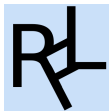


# ROOT Fit for Laboratory Course

## Datenanalyse

Thomas Müller  
`Thomas.Mueller@student.kit.edu`

2. Januar 2010





# ROOT Fit for Laboratory Course

## Datenanalyse

RooFiLab

Thomas Müller

Programm

Funktionsprinzip

Bedienung

## 1 Das Programm

## 2 Das Funktionsprinzip

- Versuchdaten aufbereiten
- $\chi^2$ -Fit
- Aufbau von Kovarianzmatrizen

## 3 Bedienungshinweise

- Download und Installation
- In 4 Schritten zur Auswertung
- Erstellen einer rfl-Datei
- Funktion für Fit anlegen



# Das Programm

## ROOT Fit for Laboratory Course

RooFiLab

Thomas Müller

Programm

Funktionsprinzip

Bedienung

- **Datenanalyse für Praktikumsanwendungen**
- Speziell geeignet für Fits bei korrelierten Fehlern der Messungen (nicht möglich mit Gnuplot oder ohne weiteres mit ROOT)
- **Kein „1-Klick-Programm“**
  - Erwartet „Intelligenz“ des Benutzers.
  - Fängt nicht alle Fehler ab → Lerneffekt
- Open Source



# ROOT Fit for Laboratory Course

## Datenanalyse

RooFiLab

Thomas Müller

Programm

Funktionsprinzip

Versuchsdaten

$\chi^2$ -Fit

Kovarianzmatrizen

Bedienung

## 1 Das Programm

## 2 Das Funktionsprinzip

- Versuchdaten aufbereiten
- $\chi^2$ -Fit
- Aufbau von Kovarianzmatrizen

## 3 Bedienungshinweise

- Download und Installation
- In 4 Schritten zur Auswertung
- Erstellen einer rfl-Datei
- Funktion für Fit anlegen



# RooFiLab: Das Funktionsprinzip

## Versuchsdaten aufbereiten

RooFiLab

Thomas Müller

Programm

Funktionsprinzip

**Versuchsdaten**

$\chi^2$ -Fit  
Kovarianzmatrizen

Bedienung

## Vereinbarungen

- fehlerbehaftete Messwerte  $(x_i, y_i)$ ,  $i = 1, 2, \dots, n$
- statistische Fehler  $\sigma_q =$  unkorrelierte Fehler
- systematische Fehler  $\Delta q =$  korrelierte Fehler



# RooFiLab: Das Funktionsprinzip

## Versuchsdaten aufbereiten

RooFiLab

Thomas Müller

Programm

Funktionsprinzip

**Versuchsdaten**

$\chi^2$ -Fit  
Kovarianzmatrizen

Bedienung

## Vereinbarungen

- **fehlerbehaftete Messwerte**  $(x_i, y_i)$ ,  $i = 1, 2, \dots, n$
- **statistische Fehler**  $\sigma_q =$  **unkorrelierte Fehler**
- **systematische Fehler**  $\Delta q =$  **korrelierte Fehler**

- Pro Messwert (2-dim-Zahlentupel) bis zu 2 statistische Fehlerwerte möglich
- Einfaches Fehlermodell für systematische Fehler
- Zusätzliche Möglichkeit: Kovarianz- oder Korrelationsmatrizen



# RooFiLab: Das Funktionsprinzip

## $\chi^2$ -Fit

RooFiLab

Thomas Müller

Programm

Funktionsprinzip

Versuchsdaten

$\chi^2$ -Fit

Kovarianzmatrizen

Bedienung

- Anpassung einer Funktion  $f(x, p_1, p_2, \dots)$  an die Messwerte  $(x_i, y_i)$ ,  $i = 1, \dots, n$
- $p_1, p_2, \dots$  bezeichnen die Fitparameter.
- Vorgehensweise: Minimierung der  $\chi^2$ -Funktion per ROOT-Funktionalität (Minuit)

### $\chi^2$ -Funktion

$$\chi^2(p_1, p_2, \dots) = \vec{\delta}(p_1, p_2, \dots)^{-1} \cdot C^{-1} \cdot \vec{\delta}(p_1, p_2, \dots)$$

mit dem Residuenvektor  $\delta_i(p_1, p_2, \dots) = y_i - f(x_i, p_1, p_2, \dots)$   
und der inversen Kovarianzmatrix  $C^{-1}$

- Kovarianzmatrix sorgt für die Gewichtung der Messwerte, enthält damit die Fehlerwerte.



# RooFiLab: Das Funktionsprinzip

## $\chi^2$ -Fit (Durchführung im Programm)

RooFiLab

Thomas Müller

Programm

Funktionsprinzip

Versuchsdaten

$\chi^2$ -Fit  
Kovarianzmatrizen

Bedienung

### ■ Bei Eingabe der Fehler:

- 2 Fits: Zuerst mit statistischen Fehlern, dann mit Gesamtfehlern
- (Vereinfachte) Annahme:  $\sigma_q^2 + (\Delta q)^2 = \sigma_{q,\text{ges.}}^2$
- Ausgabe des Fitergebnisses mit statistischen und systematischen Fehlern der Parameter.



# RooFiLab: Das Funktionsprinzip

## $\chi^2$ -Fit (Durchführung im Programm)

RooFiLab

Thomas Müller

Programm

Funktionsprinzip

Versuchsdaten

$\chi^2$ -Fit

Kovarianzmatrizen

Bedienung

### ■ Bei Eingabe der Fehler:

- 2 Fits: Zuerst mit statistischen Fehlern, dann mit Gesamtfehlern
- (Vereinfachte) Annahme:  $\sigma_q^2 + (\Delta q)^2 = \sigma_{q,\text{ges.}}^2$
- Ausgabe des Fitergebnisses mit statistischen und systematischen Fehlern der Parameter.

### ■ Bei Eingabe der Kovarianzmatrizen:

- Nur ein Fit
- Ausgabe des Fitergebnisses mit Gesamtfehlern der Parameter.



# RooFiLab: Das Funktionsprinzip

## $\chi^2$ -Fit (Einbeziehung von $x$ - und $y$ -Fehlern)

RooFiLab

Thomas Müller

Programm

Funktionsprinzip

Versuchsdaten

$\chi^2$ -Fit

Kovarianzmatrizen

Bedienung

### ■ Erster Fit mit $y$ -Fehlern

- Dient zur ersten Ermittlung der Fitparameter
- Falls keine  $y$ -Fehler eingelesen wurden: Keine Gewichtung der Messwerte (Kovarianzmatrix ist Einheitsmatrix)



# RooFiLab: Das Funktionsprinzip

## $\chi^2$ -Fit (Einbeziehung von $x$ - und $y$ -Fehlern)

RooFiLab

Thomas Müller

Programm

Funktionsprinzip

Versuchsdaten

$\chi^2$ -Fit

Kovarianzmatrizen

Bedienung

### ■ Erster Fit mit $y$ -Fehlern

- Dient zur ersten Ermittlung der Fitparameter
- Falls keine  $y$ -Fehler eingelesen wurden: Keine Gewichtung der Messwerte (Kovarianzmatrix ist Einheitsmatrix)

### ■ Einbeziehung der $x$ -Fehler

- **Prinzip: Iteration**
- Projektion der  $x$ -Kovarianzmatrix auf die bekannte Funktion, dann Addition zur  $y$ -Kovarianzmatrix
- Fit mit neuer Kovarianzmatrix
- Wiederholung, bis sich  $\chi^2$ -Wert (am Minimum) nicht mehr wesentlich ändert



# RooFiLab: Das Funktionsprinzip

## Der Aufbau einer Kovarianzmatrix

RooFiLab

Thomas Müller

Programm

Funktionsprinzip

Versuchsdaten

$\chi^2$ -Fit

Kovarianzmatrizen

Bedienung

- Kovarianzmatrizen sind immer symmetrisch:  $C = C^T$
- Kovarianzmatrizen sind quadratische Formen.
- Für unkorrelierte Fehler hat die Matrix Diagonalgestalt mit den quadratischen Fehlern.<sup>1</sup>

---

<sup>1</sup>Siehe Fehlerrechnungsskript



# RooFiLab: Das Funktionsprinzip

## Der Aufbau einer Kovarianzmatrix

RooFiLab

Thomas Müller

Programm

Funktionsprinzip

Versuchsdaten

$\chi^2$ -Fit

Kovarianzmatrizen

Bedienung

- Kovarianzmatrizen sind immer symmetrisch:  $C = C^T$
- Kovarianzmatrizen sind quadratische Formen.
- Für unkorrelierte Fehler hat die Matrix Diagonalgestalt mit den quadratischen Fehlern.<sup>1</sup>

## 2 einfache Fehlermodelle für korrelierte Fehler im Praktikum

### 1 Absolute Fehler:

Gleicher systematischer Fehler für alle Messwerte

### 2 Relative Fehler:

Systematische Fehler hängen vom Betrag des Messwerts ab.

---

<sup>1</sup>Siehe Fehlerrechnungsskript



# RooFiLab: Das Funktionsprinzip

## Der Aufbau der systematischen Kovarianzmatrix (Absolute Fehler)

RooFiLab

Thomas Müller

Programm

Funktionsprinzip

Versuchsdaten

$\chi^2$ -Fit

Kovarianzmatrizen

Bedienung

- Jeder Eintrag der Kovarianzmatrix entspricht dem quadratischen absoluten Fehler  $\Delta q_{\text{abs}}^2$ .
- **Achtung: Invertierungsprobleme wegen singulärer Matrix!**

$$C_{i,j} = \Delta q_{\text{abs}}^2$$

$$C = \begin{pmatrix} \Delta q_{\text{abs}}^2 & \cdots & \Delta q_{\text{abs}}^2 \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ \Delta q_{\text{abs}}^2 & \cdots & \Delta q_{\text{abs}}^2 \end{pmatrix}$$



# RooFiLab: Das Funktionsprinzip

## Der Aufbau der systematischen Kovarianzmatrix (Relative Fehler)

RooFiLab

Thomas Müller

Programm

Funktionsprinzip

Versuchsdaten

$\chi^2$ -Fit

Kovarianzmatrizen

Bedienung

- Ähnlich zum Fall mit absoluten Fehlern
- Matriceinträge müssen noch mit Messwerten  $q$  multipliziert werden:

$$C_{i,j} = \Delta q_{\text{rel}}^2 \cdot q_i \cdot q_j$$

$$C = \begin{pmatrix} \Delta q_{\text{rel}}^2 q_1 q_1 & \cdots & \Delta q_{\text{rel}}^2 q_1 q_n \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ \Delta q_{\text{rel}}^2 q_n q_1 & \cdots & \Delta q_{\text{rel}}^2 q_n q_n \end{pmatrix}$$



# ROOT Fit for Laboratory Course

## Datenanalyse

RooFiLab

Thomas Müller

Programm

Funktionsprinzip

**Bedienung**

Installation

4 Schritte

rfl-Datei

Fitfunktion

## 1 Das Programm

## 2 Das Funktionsprinzip

- Versuchdaten aufbereiten
- $\chi^2$ -Fit
- Aufbau von Kovarianzmatrizen

## 3 Bedienungshinweise

- Download und Installation
- In 4 Schritten zur Auswertung
- Erstellen einer rfl-Datei
- Funktion für Fit anlegen



# Bedienungshinweise

## Download

RooFiLab

Thomas Müller

Programm

Funktionsprinzip

Bedienung

Installation

4 Schritte

rfl-Datei

Fitfunktion

## ■ Website

- Anleitungen, Dokumentation und Beispiele vorhanden.
- <http://tmnet.cli.data-cmr.net/index.php/studium/programme/roofilab>

## ■ Subversion-Repository (empfohlen)

- Immer die aktuellste Version verfügbar.
- Benutzername und Passwort: roofilab
- <svn://tmnet.cli.data-cmr.net/tmsvn/Studium/RooFiLab>

## ■ Code-Download

- <http://tmnet.cli.data-cmr.net/wwtm/RooFiLab/RooFiLab.tar.gz>

## ■ Download einer fertig vorbereiteten virtuellen Maschine (Linux) mit Roofilab für VirtualBox

- <http://www-ekp.physik.uni-karlsruhe.de/~quast/VMroot/>



# Bedienungshinweise

## Installation (Linux)

RooFiLab

Thomas Müller

Programm

Funktionsprinzip

Bedienung

**Installation**

4 Schritte

rfl-Datei

Fitfunktion

- 1 ROOT<sup>2</sup> herunterladen und installieren, bei einigen Distributionen auch per Paketmanager möglich
- 2 Download des Codes
- 3 Kompilieren mit vorliegendem Makefile
  - Wechseln in das Verzeichnis RooFiLab mit `cd ../RooFiLab`
  - Kompilieren mit dem Aufruf `make`
  - Achtung: ROOT muss mit dem Befehl `root` zu starten sein!
- 4 Ausführbare Datei RooFiLab ausführen

---

<sup>2</sup><http://root.cern.ch/>



# Bedienungshinweise

## Installation (Windows)

RooFiLab

Thomas Müller

Programm

Funktionsprinzip

Bedienung

**Installation**

4 Schritte

rfl-Datei

Fitfunktion

- Nutzung der Virtuellen Maschine empfohlen
- Ausführbare Datei RooFiLab aus dem Verzeichnis /praktikant/root/RooFiLab starten.
- RooFiLab auch unter Windows kompilierbar → komplizierter, da ROOT-Bibliotheken eingebunden werden müssen.
- **Hinweis:** Neueste Version durch Ausführungen von `svn update` im RooFiLab-Verzeichnis möglich. Danach ist ein (einfaches) Kompilieren mit Hilfe von `make` nötig.



# Bedienungshinweise

## In 4 Schritten zur Auswertung

RooFiLab

Thomas Müller

Programm

Funktionsprinzip

Bedienung

Installation

**4 Schritte**

rfl-Datei

Fitfunktion

### 1 Daten einlesen

- Eingangsdaten für Auswertung nur hier einlesen
- Möglichkeit, Funktion zum Fitten anlegen



# Bedienungshinweise

## In 4 Schritten zur Auswertung

RooFiLab

Thomas Müller

Programm

Funktionsprinzip

Bedienung

Installation

**4 Schritte**

rfl-Datei

Fitfunktion

### 1 Daten einlesen

- Eingangsdaten für Auswertung nur hier einlesen
- Möglichkeit, Funktion zum Fitten anlegen

### 2 Startwerte festlegen

- Möglichkeit, Startwerte für Fit graphisch zu suchen
- „Fit by eye“



# Bedienungshinweise

## In 4 Schritten zur Auswertung

RooFiLab

Thomas Müller

Programm

Funktionsprinzip

Bedienung

Installation

**4 Schritte**

rfl-Datei

Fitfunktion

### 1 Daten einlesen

- Eingangsdaten für Auswertung nur hier einlesen
- Möglichkeit, Funktion zum Fitten anlegen

### 2 Startwerte festlegen

- Möglichkeit, Startwerte für Fit graphisch zu suchen
- „Fit by eye“

### 3 ROOT-Fit durchführen

- Eigentlicher Fit mit Ergebnissen
- Möglichkeit, Parameter beim Fitten festzuhalten



# Bedienungshinweise

## In 4 Schritten zur Auswertung

RooFiLab

Thomas Müller

Programm

Funktionsprinzip

Bedienung

Installation

**4 Schritte**

rfl-Datei

Fitfunktion

### 1 Daten einlesen

- Eingangsdaten für Auswertung nur hier einlesen
- Möglichkeit, Funktion zum Fitten anlegen

### 2 Startwerte festlegen

- Möglichkeit, Startwerte für Fit graphisch zu suchen
- „Fit by eye“

### 3 ROOT-Fit durchführen

- Eigentlicher Fit mit Ergebnissen
- Möglichkeit, Parameter beim Fitten festzuhalten

### 4 Auswertung fertigstellen

- Äußere Graphikeigenschaften setzen
- Graphik und rfl-Datei speichern



# Bedienungshinweise

## Erstellen einer rfl-Datei

RooFiLab

Thomas Müller

Programm

Funktionsprinzip

Bedienung

Installation

4 Schritte

rfl-Datei

Fitfunktion

- ASCII-Format (optimale Endung `.rfl`)
- Enthält Steuerbefehle (Header), Kommentare und Messwerte mit Fehlern
- Steuerbefehle beginnen mit `#!` am Zeilenanfang.
- Zur Vermeidung von Programmfehlern sollten die Steuerbefehle vor den Datenzeilen stehen.



# Bedienungshinweise

## Erstellen einer rfl-Datei

RooFiLab

Thomas Müller

Programm

Funktionsprinzip

Bedienung

Installation

4 Schritte

rfl-Datei

Fitfunktion

- ASCII-Format (optimale Endung `.rfl`)
- Enthält Steuerbefehle (Header), Kommentare und Messwerte mit Fehlern
- Steuerbefehle beginnen mit `#!` am Zeilenanfang.
- Zur Vermeidung von Programmfehlern sollten die Steuerbefehle vor den Datenzeilen stehen.
- Kommentare werden mit `#` eingeleitet.
- Datenzeilen enthalten bis zu vier Werte, die durch Whitespaces (Leerzeichen oder Tabs) getrennt sind.
- Reihenfolge ist immer: `x`-Wert, `y`-Wert, `x`-Fehler und dann `y`-Fehler



# Bedienungshinweise

## „Hello-World“-Beispiel

RooFiLab

Thomas Müller

Programm

Funktionsprinzip

Bedienung

Installation

4 Schritte

rfl-Datei

Fitfunktion

### test.rfl

```
#! staterrors = xy
```

```
<1. x-Wert> <1. y-Wert> <1. x-Fehler> <1. y-Fehler>  
<2. x-Wert> <2. y-Wert> <2. x-Fehler> <2. y-Fehler>  
...
```

- <...>-Bereiche durch Zahlen ersetzen (Punkt als Dezimaltrennzeichen)
- Steuerbefehl `staterrors` kann vier mögliche Werte annehmen: 0, x, y und xy
- 0 entspricht dem Standard, wo nur zwei Spalten eingelesen werden. Kann auch weggelassen werden.
- Bei x und y werden die ersten drei Spalten eingelesen und die dritte Spalte als der entsprechende Fehler interpretiert.
- xy ermöglicht das einlesen von vier Spalten.



# Bedienungshinweise

## Weitere Steuerbefehle

RooFiLab

Thomas Müller

Programm

Funktionsprinzip

Bedienung

Installation

4 Schritte

rfl-Datei

Fitfunktion

- Alle Programmeinstellungen auch per Steuerbefehl möglich
- Automatisierter Programmablauf
- Weitere Steuerbefehle werden in der Beispieldatei `examples/line.rfl` und in der Dokumentation<sup>3</sup> erklärt und angewandt.
- Programmaufruf auch mit rfl-Datei als Parameter möglich



# Bedienungshinweise

## Funktion für Fit anlegen

RooFitLab

Thomas Müller

Programm

Funktionsprinzip

Bedienung

Installation

4 Schritte

rfl-Datei

Fitfunktion

- 2 Eingabefelder, da Parameter für ROOT speziell ersetzt werden müssen.
- Funktion enthält die Formel, wie man sie auch in CAS-Programmen eingeben würde
- Parameterliste spezifiziert die Parameter, Trennung durch Komma
- Parameter beginnen mit Buchstabe, können danach auch Zahlen enthalten
- ROOT-Syntax (Parameter in eckigen Klammern nummeriert) auch möglich
- **Funktion wird angelegt, wenn beide Felder nicht leer sind und eins mit Enter bestätigt wurde.**
- **Beim Ändern wird auch erwartet, dass beide Felder modifiziert werden.**

# ROOT Fit for Laboratory Course

## Datenanalyse

Thomas Müller  
Thomas.Mueller@student.kit.edu

2. Januar 2010

