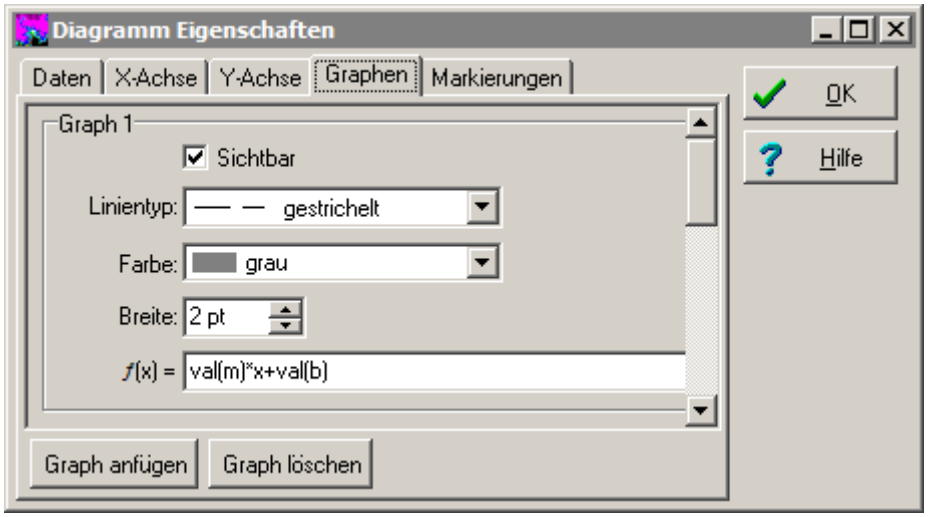


Bild 80: Dialog *Diagramm Eigenschaften*, Karteikarte *Graphen*

Graphen werden auf der Tabulatorseite *Graphen* verwaltet (siehe Bild 80). Mit den Tasten *Graph anfügen* und *Graph löschen* können zusätzliche Graphen erzeugt oder existierende Graphen gelöscht werden. Für jeden Graphen wird ein Abschnitt *Graph <n>* erzeugt. Um alle Graphen zu sehen, muss man ggf. den Rollbalken benutzen.

Ein *Graph* ist nur auf dem Diagramm sichtbar, wenn die Option *Sichtbar* aktiviert ist.

Mit *Linientyp* wird die Liniendarstellung gewählt. Folgende Linientypen werden unterstützt: *durchgezogen*, *gestrichelt* und *punktiert*.

Mit dem Feld *Farbe* kann die Farbe des Graphen gewählt werden.

Das Feld *Breite* gibt die Breite der Linie an.

Der Verlauf der Linie des Graphen wird über das Gleichungsfeld ($f(x)$ =) gesteuert. Der Inhalt dieses Feldes muss ein gültiger mathematischer Ausdruck (ohne Gleichheitszeichen) sein. Der Ausdruck definiert die Y-Werte als Funktion der X-Werte. Alle vordefinierten Funktionen wie `sin()`, `cos()` und `exp()` können benutzt werden. Auch auf die Daten der Größen aus der Modellgleichung kann mit Hilfe der Zugriffsfunktionen `val()`, `u()` und `U()` zugegriffen werden (siehe Tabelle 21).

Der Bereich der X-Werte für den der Funktionsgraph dargestellt wird kann eingeschränkt werden. Dazu kann nach dem Ausdruck für die Funktion eine Bereichspezifikation '[<von>...<bis>]' für die gültigen X-Werte folgen. Die Bereichsspezifikation beginnt mit einer geöffneten eckigen Klammer '[' gefolgt von einer optionalen Zahl <von>. Danach folgen zwingend 3 Punkte '...' und optional eine weitere Zahl <bis> und einer schließenden eckigen Klammer ']'. Wenn keine Zahl angegeben wird, ist der Bereich an der entsprechenden Seite offen. Wird keine Bereichsangabe angegeben, entspricht das dem Bereich '[...]'.

Beispiel: '[2.5...3.5]' spezifiziert, dass der Funktionsgraph nur im Bereich der X-Werte zwischen 2.5 und 3.5 dargestellt wird. Symbolische Grenzen sind nicht zulässig.

Tabelle 21: Zugriffsfunktionen auf die Daten der Größen

Zugriffsfunktion	Beschreibung	Beispiel
val(<name>)	Die val() Funktion liefert den Wert der Größe mit dem Namen <name> zurück.	val(x_1)
u(<name>)	Die u() Funktion liefert die Standardmessunsicherheit der Größe mit dem Namen <name> zurück.	u(x_1)
U(<name>)	Die U()Funktion liefert die erweiterte Messunsicherheit der Größe mit dem Namen <name> zurück. Diese Funktion ist nur für Größen vom Typ Ergebnis oder Zwischenergebnis definiert.	U(x_1)

Graphen sind nur sichtbar, wenn die Daten gültig sind, die im Funktionsausdruck benutzt werden. Es wird nur der durch die Achsen definierte Bereich der Graphen dargestellt. Graphen haben keinen Einfluss auf den dargestellten Bereich der Achsen, wenn für den Bereich die Option *Automatisch* gewählt wurde.

 © 2009 Metrodata GmbH

14.2.6 Karteikarte *Markierungen*

Markierungen sind senkrechte Linien im Diagramm. Sie sind ähnliche Elemente wie Graphen, aber anstatt eines Funktionsausdrucks wird die X-Position der Markierung angegeben (siehe auch den Abschnitt über Graphen für weitere Details).

Die X-Position der Gerade für die Markierung wird durch den mathematischen Ausdruck im Gleichungsfeld (*x* =) festgelegt. Die vordefinierten Funktionen wie `sin()`, `cos()` und `exp()` können benutzt werden, um die Position zu berechnen. Auch auf die Daten der Größen aus der Modellgleichung kann mit Hilfe der Zugriffsfunktionen `val()`, `u()` und `U()` zugegriffen werden (siehe Tabelle 21).

Markierungen werden sinnvollerweise in Histogrammen benutzt, um bestimmte Parameter wie den Erwartungswert oder ein Überdeckungsintervall zu markieren.

14.3 Das Menü *Diagramm*

Die Diagramme können mit dem Menü *Diagramm* verwaltet werden. Tabelle 22 beschreibt die unterstützten Befehle.

Tabelle 22: Befehle im Menü *Diagramm*

Menübefehl	Beschreibung
Diagramm anfügen	Fügt ein neues Diagramm am Ende der Diagrammliste an.
Diagramm entfernen	Löscht das in der Ansicht dargestellte Diagramm.
Diagramm einfügen	Fügt ein neues Diagramm vor dem dargestellten Diagramm in die Diagrammliste ein.
Diagramm vertauschen	Vertauscht das dargestellte Diagramm mit seinem rechten Nachbarn.
Diagramm bearbeiten	Öffnet den Dialog *Diagramm Eigenschaften*.

14.4 Diagramme drucken und exportieren

Alle Diagramme werden im Bericht nach der Liste der Ergebnisse und der Korrelationsmatrix für die Ergebnisse ausgedruckt.

Bild 70 zeigt, wie ein Diagramm in einem Bericht oder als RTF-Export aussieht. Nach dem Diagramm folgen im Bericht die Beschriftung und die Beschreibung für das Diagramm.

Beim Export wird das Diagramm in das Windows Metafile Format konvertiert und als Objekt in eine RTF-Datei eingebettet. Beim Export in HTML oder Text-Format werden Diagramme ignoriert und nicht mit ausgegeben.

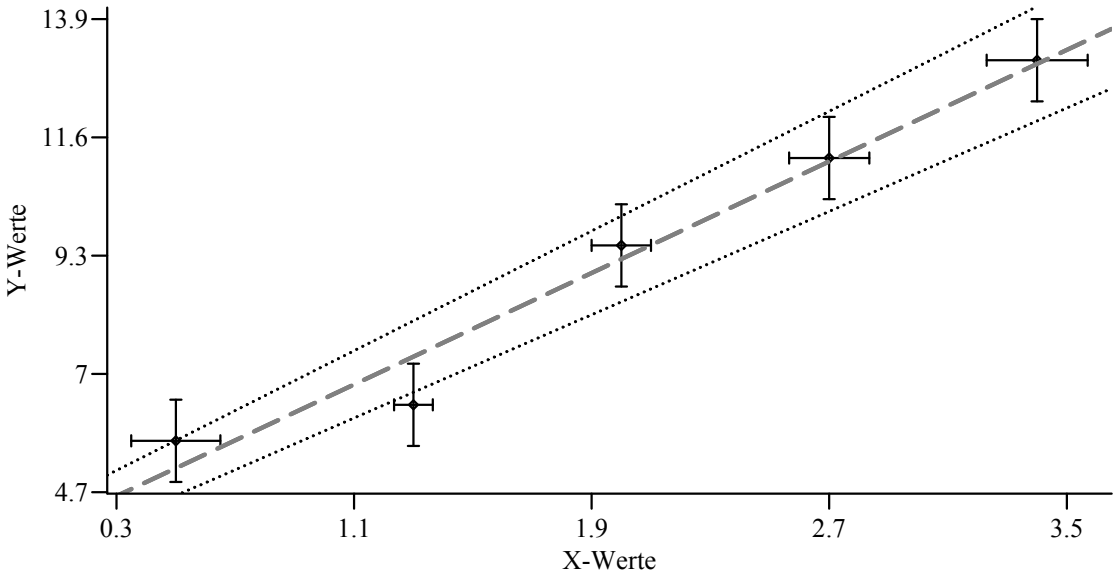


Bild 81: Beispiel für ein Diagramm in einem Bericht oder nach dem Export als RTF-Datei

14.5 Mehrere Diagramme

Die Ansicht *Diagramm* unterstützt die Verwaltung einer Diagrammliste mit einer theoretisch unbegrenzten Anzahl von Diagrammen. In der Praxis wird aber die Anzahl der Diagramme durch den Speicher und die Rechenleistung des Computers auf maximal 20 Diagramme pro SMU-Datei begrenzt. Es werden immer alle Diagramme, Beschriftungen und Beschreibungen am Ende des Berichts ausgedruckt.

 © 2009 Metrodata GmbH

15 Einstellungen

In GUM Workbench® lassen sich verschiedene Aspekte des Programms über den Dialog *Einstellungen* durch den Anwender anpassen. Der Aufruf erfolgt über den Menübefehl *Optionen|Einstellungen*. Der Dialog ist mit Hilfe von Karteikarten strukturiert und fasst jeweils eine Gruppe von Einstellungen auf einer Karteikarte zusammen. Alle Änderungen in den Einstellungen sind dauerhaft und werden beim Verlassen von GUM Workbench gespeichert.

15.1 Allgemein

Auf der Karteikarte *Allgemein* (siehe Bild 82) wird die Benutzung der Dokument-informationsfelder eingestellt. Das Feld *Autor* enthält den Standardwert für den Autor einer Messunsicherheitsanalyse. Der Inhalt dieses Feldes wird in das Feld *Autor* der SMU-Datei kopiert, wenn ein neues Messunsicherheitsbudget erstellt wird. Beim Bearbeiten bestehender Auswertungen wird das Feld *Autor* nicht geändert.

Im Bereich *Datum* werden die Datumsoptionen eingestellt. Mit den Feldern *Datum Reihenfolge* und *Datum Trennzeichen* lässt sich das Datumsformat für die Anzeige und Eingabe einstellen. Das Datumsformat im Bericht ist davon unabhängig. Er wird alleine durch die Wahl des Berichts auf der Karteikarte *Sprache* festgelegt.

Wird die Option *Datum automatisch anpassen* aktiviert, ist die Bearbeitung des Feldes Datum in der Ansicht *Modell* Karteikarte *Allgemein* nicht möglich. Stattdessen wird das Datum automatisch aktualisiert, sobald etwas an der Auswertung geändert wird.

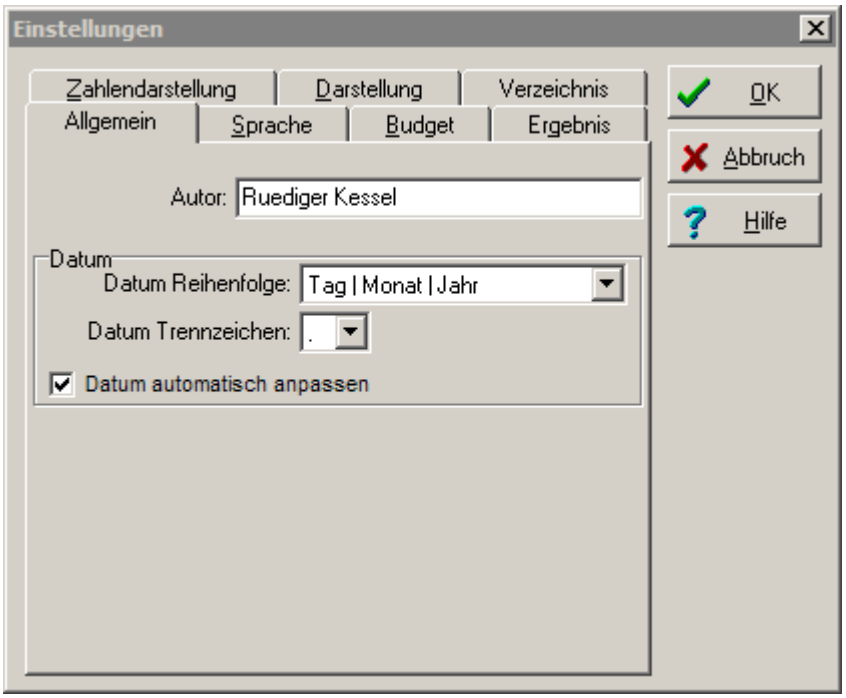


Bild 82: Einstellungen *Allgemein*

15.2 Sprache

Die Karteikarte Sprache (siehe Bild 83) dient zur Wahl der Spracheinstellungen für Dialoge, Berichte und den Export. Außerdem kann das verwendete Papierformat konfiguriert werden.

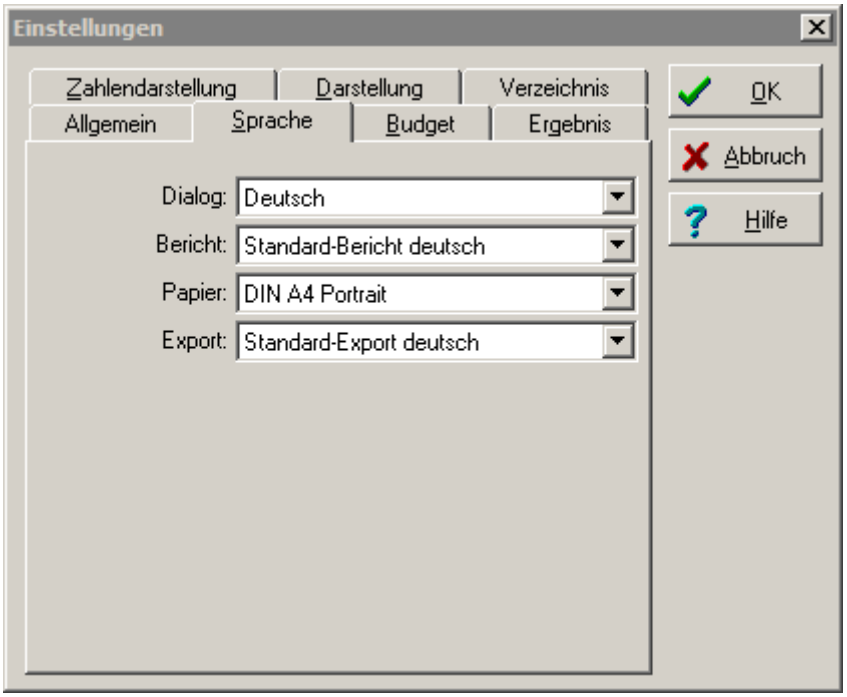


Bild 83: Einstellungen *Sprache*

15.3 Budget

Auf der Karteikarte *Budget* wird die Budgettabelle konfiguriert (siehe Bild 84). Das Feld *% Hervorgehobener Beitrag* steuert die Bewertung und gelbe Markierung der Unsicherheitsbeiträge im Budget. Eine Erhöhung des Wertes führt dazu, dass auch kleinere Beiträge als wesentlich markiert werden, nach einer Reduzierung des Wertes werden weniger Beiträge als wesentlich eingestuft. Der Vorgabewert von 95 % ist normalerweise gut geeignet, ein Budget zu bewerten.

Im Bereich *Spalten* wird festgelegt, welche Spalten in der Budgettabelle in der Ansicht *Budget* und im Bericht dargestellt werden können. Die Reihenfolge der Spalten liegt grundsätzlich fest. Die einzelnen Spalten können nur ein- und ausgeblendet werden. Bei einigen Spalten besteht die Option die Werte relativ oder in Prozent (%) angeben zu lassen.

Durch Deaktivierung der Option *Linearitätstest* kann der Linearitätstest (siehe H.1) ausgeschaltet werden. Der Test erfordert die 5-malige Berechnung des Modells für jede Eingangsgröße. Nach dem Abschalten des Tests wird das Modell nur 2-mal für jede Eingangsgröße berechnet. Bei sehr großen Auswertungen kann dadurch die Verzögerung beim Umschalten auf die Ansicht *Budget* verbessert werden.

 © 2009 Metrodata GmbH

Warnung: Eine mögliche signifikante Nichtlinearität wird nicht mehr erkannt, wenn die Option *Linearitätstest* abgeschaltet ist.

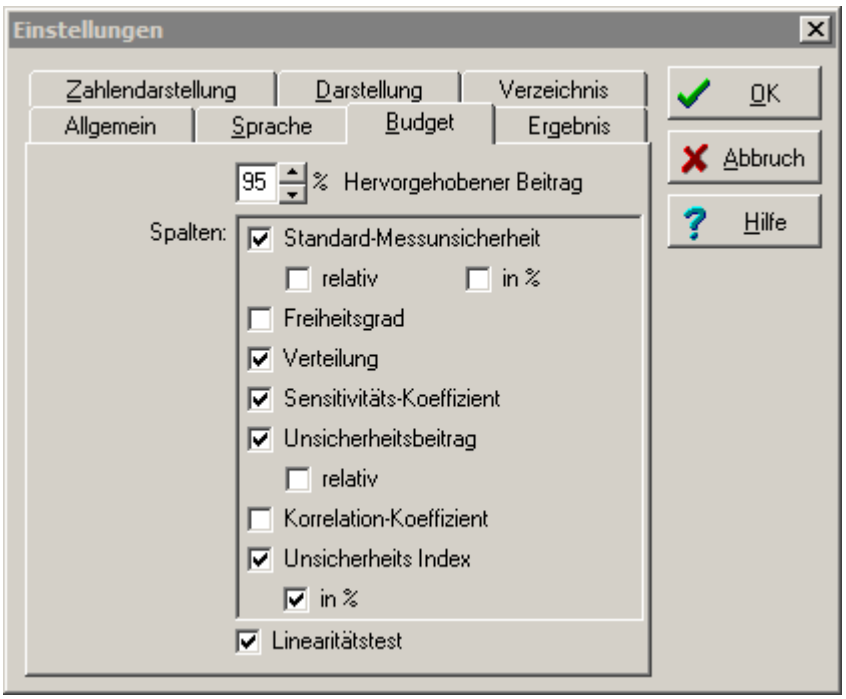


Bild 84: Einstellungen *Budget*

15.4 Ergebnis

Auf der Karteikarte *Ergebnis* lassen sich die Vorgabewerte für den Abschnitt *Ergebnis* in der Ansicht *Budget* einstellen (siehe Bild 85). Der Inhalt des Feldes *Vorgabewert* ist nur wirksam, wenn für die *Überdeckung* die Option *manuell* ausgewählt wird. Wird die Option *Ergebnisse anpassen* aktiviert, werden alle Ergebnisse der aktuellen Messunsicherheitsauswertung auf die Vorgabewerte gesetzt.

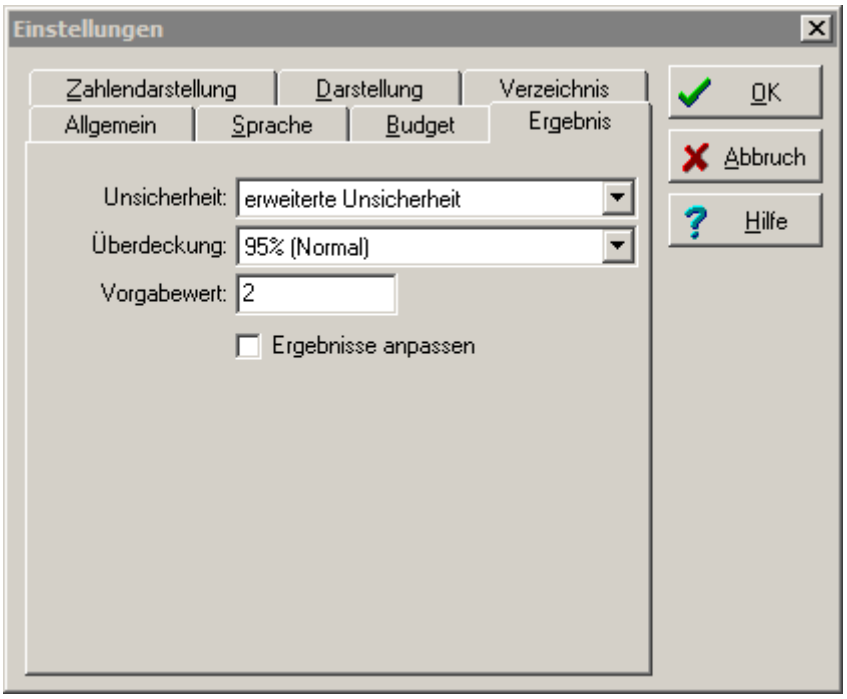


Bild 85: Einstellungen *Ergebnis*

15.5 Zahlendarstellung

Auf der Karteikarte *Zahlendarstellung* wird eingestellt, wie sehr große und sehr kleine Zahlen ausgegeben werden (siehe Bild 86). Alle Zahlen, die kleiner oder größer als die beiden Schwellwerte sind, werden in Exponentialdarstellung ausgegeben, wobei der Exponent immer ein Vielfaches von 3 ist und so gewählt wird, dass die Mantisse innerhalb des im Feld *Mantisse* eingestellten Wertebereichs liegt.

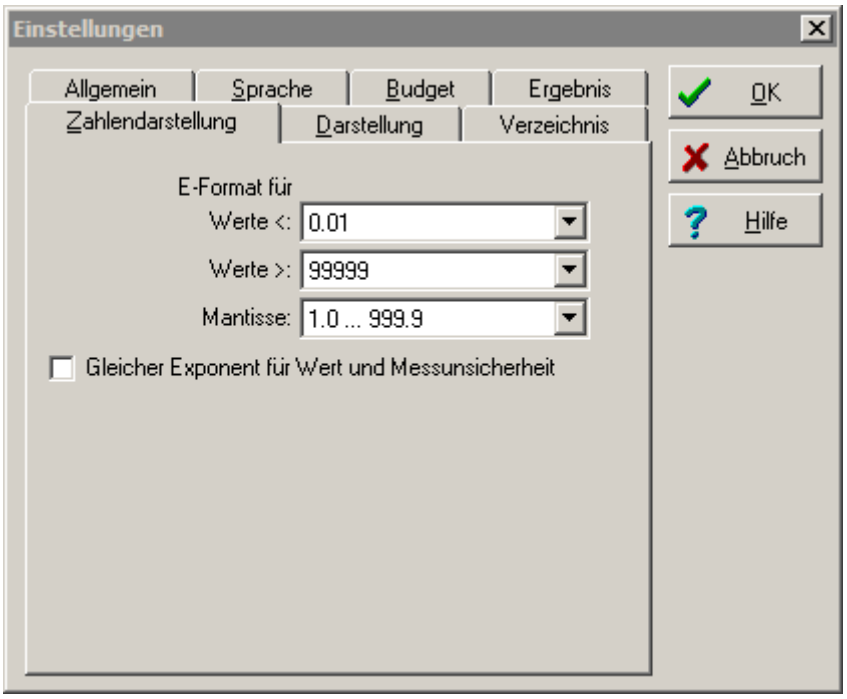


Bild 86: Einstellungen *Zahlendarstellung*

© 2009 Metrodata GmbH

Die Option *Gleicher Exponent für Wert und Messunsicherheit* erzwingt, dass für den Wert und die beigeordnete Messunsicherheit der gleiche Exponent gewählt wird.

15.6 Darstellung

Auf der Karteikarte *Darstellung* lässt sich im Feld *Zoom* ein genereller Vergrößerungsfaktor einstellen (siehe Bild 87). Außerdem lassen sich die Zeichensätze für verschiedene Elemente der Benutzerschnittstelle verändern. Die Änderungen an diesen Einstellungen werden erst nach einem Neustart von GUM Workbench wirksam.

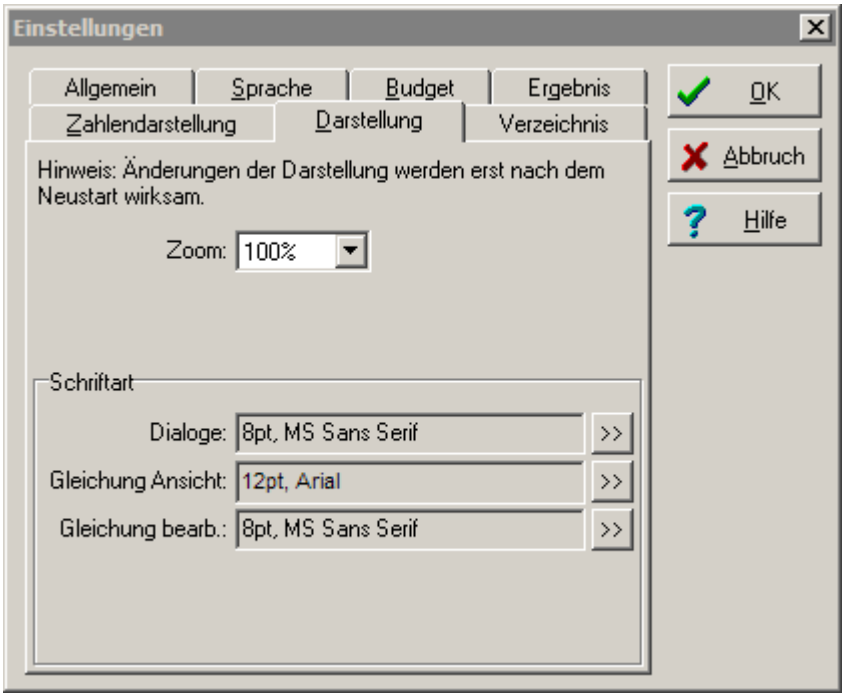


Bild 87: Einstellungen *Darstellung*

Warnung: Wenn Sie im Feld *Dialoge* einen zu großen Zeichensatz auswählen (>12pt) reicht der Platz in den Dialogen nicht mehr aus, um alle Bedienelemente richtig anzeigen zu können. Zum Vergrößern der Darstellung verwenden Sie besser das Feld *Zoom*.

15.7 Verzeichnisse

Auf der Karteikarte *Verzeichnis* können die Verzeichnisse eingestellt werden. Im Arbeitsverzeichnis werden die SMU-Dateien abgelegt. Es ist nach der Installation auf das Unterverzeichnis `.\Budgets\` im Dokumentenverzeichnis des Anwenders eingestellt.

GUM Workbench legt automatisch ein Backup der aktuell bearbeiteten Auswertung bei verschiedenen Operationen an. Das Backup-Verzeichnis ist nach der Installation das Unterverzeichnis `.\Budgets\Backup\` im Dokumentenverzeichnis des Anwenders. Ist das Feld *Verzeichnis für automatische Backups* leer, wird kein Backup angelegt.

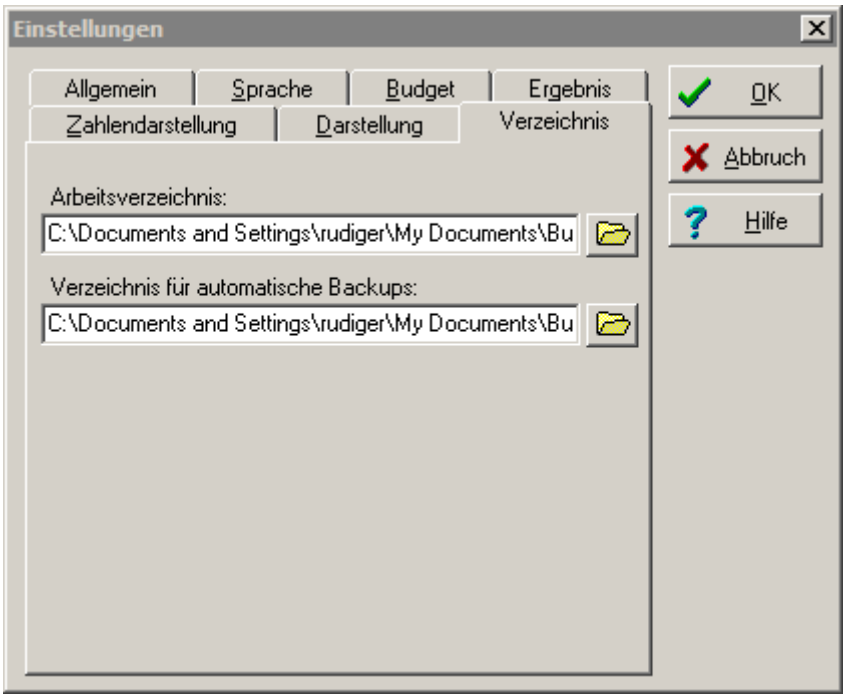


Bild 88: Einstellungen *Verzeichnisse*

© 2009 Metrodata GmbH

16 Online Hilfe

GUM Workbench stellt eine umfangreiche Hilfe zur Verfügung, die wichtige Auszüge aus diesem Handbuch beinhaltet.

Hilfe wird über die Standard-Hilfedateien (".HLP") von Windows angeboten. Sie können Hilfe anfordern, indem Sie im Menü *Hilfe* den Befehl *Inhalt* auswählen und von dort aus die Hilfe-Funktionen verwenden. Oder Sie betätigen die Schaltfläche Hilfe (mit dem Fragezeichen), die in den meisten Fenstern und Dialogboxen von GUM Workbench zu sehen ist. Hier wird eine kontextsensitive Hilfe zur Verfügung gestellt. Die Hilfe zeigt entsprechend dem Thema relevante Informationen an.

Die Hilfe-Dateien von GUM Workbench sind in mehreren Sprachen erhältlich. Die Sprache, die das Programm verwendet, kann auch über den Menüpunkt *Einstellungen* ausgewählt werden (siehe Abschnitt 15.2).

16.1 Versionsinformation

Detaillierte Informationen zu der installierten Version von GUM Workbench finden Sie im Dialog *Info* im Menü *Hilfe*. Die Versionsnummer besteht aus vier Zahlen, die durch Punkte getrennt sind. Die erste Zahl gibt an, ob eine Standardversion (1) oder Professional Version (2) installiert ist. Die zweite Zahl gibt die Strukturversion der SMU-Dateien an, die maximal gelesen werden können (3 oder 4). Die dritte Zahl gibt den Versionsstand an. Die letzte Zahl ist die Build-Nummer. Sie wird mit jedem neuen Build des Programmpakets erhöht. Die Versionsinformation zu den intern verwendeten Modulen ist mit der Schaltfläche *Module* abrufbar.

17 Experten Module

GUM Workbench Version 2.3 und 2.4 besitzen eine Schnittstelle, um Expertenmodule aus GUM Workbench aufrufen zu können. Expertenmodule sind getrennte Programme (DLL-Dateien), die im Unterverzeichnis `.\Experts\` unterhalb des Installationsverzeichnisses abgelegt sind. Die Expertenmodule haben eine spezielle Struktur und müssen speziell für GUM Workbench erstellt werden.

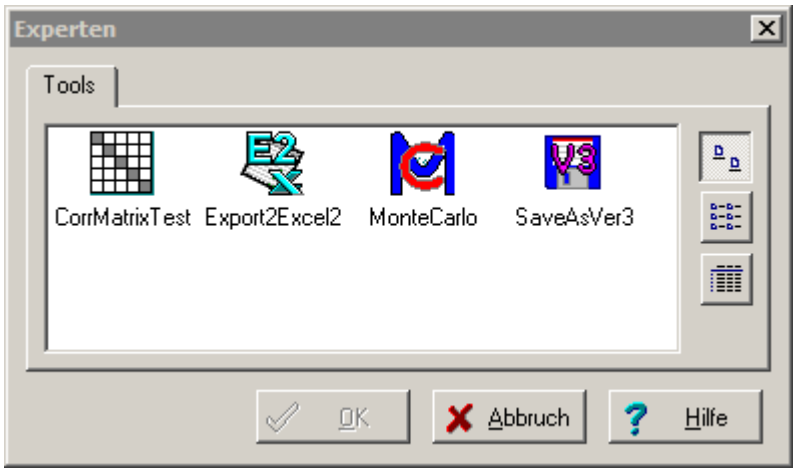


Bild 89: Dialog *Experten* zur Auswahl eines Experten Moduls

Die Expertenmodule werden über den Dialog *Experten* im Menü *Extras* aufgerufen (siehe Bild 89). Optional können die Experten mit Karteikarten organisiert werden, wobei die Namen der Karteikarten den Namen von Unterverzeichnissen im Verzeichnis `.\Experts\` entsprechen. Der Dialog unterstützt drei verschiedene Ansichten für die Liste der verfügbaren Expertenmodule. Die Ansicht wird mit drei Schaltflächen neben der Liste gewählt. In der Detailansicht sind zusätzliche Informationen zu den Experten abrufbar.

Ein Experte kann entweder durch Doppelklick auf das Icon oder Selektierung und betätigen von *OK* gestartet werden. Nach dem Start wird der Dialog geschlossen und die Ausführung von GUM Workbench wird unterbrochen. Die Ablaufkontrolle wird an den Experten übergeben. Der Experte führt jetzt seine Aufgabe aus. GUM Workbench wird wieder weiter ausgeführt, nachdem der Experte seine Ausführung beendet hat.

17.1 Experte: Export nach Excel (*Export2Excel2*)

Der Experte zum Exportieren der Auswertung nach Excel (`Export2Excel2.dll`) ist ein nützliches Modul zum Exportieren von Daten aus dem Budget nach MS Excel®. Dabei werden Zahlen und Einheiten in getrennte Zellen exportiert und für die unterschiedlichen Informationen werden getrennte Arbeitsblätter angelegt.

 © 2009 Metrodata GmbH

Der Experte nutzt die OLE Automatisierungsschnittstelle von MS Excel®, um die Daten zu übertragen. Der Experte wird über den Dialog *Experten* im Menü *Extras* gestartet.

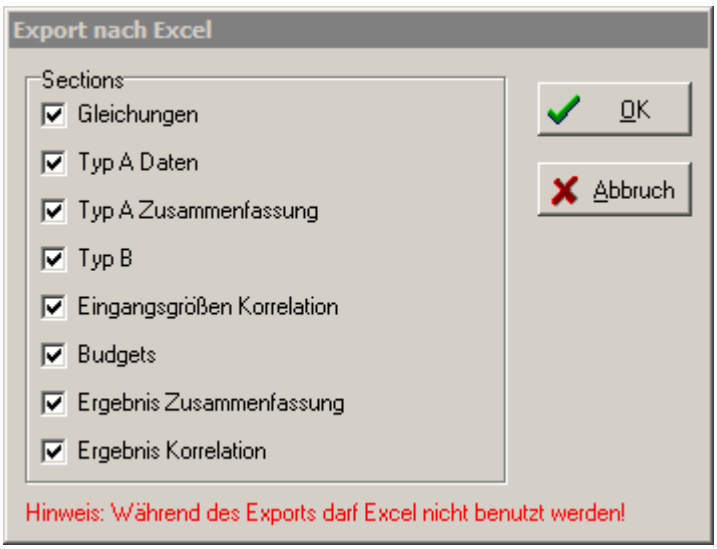


Bild 90: Experte *Export2Excel2*, alle Ausgabeoptionen sind aktiviert

Der Experte hat einen eigenen Dialog, mit dem ausgewählt werden kann, welche Teile der Auswertung übertragen werden sollen (siehe Bild 90). Nach betätigen der Schaltfläche *OK* wird mit der Datenübertragung begonnen.

MS Excel® wird automatisch gestartet, wenn es nicht schon im Hintergrund läuft und eine neue Arbeitsmappe wird angelegt. Entsprechend der aktiven Optionen im Dialogfenster *Export nach Excel* werden mehrere Arbeitsblätter angelegt und mit Daten befüllt.

Hinweis: Stellen Sie sicher, dass Sie, solange der Experte läuft, nicht mit MS Excel® interagieren, da sonst die Operation gestört werden kann. Greifen Sie auf MS Excel® erst wieder zu, nachdem der Experte beendet wurde und GUM Workbench die Kontrolle wieder übernommen hat.

17.2 Experte: Dateien als Struktur 3 speichern (*SaveAsVer3*)

Der Experte zum Speichern in Struktur 3 (`SaveAsVer3.dll`) ist nur Teil der Installation von GUM Workbench Version 2.4. Er dient dazu, mit Version 2.4 eine SMU-Datei zu erstellen, die von Version 2.3 und 1.3 eingelesen werden kann.

GUM Workbench Version 2.4 benutzt beim Speichern der SMU-Dateien die Dateistruktur Nummer 4, wenn in einer Auswertung Bilder eingebunden wurden, Diagramme erstellt wurden oder eine Monte Carlo Simulation durchgeführt wurde.

Soll eine Datei mit GUM Workbench Version 2.3 und 1.3 lesbar sein, müssen alle Bilder und Diagramme wieder gelöscht werden. Diese Aufgabe führt der Experte durch, wenn er die Datei in der Dateistruktur 3 speichert.

Hinweis: Verwenden Sie für die Dateien im Strukturformat 3 einen neuen Namen, denn die Bilder und Diagramme werden ohne weitere Warnung gelöscht.

© 2009 Metrodata GmbH

18 Monte Carlo Simulation

GUM Workbench ab Version 2.4.1 unterstützt eine Schnittstelle zu Monte Carlo Simulatoren. Die Schnittstelle ist als Expertenmodul implementiert. Der Experte erlaubt die Monte Carlo Simulation entsprechend des GUM Supplement 1 [2] von allen Auswertungen, die mit GUM Workbench erstellt wurden.

Für die Durchführung der Simulation nutzt der Experte einen externen Monte Carlo Simulator. Ein Monte Carlo Simulator ist ein Kommandozeilenprogramm, welches als Eingabe eine Textdatei mit der Beschreibung des mathematischen Modells erwartet und das als Ausgabe eine Datei mit den Histogramm-Daten erstellt. Damit der Experte einen Monte Carlo Simulator benutzen kann, muss der Simulator speziell registriert werden. Mit der Installation von Version 2.4.1 wird die Open Monte Carlo Engine (OMCE) installiert und registriert.

18.1 Open Monte Carlo Engine

Die Open Monte Carlo Engine (OMCE) wurde am US National Institute of Standards and Technology (NIST) entwickelt. Sie ist quelloffen und wird automatisch mit Version 2.4.1 installiert. Die OMCE wurde in Python [8] geschrieben und ist öffentliches Eigentum. Die OMCE ist nicht Teil des GUM Workbench Lizenzvertrages. Der Quellkode wird unterhalb des GUM Workbench Installationsverzeichnisses installiert (`.\bin\OMCE\`). Die OMCE unterstützt alle Konfigurationsoptionen.

18.2 Arbeitsweise

GUM Workbench verwaltet eine komplette Beschreibung über die Messunsicherheits-auswertung in einer vernetzten internen Objektstruktur. Basierend auf dieser Objektstruktur werden die Budgets und die Ergebnisse berechnet. Das Expertenmodul zur Monte Carlo Simulation greift über die OLE Schnittstelle auf die interne Objektstruktur zu und generiert eine XML-Datei, die dann vom Monte Carlo Simulator gelesen und interpretiert werden kann. Der Monte Carlo Simulator liest die XML-Datei, führt die Simulation durch und schreibt seine Ergebnisse in verschiedene Dateien. Nachdem die Simulation beendet ist, liest der Experte die Ergebnisse der Simulation ein und erzeugt daraus Histogramme. Die Histogramme werden nach GUM Workbench übertragen und sind danach Bestandteil der Auswertung. Mit Hilfe der Histogramme kann das Ergebnis der Monte Carlo Simulation direkt mit dem Ergebnis aus dem Budget verglichen werden.

18.3 Systemvoraussetzungen

Während einer Monte Carlo Simulation werden die Modellgleichungen 100 000-mal oder mehr mit Daten aus Zufallsgeneratoren berechnet. Für diese Rechnungen benötigt man einen leistungsfähigen Computer. Die Anforderungen an den Systemspeicher können sich je nach verwendetem Monte Carlo Simulator unterscheiden. Tabelle 23 listet die Anforderungen auf, die der Computer bei der Benutzung der OMCE erfüllen sollte.

Tabelle 23: Systemanforderungen für die Open Monte Carlo Engine

Betriebsmittel	Min. für OMCE	empfohlen
Betriebssystem	Windows 2000	Windows 2000, XP, VISTA
Speicher	500 MB	2 GB
CPU Geschwindigkeit	1 GHz	3 GHz
HDD Plattenplatz	25 MB	>1 GB

18.4 Installation

Drei Programm-Module müssen installiert sein, wenn die Monte Carlo Simulation mit GUM Workbench® benutzt werden soll.

- GUM Workbench® mindestens Version 2.4.1
- Ein Monte Carlo Simulator (z.B. OMCE)
- Das Expertenmodul Monte Carlo (`MonteCarlo.dll`) mindestens Version 1.1.0

Für die Installation von GUM Workbench 2.4.1 wird eine Produkt CD und eine Lizenz mit einer Seriennummer und einem Schlüsselkode benötigt. Für weitere Details sehen Sie bitte auch im Abschnitt 2 über die Programminstallation nach.

Das Expertenmodul Monte Carlo und der Monte Carlo Simulator OMCE sind Teil der GUM Workbench Installation 2.4.1, wenn die Komponente *Experten* während der Installation aktiviert wurde. Es ist keine weitere Installation notwendig.

Es ist möglich, auch andere Monte Carlo Simulatoren mit GUM Workbench zu nutzen. Diese müssen speziell für GUM Workbench registriert werden. Bitte wenden Sie sich an die Metrodata GmbH, wenn Sie dazu Fragen haben.

 © 2009 Metrodata GmbH

18.5 Benutzung des Monte Carlo Simulationsexperten

Jede Messunsicherheitsauswertung kann zusätzlich zum normalen Budget mit Hilfe eines Monte Carlo Simulators ausgewertet werden, sobald alle Daten vollständig sind und es keine Fehlermeldungen gibt. Ungültige Sensitivitätskoeffizienten oder Unsicherheitsbeiträge, die null sind, stellen dabei kein Problem dar.

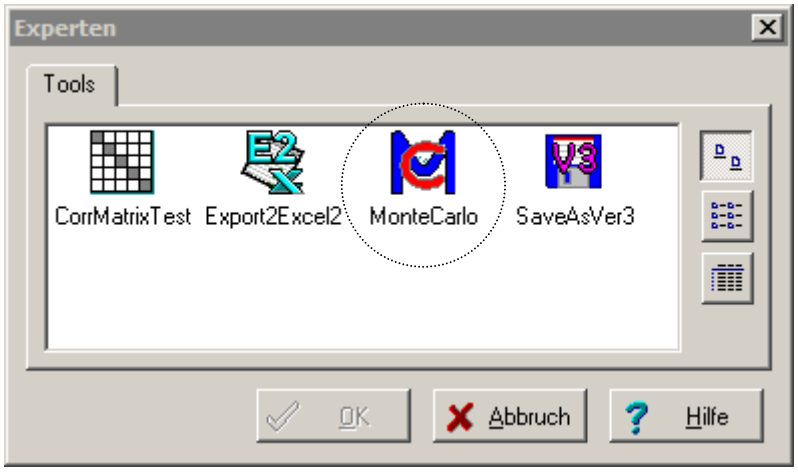


Bild 91: Der Monte Carlo Experte ist in der Kategorie *Tools* verfügbar

Der Aufruf erfolgt entweder über den Dialog *Experten* im Menü *Extras* (siehe Bild 91) oder über das Kommando *Monte Carlo Simulation* ebenfalls im Menü Extras. Nach dem Aufruf prüft der Experte die Auswertung und zeigt eine Fehlermeldung, falls die Daten nicht vollständig sind. Ergänzen Sie ggf. die Daten und rufen Sie den Experten erneut auf.

Sind alle Daten vollständig zeigt der Experte den Dialog in Bild 92. Der Anwender kann jetzt auf der Karteikarte *Ergebnisse auswählen* festlegen, für welche Ergebnisse die Simulation durchgeführt werden soll. Treten in einer Auswertung viele Zwischenergebnisse auf, kann es sinnvoll sein, die Anzahl der Ergebnisse hier zu beschränken. Auf der Karteikarte *Konfiguration* können verschiedene Parameter für die Simulation eingestellt werden (siehe Abschnitt 18.6). Um mit der Simulation zu beginnen, betätigen Sie die Schaltfläche *Start*.

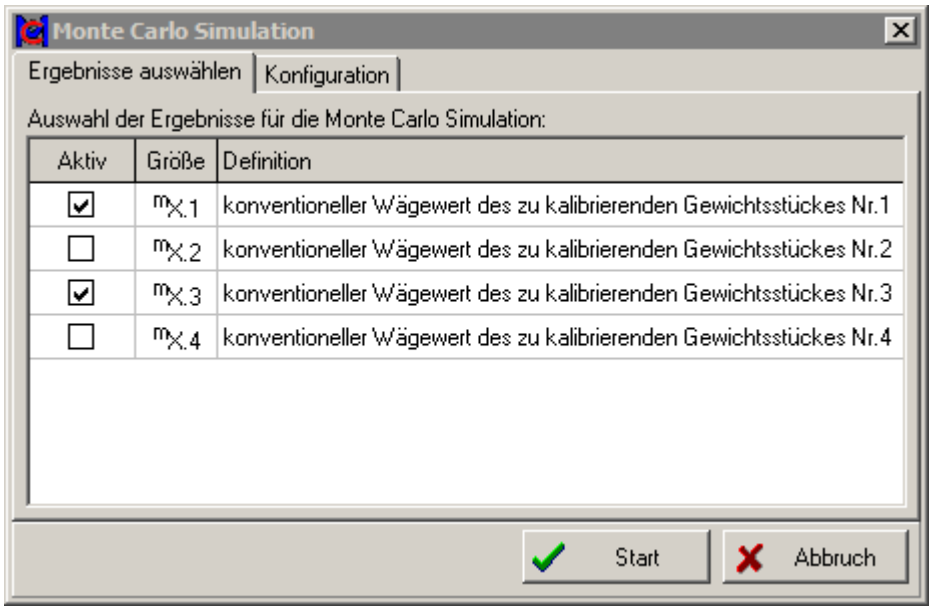


Bild 92: Auswahl der Ergebnisse für die Monte Carlo Simulation

Als Erstes wird aus dem Modell in GUM Workbench automatisch eine XML-Datei als Eingabedatei für den Simulator generiert. Der Dateiname der XML-Datei wird aus dem Namen der SMU-Datei gebildet, wobei das aktuelle Datum vorangestellt wird und die Erweiterung gleich ".OMC" gesetzt wird. Sie wird unterhalb des Dokumentenverzeichnisses des Anwenders im Verzeichnis `.\Budgets\XML\` gespeichert. Ggf. wird noch eine Versionsnummer im Dateinamen eingefügt, um bereits vorhandene Dateien vor dem Überschreiben zu schützen.

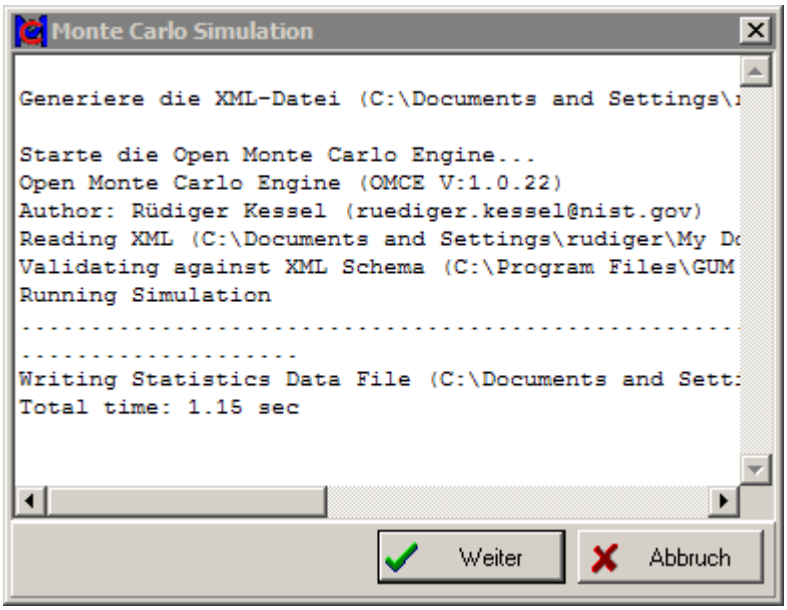


Bild 93: Ausführung des Monte Carlo Simulators

Sobald die XML-Datei generiert ist, wird der Monte Carlo Simulator gestartet und mit der Simulation begonnen. Während der Simulation werden verschiedene Dateien erzeugt, die alle den gleichen Name wie die OMC-Datei haben, aber verschiedene Erweiterungen (BIN,

 © 2009 Metrodata GmbH

VAR und CSV). Der Fortschritt der Simulation kann im Monitorfester beobachtet werden (siehe Bild 93). Mit der Schaltfläche *Abbruch* kann die Simulation jederzeit unterbrochen werden.

Wenn die Simulation abgeschlossen ist, wird eine Schaltfläche *Weiter* sichtbar, mit der das Ergebnis der Simulation betrachtet werden kann (siehe Bild 94). Im letzten Schritt müssen die Histogramm-Daten mit der Schaltfläche *Übertragen* zu GUM Workbench transferiert werden.

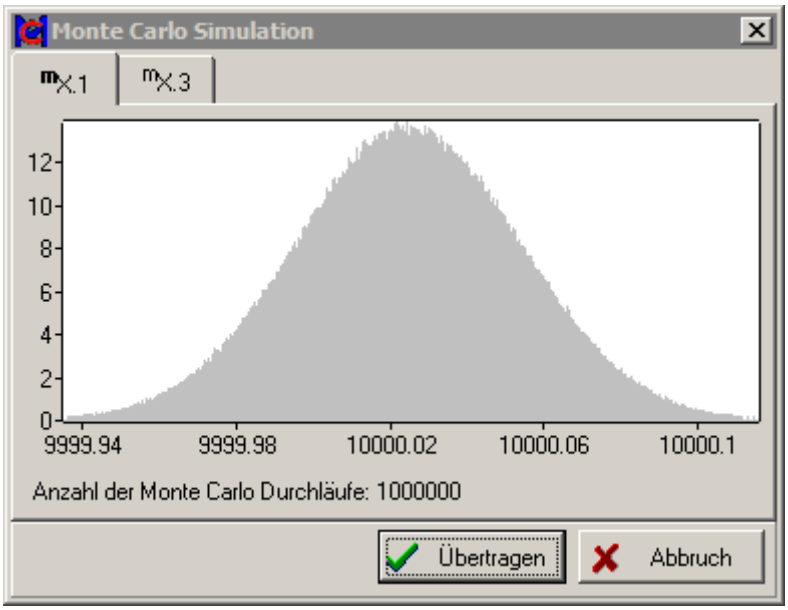


Bild 94: Darstellung der Monte Carlo Ergebnisse und Übertragung nach GUM Workbench

Dabei wird aus den Histogramm-Daten für jedes Ergebnis ein eigenes Diagramm erzeugt, welches dann Teil der SMU-Datei wird. Bereits existierende Diagramme von vorherigen Simulationen werden dabei nicht überschrieben oder gelöscht und sollten vom Anwender ggf. manuell gelöscht werden.

18.6 Konfiguration der Monte Carlo Simulation

Die Konfiguration für den Monte Carlo Simulator kann vor dem Start der Simulation auf der Karteikarte *Konfiguration* geändert werden. Als Erstes sollte der Monte Carlo Simulator ausgewählt werden. Nur installierte und registrierte Simulatoren können verwendet werden.

Als Nächstes kann festgelegt werden, wie die Anzahl der Monte Carlo Läufe bestimmt wird. Entweder wird die Anzahl manuell fest vorgegeben oder eine adaptive Methode genutzt. Bei der adaptiven Methode wird kontinuierlich die laufende Veränderung des Intervalls mit der eingestellten *Intervallwahrscheinlichkeit* (zwischen 0.01 und 1) überwacht und mit einer Toleranz verglichen. Die Toleranz ergibt sich aus der Anzahl der signifikanten Stellen (2) geteilt durch den Wert im Feld *Toleranzteiler* (zwischen 1 und 10). Ein größerer Wert für die

Intervallwahrscheinlichkeit oder ein größerer Wert für den *Toleranzteiler* erhöhen die Anzahl der benötigten Simulationsläufe. Für Einzelheiten zur adaptiven Methode sollte das Handbuch des Monte Carlo Simulators zu Rate gezogen werden.

Beim Ergebnis der Simulation, dem Histogramm, kann die horizontale Auflösung im Feld *Anzahl der Balken* eingestellt werden. Um das Histogramm automatisch auf den interessanten Teil der Verteilung zu beschränken, wird im Feld *Wahrscheinlichkeit der Breite* eine Intervallwahrscheinlichkeit vorgegeben. Das Intervall wird aus den Daten bestimmt und mit dem Wert im Feld *Breitenfaktor* multipliziert und ergibt dann die Darstellungsbreite des Histogramms.

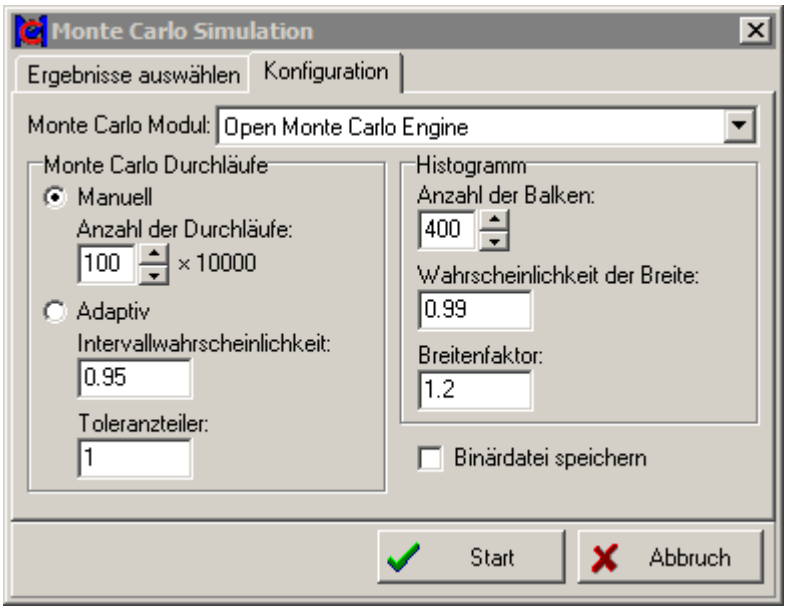


Bild 95: Konfiguration der Monte Carlo Simulation

Hinweis: Nicht alle Optionen sind für alle Monte Carlo Simulatoren verfügbar. Ggf. ist anhand der Dokumentation zu dem eingesetzten Monte Carlo Simulator zu prüfen, ob eine bestimmte Option verfügbar ist.

18.7 Beschränkungen

Der ausgewählte Monte Carlo Simulator kann unter Umständen nicht alle Möglichkeiten von GUM Workbench unterstützen. Falls eine Möglichkeit in der Auswertung benutzt wird, die der ausgewählte Monte Carlo Simulator nicht unterstützt, ist die Erstellung der XML-Datei und damit eine Simulation nicht möglich. Wählen Sie, sofern möglich, einen anderen Simulator oder passen Sie das Modell so an, dass eine Simulation möglich wird.

 © 2009 Metrodata GmbH

Die folgenden Funktionen werden nicht unterstützt:

- Die Funktion `const()` ist im Zusammenhang von Monte Carlo Simulationen nicht definiert und kann auch nicht durch andere Funktionen ersetzt werden. Die Funktion muss ggf. durch eine Zahl oder eine Größe vom Typ Konstante ersetzt werden.
- Das OMCE Modul unterstützt Korrelationskoeffizienten nur zwischen Eingangsgrößen, die normal verteilt sind. Falls Eingangsgrößen nicht normal verteilt und korreliert sind, sollte man das Modell ändern, um diese Korrelation zu vermeiden.

18.8 Darstellung der Ergebnisse der Monte Carlo Simulation

Das Ergebnis einer Monte Carlo Simulation sind die relativen Häufigkeiten der verschiedenen Werte die durch den Monte Carlo Simulator ermittelt wurden. Die Häufigkeiten werden in GUM Workbench als Histogramm dargestellt. Bei transferieren der Daten erzeugt der Monte Carlo Experte für jedes simulierte Ergebnis ein neues Diagramm vom Typ Histogramm, welches Teil der Auswertung wird. Die relativen Häufigkeiten sind die Daten des Diagramms. Sie können vom Anwender nicht geändert oder gelöscht werden. Nur das Diagramm als Ganzes kann gelöscht werden.

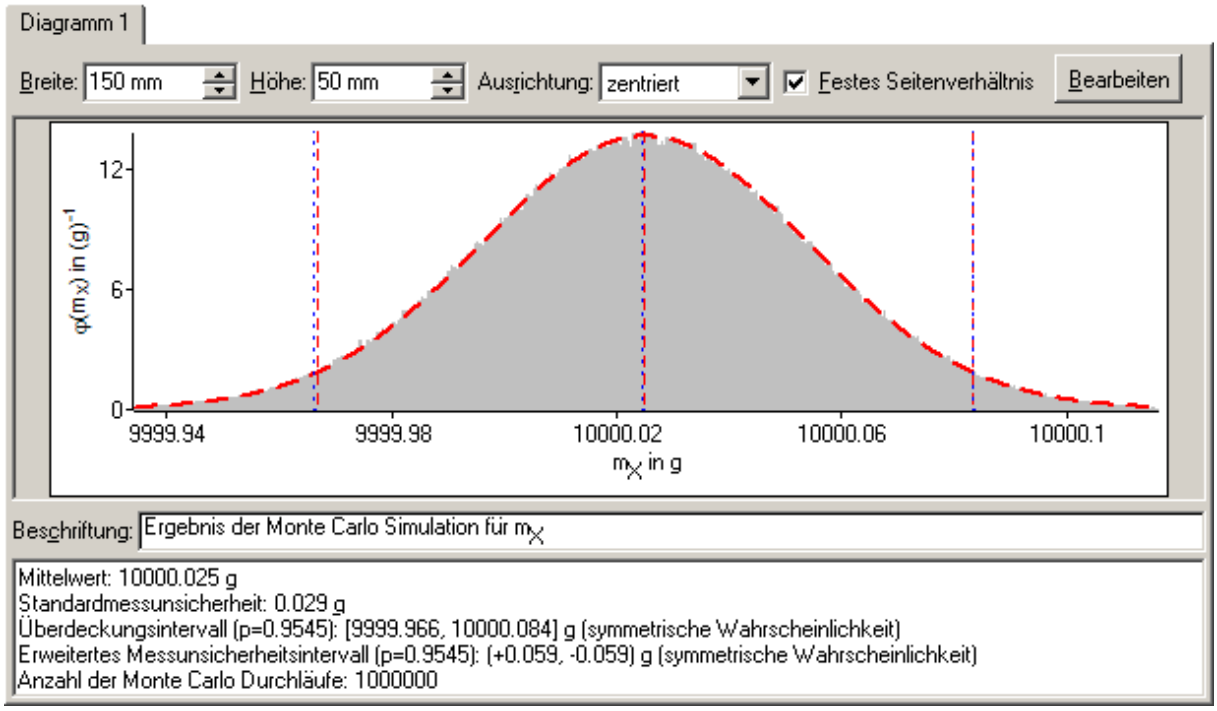


Bild 96: Ergebnis einer Monte Carlo Simulation in GUM Workbench®

Bild 96 zeigt ein typisches Ergebnis einer Monte Carlo Simulation, wie es in GUM Workbench dargestellt wird. Die graue Fläche unter der gestrichelten Kurve repräsentiert die Histogramm-Daten, so wie sie vom Monte Carlo Simulator ermittelt wurden, skaliert als Stützstellenwerte einer Wahrscheinlichkeitsdichtefunktion (PDF). Die gestrichelte Linie ist die

Kurve einer Wahrscheinlichkeitsdichtefunktion der Normalverteilung mit dem Mittelwert und der Standardunsicherheit aus dem Budget (berechnet nach der Methode der Varianzfortpflanzung). Dadurch ist es einfach möglich, das Ergebnis der Monte Carlo Simulation direkt mit dem Ergebnis aus dem Budget zu vergleichen.

Zusätzlich zum Histogramm erzeugt der Monte Carlo Experte eine Beschreibung unterhalb des Diagramms mit verschiedenen Ergebnisparametern der Simulation. Dazu zählen der Mittelwert, die Standardmessunsicherheit, ein Überdeckungsintervall mit symmetrischer Wahrscheinlichkeit und ein erweitertes Messunsicherheitsintervall sowie die Anzahl der Monte Carlo Durchläufe.

Das erweiterte Messunsicherheitsintervall ist mit der erweiterten Messunsicherheit aus dem Budget vergleichbar. Der Unterschied besteht darin, dass die erweiterte Messunsicherheit immer ein zum Mittelwert symmetrisches Intervall angibt, während das erweiterte Messunsicherheitsintervall auch asymmetrisch sein kann.

Bild 97 und Bild 98 zeigen ein Histogramm als Teil eines Berichts und nach einem Export im Rich Text Format.

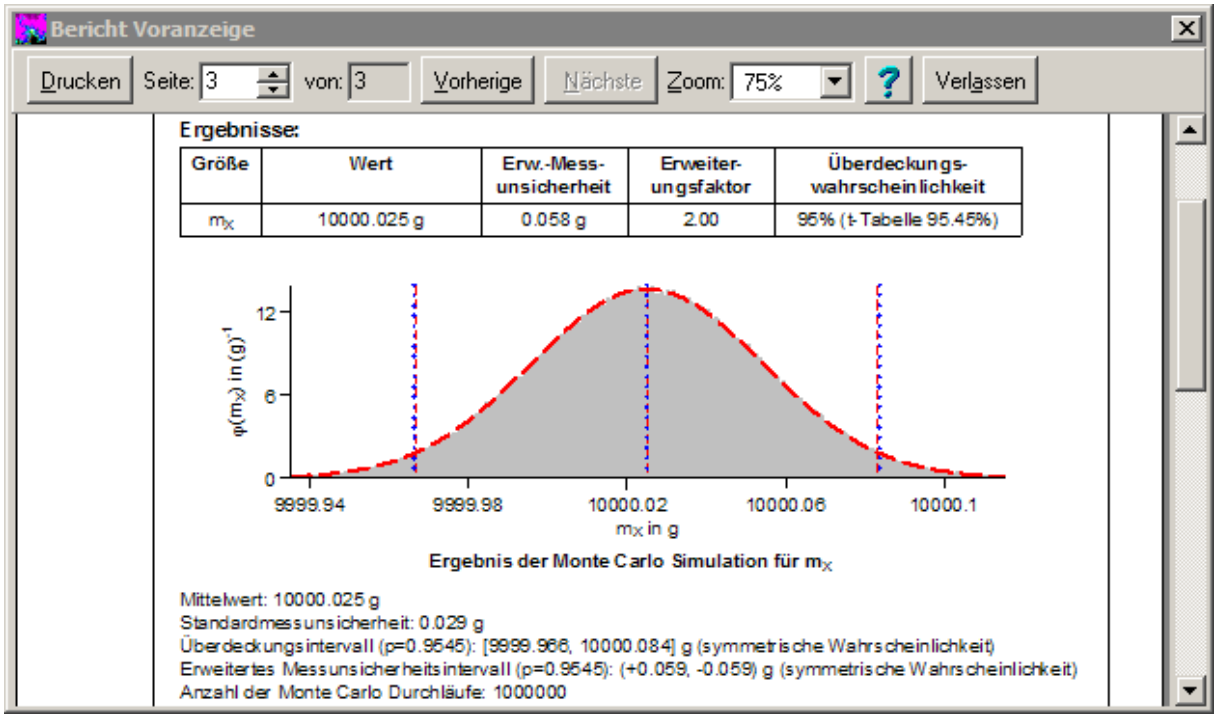


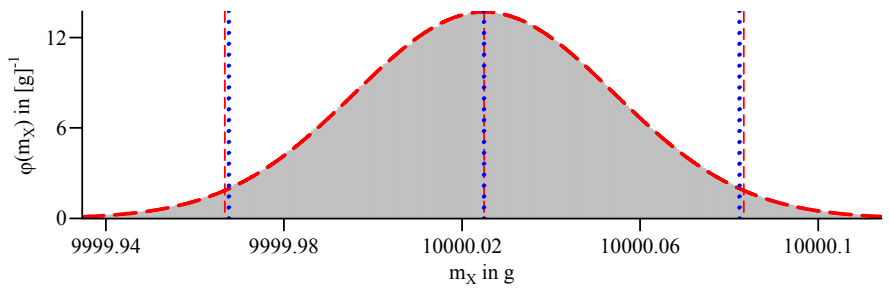
Bild 97: Ergebnis einer Monte Carlo Simulation im Bericht

18.9 Benutzung von Graphen und Markierungen in Histogrammen

Die Monte Carlo Simulation dient in GUM Workbench zur Verifikation des Ergebnisses aus dem Budget. Deshalb ist es sinnvoll, Informationen aus dem Budget mit den Daten aus der Simulation zu kombinieren. Die berechneten Werte aus dem Budget und aus der Simulation, wie der Mittelwert und das Überdeckungsintervall bzw. die Grenzen der erweiterten

 © 2009 Metrodata GmbH

Messunsicherheit, werden als senkrechte Markierungen (siehe Abschnitt 14.2.6) im Histogramm eingetragen. Außerdem wird der Graph (siehe Abschnitt 14.2.5) einer Wahrscheinlichkeitsdichtefunktion basierend auf dem Wert und der Standardmessunsicherheit aus dem Budget im Diagramm rot eingezeichnet.



Ergebnis der Monte Carlo Simulation für m_X
Mittelwert: 10000.025 g Standardmessunsicherheit: 0.029 g
Überdeckungsintervall (p=0.9545): [9999.966, 10000.084] g (symmetrische Wahrscheinlichkeit)
Erweitertes Messunsicherheitsintervall (p=0.9545): (+0.059, -0.059) g (symmetrische Wahrscheinlichkeit)
Anzahl der Monte Carlo Durchläufe: 1000000

Bild 98: Ergebnis einer Monte Carlo Simulation nach dem Export als RTF

Der Monte Carlo Experte wählt automatisch eine Normalverteilung aus und trägt rote Markierungen zur Darstellung des Überdeckungsintervalls im Diagramm ein, das durch die im Budget ermittelte erweiterte Messunsicherheit definiert ist. Die entsprechenden Werte aus der Monte Carlo Simulation werden als blaue senkrechte Markierungen eingezeichnet.

Falls das Ergebnis sich deutlich von einer Normalverteilung unterscheidet, ist es möglich, den Graph im Diagramm nachträglich anzupassen und eine andere Wahrscheinlichkeitsdichtefunktion zu wählen bzw. die Parameter zu ändern. Tabelle 24 listet die unterstützten Wahrscheinlichkeitsdichtefunktionen auf und zeigt ihre Verwendung an einem Beispiel.

Tabelle 24: Wahrscheinlichkeitsdichtefunktionen, die in Graphen unterstützt werden

PDF	Funktion	Beispiel
Normal	`gauss(x,<val>,<u>)`	`gauss(x,val(Y),u(Y))`
Rechteck	`rect(x,<val>,<u>)`	`rect(x,val(Y),u(Y))`
Dreieck	`triang(x,<val>,<u>)`	`triang(x,val(Y),u(Y))`
U-förmig	`Ushape(x,<val>,<u>)`	`Ushape(x,val(Y),u(Y))`
Trapez	`trapez(x,<val>,<u>,<b>)`	`trapez(x,val(Y),u(Y),0.5)`
Student-t	`student(x,<val>,<dof>)`	`student(x,val(Y),u(Y),dof(Y))`

Hinweis: Der erste Parameter der Funktionen muss immer das Symbol `x` sein. Der Streuparameter (3. Parameter) wird bei dieser Implementierung der Funktionen immer als Standardabweichung (Standardmessunsicherheit) angegeben.

19 Experte zur Überprüfung der Korrelationsmatrix

GUM Workbench Version 2.4 installiert einen Experten zur Prüfung der Korrelationsmatrix, wenn die Komponente *Experten* bei der Installation nicht deaktiviert wird. Der Experte nutzt eine Schnittstelle zu Python [8] und führt ein Script für die Berechnungen aus.

Der Experte prüft, ob die eingegebene Korrelationsmatrix in der Ansicht *Korrelation* eine gültige Korrelationsmatrix ist. Diese Prüfung ist eine Erweiterung der eingebauten Überprüfung der Eingabewerte. Bei der Eingabe der Matrix wird durch GUM Workbench überprüft, dass jeder eingegebene Koeffizient der Korrelationsmatrix einen Wert zwischen -1 und 1 hat (siehe Abschnitt 5.3). Bei der Matrixprüfung durch den Experten *Correlation Matrix Test* (`CorrMatrixTest.dll`) werden die Eigenwerte der gesamten Matrix geprüft. Der Experte kann über den Dialog *Experten* oder direkt über das Kommando *Korrelationsmatrix prüfen* im Menü *Extras* aufgerufen werden.

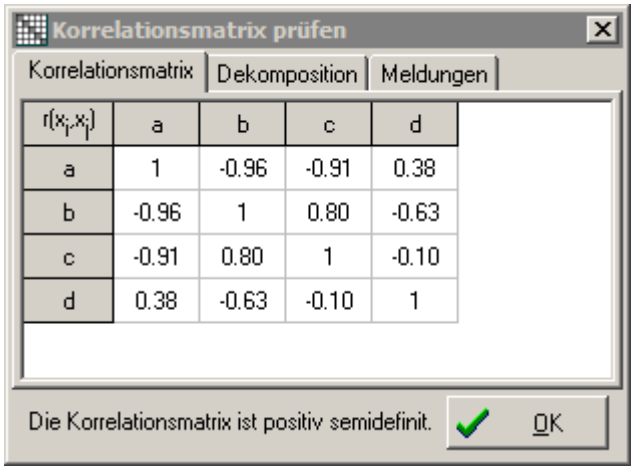


Bild 99: Experte *Korrelationsmatrix prüfen* mit einer positiv semidefiniten Matrix

Der Experte liest den Teil der Korrelationsmatrix, der nicht Null ist, aus und zeigt die effektive Korrelationsmatrix auf der Karteikarte *Korrelationsmatrix* an (siehe Bild 99). Danach wird die Matrix automatisch analysiert und es wird geprüft, ob sie für die Rechnungen mit GUM Workbench geeignet ist (positiv semidefinit). Das Ergebnis der Prüfung wird als Meldung unterhalb der Matrix angezeigt. Ist das Ergebnis der Prüfung negativ, d.h. es wurden negative Eigenwerte gefunden, erscheint eine Meldung in rot: *Die Korrelationsmatrix ist nicht positiv semidefinit!* Danach kann der Anwender den Experten mit *OK* schließen.

Der Experte informiert den Anwender nur über die Eigenwerte bzw. darüber, ob alle Eigenwerte positiv sind. Er führt keine Korrektur durch. Wenn die Korrelationsmatrix positiv semidefinit ist, kann mit der Matrix ohne Einschränkung gerechnet werden. Für den Fall, dass die Matrix nicht positiv ist, sollte sie korrigiert werden. Beachten Sie dazu auch Abschnitt 19.3.

 © 2009 Metrodata GmbH

19.1 Prüfung der Korrelationsmatrix

Der Experte zur Prüfung der Korrelationsmatrix benutzt ein dreistufiges Verfahren, um zu prüfen, ob eine Matrix für die Rechnung der Varianzfortpflanzung geeignet ist.

Da reale Korrelationsmatrizen gerundete Werte enthalten, können sich geringfügig negative Eigenwerte ergeben, die die Rechnungen in GUM Workbench nicht stören oder verfälschen. Deshalb werden verschiedene Prüfungen der Matrix kombiniert, um eine geeignete Entscheidung fällen zu können.

Auf der ersten Stufe wird versucht, die Cholesky-Zerlegung der Matrix zu berechnen. Falls dieses möglich ist, ist die Matrix eindeutig positiv definit und die Prüfung ist abgeschlossen.

Falls die Cholesky Zerlegung nicht berechenbar ist, werden die Eigenwerte der Matrix ermittelt. Sind alle Eigenwerte größer gleich null, so ist die Matrix positiv semidefinit und die Prüfung ist ebenfalls abgeschlossen.

Ist einer der Eigenwerte kleiner als eine vorgegebene Grenze (-0.1), ist die Matrix nicht geeignet und die Prüfung wird negativ beendet.

Sind nur leicht negative Eigenwerte (zwischen -0.1 und 0) vorhanden, wird versucht, die Matrix zu korrigieren, indem die negativen Eigenwerte auf einen kleinen positiven Wert (10^{-10}) verschoben werden. Aus den Eigenvektoren der Ausgangsmatrix und den ggf. korrigierten Eigenwerten wird eine neue Korrelationsmatrix berechnet. Danach wird die "Least Maximum Norm" [10] zwischen der Ausgangsmatrix und der neuen Korrelationsmatrix ermittelt. Wenn die Norm kleiner als eine vorgegebene Grenze (0.01) ist, dann ist die Ausgangsmatrix "nahe genug" bei einer positiv semidefiniten Matrix und kann deshalb für Rechnungen in GUM Workbench verwendet werden. Wird die Grenze überschritten, ist die Matrix nicht für Rechnungen mit GUM Workbench geeignet.

19.2 Eigenwertzerlegung

Das Ergebnis einer Eigenwertzerlegung steht auf der Karteikarte Dekomposition zur Verfügung (siehe Bild 100). In der linken Liste stehen die *Eigenwerte*, und die Tabelle rechts wird aus den dazugehörigen *Eigenvektoren* gebildet.

Der erste Eigenwert in Bild 100 ist leicht negativ. Trotzdem wurde die Matrix als geeignet für die Rechnungen mit GUM Workbench bewertet. Die eingegebene Matrix unterscheidet sich nur geringfügig von einer positiv semidefiniten Matrix und kann deshalb zum Rechnen mit GUM Workbench verwendet werden.

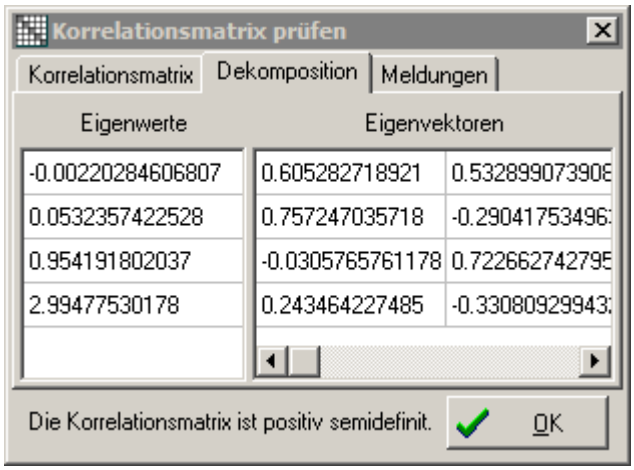


Bild 100: Eigenwerte und Eigenvektoren einer Korrelationsmatrix

19.3 Nicht positiv semidefinite Matrix

Falls die Prüfung der Korrelationsmatrix der Eingangsgrößen ergibt, dass die Matrix nicht positiv semidefinit ist, liegt normalerweise ein Eingabefehler vor, sofern die Koeffizienten auf der Basis eines physikalisch sinnvollen Modells berechnet wurden. Setzt man die Koeffizienten einer größeren Matrix "per Hand" ohne ein geeignetes Modell auf beliebige Werte, ist die Wahrscheinlichkeit relativ hoch, dass die resultierende Matrix nicht positiv semidefinit ist. Allerdings kann das Problem nur auftreten, wenn jeweils mehr als zwei Größen korreliert sind.

Anhand der Eigenwerte (siehe Bild 100) und der berechneten "Least Matrix Norm" kann man versuchen, dem Problem auf den Grund zu gehen. Ggf. kann man auch Matrixkorrekturverfahren anwenden [10].

Hinweis: Die Werte der Korrelationsmatrix gehen direkt in die Berechnung der Messunsicherheit ein. Änderungen an der Korrelationsmatrix müssen deshalb sorgfältig bedacht werden.

19.4 Die Schnittstelle zu Python

Der Experte zur Prüfung der Korrelationsmatrix besteht aus 3 Elementen: der Benutzeroberfläche, einer Schnittstelle zu Python und einem Python Script zur Durchführung der Rechnungen. Der Quellkode des Python Scripts (`CorrMatrix.py`) ist Teil der Installation und befindet sich im Verzeichnis `.\Experts\Tools\` unterhalb des GUM Workbench Installationsverzeichnisses. Sobald der Experte aufgerufen wird, wird das Script abgearbeitet. Die Ausgabemeldungen des Scripts können auf der Karteikarte *Meldungen* des Experten eingesehen werden (siehe Bild 101).

 © 2009 Metrodata GmbH

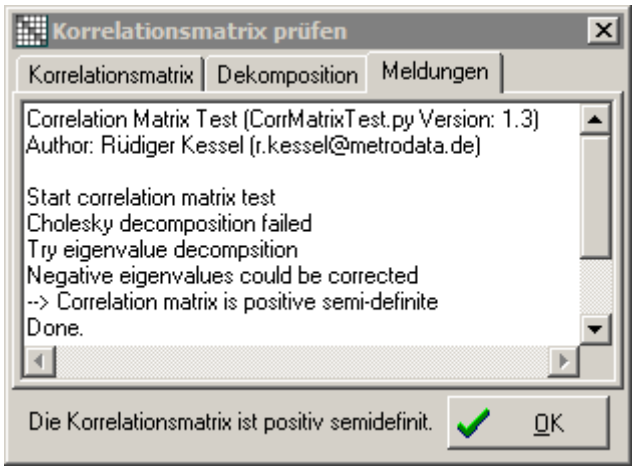


Bild 101: Ausgaben des Python Scripts

Innerhalb des Scripts werden zwei Funktionen definiert (siehe Tabelle 25). Die Namen der Funktionen und die Aufrufstruktur dürfen nicht verändert werden. Das Script benutzt die numerische Programmbibliothek Numpy [9] für die Rechnungen.

Tabelle 25: Schnittstellenfunktionen im Python Script `CorrMatrix.py`

Funktion	Beschreibung	Parameter	Rückgabe Typ
`MatrixTest(DM,DC)`	Überprüft, ob die Matrix `DM` positiv semidefinit ist	`DM`: Liste `[[]..[]]` `DC`: Anzahl der Zeilen und Spalten	Boolean
`Decomposition(DM,DC)`	Berechnet die Eigenwerte und Eigenvektoren der Matrix `DM`	`DM`: Liste `[[]..[]]` `DC`: Anzahl der Zeilen und Spalten	Liste mit 2 Arrays `[[],[]]`

Bei der Installation von GUM Workbench wird auch das quelloffene Programmpaket Python in einem privaten Verzeichnis installiert. Diese Installation ist komplett unabhängig von anderen Installationen von Python, die auf dem Computer bereits installiert sind oder danach noch installiert werden. Der Experte nutzt nur die private Version von Python, die mit GUM Workbench installiert wurde.

Hinweis: Die unterhalb des GUM Workbench Installationsverzeichnisses installierte private Version von Python sollte durch den Anwender nach Möglichkeit nicht verändert werden, um die Funktion des Experten nicht zu beeinflussen.

20 Arbeiten mit Vorlagen

GUM Workbench unterstützt die Arbeit mit Vorlagen. Vorlagen sind Dateien, die ggf. unvollständige Messunsicherheitsauswertungen enthalten und mit der Namenserweiterung ".SMT" unterhalb des Unterverzeichnisses `.\Templates\GE\` im GUM Workbench Installationsverzeichnisses gespeichert wurden. Beim Benutzen einer Vorlage werden alle Teile der Vorlage Teil der aktuellen Auswertung. Außerdem können Vorlagen so konfiguriert werden, dass automatisch ein Expertenmodul geladen wird, sobald die Vorlage benutzt wird.

20.1 Benutzung von Vorlagen

Wenn GUM Workbench startet, wird aus der Verzeichnis- und Dateistruktur unterhalb des Verzeichnisses `.\Templates\GE\` eine Menüstruktur erzeugt. Aus den Dateinamen der SMT-Dateien ohne die Erweiterung ".SMT" werden Menüeinträge gebildet und mit den Namen der Unterverzeichnisse werden Untermenüs generiert. Die Menüstruktur kann unterhalb des Hauptmenüs *Datei* im Untermenü *Neu*|*Vorlagen* (siehe Bild 102) benutzt werden. Alternativ kann das Vorlagen Menü auch über die Taste neben der Taste aufgerufen werden (Pfeil in Bild 103). Die Vorlage wird wie ein Menübefehl aufgerufen. Die Vorlage wird geladen und ggf. wird auf eine andere Ansicht umgeschaltet und ein Experte gestartet. Nach dem Bearbeiten muss die Datei unter einem neuen Namen gespeichert werden.

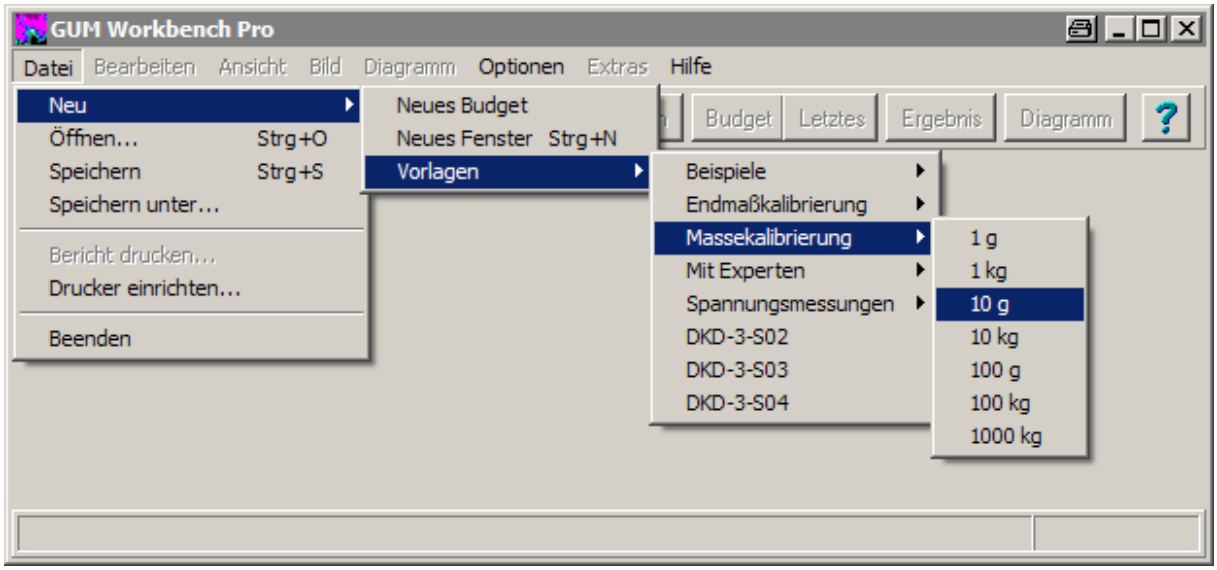


Bild 102: Auswahl einer Vorlage über das *Datei*|*Neu* Menü

20.2 Erstellen von Vorlagen

Für eine Vorlage kann entweder mit einer leeren Auswertung begonnen werden oder es kann eine beliebige Auswertung als Ausgangspunkt verwendet werden. Ggf. sollten die

 © 2009 Metrodata GmbH

Daten, die der spätere Benutzer eingeben soll, aus der Auswertung gelöscht werden. Danach muss die neue Vorlage an einer passenden Stelle im Verzeichnisbaum unter `.\Template\GE\` im Installationsverzeichnis von GUM Workbench gespeichert werden. Dabei sollte ein sinnvoller Dateiname verwendet werden, da der Dateiname in einen Menüeintrag umgewandelt wird. Sobald die Datei mit der Namenserweiterung ".SMT" gespeichert ist, kann sie als Basis für neue Auswertungen verwendet werden.

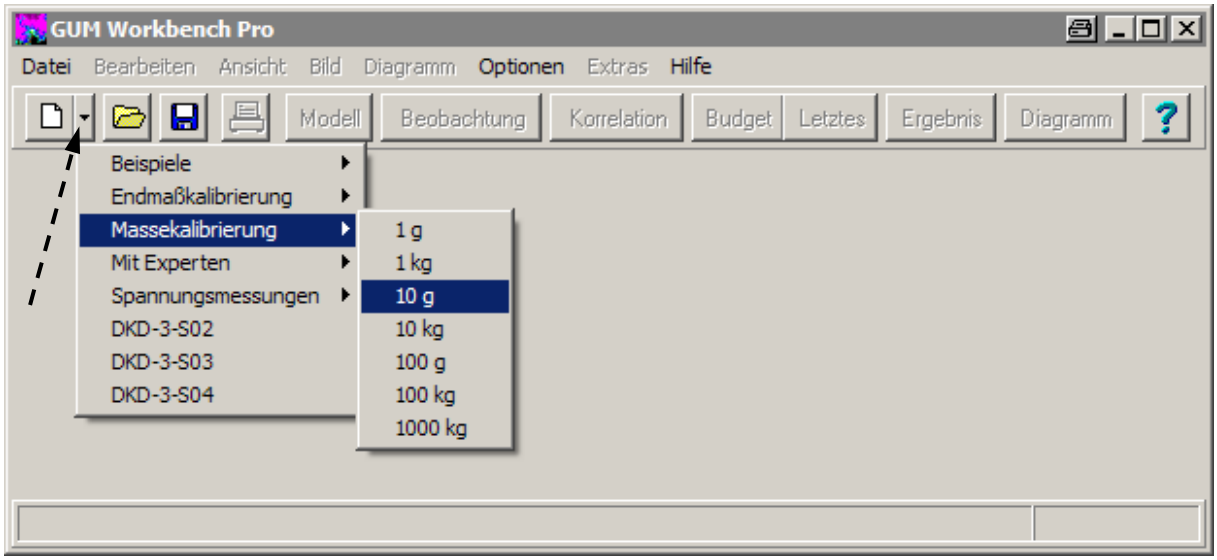


Bild 103: Auswahl einer Vorlage über das Popup Menü

20.3 Zusätzliche Möglichkeiten von Vorlagen

Vorlagen haben einige Möglichkeiten, die nicht innerhalb von GUM Workbench aktiviert werden können. Alle SMT-Dateien sind Textdateien, deren Inhalt in Abschnitte gegliedert ist (so wie SMU-Dateien). Um die speziellen Möglichkeiten von Vorlagen zu nutzen, muss man sie mit einem Texteditor (z.B. `Notepad.exe`) bearbeiten. Damit kann man folgendes Verhalten der Vorlagen bewirken:

- Auswahl der Ansicht, auf die nach dem Laden der Vorlage umgeschaltet werden soll. Dadurch kann z.B. direkt nach dem Laden auf die Ansicht Beobachtung umgeschaltet werden, sodass der Anwender direkt Daten eingeben kann.
- Auswahl der Karteikarte im Modell, die nach dem Laden sichtbar sein soll. Diese Option ist nur sinnvoll, wenn nach dem Laden die Ansicht Modell sichtbar ist.
- Automatischer Start eines Experten nach dem Laden. Ein Experte könnte z.B. Daten aus einer Datenquelle nach dem Laden automatisch einlesen.
- Schützen der Modellgleichung gegen Bearbeitung. Damit ist es möglich die Modellgleichung gegen unberechtigte Veränderung zu schützen. Man sollte aber

beachten, dass dieser Schutz durch den Anwender umgangen werden kann, indem er die Datei ebenfalls mit einem Texteditor bearbeitet.

- Schützen der Typzuordnung für alle Größen. Damit ist die einmal gemachte Auswahl des Typs für alle Größen fixiert und kann nicht mehr geändert werden. Diese Option ist nur sinnvoll, wenn die Modellgleichung ebenfalls geschützt ist. Der Schutz lässt sich ebenfalls mit einem Texteditor umgehen.

Die zusätzlichen Möglichkeiten werden über Einträge in den Abschnitten `[Header]` und `[Model]` aktiviert.

20.3.1 Abschnitt `[Header]`

Eintrag	Format	Beschreibung
SV	Zahl	Die Ansicht der entsprechenden Nummer wird nach dem Laden angezeigt (0=Modell, 1=Beobachtung, 2=Korrelation, 3=Budget, 4=Ergebnis).
SP	Zahl	Die Modellseite der entsprechenden Nummer wird nach dem Laden angezeigt (0=Titel, 1=Modellgleichung, 3=Größen-Daten).
`StartExpert`	Dateiname	Der Experte mit dem angegeben Namen (DLL) wird nach dem Laden der Vorlage automatisch gestartet. Die angegebene Datei muss im Expertenverzeichnis existieren.

20.3.2 Abschnitt `[Model]`

Eintrag	Format	Beschreibung
CE	Bool	Modellgleichung bearbeitbar (Vorgabe ist 1).
CTC	Bool	Typ der Größen änderbar (Vorgabe ist 1).

20.3.3 Format der Einträge

Die folgenden Formate werden in den Einträgen benutzt:

Format	Beschreibung
Zahl	<Eintrag>=<n> n: Integer 0..32000
Bool	< Eintrag >=<n> n: 0=falsch, 1=wahr
Dateiname	< Eintrag >=[<Verz>\]<Dateiname>.<Ext> Verz: gültiges Unterverzeichnis Dateiname: gültiger Dateiname Ext: gültige Erweiterung (3 Zeichen)

© 2009 Metrodata GmbH

20.4 Unterstützung für verschiedene Sprachen

GUM Workbench unterstützt mehrere Dialogsprachen. Da Vorlagen sprachabhängige Inhalte enthalten können, werden für verschiedene Sprachen unterschiedliche Vorlagenverzeichnisse verwendet. Es sind folgende Verzeichnisse definiert:

Vorlagenverzeichnis	Sprache
`.\Templates\EN\`	Englisch
`.\Templates\DE\`	Deutsch
`.\Templates\IT\`	Italienisch
`.\Templates\FR\`	Französisch
`.\Templates\SE\`	Schwedisch
`.\Templates\DK\`	Dänisch
`.\Templates\ES\`	Spanisch

Das Vorlagenverzeichnis wird entsprechend der gewählten Dialogsprache gewählt und ist für die jeweilige Sprache in der NLS Konfigurationsdatei im Eintrag `[Config].TemplDir` definiert.

21 Tipps und Tricks

Dieser Abschnitt gibt einige Hinweise und zeigt spezielle Möglichkeiten in GUM Workbench, die für einige Anwender hilfreich sein können und die nicht zu anderen Abschnitten des Handbuches passen.

21.1 Eingabe eines Unsicherheitsparameters in Prozent

Verschiedene Parameter der Größen können relativ oder in Prozent angegeben werden. Tabelle 26 beschreibt die Parameter, bei denen das möglich ist.

Tabelle 26: Benutzung von Prozent in Parametern

Typ	Benutzung von %
Typ A, zusammengefasst	Eingabe der Standardabweichung in % des Mittelwertes
Typ B, Normal	Eingabe der erweiterten Messunsicherheit in % des Wertes
Typ B, t-Verteilung	Eingabe der Standardmessunsicherheit in % des Wertes
Typ B, Rechteck	Eingabe der Halbbreite der Grenzen in % des Wertes
Typ B, Dreieck	Eingabe der Halbbreite der Grenzen in % des Wertes
Typ B, U-förmig	Eingabe der Halbbreite der Grenzen in % des Wertes
Typ B, Trapez	Eingabe der Halbbreite der Grenzen in % des Wertes

Die relative Eingabe erfolgt, indem man nach dem Zahlenwert entweder die Zeichenfolge `(rel)` mit den Klammersymbolen oder ein Prozentzeichen (%) ohne die Klammersymbole eingibt. Sobald ein Prozentzeichen oder die Zeichenfolge `(rel)` eingeben wurde, wird die Einheit neben dem Eingabefeld ausgeblendet. Bei relativen Angaben ist nur ein positives Vorzeichen erlaubt, was aber am Wert nichts ändert.

21.2 Berechnete Ausdrücke in Parameterfeldern

Wenn der Wert eines Parameters für eine Größe vom Typ B in Form eines berechneten Ausdrucks (Formel) anstelle eines Zahlenwertes vorliegt, ist es möglich, diesen Ausdruck in das Parameterfeld einzugeben, indem man dem Ausdruck ein Gleichheitszeichen (=) voran stellt. Für den Ausdruck gelten die gleichen syntaktischen Regeln wie für die Modellgleichung.

Am Ende darf der Ausdruck nicht mit einem Semikolon abgeschlossen werden und es werden die vordefinierten Funktionen unterstützt, aber der Aufruf benutzerdefinierter Funktionen ist nicht möglich.

Es ist möglich auf den Wert (Mittelwert) anderer Größen in der Auswertung Bezug zu nehmen, indem man den Namen der Größe in dem Ausdruck verwendet. Es kann sinnvoll sein, spezielle unabhängige Größen vom Typ Konstante zu definieren (siehe Abschnitt 6.3),

 © 2009 Metrodata GmbH

um in den Ausdrücken in den Parametern anderer Größen darauf Bezug nehmen zu können. Ggf. kann man durch Änderungen an einem Wert mehrere Größen beeinflussen, die sich auf diesen Wert beziehen.

21.3 Benutzung von mehreren Programmfenstern

GUM Workbench kann gleichzeitig auf einem Rechner mehrmals in unterschiedlichen Fenstern ausgeführt werden. Allerdings sollte man nicht ein und dieselbe SMU-Datei in mehreren Fenstern bearbeiten. Außerdem sollten die Einstellungen nicht geändert werden, wenn mehr als ein Programmfenster der GUM Workbench geöffnet ist. Die Änderungen gelten immer nur für das Fenster, indem die Einstellungen geändert wurden. Das zuletzt geschlossene Fenster speichert die Einstellungen als letztes und überschreibt möglicherweise gewünschte Änderungen. Dieses Verhalten kann zwar in einigen Fällen nützlich sein, sollte aber mit Vorsicht verwendet werden.

21.4 Arbeiten mit vielen Modellgleichungen

Beim Eingeben von vielen Modellgleichungen im Feld *Gleichung* ist es sehr hilfreich, wenn Sie z.B. nach jeder Zeile nach Eingabe eines Semikolons aus dem Gleichungsfeld herausgehen. GUM Workbench wird dann die Syntax des Gleichungsfeldes überprüfen und auf eventuelle Fehler hinweisen.

21.5 Schreibzugriff auf das Installationsverzeichnis

GUM Workbench benötigt zum Arbeiten keine Schreibrechte auf das Installationsverzeichnis, sofern keine Vorlagen erstellt werden. Es ist deshalb sinnvoll, den Schreibzugriff auf das Installationsverzeichnis nach einer erfolgreichen Installation einzuschränken, um möglicherweise unbeabsichtigte Veränderungen zu vermeiden. Ggf. muss man für die Vorlagenverzeichnisse den schreibenden Zugriff erlauben.

© 2009 Metrodata GmbH

Anhang A: Glossar einschlägiger Begriffe

Arithmetischer Mittelwert

Summe einer Reihe (Serie) von Werten geteilt durch die Anzahl der Werte.

Ausgangsschätzwert

(Bester) Schätzwert oder Messwert, der der Messgröße bei einer Messung zugeschrieben wird. Er wird mit der Modellfunktion der Auswertung aus den Eingangsschätzwerten bestimmt.

Ausgangsgröße

Größe, die zu ermitteln ist und die Rolle der Messgröße in der Auswertung einer Messung übernimmt.

Beste Messunsicherheit

Kleinste Messunsicherheit, die ein Laboratorium für eine spezifische Größe unter idealen Messbedingungen im Rahmen seiner Akkreditierung erreichen kann.

Eingangsschätzwert

(Bester) Schätzwert oder Messwert einer Eingangsgröße (z.B. während der aktuell gemachten Beobachtung, Ergebnis einer vorangegangenen Messung, Wert aus einem Zertifikat, Literaturwert), der zur Ermittlung des Messergebnisses benutzt wird.

Eingangsgröße

Größe, von der die Messgröße abhängt und die bei der Ermittlung des Ergebnisses der Messung zu berücksichtigen ist.

Empirische Standardabweichung

(Positive) Quadratwurzel der empirischen Varianz.

Empirische Varianz

Größe, die das Quadrat der Streuung der Werte in einer Reihe (Serie) von Beobachtungen charakterisiert, die an der gleichen Messgröße gemacht werden.

Ermittlungsmethode A

Methode, bei der die Standardmessunsicherheit aus der statistischen Analyse einer Reihe (Serie) von Beobachtungen gewonnen wird.

 © 2009 Metrodata GmbH

Ermittlungsmethode B

Methode, bei der die Standardmessunsicherheit nicht aus der statistischen Analyse einer Reihe (Serie) von Beobachtungen ermittelt wird.

Erweiterte Messunsicherheit

Größe, die einen Bereich um den (besten) Messwert kennzeichnet, der einen im Allg. großen Anteil der Werte umfassen sollte, die der Messgröße auf Grund einer Messung vernünftigerweise als Ergebnis zugeschrieben werden können.

Erweiterungsfaktor

Zahlenfaktor, mit dem die Standardmessunsicherheit zu multiplizieren ist, um die erweiterte Messunsicherheit zu erhalten.

Korrelation

Beziehung zwischen zwei oder mehreren Zufallsvariablen in einer Verteilung von zwei oder mehreren dieser Variablen.

Korrelationskoeffizient

Relatives Maß der gegenseitigen Abhängigkeit zweier Zufallsvariablen. Sein Wert ist gleich dem Verhältnis aus der Kovarianz der beiden Zufallsvariablen und dem Produkt der (positiven) Quadratwurzeln ihrer Varianzen.

Kovarianz

Maß der gegenseitigen Abhängigkeit zweier Zufallsvariablen. Sein Wert ist gleich dem Erwartungswert des Produktes der Abweichungen der beiden Zufallsvariablen von ihren Erwartungswerten.

Messgröße

Spezielle Größe, der die Messung gilt.

Messunsicherheit

Kennwert, der mit dem Ergebnis einer Messung verknüpft ist und den Bereich der Werte charakterisiert, die der Messgröße durch die Messung vernünftigerweise zugeschrieben werden können.

Relative Standardmessunsicherheit

Standardmessunsicherheit, die dem Messwert einer Messgröße zuzuschreiben ist, dividiert durch den Betrag des Messwertes.

Sensitivitätskoeffizient

Differentielle Änderung des Ausgangsschätzwertes bei einer differentiellen Änderung eines Eingangsschätzwertes dividiert durch die Änderung des Eingangsschätzwertes (partielle Ableitung).

SMU-Datei

Das Dateiformat von GUM Workbench.

Standardabweichung

(Positive) Quadratwurzel der Varianz einer Zufallsvariablen.

Standardmessunsicherheit

Dem Messergebnis beizuordnende Unsicherheit, ausgedrückt als Standardabweichung.

Überdeckungswahrscheinlichkeit

Im Allg. großer Anteil möglicher Werte, die der Messgröße auf Grund einer Messung vernünftigerweise als Ergebnis zugeschrieben werden können.

Varianz

Erwartungswert des Quadrates der Abweichung einer Zufallsvariablen von ihrem Erwartungswert.

Wahrscheinlichkeitsverteilung

Funktion, die angibt, wie die Wahrscheinlichkeit einer Zufallsvariable über einen Wertebereich verteilt ist. Zur Beschreibung der Wahrscheinlichkeitsverteilung wird häufig die Wahrscheinlichkeitsdichtefunktion (PDF) benutzt.

Zufallsvariable

Größe, die jeden Wert aus einem vorgegebenen Bereich annehmen kann und mit der eine Wahrscheinlichkeitsverteilung verknüpft ist.

Zusammengefasster Schätzwert der empirischen Standardabweichung

Empirische Standardabweichung, die aus einer großen Reihe (Serie) von Beobachtungen der gleichen Messgröße in einer oder auch mehreren früheren Messungen ermittelt wurde. Die zur Ermittlung der Standardabweichung herangezogenen Beobachtungen müssen eindeutig die (gleiche) Messgröße betreffen.

 © 2009 Metrodata GmbH

Anhang B: Menü Struktur

File	
Neu	
Neues Budget	Neue Auswertung beginnen
Neues Fenster	Neues Anwendungsfenster öffnen
Öffnen...	Standard-Dialog Öffnen
Speichern	
Speichern unter…	Standard-Dialog Speichern unter
Bericht drucken...	Abschnitt 10.3
Drucker einrichten...	Abschnitt 10.3.1
1 ... 9	Zuletzt geöffnete Dateien, Hinweis 3
Beenden	GUM Workbench® beenden
Bearbeiten	
Rückgängig	Hinweis 1 und 2
Ausschneiden	Hinweis 2
Kopieren	Hinweis 2, 4
Einfügen	Hinweis 2
Alles markieren	Hinweis 2
Sonderzeichen einfügen	Abschnitt 6.5.3
Einheit einfügen...	Nur Version 2.4, Abschnitt 13.5
Größe umbenennen	Abschnitt 6.5.1
Reihenfolge der Größen	Abschnitt 7.10
Importierte Dateien…	Abschnitt 7.9
Ansicht	
Modell	Abschnitt 5.1
Beobachtung	Abschnitt 5.2
Korrelationsmatrix	Abschnitt 5.3
Messunsicherheits-Budget	Abschnitt 5.4
Letztes Budget	Abschnitt 5.4.4
Ergebnis	Abschnitt 5.5
Diagramm	Nur Version 2.4, Abschnitt 14.1
Bild	Nur Version 2.4
Bild anfügen	Abschnitt 12.3
Bild entfernen	Abschnitt 12.3
Bild einfügen	Abschnitt 12.3
Bilder vertauschen	Abschnitt 12.3
Bild laden...	Abschnitt 12.3
Diagramm	Nur Version 2.4
Diagramm anfügen	Abschnitt 14.3
Diagramm entfernen	Abschnitt 14.3
Diagramm einfügen	Abschnitt 14.3

Diagramme vertauschen	Abschnitt 14.3
Diagramm bearbeiten...	Abschnitt 14.3
Optionen	
Einstellungen…	Abschnitt 15
Schreibschutz	Abschnitt 11.2
Extras	
Beobachtungen einlesen…	Abschnitt 8.1
Korrelationsanalyse für Typ A…	Abschnitt 8.2
Export...	Abschnitt 10.4
Überprüfung der Einheiten…	Nur Version 2.4, Abschnitt 13
Experten…	Nur Version 2.3 und 2.4, Abschnitt 17
Monte Carlo Simulation...	Nur Version 2.4, Abschnitt 18
Korrelationsmatrix prüfen...	Nur Version 2.4, Abschnitt 19
Hilfe	
Inhalt	
Suchen…	
Hilfe benutzen	
Dokumente	
Anwender Handbuch	
EA-4/02 Dokument (über Internet)	
Eurachem/CITAG Guide (über Internet)	
DKD-3 Dokument (über Internet)	
DKD-3E1 Beispiele S1 - S7 (über Internet)	
DKD-3E2 Beispiele S8 - S13 (über Internet)	
Info…	Abschnitt 16.1

Hinweise:

1. Es ist in GUM Workbench® nicht möglich, jede Veränderung per Menübefehl rückgängig zu machen. Der Befehl funktioniert beim Bearbeiten von Textfeldern.
2. GUM Workbench® unterstützt die Standardfunktionen der Windows® Zwischenablage.
3. Menüverweise auf die letzten 9 geöffneten Dateien werden hier im Menü eingefügt.
4. Es ist möglich, Daten aus der Budget- und Ergebnistabelle zu kopieren. Markieren Sie den Teil der Tabelle, den Sie kopieren wollen und nutzen Sie die Funktion *Kopieren* im Menü.

 © 2009 Metrodata GmbH

Anhang C: Liste der Ein- und Ausgabefelder

In diesem Abschnitt sind die Bezeichnungen und eine kurze Beschreibungen der Ein- und Ausgabefelder von GUM Workbench zusammen zusammengestellt.

Allgemeine Beschreibung

Beschreibung der Messung in der Ansicht *Modell* auf der Karteikarte *Allgemein*.

Anzahl der Beobachtungen

Anzahl der Beobachtungen, die für Berechnung des Mittelwertes benutzt werden. Zulässig sind ganze Zahlen im Bereich von 2 bis 9999. Wenn ein zusammengefasster Schätzwert für die Ermittlung der Messunsicherheit benutzt wird, ist auch eine Beobachtung zulässig.

aus Datei

Dieses Feld gibt den Dateinamen mit Pfad für importierte Größen an. Zulässig sind nur gültige Pfade und Dateinamen.

Beobachtung

Diese Tabelle zeigt die Werte für die Beobachtungen bei Größen vom Typ A. Der Aufbau der Tabelle hängt von der Methode der Beobachtung ab.

Beschreibung

Beschreibung der Größe in der Ansicht *Modell* auf der Karteikarte *Größen - Daten* oder Beschreibung der Korrelationen in der Ansicht *Korrelation*.

Einheit

Dieses Feld gibt bei Beobachtungen die Einheit an, in der die Werte angegeben werden müssen.

Ermittlung der Messunsicherheit

Die Auswahl der Methode, die zur Ermittlung der Unsicherheit benutzt wird. Kombinationsfeld zum Umschalten zwischen experimenteller Ermittlung der Standardabweichung und der Vorgabe eines zusammengefassten Schätzwertes.

Erweiterte Messunsicherheit

Dieses Feld gibt die erweiterte Messunsicherheit der entsprechenden Größe an. Zulässig sind positive Zahlen. Vom Programm werden zwei signifikante Stellen berücksichtigt.

Erweiterungsfaktor

Dieses Feld gibt den Erweiterungsfaktor der entsprechenden Größe an. Zulässig sind positive Zahlen. Vom Programm werden zwei Stellen berücksichtigt.

Formfaktor

In diesem Feld wird der Formfaktor für die Trapezverteilung bearbeitet. Gültig ist ein Zahlenwert im Bereich von 0.0 bis 1.0.

Freiheitsgrad

Dieses Feld gibt den Freiheitsgrad für die entsprechende Größe an. Zulässig sind positive ganze Zahlen.

Gleichung

Mehrzeiliges Textfeld mit der Modellgleichung in der Ansicht *Modell* auf der Karteikarte *Modellgleichung*. Der Inhalt des Feldes *Gleichung* muss den syntaktischen Regeln für Modellgleichungen entsprechen.

Größe

Dieses Feld gibt bei importierten Größen die Bezeichnung der Größe an, dessen Daten importiert werden sollen. Es ist ein Kombinationsfeld mit allen zulässigen Größenbezeichnungen.

Größentabelle

In dieser Tabelle wird jeder Größe eine *Einheit* und eine kurze *Definition* zugeordnet. Sie befindet sich in der Ansicht *Modell* im unteren Teil der Karteikarte *Modellgleichung*.

Halbbreite der Grenzen

Dieses Feld gibt die halbe Breite des Variationsbereichs für Größen mit Rechteck-, Dreieck-, Trapez- oder U-förmiger Verteilung an. Zulässig sind positive Zahlen.

Koeffizient

In diesem Feld wird der Korrelationskoeffizient bearbeitet, der in der Matrix markiert ist. Gültig sind alle Zahlen im Bereich von $-1.0 \leq \text{Wert} \leq +1.0$.

Korrelationsmatrix

Diese Tabelle zeigt die Korrelationskoeffizienten zwischen den Eingangsgrößen an.

 © 2009 Metrodata GmbH

Messunsicherheits-Budget

Diese Tabelle zeigt das Ergebnis der Berechnungen mit Wert, Standardmessunsicherheit, Freiheitsgrad, Sensitivitätskoeffizient und Unsicherheitsbeitrag.

Methode

Dieses Feld gibt in der Ansicht *Beobachtung* die Methode zur Ermittlung der Beobachtungen aus.

Methode der Beobachtung

Auswahl der Methode zur Ermittlung der Beobachtungen. Kombinationsfeld mit den unterstützten Methoden.

Mittelwert

Dieses Feld zeigt den arithmetischen Mittelwert der Beobachtungen an. Es ist gültig, wenn alle Beobachtungen gültig sind.

Spalte

Dieses Feld gibt die Spalte in der Korrelationsmatrix an, die bearbeitet werden soll. Kombinationsfeld mit den gültigen Spalten (Größennamen).

Standardabweichung

Dieses Feld gibt die Standardabweichung für die entsprechende Größe an. Zulässig sind positive Zahlen.

Standardmessunsicherheit

Dieses Feld gibt die Standardmessunsicherheit der entsprechenden Größe an. Zulässig sind positive Zahlen.

Titel

Titel des Modells in der Ansicht *Modell* auf der Karteikarte *Allgemein*. Einzeiliges Textfeld mit maximal 255 Zeichen.

Typ

Auswahl des Größentyps in der Ansicht *Modell* auf der Karteikarte *Größen - Daten*. Kombinationsfeld mit den unterstützten Größen-Typen.

Verteilung

Auswahl der Verteilung für Größen vom Typ B. Kombinationsfeld mit den unterstützten Verteilungen.

Wert

Dieses Feld gibt den Wert für die entsprechende Größe an. Zulässig sind alle Zahlen. Die Anzahl der signifikanten Stellen ergibt sich aus der dem Wert der Größe beigeordneten Messunsicherheit. Bei Konstanten werden maximal fünfzehn Stellen berücksichtigt.

Zeile

Dieses Feld gibt die Zeile in der Korrelationsmatrix an, die bearbeitet wird.

© 2009 Metrodata GmbH

Anhang D: Griechische Buchstaben und Sonderzeichen

Tabelle 27 listet die griechischen Buchstaben auf, die in GUM Workbench mit Hilfe der Schreibweise mit umgekehrten Schrägstrich verwendet werden können. Man kann entweder den Namen eines Symbols direkt eingeben oder den Dialog *Sonderzeichen einfügen* (siehe Abschnitt 6.5.3) verwenden.

Tabelle 27: Griechische Buchstaben

Symbol	Name	Symbol	Name
α	`\alpha\`	Α	`\Alpha\`
β	`\beta\`	Β	`\Beta\`
γ	`\gamma\`	Γ	`\Gamma\`
δ	`\delta\`	Δ	`\Delta\`
ε	`\epsilon\`	Ε	`\Epsilon\`
ζ	`\zeta\`	Ζ	`\Zeta\`
η	`\eta\`	Η	`\Eta\`
ϑ	`\theta\`	Θ	`\Theta\`
θ	`\theta1\`		
ι	`\iota\`	Ι	`\Iota\`
κ	`\kappa\`	Κ	`\Kappa\`
λ	`\lambda\`	Λ	`\Lambda\`
μ	`\mu\`	Μ	`\Mu\`
ν	`\nu\`	Ν	`\Nu\`
ξ	`\xi\`	Ξ	`\Xi\`
ο	`\omicron\`	Ο	`\Omicron\`
π	`\pi\`	Π	`\Pi\`
ρ	`\rho\`	Ρ	`\Rho\`
σ	`\sigma\`	Σ	`\Sigma\`
ς	`\sigma1\`		
τ	`\tau\`	Τ	`\Tau\`
υ	`\upsilon\`	Υ	`\Upsilon\`
φ	`\phi\`	Φ	`\Phi\`
ϕ	`\phi1\`		
χ	`\chi\`	Χ	`\Chi\`
ψ	`\psi\`	Ψ	`\Psi\`
ω	`\omega\`	Ω	`\Omega\`

Hinweis: Es gibt zwei verschiedene typographische Versionen der kleinen Buchstaben Theta, Sigma und Phi (linke Spalte). Sie werden in GUM Workbench wie zwei verschiedene Zeichen behandelt.

Bei griechischen Großbuchstaben wird der erste Buchstabe des Namens groß geschrieben.

Zusätzlich zu den griechischen Buchstaben sind noch weitere Sonderzeichen verfügbar, die mit Hilfe der Schreibweise mit umgekehrtem Schrägstrich verwendet werden können. Tabelle 28 listet die Sonderzeichen mit ihren Namen auf. Darunter sind auch die Symbole `\us\`, `\up\` und `\bs\`, die verwendet werden müssen, falls man diese Zeichen im Text ausgedruckt haben möchte.

Tabelle 28: Sonderzeichen

Symbol	Name
_	`\us\`
ƒ	`\func\`
^	`\up\`
\	`\bs\`
/	`\sl\`
.	`\dot\`
×	`\times\`
+	`\plus\`
-	`\minus\`
,	`\comma\`
" "	`\sp\`
½	`\N05\`
¼	`\N025\`
¾	`\N075\`
·	`\cdot\`

Text einfügen - Problem 1:

Beim Kopieren über die Zwischenablage aus einer Datei von einem MS Word Dokument oder einer anderen Quelle können manche Zeichen nicht richtig angezeigt werden, wenn sie in GUM Workbench eingefügt werden. Sie erscheinen dann als Rechteck. Das liegt an einem Mangel im Windows Schriftensystem, das GUM Workbench zum Anzeigen von Texten benutzt. Unicode wird von GUM Workbench nicht unterstützt.

Solche Zeichen sind die oe-Ligatur, der Gedankenstrich, der lange Gedankenstrich, das Kreuz, das Promillezeichen, das Warenzeichen, das Funktions-F, der schwarze Punkt und eine Reihe von Satzzeichen.

œ Œ - — † ‡ ‰ ™ ƒ • ' " › ‹ …

Zwei Vorgehensweisen werden bei diesem Problem vorgeschlagen:

1. Die Zeichen, die als Rechteck angezeigt sind, werden von Hand mit anderen Zeichen ausgetauscht.
2. Lassen Sie die Rechtecke im Text stehen. GUM Workbench druckt sie richtig aus und exportiert sie auch richtig im RTF- oder HTML-Format.

 © 2009 Metrodata GmbH

Text einfügen - Problem 2:

Ein anderes Problem stellt der Austausch von einigen Zeichen dar, wenn sie in GUM Workbench eingefügt werden. Diese fünf Zeichen (vier Anführungszeichen und die Tilde) werden zwar angezeigt, aber in einer anderen Schriftart. Zu diesem Problem gibt es in GUM Workbench keine Lösung, da die Originalzeichen nicht existieren.

Anhang E: Funktionsmatrix

Tabelle 29 listet die verschiedenen Funktionen auf und gibt an, welche Funktion in welcher Version von GUM Workbench® verfügbar ist.

Table 29: Verfügbare Funktionen in GUM Workbench®

Funktion	Version		
	1.3	2.3	2.4
Anwenderdefinierte Modellgleichung	+	+	+
512 Eingangsgrößen	+	+	+
Anwenderdefinierte Funktionen	+	+	+
Automatische Dokumentation und Berichtsfunktion	+	+	+
Import von Beobachtungen	+	+	+
Korrelationsanalyse von Beobachtungen (Typ A)	+	+	+
Griechische Buchstaben	+	+	+
Trigonometrische und andere Funktionen	+	+	+
Ändern der Größenreihenfolge	+	+	+
Import aus anderen Budgets (SMU-Dateien)	+	+	+
Import aus MS Excel (XLS-Dateien)	+	+	+
Verwalten von importierten Dateien	+	+	+
Export als Text, HTML und Rich Text Format	+	+	+
Vorlagen für neue Auswertungen	+	+	+
Mehrere Ergebnisgrößen		+	+
Export nach MS Excel		+	+
Experten Schnittstelle		+	+
OLE Automatisierungs-Schnittstelle		+	+
Einbinden von Bildern und Grafiken			+
Algebraische partielle Ableitungen			+
Diagramme mit den berechneten Daten			+
Überprüfung der Einheiten			+
Dialog zum Einfügen von Einheiten			+
Monte Carlo Simulation			+
Validierung der Korrelationsmatrix			+

Anhang F: Fehlermeldungen und Warnungen

Dieser Abschnitt beschreibt die Fehlermeldungen und Warnungen, die während der Ausführung von GUM Workbench angezeigt werden können.

Die Fehlermeldungen und Warnungen dienen dazu, vor falschen Messunsicherheitsauswertungen zu schützen, die entweder mathematisch nicht durchführbar oder nicht mit der Methode des GUMs vereinbar sind. Während sich die meisten Fehlermeldungen selbst erklären, gibt es ein paar Fehlermeldungen, die wegen der Vielseitigkeit des Programms und der Komplexität des Problems eine eingehende Untersuchung und ein tieferes Verständnis der Situation erfordern. Dieser Anhang möchte beim Lösen solcher Probleme helfen.

Beachten Sie, dass der Wert für Größen vom Typ A der Mittelwert der Beobachtungen ist. Falls eine Fehlermeldung der Art "außerhalb des Wertebereichs" auftritt, sollten alle eingegebenen Daten überprüft werden. Ggf. könnte die Reihenfolge bei der Eingabe der Werte für *Unbekannt* und *Standard* bei einer nicht direkten Methode zur Beobachtung vertauscht worden sein.

GUM Workbench® kann in seltenen Fällen Fehlermeldungen anzeigen, die hier nicht beschrieben sind. Wenden Sie sich in solchen Fällen bitte an die Metrodata Produktunterstützung.

Bitte beachten Sie, dass die Dateien der Installation und im Besonderen die Dateien im Unter Verzeichnis `.\etc\` und die Datei `GUMWBpro.INI` normalerweise weder geändert noch verschoben werden dürfen.

Bearbeiten Sie SMU-Dateien nur mit einer lizenzierten Originalversion von GUM Workbench. Der Hersteller gewährt keine Unterstützung für Dateien, die auf anderen Wegen erstellt wurden.

Fehlermeldungen in numerischer Reihenfolge:

100: Fehler: Ungültiges Zeichen.

Das Zeichen an der Cursorposition ist im Gleichungsfeld nicht erlaubt.

101: Fehler: '(' fehlt.

Nach einem Funktionsnamen muss eine geöffnete Klammer '(' folgen. Das Programm erwartet die Klammer an der Cursorposition.

102: Fehler: ')' fehlt, Parameter Fehler.

Nach den Parametern für die Funktion muss eine schließende Klammer ')' folgen. Das Programm erwartet die Klammer an der Cursorposition. Der Fehler tritt auch auf, wenn

 © 2009 Metrodata GmbH

die Anzahl der angegebenen Parameter nicht mit der Anzahl der geforderten Parameter übereinstimmt.

103: Fehler: ')' fehlt.

Eine geöffnete Klammer wurde nicht korrekt geschlossen. Das Programm erwartet spätestens an der Cursorposition die Klammer zu ')'.

104: Fehler: Ungültiges Zeichen.

Das Zeichen an der Cursorposition ist an dieser Stelle in der Gleichung nicht zulässig. Dieser Fehler tritt auch auf, wenn ein Operand fehlt.

106: Fehler: ',' fehlt.

Das Programm erwartet an der Cursorposition ein Komma (,) und einen weiteren Funktionsparameter.

107: Fehler: Ein Funktionsname ist hier nicht erlaubt.

An der Cursorposition ist ein Aufruf einer Funktion nicht zulässig. Dieser Fehler kann auftreten, wenn ein Funktionsname als Ergebnisgröße benutzt wurde. Wählen Sie in diesem Fall für das Ergebnis einen anderen Namen.

108: Fehler: '|' fehlt.

Eine Betragsfunktion (|) wurde nicht korrekt geschlossen. Das Programm erwartet spätestens an der Cursorposition einen weiteren Betragsoperator (|).

109: Fehler: ';' fehlt.

Das Programm erwartet an der Cursorposition ein Semikolon (;) zur Abgrenzung von Zwischenergebnissen. Dieser Fehler kann auch auftreten, wenn an der Cursorposition ein Operator fehlt.

110: Fehler: Symbol ist nicht definiert.

Die Größe an der Cursorposition ist nicht definiert.

111: Fehler: Symbol wurde doppelt zugewiesen.

Die Größe vor der Cursorposition wurde bereits als Ergebnis oder Zwischenergebnis benutzt. Geben Sie der Größe einen anderen Namen.

112: Fehler: Keine gültige Zahl.

Die Zahl an der Cursorposition ist nicht gültig. Überprüfen Sie das Zeichen an der Cursorposition und korrigieren Sie die Zahl.

113: Fehler: Zu viele Ergebnisse.

In Version 1.3 darf im Feld Gleichung nur ein Endergebnis existieren. Alle Zwischenergebnisse müssen immer benutzt werden. Beim Testen nicht benutzte

Gleichungsteile können mit '{' und '}' auskommentiert werden. Falls mehr als ein Ergebnis benötigt wird, kann es sinnvoll sein, auf Version 2.3 oder 2.4 umzusteigen.

114: Fehler: Unerwartetes Ende, weiterer Faktor fehlt.

Es wurde ein Operator ohne einen folgenden Operanden eingegeben. Ergänzen Sie den fehlenden Operanden.

115: Fehler: Ungültiges Zeichen, ';' ist nicht zulässig.

Zwischenergebnisse sind an dieser Stelle nicht zulässig. Fassen Sie alle Terme zu einer Gleichung zusammen. Am Ende der Gleichung darf kein Semikolon (;) stehen.

116: Fehler: '=' erwartet.

An der Cursorposition erwartet das Programm ein Gleichheitszeichen (=).

117: Fehler: Ungültiges Zeichen, '=' ist nicht zulässig.

Eine Zuweisung ist an dieser Stelle nicht zulässig. Geben Sie einen Ausdruck an, der berechnet werden soll. Er darf kein Gleichheitszeichen (=) enthalten.

120: Fehler: Kein Ergebnis definiert.

Das Programm kann nicht feststellen, welche Größe als Ergebnis gemeint ist, weil alle Größen auf der linken Seite der Gleichungen auch auf der rechten Seite einer Gleichung benutzt werden. Die Ursache ist entweder eine unzulässige mathematische Schleife oder ein Schreibfehler. Korrigieren Sie die Gleichung, so dass eine eindeutige Ergebnisgröße existiert. Diese Fehlermeldung erscheint ebenfalls, wenn nur eine Funktionsdefinition in das Gleichungsfeld eingegeben wurde. Wenn es nötig sein sollte, das Feld zu verlassen oder als SMU-Datei abzuspeichern, während an einer Funktion gearbeitet wird, kann man darunter provisorisch eine kleine Gleichung wie a=b einfügen.

121: Fehler: Bezeichnung der Ergebnisgröße fehlt.

Das Programm erwartet an der Cursorposition eine Größenbezeichnung für ein Ergebnis oder Zwischenergebnis.

127: Fehler: Die Funktion ist nicht definiert.

Diese Fehlermeldung erscheint, wenn eine der eingebauten Funktionen falsch geschrieben wurde (z.B. sqrrt(x)). Überprüfen Sie bitte die korrekte Eingabe der eingebauten Funktionen. Es könnte ebenso der Aufruf einer benutzerdefinierten Funktion einen Schreibfehler enthalten. Die Fehlermeldung kann auch den Versuch anzeigen, runde Klammern in der Größenbezeichnung zu verwenden (Schreiben sie nicht "p(xx)", sondern "p_xx". Die Fehlermeldung erscheint auch, wenn eine Funktion

 © 2009 Metrodata GmbH

im Gleichungsfeld aufgerufen wird, bevor sie definiert worden ist. Definitionen von Funktionen sollten am Anfang stehen.

129: Fehler: Die Funktion ist bereits definiert.

Nur eine Funktion mit einer bestimmten Bezeichnung kann definiert werden. Die Meldung erscheint auch, wenn Sie versucht haben, eine der eingebauten Funktionen neu zu definieren. Diese Bezeichnungen sind reserviert.

130: Fehler: Ungültige Größe.

Diese Fehlermeldung erscheint in vielen Situationen, in der sich falsche Inhalte in der Größenliste befinden. Das können zwei aufeinander folgende Kommata sein oder ein eingefügtes Pluszeichen.

131: Fehler: Die Größenbezeichnung ist bereits vorhanden.

Diese Fehlermeldung erscheint bei Verlassen des Gleichungsfeldes, in dem eine Funktionsdefinition existiert, deren Name in der Größentabelle vorhanden ist.

132: Fehler: Eine Variable mit diesem Funktionsnamen existiert bereits.

Diese Fehlermeldung zeigt den Versuch an, eine benutzerdefinierte Funktion mit einer Funktionsbezeichnung zu verwenden, die vorher schon als Größenbezeichnung im Gleichungsfeld eingeführt worden ist.

133: Fehler: Anzahl der Funktionsparameter stimmt nicht.

Diese Fehlermeldung erscheint, wenn eine Funktion mit einer anderen Anzahl von Parametern aufgerufen wird als in ihrer Definition angegeben ist. Alle eingebauten Funktionen haben nur ein einziges Argument. Nutzerdefinierte Funktionen haben die Anzahl der Argumente, mit denen sie definiert wurden. Ein häufiger Grund für diesen Fehler ist ein fehlendes Komma in der Argument-Liste der Funktionsaufrufe.

135: Fehler: mehr als ein Ergebnis: ....

Diese Fehlermeldung erscheint in Version 1.3 in den Fällen, bei denen mehr als eine Größe als Ergebnisgröße interpretiert werden kann. Diejenigen Größen, die als mögliche Kandidaten für Ergebnisse identifiziert wurden, werden zur Überprüfung angezeigt. Es darf in Version 1.3 immer nur eine Ergebnisgröße in einer GUM Workbench Modellgleichung existieren.

137: Fehler: In Größenbezeichnungen ist dieses Sonderzeichen nicht zulässig...

Nicht alle Zeichen sind überall erlaubt. Um zu vermeiden, dass Gleichungen falsch gelesen werden, wurden bestimmte Sonderzeichen davon ausgeschlossen, in Bezeichnungen Verwendung zu finden. Sie können aber immer noch in dem Teil der Größenbezeichnung verwendet werden, der tiefer gestellt ist. Versuchen Sie, vor dem Zeichen an der Cursorposition einen Unterstrich einzufügen. Diese Fehlermeldung kann

aber auch ein seltenes Problem mit einer Ressourcendatei anzeigen. Hier kann vielleicht eine erneute Installation von GUM Workbench weiterhelfen.

138: Fehler: doppelter Unterstrich (__) ist nicht zulässig.

Diese Fehlermeldung wird beim Verlassen des Gleichungsfeldes angezeigt, wenn dort eine Größenbezeichnung mit doppeltem Unterstrich existiert. Der Fehler 138 kann auch beim Öffnen einer SMU-Datei erscheinen, die mit einer früheren Version als 1.2.2. erstellt wurde. Anwender, bei denen beim Versuch SMU-Dateien zu öffnen, der Fehler 138 erscheint, können mit Metrodata GmbH Kontakt aufnehmen, um Hilfe bei der Rettung solcher Dateien zu erhalten.

319: Fehler: Die Datei ... kann für den Import nicht gefunden werden.

Diese Fehlermeldung erscheint, wenn ein falscher Dateiname eingegeben wurde, oder wenn die Datei seit der letzten Verwendung durch GUM Workbench entweder gelöscht oder verschoben worden ist. Fehler 319 kann auch beim Öffnen einer SMU-Datei angezeigt werden, die einige Zeit nicht verwendet worden ist, wenn die importierte Datei seit der letzten Anwendung im Verhältnis zu der Datei mit der Fehlermeldung verschoben wurde. Drücken Sie in der Fehlermeldung auf *OK*. Sie erscheint für jede importierte Größe, sie müssen also ggf. mehrmals auf *OK* drücken. Beim Öffnen der Datei sollte jede importierte Größe überprüft werden. Das Feld mit dem Dateinamen zeigt immer noch den Pfad und den Dateinamen an, an der die Quelldatei ursprünglich zu finden war. Legen Sie nun die Position der Datei fest und wählen Sie noch einmal die zu importierende Größe aus.

327: Fehler: Ungleiche Einheit in Gleichung und Import.

Die Einheit der importierten Größen und die Einheit der Größenbezeichnungen, die die Größen darstellen, müssen genau übereinstimmen (Groß- und Kleinschreibung beachten). Korrigieren Sie die Einheiten der Größenbezeichnungen, die importierte Größen darstellen, in der Größentabelle.

328: Fehler: Die Summe der Unsicherheitsquadrate ist negativ (Korrelation).

Die Summe der Quadrate der Unsicherheitsbeiträge ist negativ. Die Ursache für diesen Fehler liegt in der Korrelationsmatrix. Die Summe der Korrelationsbeträge ist negativ und vom Betrag größer als die Summe der Quadrate der Unsicherheitsbeiträge. Das bedeutet, dass alle Unsicherheitsbeiträge durch Korrelationen überkompensiert werden. Das ist aber in der Wirklichkeit unmöglich. Dieser Fehler kann auftreten, wenn drei und mehr Größen untereinander korreliert sind. Verwenden Sie in Version 2.4 den Experten zur Überprüfung der Korrelationsmatrix (siehe Abschnitt 19)

 © 2009 Metrodata GmbH

332: Fehler: Größe existiert nicht in importierter SMU-Datei.

Diese Fehlermeldung erscheint beim Öffnen einer SMU-Datei, die importierte Größen enthält. Die Datei, aus der importiert werden soll, wurde gefunden, enthält aber keine Größe mit der gesuchten Bezeichnung. Das kann daran liegen, dass die SMU-Quelldatei geöffnet wurde, nachdem der Import stattgefunden hat und die betroffene Größe umbenannt oder gelöscht wurde. Klicken Sie im Dialogfenster auf *OK* und gehen Sie zu der Größe, die nun als *ungültig* gekennzeichnet wird. Wählen Sie nun die richtige Größe für den Import aus.

400: Fehler: Log() Argument außerhalb des Wertebereichs.

Das Argument für die `log()` Funktion liegt außerhalb des zulässigen Wertebereichs. Zulässig sind nur Werte größer null.

401: Fehler: tan() Argument außerhalb des Wertebereichs.

Das Argument für die `tan()` bzw. `cot()` Funktion liegt außerhalb des zulässigen Wertebereichs. Zulässig sind nur Werte ungleich $n \cdot \pi + \pi/2$ bzw. $n \cdot \pi$ mit der ganzen Zahl n.

402: Fehler: Asin() Argument außerhalb des Wertebereichs.

Das Argument für die `asin()` Funktion liegt außerhalb des zulässigen Wertebereichs. Zulässig sind nur Werte aus dem Intervall von -1 bis +1.

403: Fehler: Acos() Argument außerhalb des Wertebereichs.

Das Argument für die `acos()` Funktion liegt außerhalb des zulässigen Wertebereichs. Zulässig sind nur Werte aus dem Intervall von -1 bis +1.

410: Fehler: Division durch null.

Bei der Berechnung der Gleichung wurde durch Null dividiert. Überprüfen Sie die Gleichung und die Daten der Größen, die im Nenner stehen.

411: Fehler: Mathematische Schleifen sind nicht erlaubt.

Das Programm hat eine unzulässige mathematische Schleife entdeckt. In der Gleichung wird zur Berechnung eines Zwischenergebnisses der Wert dieses Ergebnisses direkt oder indirekt benötigt. Korrigieren Sie die Gleichung, so dass alle Zwischenergebnisse ohne Rekursion ermittelt werden können. Selbst wenn das Problem eindeutig im Gleichungsfeld zu suchen ist, erscheint die Fehlermeldung nur, wenn die Ansicht *Budget* gewählt und eine Berechnung durchgeführt wird. Solange die Werte, die für die Berechnung des Zwischenergebnisses benötigt werden, nicht vorhanden sind, wird in den entsprechenden Feldern *ungültig* angezeigt. Es kann sein, dass GUM Workbench nicht auf die Schleife reagiert. Wenn alle Felder ausgefüllt sind und das Budget nochmals aktiviert wurde, wird die Fehlermeldung erscheinen. Verbessern Sie die

Modellgleichung in der Weise, dass alle Zwischenergebnisse ohne Rekursion berechnet werden können.

412: Fehler: Ln() Argument außerhalb des Wertebereichs.

Das Argument für die `ln()` Funktion liegt außerhalb des zulässigen Wertebereichs. Zulässig sind nur Werte größer null.

413: Fehler: Exponent muss eine ganze Zahl sein für ^-Operator (Basis ist negativ).

Die Basis des Potenz-Operators ('^') ist negativ. Das Programm kann in diesem Fall nur ein Ergebnis berechnen, wenn der Exponent eine ganze Zahl ist. Korrigieren Sie die Gleichung, so dass diese Bedingung erfüllt ist.

414: Fehler: Sqrt() Argument außerhalb des Wertebereichs.

Das Argument für die `sqrt()` Funktion liegt außerhalb des zulässigen Wertebereichs. Zulässig sind nur Werte größer gleich null.

415: Fehler: acosh() Argument außerhalb des Wertebereichs.

Das Argument für die `acosh()` Funktion liegt außerhalb des zulässigen Wertebereichs. Zulässig sind nur Werte größer gleich eins.

416: Fehler: atanh() Argument außerhalb des Wertebereichs.

Das Argument für die `atanh()` Funktion liegt außerhalb des zulässigen Wertebereichs. Zulässig sind nur Werte aus dem Intervall zwischen -1 und +1.

417: Fehler: acoth() Argument außerhalb des Wertebereichs.

Das Argument für die acoth() Funktion liegt außerhalb des zulässigen Wertebereichs. Zulässig sind nur Werte kleiner minus eins oder größer plus eins.

420: Fehler: Die Schachtelungstiefe von Zwischenergebnissen ist zu hoch (max. 32).

GUM Workbench erlaubt nur eine Schachtelungstiefe von 32 Zwischenergebnissen. Das Programm prüft dies erst nach, wenn Sie das Budget anklicken. Das Gleichungsfeld kann eventuell verlassen werden, ohne diese Tatsache als Fehler zu identifizieren. Es gibt Wege, die Modellgleichung so zu formulieren, dass die Grenze nicht überschritten wird.

503: Fehler: Keine zulässige Zahl.

Diese Fehlermeldung erscheint z.B., wenn jemand versucht, eine Zahl mit Gruppennotation in ein Feld einzugeben. Die Zahlen "1,000.85" oder "1.000,85" würden, in ein Feld für den Wert eingegeben, diese Fehlermeldung hervorrufen. Sie erscheint genauso, wenn ein Buchstabe in ein Eingabefeld in der Ansicht *Beobachtung* eingegeben wird oder z.B. in ein Feld für den Wert oder ein Halbbreitenfeld.

 © 2009 Metrodata GmbH

507: Fehler: Keine gültige Zahl (Einheit).

Diese Fehlermeldung erscheint, wenn jemand eine Maßeinheit z.B. in ein Feld für den Wert oder die Halbbreite eingegeben hat. Dort dürfen nur Zahlen eingegeben werden. Die Einheit wird in die Größentabelle eingegeben und wird dann hinter dem entsprechenden Feld angezeigt.

Fehler 508 Negative Zahlen sind nicht zulässig.

An dieser Stelle sind negative Zahlen nicht zulässig. Diese Fehlermeldung wird z.B. in der Ansicht *Modell* auf der Karteikarte *Größen - Daten*, *Typ A zusammengefasst* angezeigt, wenn die Zahl -5 in das Feld *Freiheitsgrad* eingegeben wird.

509: Fehler: Keine Einheit zulässig.

Diese Fehlermeldung erscheint, wenn eine Einheit oder ein anderer Buchstabe nach den Ziffern im Eingabefeld „Beobachtung“ in der Ansicht „Beobachtung“ eingegeben wurde. Die Einheit einer Größe muss in der Spalte *Einheit* in der Größentabelle eingegeben werden. Für die Messmethode U/S können natürlich die Einheiten der Beobachtungen nicht dieselben sein wie die der Größen; trotzdem dürfen keine Einheiten in dieses Feld eingegeben werden.

510: Fehler: Nur ganze Zahlen sind zulässig.

Diese Fehlermeldung wird z.B. in der Ansicht *Modell* auf der Karteikarte *Größen - Daten*, *Typ A zusammengefasst* angezeigt, wenn die Zahl 9,5 in das Feld *Freiheitsgrad* eingegeben wird.

600: Fehler: Neuer Name der Größe ist nicht gültig.

Diese Fehlermeldung erscheint, während Sie den Menübefehl *Größe umbenennen* verwenden. Inspizieren Sie das kleine Feld auf der rechten Seite und versichern Sie sich, dass die Eingabe mit allen Regeln der Größenbenennung übereinstimmt.

601: Fehler: Neuer Name der Größe existiert bereits.

Diese Fehlermeldung wird beim Drücken von *OK* im Dialogfenster *Größe umbenennen* angezeigt, wenn Sie versucht haben, die Größe auf der rechten Seite in einen Namen umzubenennen (in das linke Feld eingegeben), der schon im Gleichungsfeld verwendet worden ist. Selbst wenn es in besonderen Situationen vernünftig erscheint und es zu einer gültigen Modellgleichung führt, ist es dennoch nicht erlaubt, den Befehl *Größe umbenennen* in dieser Weise zu benutzen. Wenn dies erreicht werden soll, müssen die Größendaten manuell eingegeben werden. Ansonsten ändern Sie die Eingabe im rechten Feld auf einen Symbolnamen, der vorher in der Modellgleichung nicht verwendet worden ist.

602: Fehler: Die Anzahl der Beobachtungen muss angegeben werden.

Diese Fehlermeldung erscheint im Zusammenhang mit der Ansicht *Beobachtung*, wenn die Tabelle für die Eingabe der Beobachtungen für die Größe von Typ A erscheinen soll und die Anzahl der Beobachtungen für diese Größe im Größenregister leer gelassen wurde. Nachdem Sie in der Fehlermeldung 602 *OK* gedrückt haben, wird die Eingabe für alle Größen von Typ A gesperrt. Geben Sie auf der Karteikarte *Größen - Daten* die Anzahl der Beobachtungen ein. Sie können irgendeine Zahl eingeben, die Sie jederzeit wieder ändern können.

603: Fehler: Keine gültige Anzahl (1...9999).

Eine ungültige Anzahl von Beobachtungen (1...9999) (für Messunsicherheiten von Größen Typ A). Beachten Sie, dass es einen feinen Unterschied gibt, der davon abhängt, ob die Größe eine Standardabweichung nutzt, die von GUM Workbench durch die Eingabe von beobachteten Daten in das Programm bestimmt wird, oder ob ein Schätzwert eingegeben wurde. In das Feld *Anzahl der Beobachtungen* können Werte von 2 bis 9999 eingegeben werden, wenn im Feld *Ermittlung der Unsicherheit* die Option *experimentell* ausgewählt wurde. Es ist möglich die Zahl 1 einzugeben und dann zur Ansicht *Beobachtungen* zu wechseln. Es ist aber nicht möglich eine experimentelle Standardabweichung von nur einer Beobachtung zu schätzen, wie in dieser Situation; die Anzahl 2 ist das absolute Minimum, mit der eine Unsicherheitsanalyse beendet werden kann. Wenn *Schätzwert* ausgewählt worden ist, können bei der Anzahl der Beobachtungen Werte von 1 bis 9999 angegeben werden.

700: Fehler: Keine gültige Zahl.

Diese Fehlermeldung erscheint z.B., wenn der Wert für den Korrelationskoeffizienten ±1 überschreitet. Sie erscheint ebenfalls in Verbindung mit der Analyse der Korrelationen bei Größen von Typ A, wenn für eine Größe eine Standardabweichung von Null ermittelt wird, die für die Berechnung von experimentell ermittelten Korrelation qualifiziert ist.

701: Fehler: Wertebereich überschritten (-0.1 <= Wert <= 1.0).

Der Korrelationskoeffizient muss im Bereich -1.0 <= Wert <= 1.0 liegen. Falls der Wert für die Korrelation in Form einer Kovarianz vorliegt, müssen Sie daraus erst den Korrelationskoeffizienten berechnen.

804: Fehler: Die Datei ist schreibgeschützt.

Um diese Datei zu speichern, wählen Sie entweder den Menübefehl „Speichern unter“ aus und geben sie der Datei einen neuen Namen, oder Sie sehen im Abschnitt 11.2 nach, um zu erfahren, wie der Schreibschutz ausgeschaltet werden kann.

 © 2009 Metrodata GmbH

805: Fehler: Kann die Datei nicht erzeugen.

Der angegebene Dateiname ist ungültig. Bitte überprüfen Sie den Namen oder wählen Sie einen anderen aus.

903: Fehler: Seitennummer 'von' > 'bis'.

Diese Fehlermeldung erscheint im Dialogfeld *Drucken*. Geben Sie die kleinere Seitenzahl in das Feld *von* ein.

Anhang G: OLE Automatisierungsschnittstelle

GUM Workbench® Version 2.3 und 2.4 unterstützen eine OLE Automatisierungsschnittstelle. Es muss entweder ein spezielles Setup Programm benutzt werden oder die Registrierung des OLE Objektes muss manuell durchgeführt werden. Während der Standard-Setup-Prozedur wird das OLE Objekt nicht registriert, da zur Registrierung von OLE Objekten Administratorrechte notwendig sind.

Mit den folgenden Schritten kann die OLE Schnittstelle aktiviert und das OLE Objekt registriert werden:

1. In der Konfigurationsdatei `GUMWBPRO.INI`, im Abschnitt `[Config]` sollte der Eintrag `InitOLE=1` eingetragen sein.
2. `GUMWBPRO.EXE` sollte einmal mit dem Parameterschalter `/REGSERVER` aufgerufen werden. Für diesen Schritt sind Administratorrechte notwendig. GUM Workbench® registriert das OLE Objekt mit dem Namen `GUMWBpro.Application` in der Registratur (Registry). Danach kann der Name des Objektes benutzt werden, um auf GUM Workbench per OLE zuzugreifen.
3. Falls das OLE Objekt manuell registriert wurde, muss die Registrierung auch wieder manuell entfernt werden. Dazu sollte man GUM Workbench® einmal mit dem Parameterschalter `/UNREGSERVER` aufgerufen. Für diesen Schritt sind wieder Administratorrechte notwendig.

GUM Workbench® enthält eine eingebaute Typ-Bibliothek, die mit einer OLE Entwicklungsumgebung extrahiert und benutzt werden kann (siehe als Referenz auch `.\doc\GUMWBpro_TLB.pdf`).

Anhang H: Berechnung des Sensitivitätskoeffizienten

GUM Workbench® benutzt wie im GUM beschrieben das erste Glied einer Taylorentwicklung (partielle Ableitung), um den Sensitivitätskoeffizienten eines äquivalenten linearen Modells

zu ermitteln, mit dem die Unsicherheit fortgepflanzt wird. Dabei wird ein numerisches Verfahren angewandt, das im Folgenden beschrieben wird.

Die Berechnung erfolgt für jede Eingangsgröße getrennt. Die Modellgleichung für jeweils eine veränderliche Eingangsgröße soll mit $f(x_i)$ bezeichnet werden. Am Anfang werden alle Größen gleich ihrem Erwartungs- oder besten Schätzwert gesetzt und das Ergebnis $f(x_0)$ wird berechnet.

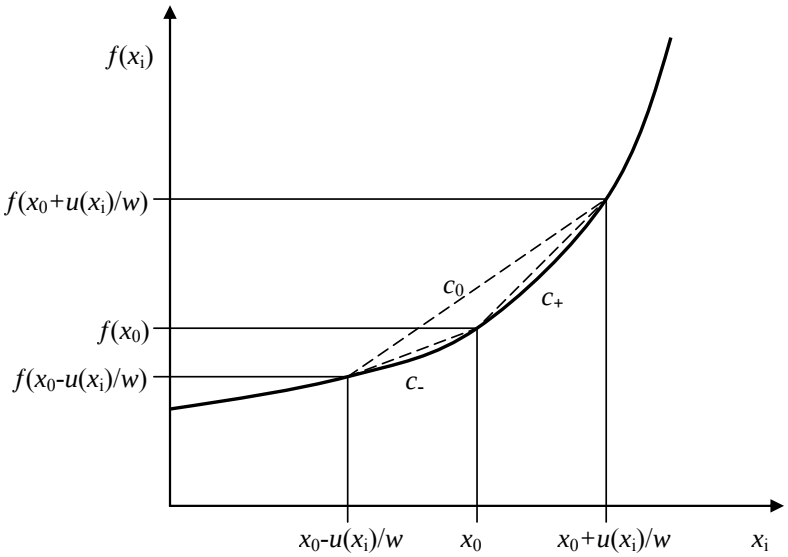


Bild 104: Grafische Bestimmung des Sensitivitätskoeffizienten (partielle Ableitung)

Bild 104 zeigt ein Beispiel für eine mögliche Modellgleichung $f(x_i)$ in der Umgebung um den Eingangswert x_0. Die partielle Ableitung ist die Steigung der Tangente an die Funktion $f(x_i)$ im Punkt x_0. Wenn die Funktion $f(x_i)$ ausreichend linear um den Punkt x_0 ist, dann ist die Steigung der Sekante c_0 eine gute Näherung für die partielle Ableitung von $f(x_i)$ im Punkt x_0.

GUM Workbench® berechnet die Steigung der linksseitigen Sekante c_- und die Steigung der rechtsseitigen Sekante c_+ und benutzt die Standardmessunsicherheit, um das Intervall zu skalieren. Der Anteil w der Standardmessunsicherheit $u(x_i)$ wird benutzt, um die Steigung der Sekanten zu berechen

$$c(w) = \frac{f(x_0 + \frac{u(x_i)}{w}) - f(x_0)}{\frac{u(x_i)}{w}}. \qquad (6)$$

GUM Workbench® benutzt die Steigung der mittleren Sekante c_0, zur Berechnung des Sensitivitätskoeffizienten. Sie ist der Mittelwert aus der Steigung der rechtsseitigen Sekante und der Steigung der linksseitigen Sekante

$$c_0 = \frac{c(-1) + c(+1)}{2}. \qquad (7)$$

 © 2009 Metrodata GmbH

H.1 Linearitätstest

In GUM Workbench® ist ein robuster Test implementiert, der automatisch prüft, ob eine gegebene Modellgleichung ausreichend linear ist.

Eine Modellgleichung ist dabei ausreichend linear, wenn der Unterschied zwischen der Steigung der linksseitigen Sekante $c(-1)$ und der Steigung der rechtsseitigen Sekante $c(+1)$ (Gleichung 6) kleiner als eine festgelegte Obergrenze ε_{lin} ist (siehe Bild 104)

$$\left|\frac{c(+1)}{c(-1)}-1\right| < \varepsilon_{\text{lin}}\ ,\ c(-1) \neq 0. \tag{8}$$

Außerdem berechnet GUM Workbench® noch zwei weitere Sekanten für ein kleineres Intervall (ein Zehntel der Standardmessunsicherheit). Die ermittelte Steigung der Sekanten für das kleinere Intervall darf sich wieder nur wenig von der ermittelten Steigung für das Intervall mit der Breite $u(x_i)$ unterscheiden

$$\left|\frac{c(1)}{c(10)}-1\right| < \varepsilon_{\text{lin}}\ ,\ \left|\frac{c(-1)}{(-10)}-1\right| < \varepsilon_{\text{lin}}\ . \tag{9}$$

GUM Workbench® benutzt eine Obergrenze von $\varepsilon_{\text{lin}} = 0.05$ für den Linearitätstest. Bei dieser Obergrenze ergibt sich typischerweise ein maximaler Fehler von ±0.4% zwischen der theoretisch wirksamen Ableitung und der numerischen Berechnung. Der maximale Fehler, der unter ungünstigsten Bedingungen auftreten kann, ist kleiner als 5%.

Die Ausführung des Linearitätstests kann abgeschaltet werden, um die Rechenzeit für das Budget und die Ergebnisse zu verkürzen.

Warnung: Eine mögliche signifikante Nichtlinearität kann nicht mehr erkannt werden, falls der Linearitätstest abgeschaltet wird.

Anhang I: Benutzte Gleichungen

Dieser Abschnitt listet die Gleichungen auf, die in GUM Workbench® für die verschiedenen Berechnungen in der Budgettabelle und an anderer Stelle benutzt werden.

I.1 Auswertung Typ A

Die Auswertung Typ A wird für Beobachtungsreihen verwendet. Es ist eine statistische Auswertung der Daten. Eine Datenreihe mit n beobachteten Werten $q_1 \ldots q_n$ ist durch den Benutzer eingegeben worden. Der arithmetische Mittelwert wird als bester Schätzwert benutzt

$$x_i = \overline{q} = \frac{q_1 + q_2 + \ldots q_n}{n} = \frac{1}{n}\sum_{j=1}^{n} q_j \,. \tag{10}$$

Die experimentelle Standardabweichung wird aus der Datenreihe ermittelt,

$$s^2(q) = \frac{1}{n-1}\sum_{j=1}^{n}(q_j - \overline{q})^2 \,. \tag{11}$$

Die Standardabweichung des Mittelwertes wird als Standardmessunsicherheit für die beobachtete Größe benutzt

$$u(x_i) = s(\overline{q}) = \frac{s(q)}{\sqrt{n}} \,. \tag{12}$$

Der Korrelationskoeffizient zwischen zwei Datenreihen q_i und q_j ergibt sich aus:

$$r(q_i, q_j) = \frac{1}{(n-1)\cdot s(q_i)\cdot s(q_j)} \cdot \sum_{k=1}^{n}(q_{i,k} - \overline{q}_i)\cdot(q_{j,k} - \overline{q}_j) \,. \tag{13}$$

I.2 Auswertung Typ B

Die Auswertung Typ B basiert auf einer den Kenntnissen entsprechenden Wahrscheinlichkeitsverteilung. Aus der Verteilung wird der Erwartungswert und die Standardabweichung berechnet Diese Werte werden als bester Schätzwert und Standardmessunsicherheit benutzt.

I.2.1 Rechteckverteilung

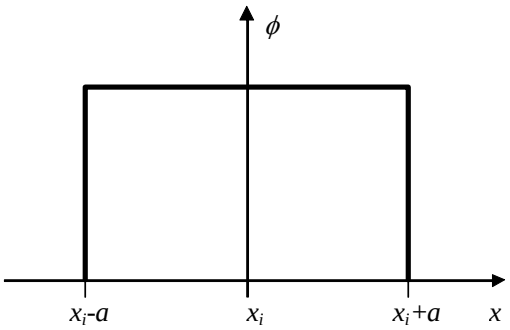


Bild 105: Rechteckverteilung

Der Erwartungswert der Rechteckverteilung ist der arithmetische Mittelwert und die Standardmessunsicherheit ergibt sich aus der halben Breite der Grenzen a zu:

$$u(x_i) = \frac{a}{\sqrt{3}} \,. \tag{14}$$

© 2009 Metrodata GmbH

I.2.2 Dreiecksverteilung

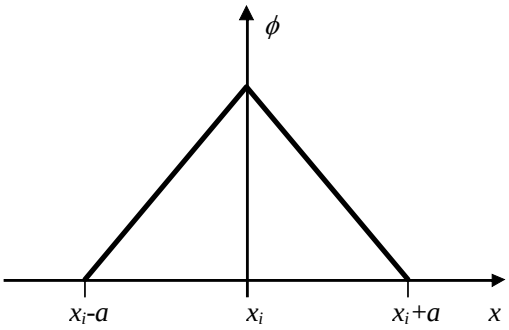


Bild 106: Dreiecksverteilung

Der Erwartungswert der Dreiecksverteilung ist der arithmetische Mittelwert und die Standardmessunsicherheit ergibt sich aus der halben Breite der Grenzen a zu:

$$u(x_i) = \frac{a}{\sqrt{6}} \,. \tag{15}$$

I.2.3 Trapezverteilung

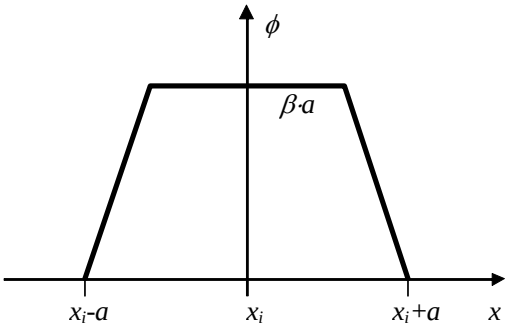


Bild 107: Trapezverteilung

Der Erwartungswert der Trapezverteilung ist der arithmetische Mittelwert und die Standardmessunsicherheit ergibt sich aus der halben Breite der Grenzen a und dem gleich verteilten Anteil der Verteilung β zu:

$$u(x_i) = a \cdot \sqrt{\frac{1+\beta^2}{6}} \,. \tag{16}$$

I.2.4 U-förmige Verteilung

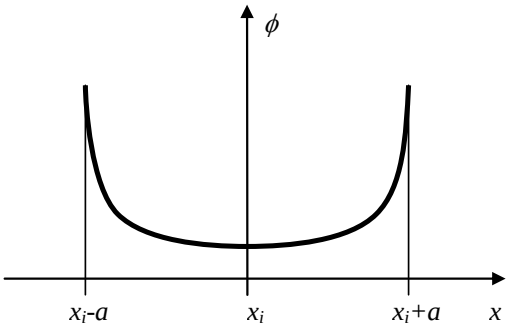


Bild 108: U-förmige Verteilung

Der Erwartungswert der U-förmigen Verteilung ist der arithmetische Mittelwert und die Standardmessunsicherheit ergibt sich aus der halben Breite der Grenzen a zu:

$$u(x_i) = \frac{a}{\sqrt{2}} \tag{17}$$

I.2.5 Normalverteilung

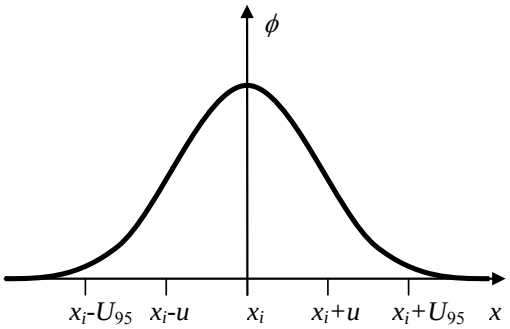


Bild 109: Normalverteilung

Der Erwartungswert der Normalverteilung ist der arithmetische Mittelwert und die Standardmessunsicherheit ergibt sich aus dem verfügbaren Streuparameter. Das kann jedes Vielfache der Standardmessunsicherheit oder eine erweiterte Messunsicherheit $U(x_i)$ zusammen mit einem Erweiterungsfaktor k sein

$$u(x_i) = \frac{U(x_i)}{k}. \tag{18}$$

I.3 Unsicherheitsfortpflanzung (Budget)

Gegeben sei die folgende Modellgleichung mit n Eingangsgrößen und m Ergebnisgrößen

$$y_j = f(x_1, x_2, \ldots, x_n), \text{ für } j = 1 \ldots m. \tag{19}$$

Die Sensitivitätskoeffizienten werden numerisch berechnet (siehe Anhang H).

 © 2009 Metrodata GmbH

$$c_{j,i} = \frac{\Delta y_j}{\Delta x_i} \tag{20}$$

Der Unsicherheitsbeitrag der Eingangsgröße x_i zur Unsicherheit des Ergebnisses y_j ist das Produkt aus der Standardmessunsicherheit und dem Sensitivitätskoeffizient. Da der Sensitivitätskoeffizient auch negativ sein kann, ergeben sich für die Unsicherheitsbeiträge positive und negative Werte (oder manchmal auch Null)

$$u_i(y_j) = c_{j,i} \cdot u(x_i)\,. \tag{21}$$

Die Rechenformel zu Varianzfortpflanzung wird benutzt, um das Quadrat der Standardmessunsicherheit des Ergebnisses y_j zu berechnen

$$u^2(y_j) = \sum_{i=1}^{n} u_i^{\,2}(y_j)\left[+2 \cdot \sum_{i=1}^{n-1} \sum_{k=i+1}^{n} r(x_i, x_k) \cdot u_i(y_j) \cdot u_k(y_j)\right]. \tag{22}$$

Der letzte Term in Gleichung 22 (die Doppelsumme in eckigen Klammern) wird nur für Eingangsgrößen berechnet, die korreliert sind. Der Korrelationskoeffizient ist definiert als

$$r(x_i, x_k) = \frac{u(x_i, x_k)}{u(x_i) \cdot u(x_k)}\,, \tag{23}$$

wobei $u(x_i, x_k)$ die Kovarianz der beiden Eingangsschätzwerte x_i und x_k ist.

Der Korrelationskoeffizient zwischen dem Ergebnis y_j und der Eingangsgröße x_i ist

$$r(y_j, x_i) = \sum_{k=1}^{N} r(x_i, x_k) \cdot \frac{u_k(y_j)}{u(y_j)}\,. \tag{24}$$

Der Unsicherheitsindex (Beitragskoeffizient) $h(y_j, x_i)$ ist:

$$h(y_j, x_i) = r(y_j, x_i) \cdot \frac{u_i(y_j)}{u(y_j)}\,. \tag{25}$$

I.4 Effektiver Freiheitsgrad

Die Gleichung aus dem GUM zur Berechnung des effektiven Freiheitsgrades ist nur für unkorrelierte Größen anwendbar. GUM Workbench® benutzt deshalb die folgende erweiterte Gleichung

$$\begin{aligned} \frac{u^2(y)}{\nu_{\mathrm{y}}} = & \sum_{i=1}^{n} \frac{u_i^2(x_{\mathrm{i}}) \cdot r^2(y, x_{\mathrm{i}})}{\nu_{\mathrm{i}}} \\ & + 2 \cdot \sum_{i=1}^{n-1} \left[\frac{u_i(x_{\mathrm{i}}) \cdot r(y, x_{\mathrm{i}})}{\sqrt{\nu_{\mathrm{i}}}} \cdot \sum_{j=i+1}^{n} r^2(x_i, x_j) \cdot \frac{u_j(x_{\mathrm{j}}) \cdot r(y, x_{\mathrm{j}})}{\sqrt{\nu_{\mathrm{j}}}} \right]. \end{aligned} \tag{26}$$

Wenn alle beobachteten Größen unkorreliert sind, vereinfacht sich Gleichung (26) zu der bekannten Welch-Satterthwaite Formel aus dem GUM.

I.5 Erweiterte Messunsicherheit und Ergebniskorrelation

Die erweiterte Messunsicherheit $U(y_j)$ ergibt sich durch Multiplikation der Standardmessunsicherheit $u(y_j)$ mit dem Erweiterungsfaktor k_j.

$$U(y_j) = k_j \cdot u(y_j) \tag{27}$$

Der Korrelationskoeffizient zwischen je zwei Ergebnissen y_k und y_l ist

$$r(y_k, y_l) = \sum_{i=1}^{n} \sum_{j=1}^{n} \frac{u_i(y_k)}{u(y_k)} \cdot \frac{u_j(y_l)}{u(y_l)} \cdot r(x_i, x_j) \text{ für } k,l = 1 \ldots m. \tag{28}$$

© 2009 Metrodata GmbH

Anhang J: Beispiel der Berichtsseiten

S4	Kalibrierung eines Endmaßes der Nennlänge 50 mm	

Kalibrierung eines Endmaßes der Nennlänge 50 mm

Autor: DKD

Dieses Beispiel wurde der DKD-3-E1 entnommen (siehe unter S4).

Die Kalibrierung eines Endmaßes der Toleranzklasse 0 (ISO 3650) mit einer Nennlänge von 50 mm erfolgt durch Vergleich mit Hilfe eines Längenkomparators und eines kalibrierten Endmaßes derselben Nennlänge als Referenznormal, das aus demselben Material wie das zu kalibrierende Endmaß gefertigt ist. Die Mittenmaßdifferenz wird in vertikaler Positionierung der beiden Endmaße mit zwei hochauflösenden Tastern bestimmt, die jeweils die obere und die untere Meßfläche berühren. Die tatsächliche Länge des zu kalibrierenden Endmaßes ergibt sich aus der tatsächlichen Länge des Referenznormales entsprechend der Gleichung:

$l_x = l_s + \delta l$

wobei δl die ermittelte Längendifferenz ist. l_x und l_s sind die Längen der Endmaße unter den Meßbedingungen, insbesondere bei einer Temperatur, die aufgrund der Unsicherheit der Messung der Labortemperatur i.a. nicht mit der Bezugstemperatur für Längenmessungen übereinstimmt.

Modellgleichung:

$$l_X = l_S + \delta l_D + \delta l + \delta l_C - L * (\alpha_{av} * \delta t + \delta\alpha * \Delta t_{av} + u_{at}) - \delta l_V$$

Liste der Größen:

Größe	Einheit	Definition
l_X	mm	Länge des zu kalibrierenden Endmaßes
l_S	mm	Länge des Referenzendmaßes bei der Bezugstemperatur t_0 = 20 °C gemäß seinem Kalibrierschein
δl_D	mm	Längenänderung des Referenzendmaßes seit seiner letzten Kalibrierung infolge von Drift
δl	mm	beobachtete Längendifferenz zwischen dem unbekannten Endmaß und dem Referenzendmaß
δl_C	mm	Korrektion hinsichtlich einer Nichtlinearität und eines Offset des Längenkomparators
L	mm	nominelle Länge der Endmaße
α_{av}	K^{-1}	Mittelwert der thermischen Ausdehnungskoeffizienten des zu kalibrierenden und des Referenzendmaßes
δt	K	Temperaturdifferenz zwischen dem zu kalibrierenden und dem Referenzendmaß
$\delta\alpha$	K^{-1}	Differenz der thermischen Ausdehnungskoeffizienten zwischen dem zu kalibrierenden und dem Referenzendmaß
Δt_{av}	K	Abweichung der mittleren Temperatur des zu kalibrierenden Endmaßes und des Referenzendmaßes von der Bezugstemperatur
u_{at}		Terme zweiter Ordnung der Temperaturkorrektion
δl_V	mm	Korrektion hinsichtlich nicht-zentrischer Antastung der Meßflächen des zu kalibrierenden Endmaßes

l_S:
Typ B Normalverteilung
Wert: 50.00002 mm
Erweiterte Messunsicherheit: $30 \cdot 10^{-6}$ mm
Erweiterungsfaktor: 2

Datum: 11.08.2007	Datei: S04_ge.smu	Seite 1 von 4

Generiert mit GUM Workbench Pro Version 2.4.1.335

Bild 110: Bericht DKD-3-S04 Seite 1 (75% der Originalgröße)

S4	Kalibrierung eines Endmaßes der Nennlänge 50 mm	

Referenznormal: Im Kalibrierschein wird die Länge des Referenzendmaßes zusammen mit der beigeordneten erweiterten Meßunsicherheit für einen Endmaßsatz mit 50,000 02 mm ±30 nm (Erweiterungsfaktor k = 2) angegeben.

δl_D: Typ B Dreieckverteilung
Wert: 0 mm
Halbbreite der Grenzen: $30 \cdot 10^{-6}$ mm

Drift des Referenznormales: Die zeitliche Drift der Länge des Referenzendmaßes wird aus früheren Kalibrierungen auf Null mit maximalen Abweichungen von ±30 nm abgeschätzt. Die allgemeine Erfahrung mit Endmaßen dieses Typs weist darauf hin, daß eine Nulldrift höchst wahrscheinlich ist und daß eine Dreieckverteilung für etwaige Abweichungen angenommen werden kann.

δl: Typ A
Methode der Beobachtung: Direkt
Anzahl der Beobachtungen: 5

Nr.	Beobachtung
1	$-100 \cdot 10^{-6}$ mm
2	$-90 \cdot 10^{-6}$ mm
3	$-85 \cdot 10^{-6}$ mm
4	$-95 \cdot 10^{-6}$ mm
5	$-100 \cdot 10^{-6}$ mm

Arithmetischer Mittelwert: $-94.00 \cdot 10^{-6}$ mm
Schätzwert für die Standardabweichung: $12 \cdot 10^{-6}$ mm
Freiheitsgrad des Schätzwerts: 9
Standardmessunsicherheit: $4.75 \cdot 10^{-6}$ mm

Beobachtungen: Zur Bestimmung der Differenz zwischen dem unbekannten Endmaß und dem Referenzendmaß wurden fünf Beobachtungen durchgeführt, wobei der Längenkomparator mit Hilfe des Referenznormales vor jeder Ablesung bezüglich eines Offsets korrigiert wurde. Die zusammengefaßte Abschätzung der Standardabweichung erfolgt aufgrund der Prüfungen, mit denen nachgewiesen wurde, daß der verwendete Längenkomparator den Forderungen des Leitfadens für die Kalibrierung von Endmaßen EA-4/14 entspricht.

δl_C: Typ B Rechteckverteilung
Wert: 0 mm
Halbbreite der Grenzen: $32 \cdot 10^{-6}$ mm

Längenkomparator: Vor der Kalibrierung wurde überprüft, daß der Längenkomparator den geforderten Spezifikationen des Leitfadens für die Kalibrierung von Endmaßen EA-4/14 entspricht. Daher kann sichergestellt werden, daß für Längendifferenzen D bis zu ±10 µm die Korrektionen der angegebenen Längendifferenz innerhalb der Grenzen ±(30nm + 0,02·|D|) liegen. Aus den Toleranzen des zu kalibrierenden Endmaßes der Toleranzklasse 0 und des Referenzendmaßes der Toleranzklasse K ergibt sich die maximale Längendifferenz zu ±1 µm, d.h. die Grenzen für Nichtlinearitäts- und Offsetkorrektionen des Längenkomparators betragen ±32 nm.

L: Konstante
Wert: 50.0 mm

α_{av}: Typ B Dreieckverteilung
Wert: $11.5 \cdot 10^{-6}$ K^{-1}
Halbbreite der Grenzen: $1 \cdot 10^{-6}$ K^{-1}

Datum: 11.08.2007	Datei: S04_ge.smu	Seite 2 von 4

Generiert mit GUM Workbench Pro Version 2.4.1.335

Bild 111: Bericht DKD-3-S04 Seite 2 (75% der Originalgröße)

© 2009 Metrodata GmbH

S4	Kalibrierung eines Endmaßes der Nennlänge 50 mm	

Längenausdehnungskoeffizient: Aus den Angaben im Kalibrierschein des Referenzendmaßes und der Herstellerangaben für das zu kalibrierende Endmaß ist ersichtlich, daß der thermische Längenausdehnungskoeffizient der Stahlendmaße innerhalb von $(11{,}5\pm1.0)\cdot10^{-6}$ K-1 liegt.

$\alpha_{av} = (\alpha_s + \alpha_x)/2$

δt: Typ B Rechteckverteilung
Wert: 0 K
Halbbreite der Grenzen: 0.05 K

Temperaturkorrektion: Es wurde dafür Sorge getragen, daß die Endmaße vor der Kalibrierung die Temperatur des Meßraumes annehmen. Eine verbleibende Temperaturdifferenz zwischen dem Referenznormal und dem zu kalibrierenden Endmaß wird auf maximal ±0,05 K geschätzt.

δα: Typ B Dreieckverteilung
Wert: 0 K^{-1}
Halbbreite der Grenzen: $2\cdot10^{-6}$ K^{-1}

Längenausdehnungskoeffizient: Für die Differenz der Längenausdehnungskoeffizienten ergibt sich aus der Kombination der beiden Rechteckverteilungen eine Dreiecksverteilung in den Grenzen $\pm2\cdot10^{-6}$ K-1.

Δt_{av}: Typ B Rechteckverteilung
Wert: 0 K
Halbbreite der Grenzen: 0.5 K

Temperaturkorrektion: Die Abweichung der mittleren Temperatur im Meßraum von der Bezugstemperatur t_0 = 20 °C wird auf maximal ±0,5 K geschätzt.

u_{at}: Typ B Normalverteilung
Wert: 0
Erweiterte Messunsicherheit: $0.236\cdot10^{-6}$
Erweiterungsfaktor: 1

Da der Schätzwert für die Differenz der Längenausdehnungskoeffizienten und die Abweichungen der mittleren Temperatur von der Bezugstemperatur Null sind, müssen bei der Ermittlung des entsprechenden Unsicherheitsbeitrags Terme zweiter Ordnung berücksichtigt werden. Dadurch ergibt sich die dem Produktterm $\delta\alpha\cdot\Delta t_{av}$ in der Modellgleichung beizuordnende Standardmeßunsicherheit als Produkt der Standardmeßunsicherheiten, die seinen Faktoren beizuordnen ist (siehe mathematische Anmerkung DKD-3-E1 in Abschnitt S4.13, Gl. (S4.5)). So ergibt sich schließlich $u(\delta\alpha\cdot\Delta t_{av})=0{,}236\cdot10^{-6}$.

δl_V: Typ B Rechteckverteilung
Wert: 0 mm
Halbbreite der Grenzen: $6.7\cdot10^{-6}$ mm

Nicht-zentrische Antastung: Bei Endmaßen der Toleranzklasse 0 muß die aus Messungen in der Mitte und an den vier Ecken ermittelte Längendifferenz innerhalb von ±0,12 µm liegen (ISO 3650). Unter der Annahme, daß diese Änderung an den Meßflächen entlang der 9 mm langen kurzen Kante auftritt und daß das Mittenmaß in einem Kreis mit dem Radius 0,5 mm angetastet wird, wird eine Korrektion aufgrund einer nicht-zentrischen Antastung auf maximal ±6,7 nm geschätzt.

Korrelation:

Die Eingangsgrößen werden als unkorreliert angesehen.

Datum: 11.08.2007	Datei: S04_ge.smu	Seite 3 von 4

Generiert mit GUM Workbench Pro Version 2.4.1.335

Bild 112: Bericht DKD-3-S04 Seite 3 (75% der Originalgröße)

S4	Kalibrierung eines Endmaßes der Nennlänge 50 mm	

Messunsicherheits-Budgets:

l_X: Länge des zu kalibrierenden Endmaßes

Größe	Wert	Std.-Mess-unsicherheit	Verteilung	Sensitivitäts-koeffizient	Unsicher-heitsbeitrag	Index
l_S	50.0000200 mm	$15.0 \cdot 10^{-6}$ mm	Normal	1.0	$15 \cdot 10^{-6}$ mm	19.3 %
δl_D	0.0 mm	$12.2 \cdot 10^{-6}$ mm	Dreieck	1.0	$12 \cdot 10^{-6}$ mm	12.8 %
δl	$-94.00 \cdot 10^{-6}$ mm	$4.75 \cdot 10^{-6}$ mm	Normal	1.0	$4.7 \cdot 10^{-6}$ mm	1.9 %
δl_C	0.0 mm	$18.5 \cdot 10^{-6}$ mm	Rechteck	1.0	$18 \cdot 10^{-6}$ mm	29.2 %
L	50.0 mm					
α_{av}	$11.500 \cdot 10^{-6}$ K^{-1}	$408 \cdot 10^{-9}$ K^{-1}	Dreieck	0.0	0.0 mm	0.0 %
δt	0.0 K	0.0289 K	Rechteck	$-580 \cdot 10^{-6}$	$-17 \cdot 10^{-6}$ mm	23.6 %
$\delta \alpha$	0.0 K^{-1}	$816 \cdot 10^{-9}$ K^{-1}	Dreieck	0.0	0.0 mm	0.0 %
Δt_{av}	0.0 K	0.289 K	Rechteck	0.0	0.0 mm	0.0 %
u_{at}	0.0	$236 \cdot 10^{-9}$	Normal	-50	$-12 \cdot 10^{-6}$ mm	11.9 %
δl_V	0.0 mm	$3.87 \cdot 10^{-6}$ mm	Rechteck	-1.0	$-3.9 \cdot 10^{-6}$ mm	1.3 %
l_X	49.9999260 mm	$34.2 \cdot 10^{-6}$ mm				

Ergebnisse:

Größe	Wert	Erw.-Mess-unsicherheit	Erweiter-ungsfaktor	Überdeckungs-wahrscheinlichkeit
l_X	49.999926 mm	$68 \cdot 10^{-6}$ mm	2.00	95% (t-Tabelle 95.45%)

Datum: 11.08.2007	Datei: S04_ge.smu	Seite 4 von 4

Generiert mit GUM Workbench Pro Version 2.4.1.335

Bild 113: Bericht DKD-3-S04 Seite 4 (75% der Originalgröße)

© 2009 Metrodata GmbH

Anhang K: Lizenzbedingungen

Die GUM Workbench ist ein Lizenz- und kein Verkaufsprodukt.

1. Lizenz.

Die GUM Workbench, ob auf Diskette, CD-ROM oder einem anderen Medium (im Folgenden als GUM Workbench bezeichnet) sowie die dazugehörigen Dokumente sind lizenziert durch die Firma Metrodata Datenverarbeitung für Messtechnik und Qualitätssicherung GmbH, Im Winkel 15-1, D-79576 Weil am Rhein, Deutschland (im Folgenden als Metrodata bezeichnet). Zwar sind Sie der Besitzer des Mediums, auf das die GUM Workbench aufgespielt wird, doch behält sich Metrodata die Rechte an der GUM Workbench und den zugehörigen Dokumenten vor.

Diese Lizenz erlaubt es Ihnen, die GUM Workbench ausschließlich auf der Anzahl von Computern zu benutzen, die der Anzahl der erworbenen Lizenzen entspricht, sowie eine computerlesbare Kopie zu erstellen, die einzig zu Sicherungszwecken dienen darf. Jede Lizenz darf nur für einen Computer verwendet werden. Sie sind verpflichtet, auf einer erstellten Kopie die GUM Workbench Copyright-Angaben wiederzugeben sowie jegliche weitere Eigentumsangaben, die auf dem Original der GUM Workbench vermerkt waren. Sie dürfen Ihre gesamten Lizenzrechte an der GUM Workbench, die Sicherungskopie, die zugehörigen Dokumente und eine Kopie dieser Lizenz an Dritte weitergeben, jedoch nur unter der Voraussetzung, dass diese/r Dritte die Lizenzbestimmungen liest und sich mit ihnen einverstanden erklärt.

2. Einschränkungen.

Die GUM Workbench enthält urheberrechtlich geschütztes Material, Handelsgeheimnisse und weiteres Eigentumsmaterial. Um dieses zu schützen, dürfen Sie, außer nach den Genehmigungen der geltenden Gesetze, die GUM Workbench nicht dekompilieren, auseinander bauen, zerlegen oder in anderer Weise auf menschlich wahrnehmbare Form reduzieren; Sie dürfen sie nicht kopieren, verändern, in ein Netzwerk integrieren, vermieten, verpachten, verleihen oder an Dritte weitergeben; Sie dürfen keine Programme erstellen, die im ganzen oder auch nur teilweise auf der GUM Workbench basieren, ausgenommen derer, die durch die zuständige Gesetzgebung ausdrücklich genehmigt sind. Sie dürfen die GUM Workbench nicht auf elektronischem Wege von einem Computer an einen zweiten oder an ein Netzwerk übertragen.

3. Geltungsdauer.

Diese Lizenz ist solange gültig, bis sie aufgehoben wird. Sie können die Lizenz jederzeit aufheben, indem Sie die GUM Workbench, die dazugehörigen Dokumente und alle hiervon gemachten Kopien zerstören. Diese Lizenz verliert ihre Gültigkeit sofort und ohne Benachrichtigung durch Metrodata, falls Sie eine der Bestimmungen dieser Lizenz missachten. Auf die Aufhebung der Gültigkeit hin müssen Sie die GUM Workbench, die dazugehörigen Dokumente und alle hiervon gemachten Kopien zerstören. Auf die Aufhebung der Gültigkeit hin bleiben Sie weiterhin an die Bestimmungen, Beschränkungen und Verbote aus diesem Lizenzabkommen gebunden und haben keinerlei Anrecht auf Erstattung des Betrages, den Sie für die GUM Workbench bezahlt haben. Eine Aufhebung der Lizenz löst Sie nicht von der Verantwortung für einen Bruch dieses Lizenzabkommens.

4. Garantiebeschränkung für Medien.

Die Metrodata garantiert, dass die Disketten und/oder CDs, auf welche die GUM Workbench gespielt ist, frei sind von Material- und Herstellungsfehlern. Diese Garantie gilt für den Zeitraum von sechs Monaten vom Kaufdatum an, das mit einer Kopie des Kaufbelegs dargelegt werden muss. Während dieser Garantiezeit nimmt der Lizenzgeber Reparaturen (oder nach seinem Ermessen Ersatz) solcher Disketten und/oder CDs kostenlos vor, die sich als fehlerhaft erweisen, jedoch unter der Voraussetzung, dass sie angemessen verpackt unter Angabe Ihres Namens, Ihrer Adresse und Telefonnummer, eines Kaufbeleges sowie einer Beschreibung des Problems an den Lizenzgeber zurückgesendet werden. Alle Transportgebühren gehen zu Lasten des Lizenznehmers. Alle Disketten und/oder CDs, die aus Garantiegründen ersetzt werden, gehen in das Eigentum des Lizenzgebers über. Der Lizenzgeber übernimmt keine Verpflichtung zum Ersatz einer Diskette und/oder CD, die durch höhere Gewalt, Missbrauch oder fehlerhafter Anwendung beschädigt wurde. Jegliche angegebene Garantie oder Bedingungen für die Disketten und/oder CDs, einschließlich der angegebenen Haftung und/oder Handelsfähigkeitsbedingungen und Tauglichkeit für einen bestimmten Zweck, sind in ihrer Gültigkeit auf die Dauer von sechs Monaten vom Lieferdatum an beschränkt. Die Bedingungen dieser Einschränkung gelten auch für die Rechte eines Kunden, der die GUM Workbench auf einem anderen als dem üblichen Geschäftsweg erwirbt.

5. Widerruf der Garantie für die GUM Workbench.

Sie erkennen ausdrücklich an, dass der Gebrauch der GUM Workbench ausschließlich auf Ihr eigenes Risiko hin geschieht. Die GUM Workbench und die dazugehörigen Dokumente werden "wie sie sind" und ohne jegliche Garantie geliefert, und der Lizenzgeber lehnt ausdrücklich jegliche explizite oder implizite Garantie und/oder Bedingungen ab, welche die genannten Garantien und/oder Handelsfähigkeitsbedingungen und Tauglichkeit für einen bestimmten Zweck beinhalten, jedoch nicht auf sie beschränkt sind. Metrodata garantiert nicht dafür, dass die in der GUM Workbench enthaltenen Funktionen Ihren Anforderungen entsprechen oder dass die Anwendung der GUM Workbench ununterbrochen oder fehlerfrei ist, noch übernimmt Metrodata Garantie für die Richtigkeit, Genauigkeit, Zuverlässigkeit oder sonstige Eigenschaften der Nutzung der GUM Workbench oder der dazugehörigen Dokumente. Mündliche oder schriftliche Informationen oder Ratschläge, die vom Lizenzgeber erteilt wurden, bilden keine Garantie oder erweitern auf irgendeine Weise den Umfang dieser Garantie. Sollte sich die GUM Workbench als fehlerhaft herausstellen, übernehmen Sie (und nicht Metrodata) die vollen Kosten für alle nötigen Service-, Reparatur- oder Korrekturarbeiten.

6. Haftungsbeschränkung.

Die Haftung des Lizenzgebers hinsichtlich jeglicher Einzelvorkommnisse oder Serien von Vorkommnissen, die als Resultat von Nachlässigkeit, Vertragsbruch, Fehlrepräsentation oder desgleichen auftreten, wird unter keinen Umständen die Kosten des fehlerhaften, beschädigten oder nicht gelieferten Produktes, wie sie durch den in Rechnung gestellten Nettopreis festgelegt sind, übersteigen. Sofern nicht ausdrücklich gegenteilige Vereinbarungen getroffen wurden, werden alle Bedingungen, Garantien und Vertretungen, die durch Statuten, Gesetz oder auf andere Weise in Bezug auf GUM Workbench direkt oder indirekt zum Ausdruck gebracht werden, hierdurch ausgeschlossen und der Lizenzgeber wird unter keinen Umständen die Verantwortung für Verlust,

 © 2009 Metrodata GmbH

Beschädigung oder Verletzung übernehmen, ob sie aus fehlerhaftem Material, falscher Behandlung oder aus anderen Gründen entstanden sind.

Die Bedingungen dieser Beschränkung betreffen oder beschränken auch die Rechte eines Käufers, der die GUM Workbench auf anderem als dem üblichen Geschäftsweg erwirbt.

7. Rechte zum Vertreiben von SMU-Dateien.

Als Eigentümer einer GUM Workbench Lizenz dürfen Sie alle SMU-Dateien nach Belieben verteilen, die Sie unter Anwendung der GUM Workbench erstellt haben. Der Lizenzgeber ist nicht verantwortlich für Inhalt oder die Richtigkeit solcher Dateien.

8. Übergeordnetes Gesetz und Teilgültigkeit.

Diese Lizenz wurde in Übereinstimmung mit den Gesetzen der Bundesrepublik Deutschland erstellt und unterliegt ihnen. Falls aus irgendeinem Grund ein ordentliches Gericht eine Bestimmung dieser Lizenz, oder Teile davon, als undurchführbar einstuft, so muss diese Bestimmung der Lizenz zu ihrem größten zulässigen Umfang erfüllt werden, um die Interessen der Parteien zu wahren, und der Rest dieser Lizenz wird in vollem Umfang gültig bleiben.

9. Bestätigung.

Sie bestätigen, dass Sie dieses Lizenzabkommen und die Garantiebeschränkung gelesen und verstanden haben und sich mit den Bestimmungen einverstanden erklären. Sie erklären sich weiterhin einverstanden, dass dieses Lizenzabkommen und die Garantiebeschränkung die vollständige und ausschließliche Vereinbarung zwischen den Parteien ist und es jegliche Vorschläge und frühere Vereinbarungen, ob schriftlich oder mündlich, sowie jegliche weitere Verständigung zwischen den Parteien aufhebt, die das Lizenzabkommen oder die Garantiebeschränkung zum Gegenstand hatten. Eine Erweiterung oder Veränderung dieser Lizenz ist nicht bindend, es sei denn, sie liegt in schriftlicher Form vor und ist durch den Lizenzgeber unterzeichnet.

Anhang L: Quellennachweis

[1] BIPM/ISO: Guide to the Expression of Uncertainty in Measurement, International Organization for Standardization, 1995, ISBN 92-67-20188-3.

[2] BIPM *et. al.* Guide to the Expression of Uncertainty in Measurement. Supplement 1: Propagation of distributions using Monte Carlo method, 2008. `http://www.bipm.org/en/publications/guides/gum.html`

[3] European Co-operation for Accreditation: EA 4/02, Expression of the uncertainty of measurement in calibration, EA, 1999. `http://www.european-accreditation.org`

[4] Deutscher Kalibrierdienst: DKD-3, Angabe der Messunsicherheit bei Kalibrierungen, DKD, 2002 `http://www.dkd.eu/dokumente/Schriften/dkd_3.pdf`

[5] Barry N. Taylor, E. Kuyatt: Guidelines for Evaluating and Expressing the Uncertainty of NIST Measurement Results, NIST Technical Note 1297, 1994 Edition, National Institute of Standards and Technology, Gaithersburg, USA. `http://physics.nist.gov/Document/tn1297.pdf`

[6] Eurachem/CITAC: Quantifying Uncertainty in Analytical Measurement, Eurachem Working Group on Uncertainty in Chemical Measurement, 2nd Edition 2000, Eurachem secretariat, Berlin. `http://www.eurachem.org/guides/QUAM2000-1.pdf`

[7] United Kingdom Accreditation Service: The Expression of Uncertainty and Confidence in Measurement, UKAS 2nd Edition 2007, M3003. `http://www.ukas.com/Library/downloads/publications/M3003.pdf`

[8] Python Programming Language, `http://www.python.org`

[9] Numpy - Numerical Python extension, open source software package, `http://numpy.scipy.org`

[10] Mishra, SK: Optimal solution of the nearest correlation matrix problem by minimization of the maximum norm, 2004, http://mpra.ub.uni-muenchen.de/1783/

 © 2009 Metrodata GmbH

Anhang M: Stichwortverzeichnis

A
abgeleitete Einheiten, 99
Ablesungen, 16, 71
Achsen, 116
acos(), 29
acosh(), 29
acot(), 29
acoth(), 29
Addition, 27
Allgemeine Beschreibung, 157
Analyse, 11
Ansicht, 13
  Beobachtung, 16
  Beobachtung, 71
  Budget, 18
  Diagramm, 113
  Ergebnis, 23
  Messunsicherheits-Budget, 18
anwenderdefinierte Funktionen, 31
Anzahl der Beobachtungen, 157
Arbeitsverzeichnis, 126
Arial, 80
arithmetische Mittelwert, 175
arithmetischer Mittelwert, 30, 152
Arkuskosinus, 29
Arkussinus, 29
asin(), 29
asinh(), 29
atan(), 29
atanh(), 29
Aufruf, 10
aus Datei, 157
Ausgangsgröße, 152
Ausgangsschätzwert, 152
Ausrichtung, 114
Auswahl der Ansicht, 14
Automatisierung, 173
Autor, 81
average(), 30

B
Backup, 126
Bayes, 52
Bayes mit Schätzwert, 53
Bearbeitungsmodus, 24
Begrenzte Verteilung, 60
Benutzerschnittstelle, 13
beobachtete Größe, 50
Beobachtung, 16, 157
  Anzahl, 51
  Methode, 51
Beobachtungen, 71
Beobachtungsmethode, 56
berechnen
  Budget, 77
  Korrelation, 77
berechnete Parameter, 150
Bericht, 80, 82
Berichtsoptionen, 84
Beschreibung, 17, 37, 47, 48, 157
Beschreibungsfeld, 15, 24
Beste Messunsicherheit, 152
Bilder, 92
  Speicherung, 95
BIN, 135
Bogenmaß, 28
Budget
  Einstellungen, 123
  mehrfach, 79
Budgettabelle, 18
Build-Nummer, 128

C
Caret, 37
Cholesky Zerlegung, 143
const(), 29
cos(), 29
cosh(), 29
cot(), 29
coth(), 29
CSV, 136

D
Darstellungsmodus, 24
Darstellungsoptionen, 77
Dateiformat, 154
Dateiname, 90, 91
Datum, 81
Datumsformat, 121
Definition, 15
deg(), 28, 29
Dezimaltrennzeichen, 30
Dezimalzahlen, 30
Diagramm, 112
  Achsenparameter, 116
  Ansicht, 113
  Daten, 115
  Daten ändern, 116
  Daten anfügen, 115
  Daten einfügen, 115
  Eigenschaften, 114
  Graphen, 117
  Markierungen, 119
  mehrere, 120
direkte Beobachtung, 56
Division, 27
DLL, 129
Document-Informationsfelder, 81
Dokumentation, 80
Dreiecksverteilung, 177
Druckbereich, 83
drucken, 80, 82
Drucker einrichten, 83

E
e, 26, 46
effektiver Freiheitsgrad, 179
Eigenvektoren, 143
Eigenwerte, 143
Eigenwertzerlegung, 143
einfügen
  Beobachtungen, 73
  Einheit, 102
  Logo, 84
  Text, 162
Eingangsgröße, 152
Eingangsschätzwert, 152
eingebaute Funktionen, 38
Einheit, 15, 97, 157
  syntaktische Regeln, 104
  Überprüfung, 103
  Vorsätze, 98
Einstellungen, 121
empirische Standardabweichung, 152
empirische Varianz, 152
Ergebnis, 50
  Ansicht, 23
  Einstellungen, 124
  Korrelationsmatrix, 23
  Liste, 77
  mehrfach, 77
Ermittlung der Messunsicherheit, 157
Ermittlungsmethode A, 153
Ermittlungsmethode B, 153
erweiterte Messunsicherheit, 20, 153, 157, 178, 180
Erweiterungsfaktor, 20, 153, 158
Excel, 129
Excel Import, 66
exp(), 29
experimentelle Standardabweichung, 176
Experte, 129, 142
Exponentialzeichen, 27, 37
exponentiell, 29

exponentieller Darstellung, 30
Export, 80, 86
Excel, 129

F
Fehler, 109, 164
Fehlermeldung, 164
festes Seitenverhältnis, 114
fett gedruckt, 80
Fließkommazahlen, 30
Formfaktor, 158
Freiheitsgrad, 52, 158, 179
Funktion einfügen, 38
Funktionen
anwenderdefinierte, 31
Funktionen, 27
Funktionsdefinition, 31
Funktionsparameter, 31

G
Gaussverteilung, 58
gelbe Felder, 19
gemessene Daten, 71
geschwungene Klammern, 26
Gleichung, 15, 158
Gleichungsfeld, 24, 30
Grad, 28
Grafiken, 92
Graph, 139
Graphen, 117
griechische Buchstaben, 39, 161
Größe, 46, 158
auswählen, 47
Reihenfolge, 68
umbenennen, 36, 37
Größen - Daten, 15, 47
Größentabelle, 43, 158
Größentypen, 46

H
Halbbreite der Grenzen, 158
Hauptmenü, 14
Hilfe, 128
Histogramm, 113, 132
Höherstellung, 37
HTML, 87
hyperbolisch, 29

I
Import
Beobachtung, 72
Excel, 66
Manager, 68
mehrfach, 68
SMU, 63
Index, 18
Info, 128
Installation, 3, 133
Intervallwahrscheinlichkeit, 137

K
k, 178
Klammern, 27
Koeffizient, 158
Komma, 30
Kommandozeile, 10
Kommentare, 26
Kompatibilität, 111
Konfiguration
Monte Carlo, 136
Konstante, 46, 62
Korr.-Koeff., 19
Korrelation, 17, 19, 73, 153, 180
Korrelationsanalyse, 73
Korrelationskoeffizient, 17, 19, 153, 176
Korrelationsmatrix, 17, 23, 142, 158
Kosinus, 29
Kotangenz, 29
Kovarianz, 153
kursiv, 80

L
laden
Bild, 93
SMU, 89
Least Maximum Norm, 143
Letztes Budget, 22
Linearitätstest, 123, 175
Lizenz, 185
ln(), 29
log(), 29
Logarithmus, 29
Logo, 84

M
Markierungen, 119, 139
mathematische Funktionen, 27
mathematische Operatoren, 27
Matrixprüfung, 142
mehrfach
Bild, 94
Budget, 22, 79
Diagramm, 120
Ergebnis, 77
Programmfenster, 151
Menü Struktur, 155
Messdaten, 16
Messgröße, 153
Messunsicherheit, 153
Messunsicherheitsanalyse, 11
Messunsicherheitsbudget, 18, 159
Methode, 159
Methode der Beobachtung, 51, 159
Mittelwert, 30, 159
Modellgleichung, 15, 148, 151
bearbeiten, 36
Beispiele, 39
Monte Carlo, 132
Multiplikation, 27

N
Normalverteilung, 58, 178
numerische Ableitung, 174
nummerisches Modell, 107
Numpy, 145

O
öffnen, 89
OLE, 173
OMCE, 132
Online Hilfe, 128
Operatoren, 27
Optionen
Vorlagen, 147

P
Parameter, 31, 150
Parameterliste, 31
partielle Ableitung, 14, 15
PDF, 139, 140
Performanz, 79
physikalische Modell, 107
Pi, 26, 46
Poisson Verteilung, 62
positiv semi-definit, 142
Potenzierung, 27
Präfixe, 98
Probleme, 85
Programmfenster, 14
Prozent, 150
Punkt, 30
Punktediagramm, 112
Python, 144

Q
Quadratwurzel, 29
Quellenverzeichnis, 188

R
rad(), 28, 29
Radiant, 28
Rechenleistung
Bilder, 96
Rechteckverteilung, 176

 © 2009 Metrodata GmbH

Referenz Feld, 81
Referenzen, 188
Reihenfolge der Größen, 68
relative
Standardmessunsicherheit, 154
Roman, 80
RTF, 87
Rundung, 21, 124
Rundungsregeln, 21

S
Schätzwert, 51
Schreibschutz, 90, 148
semi-definit, 142
Sensitivitätskoeffizient, 22, 154, 173, 179
Setup, 3
SI-Einheiten, 97
Simulation, 132
sin(), 29
sinh(), 29
Sinus, 29
SMU-Datei, 130, 154
Softwarelizenz, 185
Sonderzeichen, 38, 39
Sonderzeichen einfügen, 39
Sortierung, 69
Spalte, 17, 159
speichern, 89
speichern unter, 90
Spezialzeichen, 39
Sprache, 122
sqr(), 29
sqrt(), 29
Standardabweichung, 154, 159
Standardabweichung des Mittelwertes, 176
Standardfunktionen, 27
Standardmessunsicherheit, 154, 159
Startmenü, 8, 10
Statuszeile, 14
SU, 57
Subtraktion, 27
SUS, 57
SUUS, 57
symmetrisches Intervall, 139
Systemvoraussetzungen
Monte Carlo, 133

T
Tabulatorzeichen, 80
tan(), 29
Tangens, 29
tanh(), 29
Tieferstellung, 37
Tips, 150
Titel, 81, 159
TLB, 173
Trapezverteilung, 61, 177
Tricks, 150
t-Verteilung, 60
Typ, 159
A, 50, 175
A nach Bayes, 52
A zusammengefasst, 54
B, 57, 176
Import, 63
Konstante, 62
Zwischenergebnis, 41
Typ-Bibliothek, 173
Typzuordnung, 148

U
u(), 118
U(), 118, 178
U/S, 57
Überdeckung, 20
Überdeckungswahrscheinlichkeit, 20, 154
U-förmige Verteilung, 178
umbenennen, 36, 37
umgekehrter Schrägstrich, 25
Umwandlung, 29
unabhängige Größe, 33
ungültig!, 21, 22
Unicode, 162
Unsicherheit
Fortpflanzung, 178
Unsicherheitsdiagramm, 112
Unterstrich, 24, 37
unterstrichen, 80

V
val(), 118
Validierung
Einheit, 97
VAR, 136
Varianz, 154
Varianzfortpflanzung, 143, 179
Vergrößerungsfaktor, 125
Version, 3, 81, 128
1.3, 42
Verteilung, 159
begrenzt, 60
Dreieck, 60, 177
Normal, 58, 178
Poisson, 62
Rechteck, 60, 176
Student-t, 60
Trapez, 61, 177
U-förmig, 60, 178
Verzeichnisse, 126
Voranzeige für den Bericht, 82
Voraussetzungen
Bilder, 92
vordefinierte Funktionen, 27, 38
Vorlagen, 146
Optionen, 147
Vorverarbeitung, 56

W
Wahrscheinlichkeitsdichtefunktion, 138, 140
Wahrscheinlichkeitsverteilung, 154
Warnung, 109, 164
Werkzeugleiste
allgemein, 13
Wert, 160
Werte-Diagramm, 112
Wurzel, 29

X
X-Achse, 116

Y
Y-Achse, 116

Z
Zahlen, 30
Zeile, 17, 160
Zeilenumbruch, 80
zeta-Diagramm, 113
Zoom, 125
Zufallsgenerator, 133
Zufallsvariable, 154
Zugriffsrechte, 151
zusammengefasst, 54
zusammengefasster
Schätzwert, 51, 154
Zwischenablage, 88
Zwischenergebnis, 41, 50

Metrodata GmbH
Datenverarbeitung
für Messtechnik und
Qualitätssicherung

Im Winkel 15-1
D-79576 Weil am Rhein
Germany
Tel: +49 (0)7621/70 56 813
Fax: +49 (0)7621/70 56 818
Web: www.metrodata.de
E-Mail: info@metrodata.de

ISBN 978-3-00-030157-5

9 783000 301575