
Sensitivitätsanalyse quantitativer Modelle

Stefan Wagner
Software & Systems Engineering
Technische Universität München
wagnerst@in.tum.de

18. Oktober 2006

Einleitung

Quantitative
Modelle im Software
Engineering

Beispiele für Modelle
Beispiele für Modelle
(2)

Problem
Überblick

Sensitivitätsanalyse

Sensitivitätsindizes

Beispiel

Zusammenfassung

Einleitung

Einleitung

Quantitative
Modelle im Software
Engineering

Beispiele für Modelle

Beispiele für Modelle
(2)

Problem

Überblick

Sensitivitätsanalyse

Sensitivitätsindizes

Beispiel

Zusammenfassung

- Modelle werden benutzt, um Sachverhalte (Systeme) der realen Welt zu beschreiben.
- Graphisch, textuell, mathematisch
- Qualitativ, quantitativ
- Deterministisch, stochastisch
- Zur Analyse, Bewertung und Optimierung

Einleitung

Quantitative
Modelle im Software
Engineering

Beispiele für Modelle

Beispiele für Modelle
(2)

Problem
Überblick

Sensitivitätsanalyse

Sensitivitätsindizes

Beispiel

Zusammenfassung

- COCOMO
 - ◆ Zur Schätzung der Entwicklungskosten
 - ◆ Auf Basis einer LOC-Schätzung
 - ◆ Einflüsse durch *Kostentreiber*

- Zuverlässigkeitsmodelle (z.B. Musa basic)
 - ◆ Schätzung der Zuverlässigkeit von Software
 - ◆ Zur Entscheidung, wann “genug” getestet wurde
 - ◆ Parameter: λ_0 (initiale Fehlerintensität) und v_0 (Gesamtfehlerzahl)
 - ◆ Können auf Basis von ersten Fehlerdaten geschätzt werden

Einleitung

Quantitative
Modelle im Software
Engineering

Beispiele für Modelle

Beispiele für Modelle
(2)

Problem

Überblick

Sensitivitätsanalyse

Sensitivitätsindizes

Beispiel

Zusammenfassung

- Kosten/Nutzen-Modelle (z.B. meins zur analytischen QS)
 - ◆ Wie setze ich QS-Massnahmen (kosten-)optimal ein?
 - ◆ Große Zahl an beeinflussenden Faktoren, abhängig von Zahl der enthaltenen Fehlern
 - ◆ Z.B. Aufwand für jede Massnahme, Aufwand für Fehlerentfernung, Schwierigkeit der Fehlerfindung, ...

Einleitung

Quantitative
Modelle im Software
Engineering

Beispiele für Modelle
Beispiele für Modelle
(2)

Problem

Überblick

Sensitivitätsanalyse

Sensitivitätsindizes

Beispiel

Zusammenfassung

- Die Modelle sind zum Teil komplex und aufwändig
- Wie kann ich die Modelle selbst analysieren?
- Kann ich die Modelle vereinfachen?
- Wie verbessere ich ihre Vorhersagekraft?

Einleitung

Quantitative
Modelle im Software
Engineering

Beispiele für Modelle
Beispiele für Modelle
(2)

Problem

Überblick

Sensitivitätsanalyse

Sensitivitätsindizes

Beispiel

Zusammenfassung

Einleitung

Sensitivitätsanalyse

Sensitivitätsindizes

Beispiel

Zusammenfassung

Einleitung

Sensitivitätsanalyse

Was ist ein Modell?

Definition

Ziele und Settings

Vorgehen

Spezifikation der
Eingabefaktoren

Fortpflanzung der
Unsicherheit

Techniken

Sensitivitätsindizes

Beispiel

Zusammenfassung

Sensitivitätsanalyse

Einleitung

Sensitivitätsanalyse

Was ist ein Modell?

Definition

Ziele und Settings

Vorgehen

Spezifikation der
Eingabefaktoren

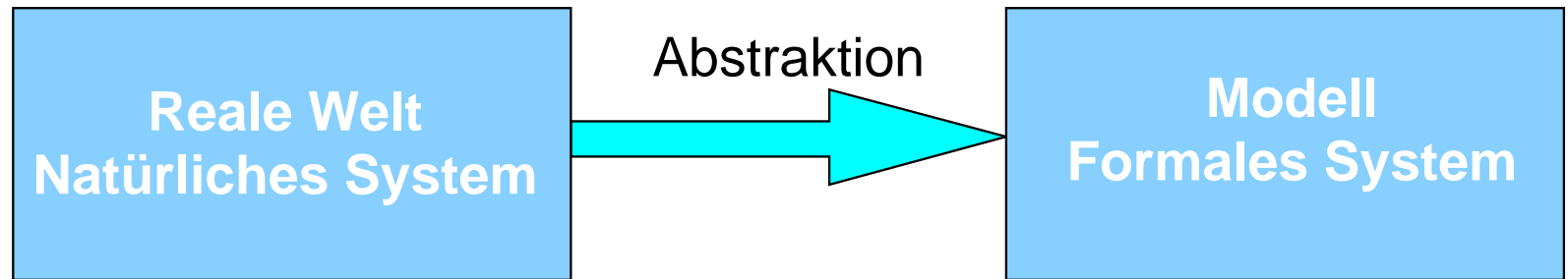
Fortpflanzung der
Unsicherheit

Techniken

Sensitivitätsindizes

Beispiel

Zusammenfassung



Einleitung

Sensitivitätsanalyse

Was ist ein Modell?

Definition

Ziele und Settings

Vorgehen

Spezifikation der Eingabefaktoren

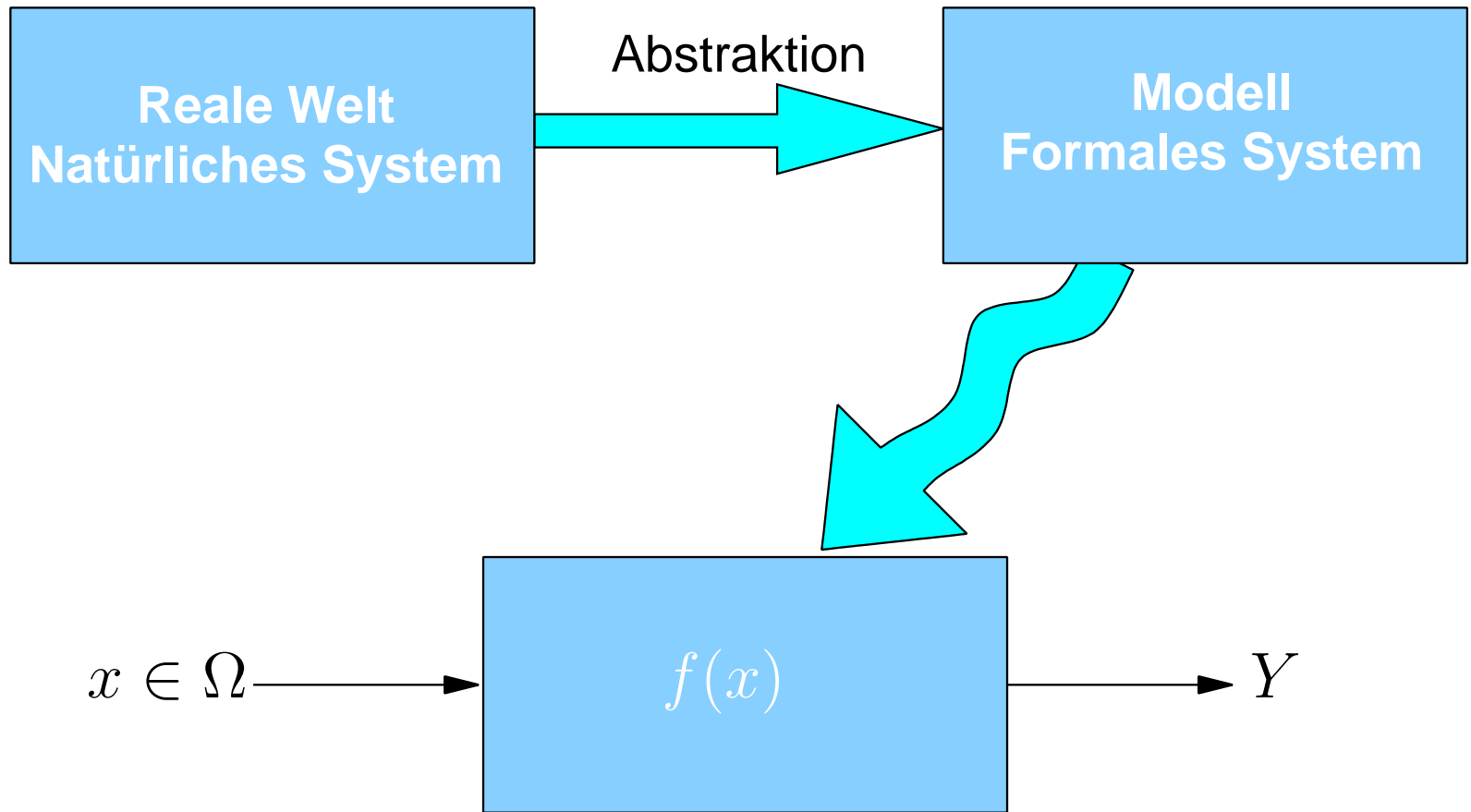
Fortpflanzung der Unsicherheit

Techniken

Sensitivitätsindizes

Beispiel

Zusammenfassung



Einleitung

Sensitivitätsanalyse

Was ist ein Modell?

Definition

Ziele und Settings

Vorgehen

Spezifikation der
Eingabefaktoren

Fortpflanzung der
Unsicherheit

Techniken

Sensitivitätsindizes

Beispiel

Zusammenfassung

- Saltelli: “Sensitivity analysis studies the relationships between information flowing in and out of the model.” [2]
- Wie wirken sich die Eingabeparameter ($x \in \Omega$) auf die Ausgabewerte (Y) aus?
- Wie reagiert ein gegebenes Modell auf Variationen in der Eingabe?
- Kann man diesen Einfluß bewerten und quantifizieren?

Einleitung

Sensitivitätsanalyse

Was ist ein Modell?

Definition

Ziele und Settings

Vorgehen

Spezifikation der
Eingabefaktoren

Fortpflanzung der
Unsicherheit

Techniken

Sensitivitätsindizes

Beispiel

Zusammenfassung

- Spiegelt das Modell das untersuchte System wider?
- Welche Faktoren benötigen zusätzliche Forschung? (*Factors Priorisation, FP*)
- Welche Parameter können entfernt werden? (*Factors Fixing, FF*)
- Gibt es eine Region im Eingaberaum, wo die Modell-Variation maximal ist?
- Gibt es optimale Regionen für spätere Kalibrierungsstudien?
- Welche Eingabefaktoren interagieren?

Einleitung

Sensitivitätsanalyse

Was ist ein Modell?

Definition

Ziele und Settings

Vorgehen

Spezifikation der Eingabefaktoren

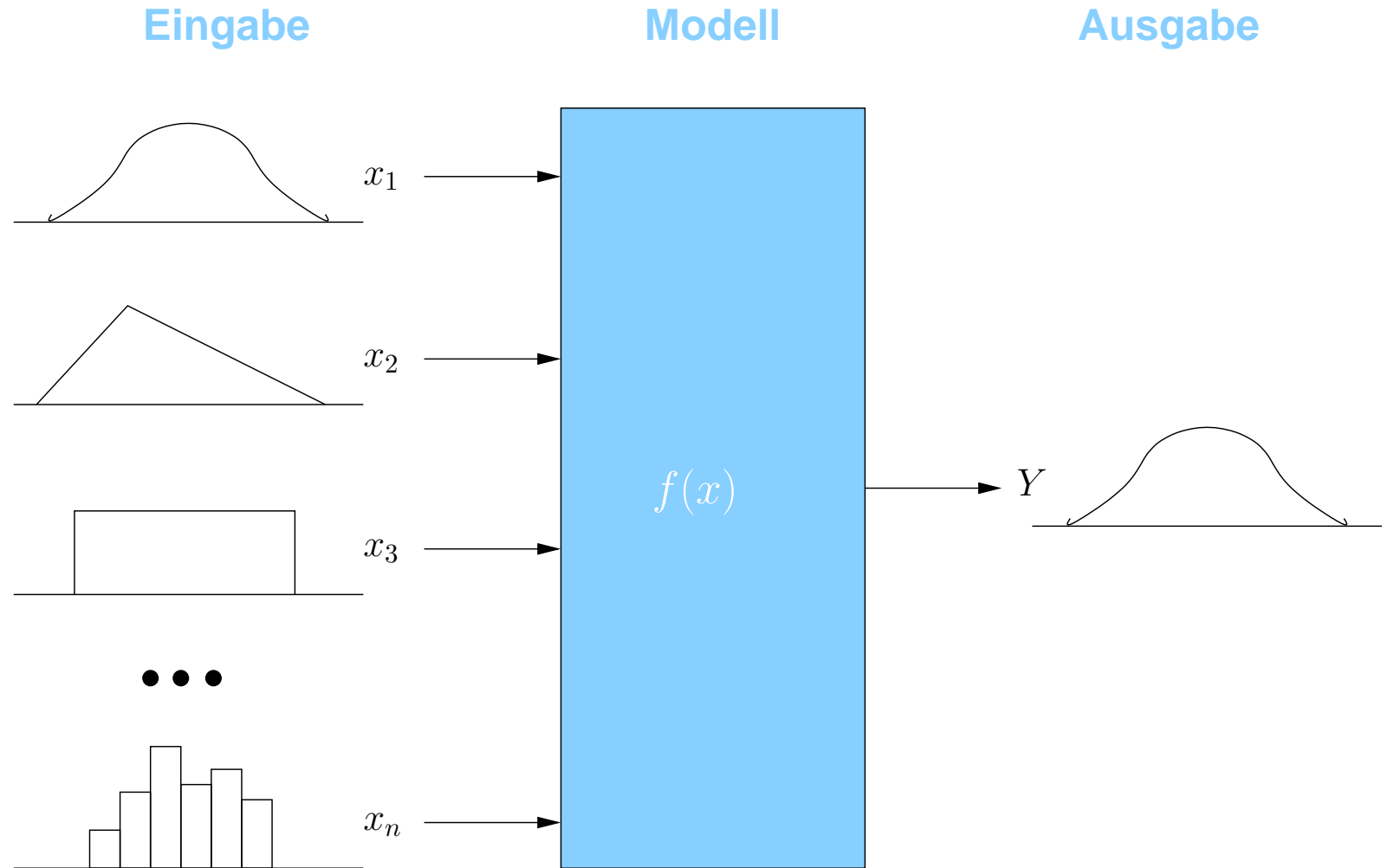
Fortpflanzung der Unsicherheit

Techniken

Sensitivitätsindizes

Beispiel

Zusammenfassung



Einleitung

Sensitivitätsanalyse

Was ist ein Modell?

Definition

Ziele und Settings

Vorgehen

**Spezifikation der
Eingabefaktoren**

Fortpflanzung der
Unsicherheit

Techniken

Sensitivitätsindizes

Beispiel

Zusammenfassung

- Für die Analyse werden die Verteilungen der Eingabefaktoren benötigt
- Diese können abgeleitet werden von:
 - ◆ Wissenschaftlicher Literatur
 - ◆ Physikalische Grenzen
 - ◆ Expertenmeinung
 - ◆ Meinungsumfragen
 - ◆ Experimente

Einleitung

Sensitivitätsanalyse

Was ist ein Modell?

Definition

Ziele und Settings

Vorgehen

Spezifikation der Eingabefaktoren

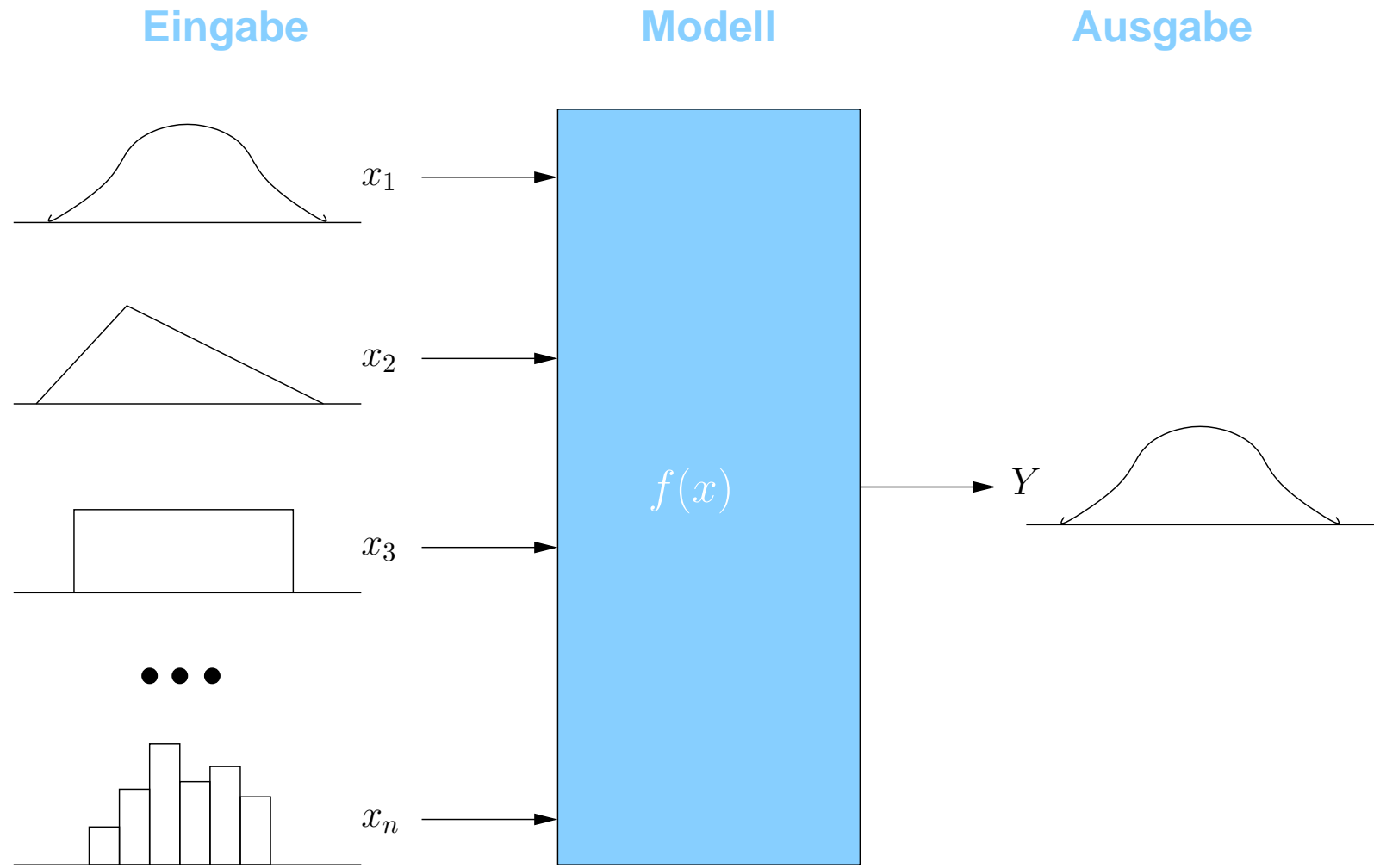
Fortpflanzung der Unsicherheit

Techniken

Sensitivitätsindizes

Beispiel

Zusammenfassung



(Basiert auf Folie von S. Tarantola)

Einleitung

Sensitivitätsanalyse

Was ist ein Modell?

Definition

Ziele und Settings

Vorgehen

Spezifikation der Eingabefaktoren

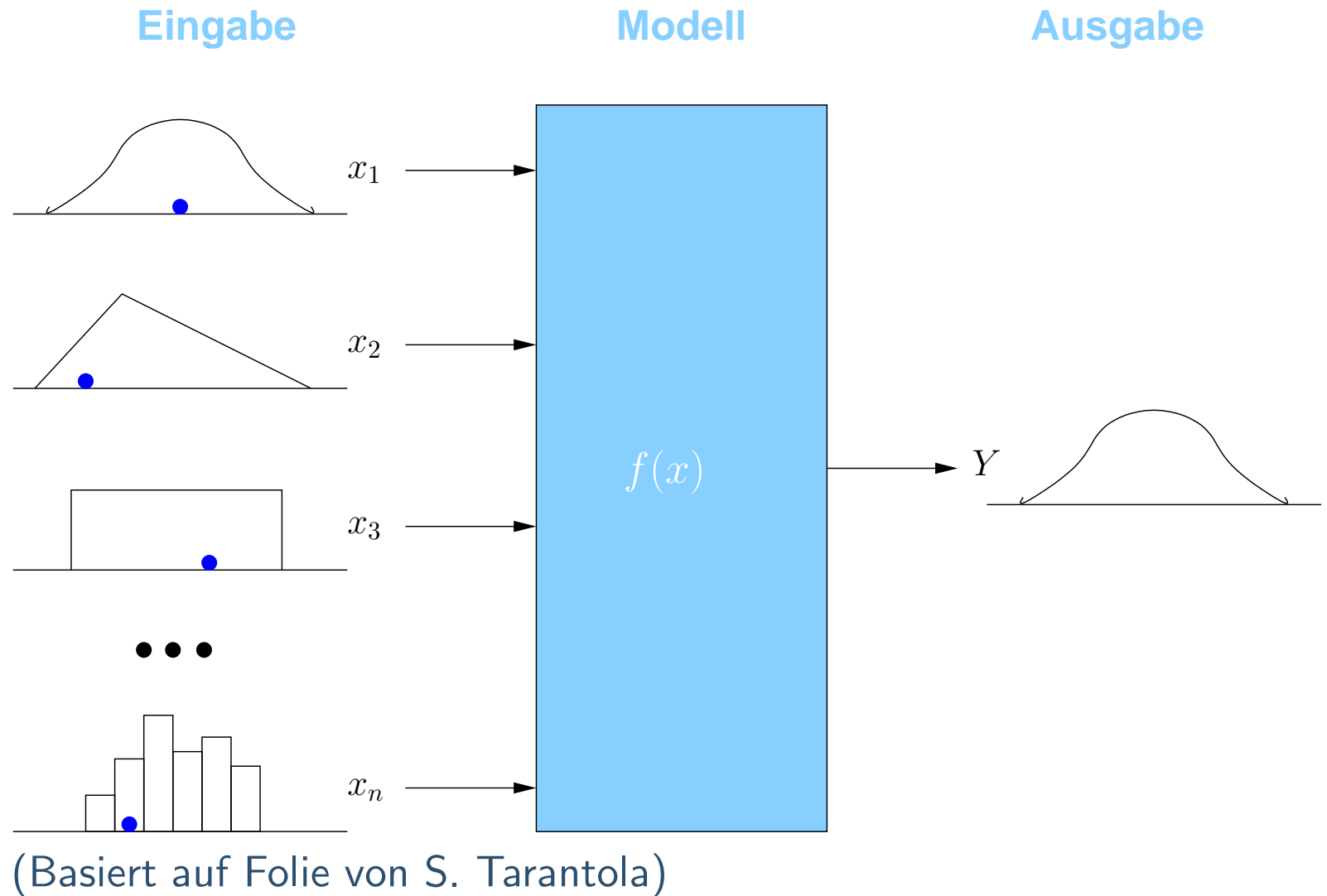
Fortpflanzung der Unsicherheit

Techniken

Sensitivitätsindizes

Beispiel

Zusammenfassung



Einleitung

Sensitivitätsanalyse

Was ist ein Modell?

Definition

Ziele und Settings

Vorgehen

Spezifikation der Eingabefaktoren

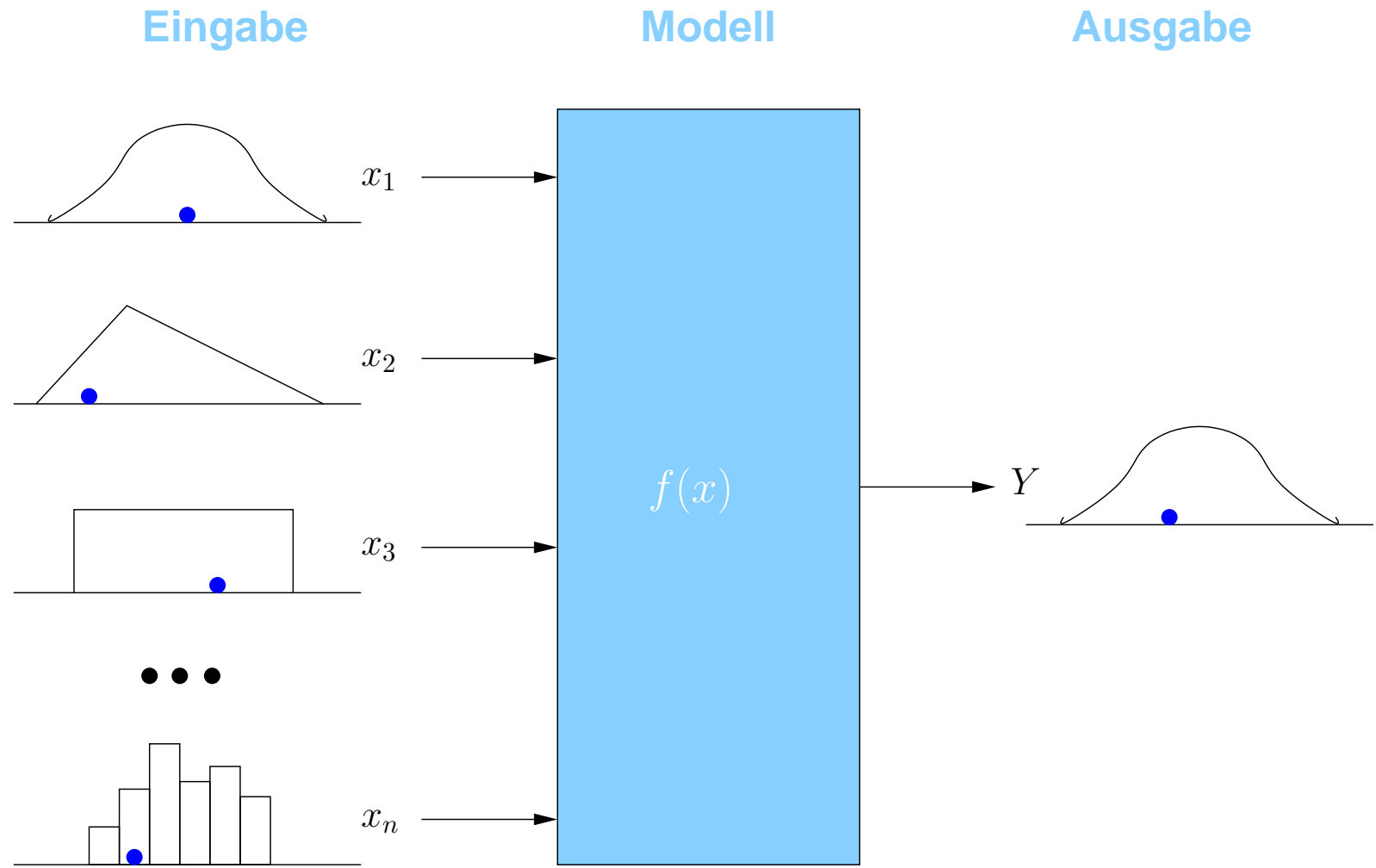
Fortpflanzung der Unsicherheit

Techniken

Sensitivitätsindizes

Beispiel

Zusammenfassung



(Basiert auf Folie von S. Tarantola)

Einleitung

Sensitivitätsanalyse

Was ist ein Modell?

Definition

Ziele und Settings

Vorgehen

Spezifikation der Eingabefaktoren

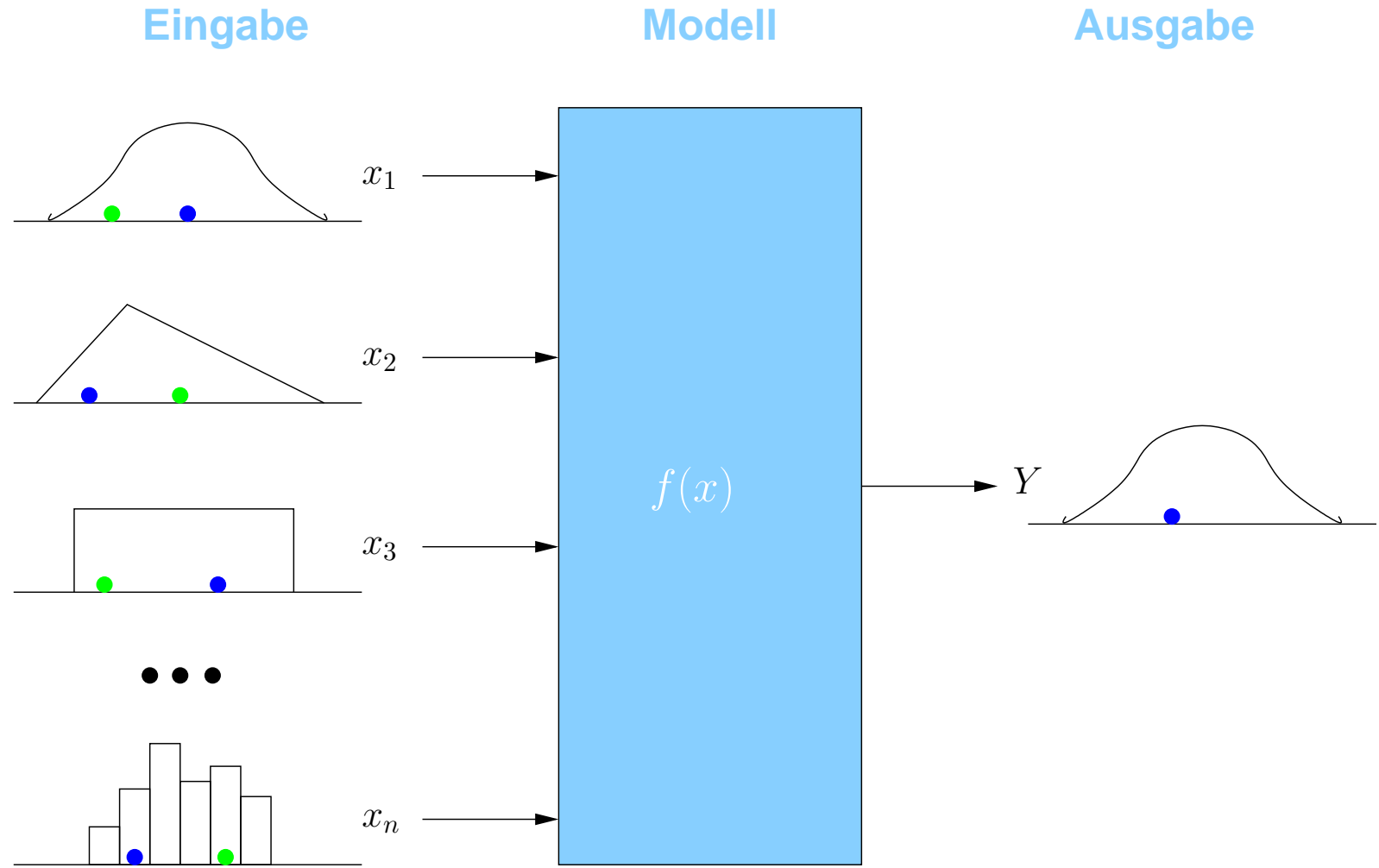
Fortpflanzung der Unsicherheit

Techniken

Sensitivitätsindizes

Beispiel

Zusammenfassung



(Basiert auf Folie von S. Tarantola)

Einleitung

Sensitivitätsanalyse

Was ist ein Modell?

Definition

Ziele und Settings

Vorgehen

Spezifikation der Eingabefaktoren

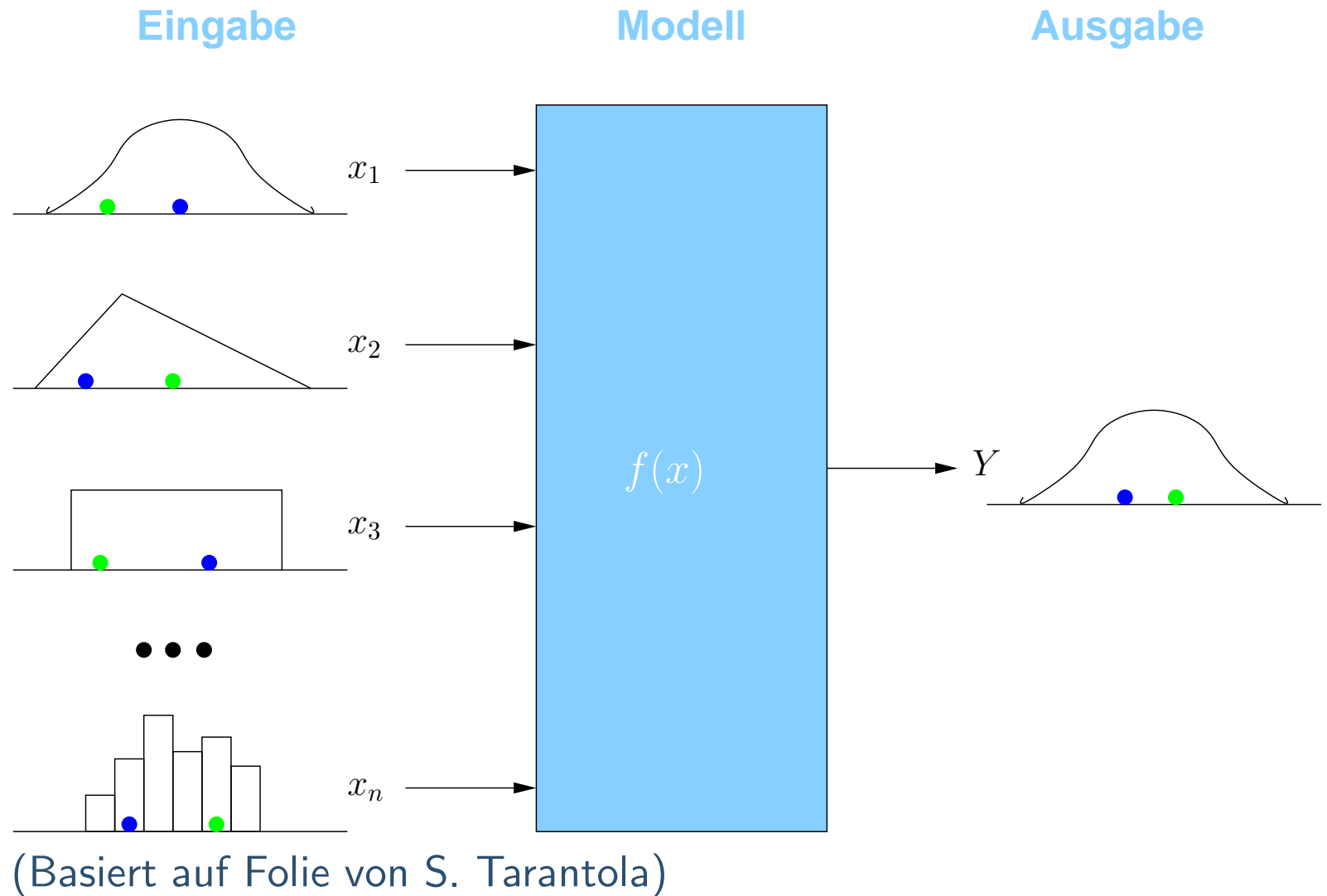
Fortpflanzung der Unsicherheit

Techniken

Sensitivitätsindizes

Beispiel

Zusammenfassung



Einleitung

Sensitivitätsanalyse

Was ist ein Modell?

Definition

Ziele und Settings

Vorgehen

Spezifikation der Eingabefaktoren

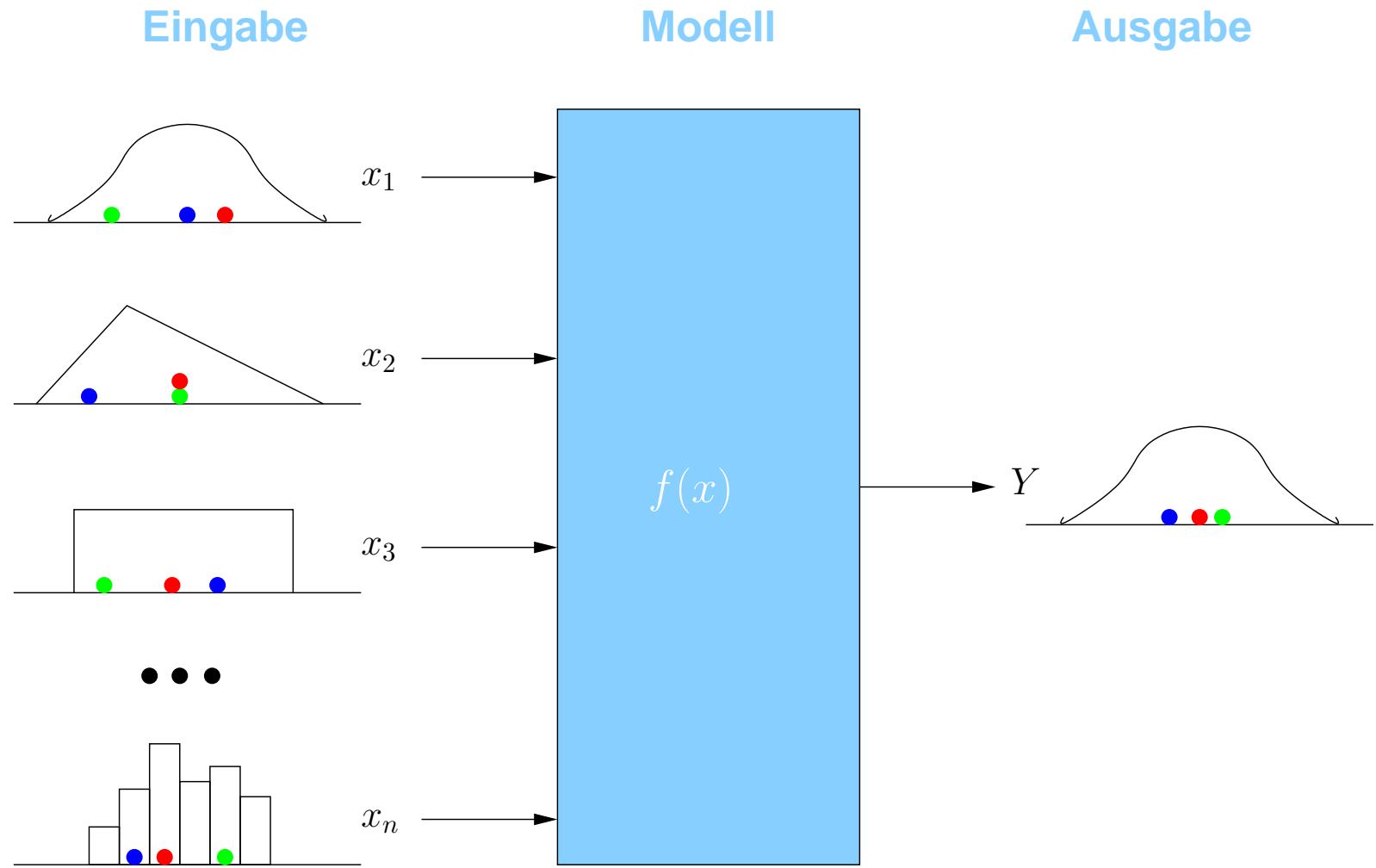
Fortpflanzung der Unsicherheit

Techniken

Sensitivitätsindizes

Beispiel

Zusammenfassung



(Basiert auf Folie von S. Tarantola)

Einleitung

Sensitivitätsanalyse

Was ist ein Modell?

Definition

Ziele und Settings

Vorgehen

Spezifikation der Eingabefaktoren

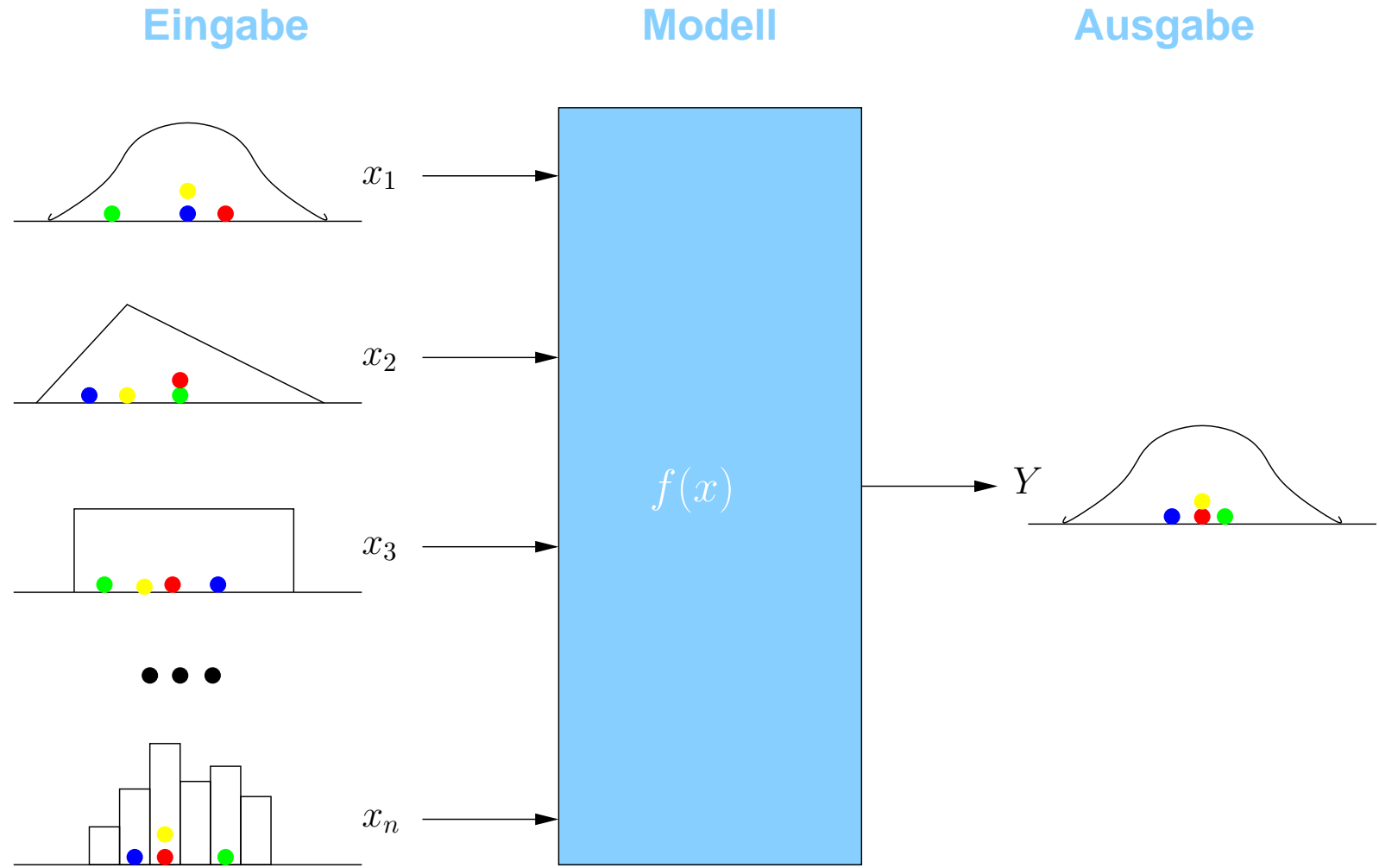
Fortpflanzung der Unsicherheit

Techniken

Sensitivitätsindizes

Beispiel

Zusammenfassung



(Basiert auf Folie von S. Tarantola)

Einleitung

Sensitivitätsanalyse

Was ist ein Modell?

Definition

Ziele und Settings

Vorgehen

Spezifikation der Eingabefaktoren

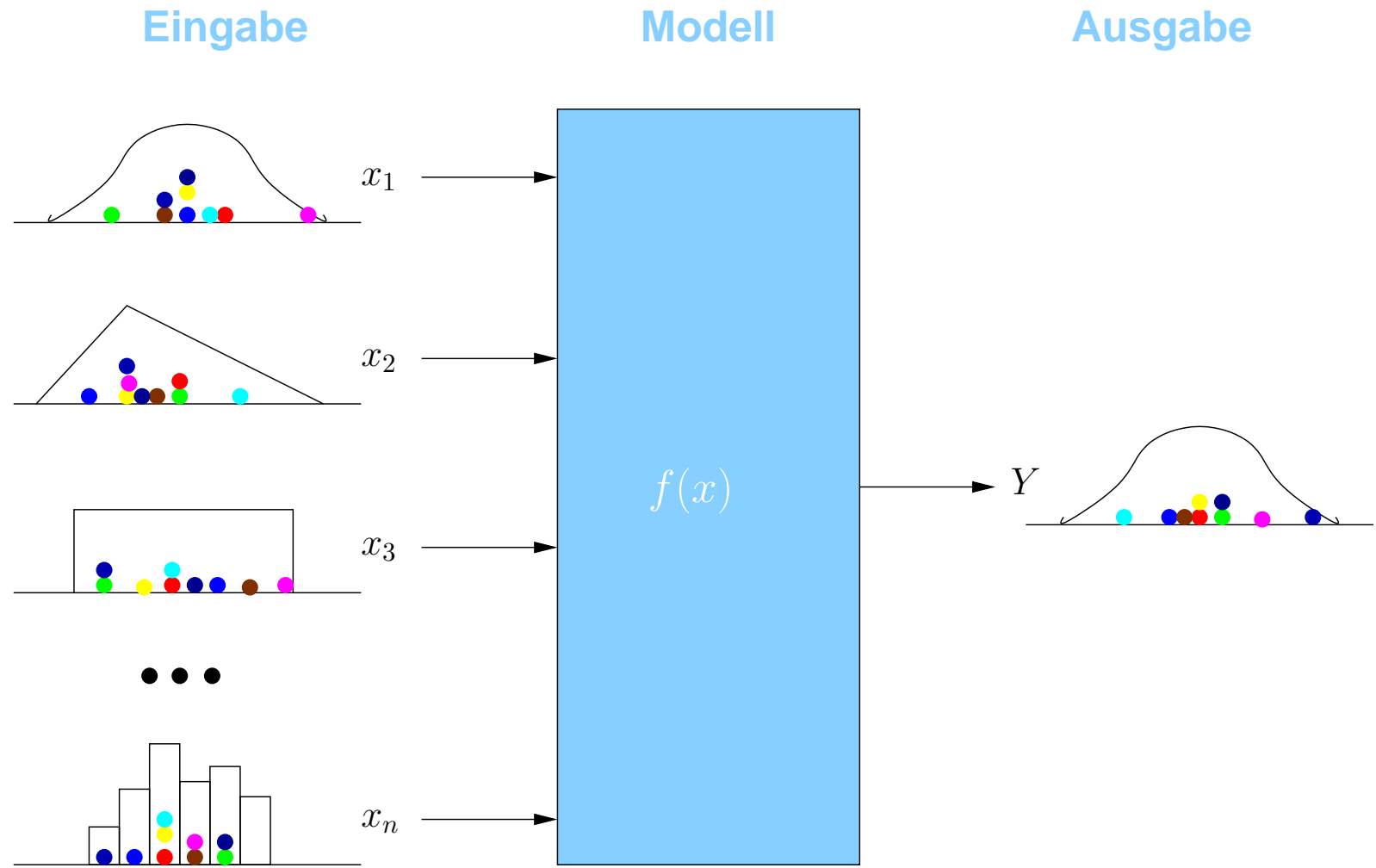
Fortpflanzung der Unsicherheit

Techniken

Sensitivitätsindizes

Beispiel

Zusammenfassung



(Basiert auf Folie von S. Tarantola)

Einleitung

Sensitivitätsanalyse

Was ist ein Modell?

Definition

Ziele und Settings

Vorgehen

Spezifikation der Eingabefaktoren

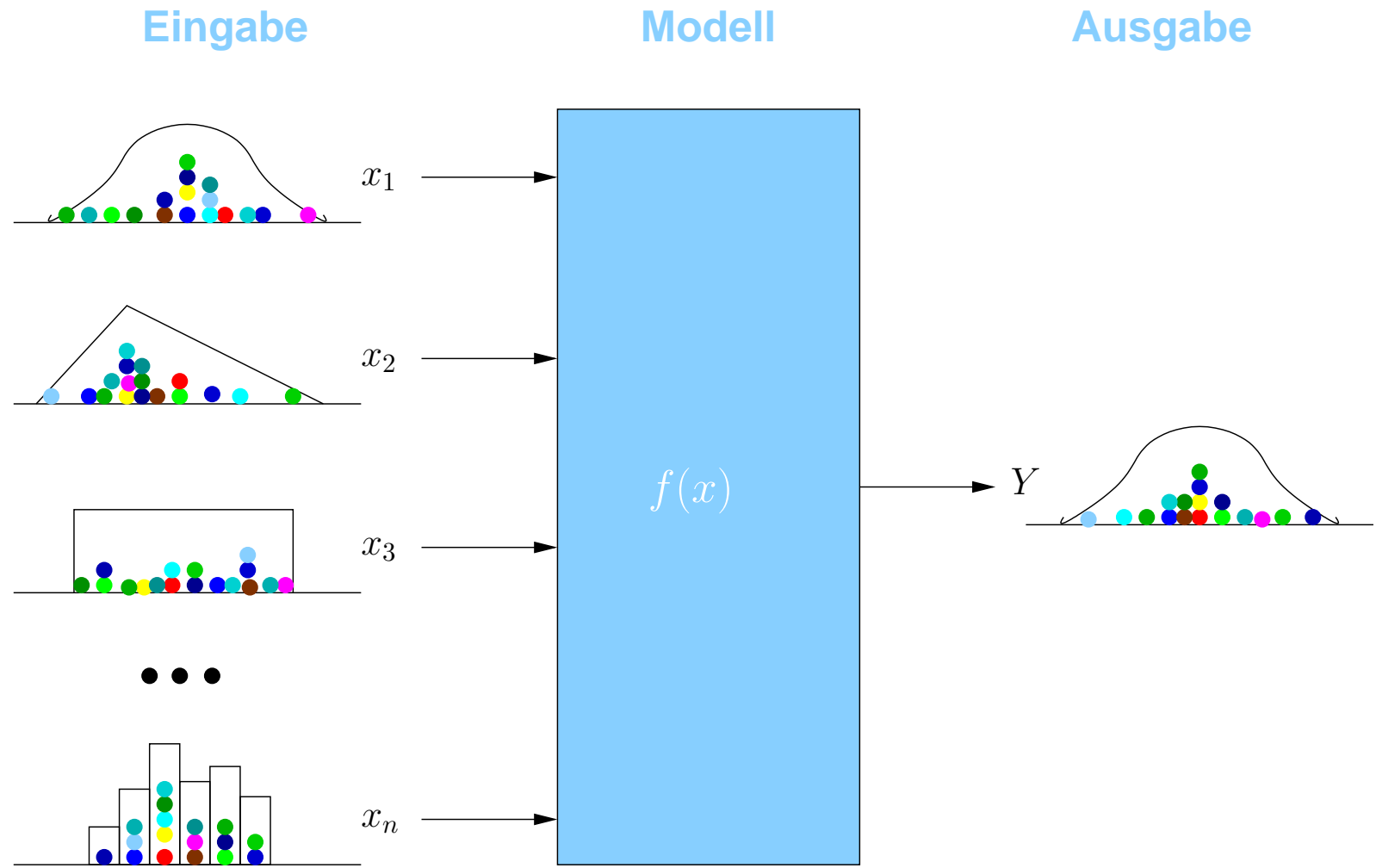
Fortpflanzung der Unsicherheit

Techniken

Sensitivitätsindizes

Beispiel

Zusammenfassung



(Basiert auf Folie von S. Tarantola)

Einleitung

Sensitivitätsanalyse

Was ist ein Modell?

Definition

Ziele und Settings

Vorgehen

Spezifikation der Eingabefaktoren

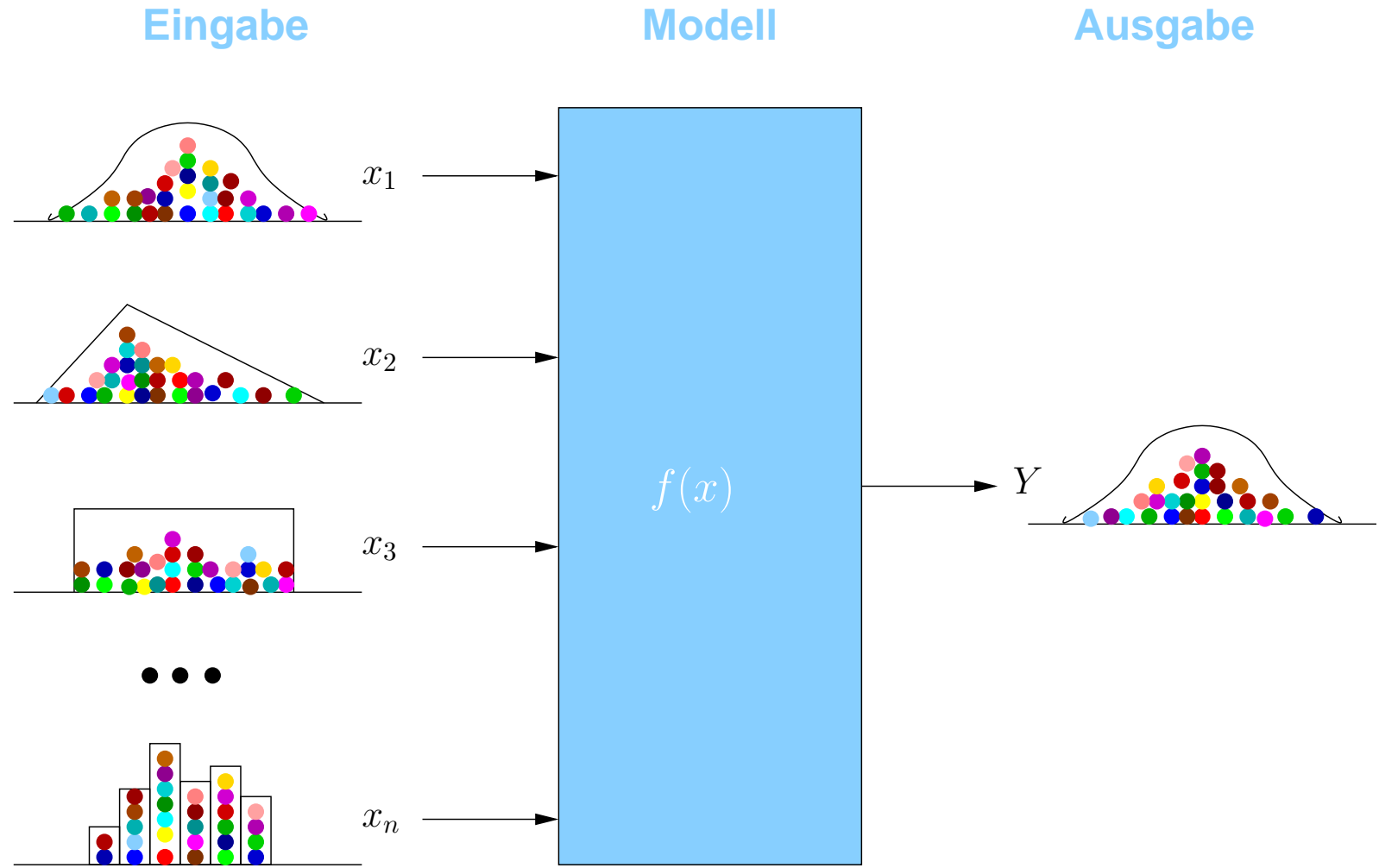
Fortpflanzung der Unsicherheit

Techniken

Sensitivitätsindizes

Beispiel

Zusammenfassung



(Basiert auf Folie von S. Tarantola)

Einleitung

Sensitivitätsanalyse

Was ist ein Modell?

Definition

Ziele und Settings

Vorgehen

Spezifikation der Eingabefaktoren

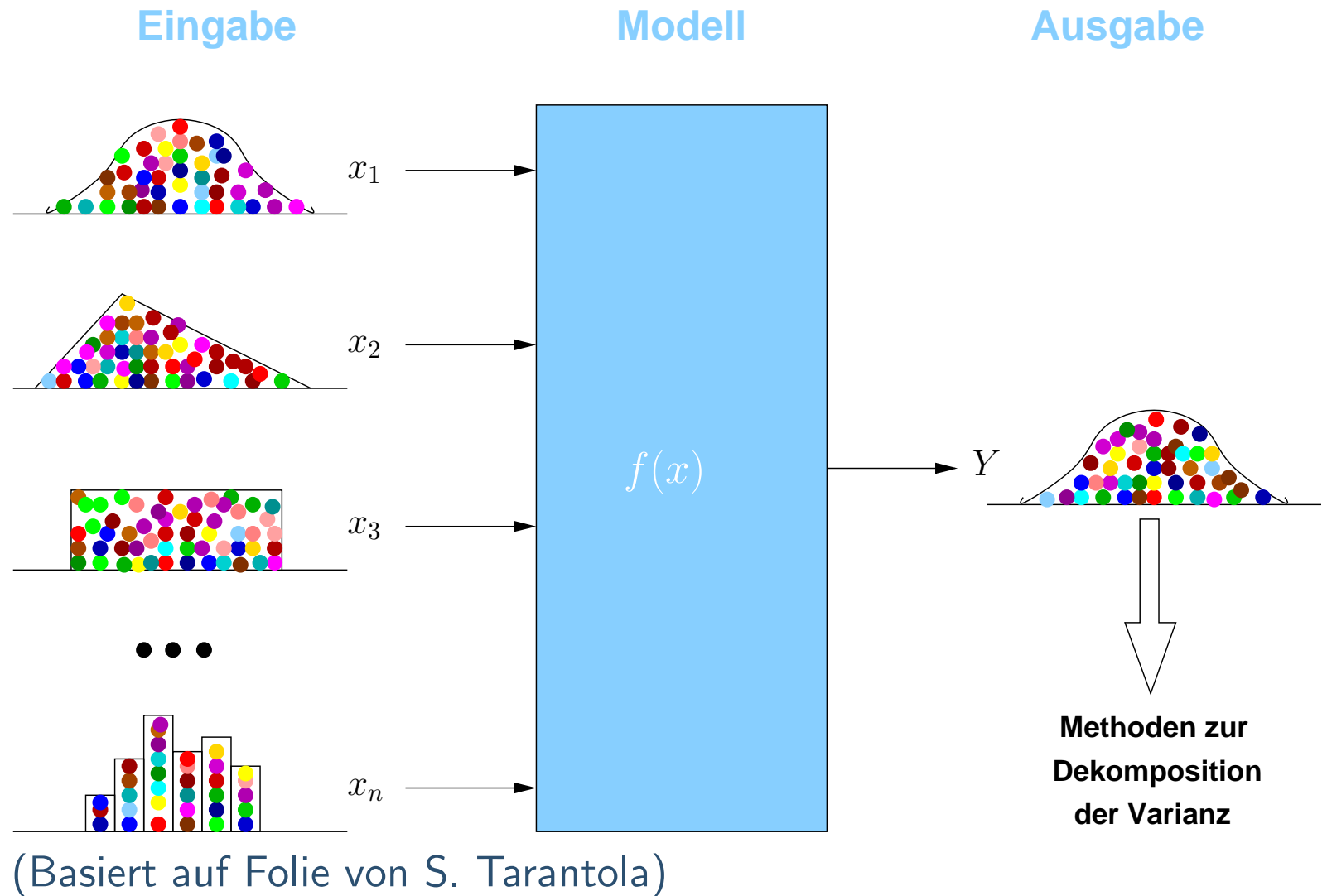
Fortpflanzung der Unsicherheit

Techniken

Sensitivitätsindizes

Beispiel

Zusammenfassung



Einleitung

Sensitivitätsanalyse

Was ist ein Modell?

Definition

Ziele und Settings

Vorgehen

Spezifikation der
Eingabefaktoren

Fortpflanzung der
Unsicherheit

Techniken

Sensitivitätsindizes

Beispiel

Zusammenfassung

- Screening
 - ◆ “Einfache” Methoden mit wenig Berechnungsaufwand
 - ◆ Nur qualitative Aussagen
 - ◆ Für erste Eliminierung von Faktoren
- Lokale SA
 - ◆ Basieren typischerweise auf Ableitungen
 - ◆ Zeigen Effekt eines einzelnen Faktors
- Globale SA
 - ◆ Können mehrere Faktoren gleichzeitig variieren
 - ◆ Berücksichtigen die komplette Verteilung der Eingabefaktoren

Einleitung

Sensitivitätsanalyse

Sensitivitätsindizes

Varianz-basierte
Methoden

Main Effect

Higher-Order Effects

Total Effect

Beispiel

Zusammenfassung

Sensitivitätsindizes

Einleitung

Sensitivitätsanalyse

Sensitivitätsindizes

Varianz-basierte Methoden

Main Effect

Higher-Order Effects

Total Effect

Beispiel

Zusammenfassung

- Wir konzentrieren uns auf globale SA
- Meist mit varianzbasierten Methoden
- “model-free”
- Aussagen auf Basis von Sensitivitätsindizes
 - ◆ *Main* oder *First-Order Effect*
 - ◆ *Higher-Order Effects*
 - ◆ *Total Effect*
- Basieren oft auf *High Dimensional Model Representation*
- Dekomposition in *Main Effects* und *Interactions*

$$\begin{aligned}
 y = f(x) &= f_0 + \sum_{i=1}^k f_i(x_i) + \sum_i \sum_{j>i} f_{ij}(x_i, x_j) \\
 &+ \dots + f_{1,2,\dots,k}(x_1, x_2, \dots, x_k)
 \end{aligned}$$

- Wir konzentrieren uns auf globale SA
- Meist mit varianzbasierten Methoden
- “model-free”
- Aussagen auf Basis von Sensitivitätsindizes
 - ◆ *Main* oder *First-Order Effect*
 - ◆ *Higher-Order Effects*
 - ◆ *Total Effect*
- Basieren oft auf *High Dimensional Model Representation*
- Dekomposition in *Main Effects* und *Interactions*

Zum Beispiel $k = 3$:

$$\begin{aligned}
 f(x) = & f_0 + f_1(x_1) + f_2(x_2) + f_3(x_3) + f_{12}(x_1, x_2) \\
 & + f_{13}(x_1, x_3) + f_{23}(x_2, x_3) + f_{123}(x_1, x_2, x_3)
 \end{aligned}$$

Dekomposition der Varianz V von $f(x)$

$$\text{Var}(y) = V = \sum_{i=1}^k V_i + \sum_i \sum_j V_{ij} + \sum_i \sum_j \sum_k V_{ijk} + \dots + V_{1,2,\dots,k}$$

First-order sensitivity coefficient

$$S_i = \frac{V_i}{V}$$

Allgemein

$$\frac{\text{Var}(y) - E[\text{Var}(Y|x_i)]}{\text{Var}(y)} = \frac{\text{Var}[E(y|x_i)]}{\text{Var}(y)}$$

Der erwartete Anteil an der gesamten Varianz, der *entfernt* würde, wenn wir den wahren Wert von x_i kennen würden.
(Factors Priorisation)

Einleitung

Sensitivitätsanalyse

Sensitivitätsindizes

Varianz-basierte
Methoden

Main Effect

Higher-Order Effects

Total Effect

Beispiel

Zusammenfassung

Analog lassen sich dann auch die Indizes höherer Ordnung bestimmen

$$S_{i_1 \dots i_o} = V_{i_1 \dots i_o} / V$$

Bei $k = 4$:

- 2. Ordnung: $S_{12}, S_{13}, S_{14}, S_{23}, S_{24}, S_{34}$
- 3. Ordnung: $S_{123}, S_{124}, S_{134}, S_{234}$
- 4. Ordnung: S_{1234}

- Summe der first- und higher-order Effects eines x_i
- Weggstreichen der nicht-relevanten Teile

$$S_1 + S_2 + S_3 + S_4 + S_{12} + S_{13} + S_{14} + S_{23} + S_{24} + S_{34} + S_{123} + S_{124} + S_{134} + S_{234} + S_{1234} = 1$$

- Summe der first- und higher-order Effects eines x_i
- Weggstreichen der nicht-relevanten Teile

$$S_1 + \cancel{S_2} + S_3 + S_4 + S_{12} + S_{13} + S_{14} + S_{23} + S_{24} + S_{34} + S_{123} + S_{124} + S_{134} + S_{234} + S_{1234} = 1$$

- Summe der first- und higher-order Effects eines x_i
- Weggstreichen der nicht-relevanten Teile

$$S_1 + \cancel{S_2} + \cancel{S_3} + S_4 + S_{12} + S_{13} + S_{14} + S_{23} + S_{24} + S_{34} + S_{123} + S_{124} + S_{134} + S_{234} + S_{1234} = 1$$

Einleitung

Sensitivitätsanalyse

Sensitivitätsindizes

Varianz-basierte
Methoden

Main Effect

Higher-Order Effects

Total Effect

Beispiel

Zusammenfassung

- Summe der first- und higher-order Effects eines x_i
- Weggstreichen der nicht-relevanten Teile

$$S_1 + \cancel{S_2} + \cancel{S_3} + \cancel{S_4} + S_{12} + S_{13} + S_{14} + S_{23} + S_{24} + S_{34} + S_{123} + S_{124} + S_{134} + S_{234} + S_{1234} = 1$$

- Summe der first- und higher-order Effects eines x_i
- Weggstreichen der nicht-relevanten Teile

$$S_1 + \cancel{S_2} + \cancel{S_3} + \cancel{S_4} + S_{12} + S_{13} + S_{14} + \cancel{S_{23}} + \cancel{S_{24}} + \cancel{S_{34}} + S_{123} + S_{124} + S_{134} + S_{234} + S_{1234} = 1$$

Einleitung

Sensitivitätsanalyse

Sensitivitätsindizes

Varianz-basierte
Methoden

Main Effect

Higher-Order Effects

Total Effect

Beispiel

Zusammenfassung

- Summe der first- und higher-order Effects eines x_i
- Weggstreichen der nicht-relevanten Teile

$$S_1 + \cancel{S_2} + \cancel{S_3} + \cancel{S_4} + S_{12} + S_{13} + S_{14} + \cancel{S_{23}} + \cancel{S_{24}} + \cancel{S_{34}} + \\ S_{123} + S_{124} + S_{134} + \cancel{S_{234}} + S_{1234} = 1$$

- Summe der first- und higher-order Effects eines x_i
- Weggstreichen der nicht-relevanten Teile

$$S_1 + \cancel{S_2} + \cancel{S_3} + \cancel{S_4} + S_{12} + S_{13} + S_{14} + \cancel{S_{23}} + \cancel{S_{24}} + \cancel{S_{34}} + S_{123} + S_{124} + S_{134} + \cancel{S_{234}} + S_{1234} = 1$$

$$S_{T1} = S_1 + S_{12} + S_{13} + S_{14} + S_{123} + S_{124} + S_{134} + S_{1234}$$

- Summe der first- und higher-order Effects eines x_i
- Weggstreichen der nicht-relevanten Teile

$$S_1 + \cancel{S_2} + \cancel{S_3} + \cancel{S_4} + S_{12} + S_{13} + S_{14} + \cancel{S_{23}} + \cancel{S_{24}} + \cancel{S_{34}} + S_{123} + S_{124} + S_{134} + \cancel{S_{234}} + S_{1234} = 1$$

$$S_{T1} = S_1 + S_{12} + S_{13} + S_{14} + S_{123} + S_{124} + S_{134} + S_{1234}$$

$$S_{T2} = S_2 + S_{12} + S_{23} + S_{24} + S_{123} + S_{124} + S_{234} + S_{1234}$$

- Summe der first- und higher-order Effects eines x_i
- Weggstreichen der nicht-relevanten Teile

$$S_1 + \cancel{S_2} + \cancel{S_3} + \cancel{S_4} + S_{12} + S_{13} + S_{14} + \cancel{S_{23}} + \cancel{S_{24}} + \cancel{S_{34}} + S_{123} + S_{124} + S_{134} + \cancel{S_{234}} + S_{1234} = 1$$

$$S_{T1} = S_1 + S_{12} + S_{13} + S_{14} + S_{123} + S_{124} + S_{134} + S_{1234}$$

$$S_{T2} = S_2 + S_{12} + S_{23} + S_{24} + S_{123} + S_{124} + S_{234} + S_{1234}$$

Allgemein

$$E[\text{Var}(y|x_1, \dots, x_{i-1}, x_{i+1}, \dots)]$$

Die erwartete (übrige) Varianz, die bleibt, wenn x_i variiert wird und alle anderen Variablen auf einen festen Wert gesetzt werden.
(Factors Fixing)

Einleitung

Sensitivitätsanalyse

Sensitivitätsindizes

Beispiel

Fischer-Wagner-
Modell

Fragen

Verteilungen der
Eingabeparameter

Graphisches
Screening

p_1 und μ

d und μ

t und μ

inf und μ

Indizes

Zusammenfassung

Beispiel

Einleitung

Sensitivitätsanalyse

Sensitivitätsindizes

Beispiel

Fischer-Wagner-Modell

Fragen

Verteilungen der Eingabeparameter

Graphisches Screening

p_1 und μ

d und μ

t und μ

inf und μ

Indizes

Zusammenfassung

- Zuverlässigkeitsmodell bei Siemens COM
- Zwei Eingabeparameter durch Fehlerdaten geschätzt
- Ausfallwahrscheinlichkeit eines Fehlers: $p_a = p_1 \cdot d^{(a-1)}$
- Geometrisch verteilt: $F_a(t) = 1 - (1 - p_a)^t$
- Kummulierte Fehler bis t : $\mu(t) = \sum_{a=1}^{\infty} 1 - (1 - p_1 \cdot d^{(a-1)})$
- Eingabeparameter
 - ◆ p_1 : Größte Ausfallwahrscheinlichkeit
 - ◆ d : Komplexität des Systems
 - ◆ t : Ausführungszeit der Voraussage (Incidents)
 - ◆ inf : Approximation von ∞
- Ausgabeparameter: $\mu(t)$

Einleitung

Sensitivitätsanalyse

Sensitivitätsindizes

Beispiel

Fischer-Wagner-
Modell

Fragen

Verteilungen der
Eingabeparameter

Graphisches
Screening

p_1 und μ

d und μ

t und μ

inf und μ

Indizes

Zusammenfassung

- Wie beeinflussen die Eingabeparameter die Ausgabe?
- Welche Parameter muss ich am besten schätzen, um eine gute Voraussage zu bekommen?
- Gibt es insignifikante Parameter, die ich weglassen kann?

Einleitung

Sensitivitätsanalyse

Sensitivitätsindizes

Beispiel

Fischer-Wagner-
Modell

Fragen

Verteilungen der
Eingabeparameter

Graphisches
Screening

p_1 und μ

d und μ

t und μ

inf und μ

Indizes

Zusammenfassung

- Basierend auf Expertenmeinung
- Allgemeine Parameter
 - ◆ p_1 gleichverteilt zwischen 0 und 1
 - ◆ d gleichverteilt zwischen 0.9 und 1
- Abhängig von konkreter Anwendung
 - ◆ inf z.B. gleichverteilt zwischen 50 und 500
 - ◆ Für t z.B. $t \sim \mathcal{N}(1000, 200)$
- Mit diesen Verteilungen können bereits Eingabedaten erzeugt (“gesamplet”) werden

Einleitung

Sensitivitätsanalyse

Sensitivitätsindizes

Beispiel

Fischer-Wagner-
Modell

Fragen

Verteilungen der
Eingabeparameter

Graphisches
Screening

p_1 und μ

d und μ

t und μ

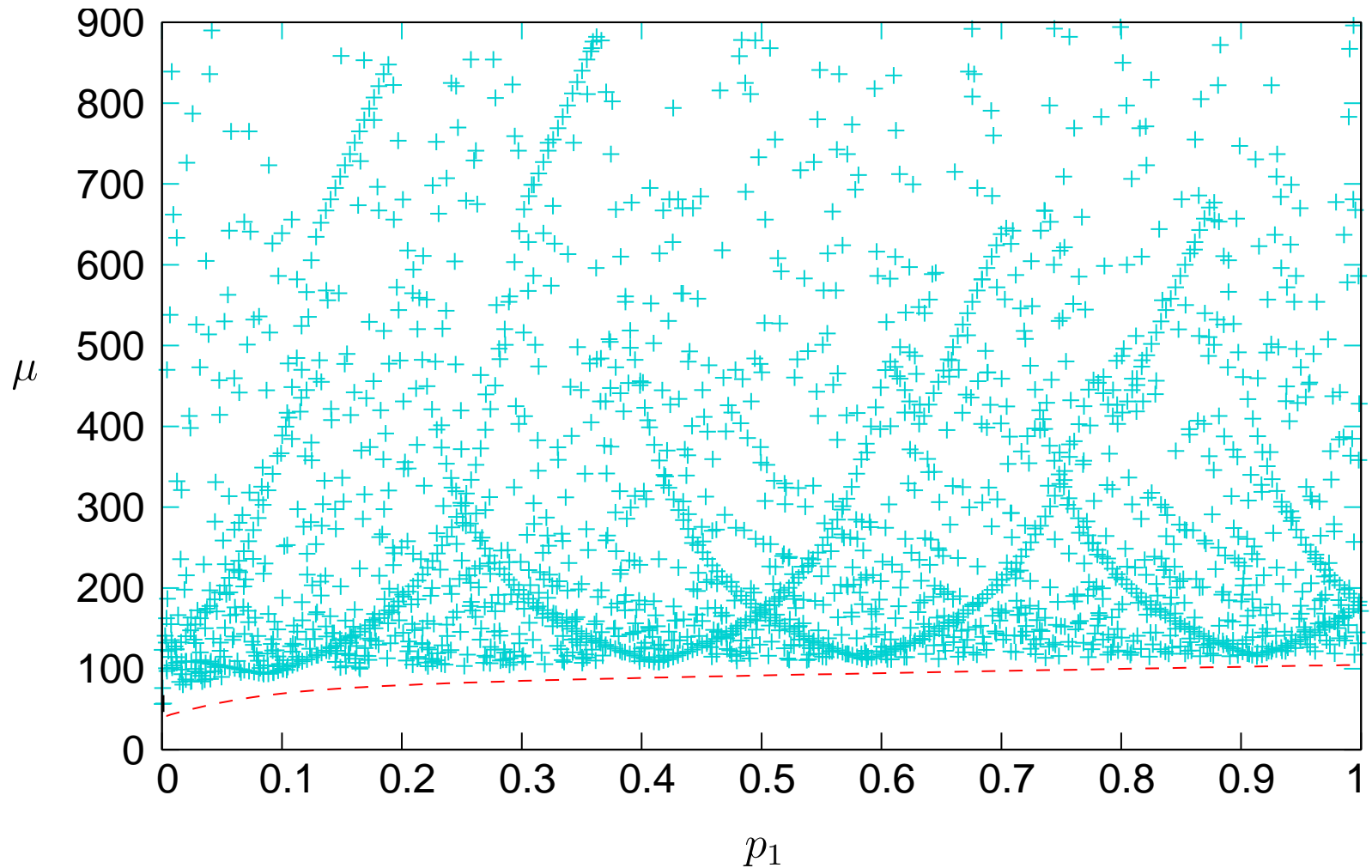
inf und μ

Indizes

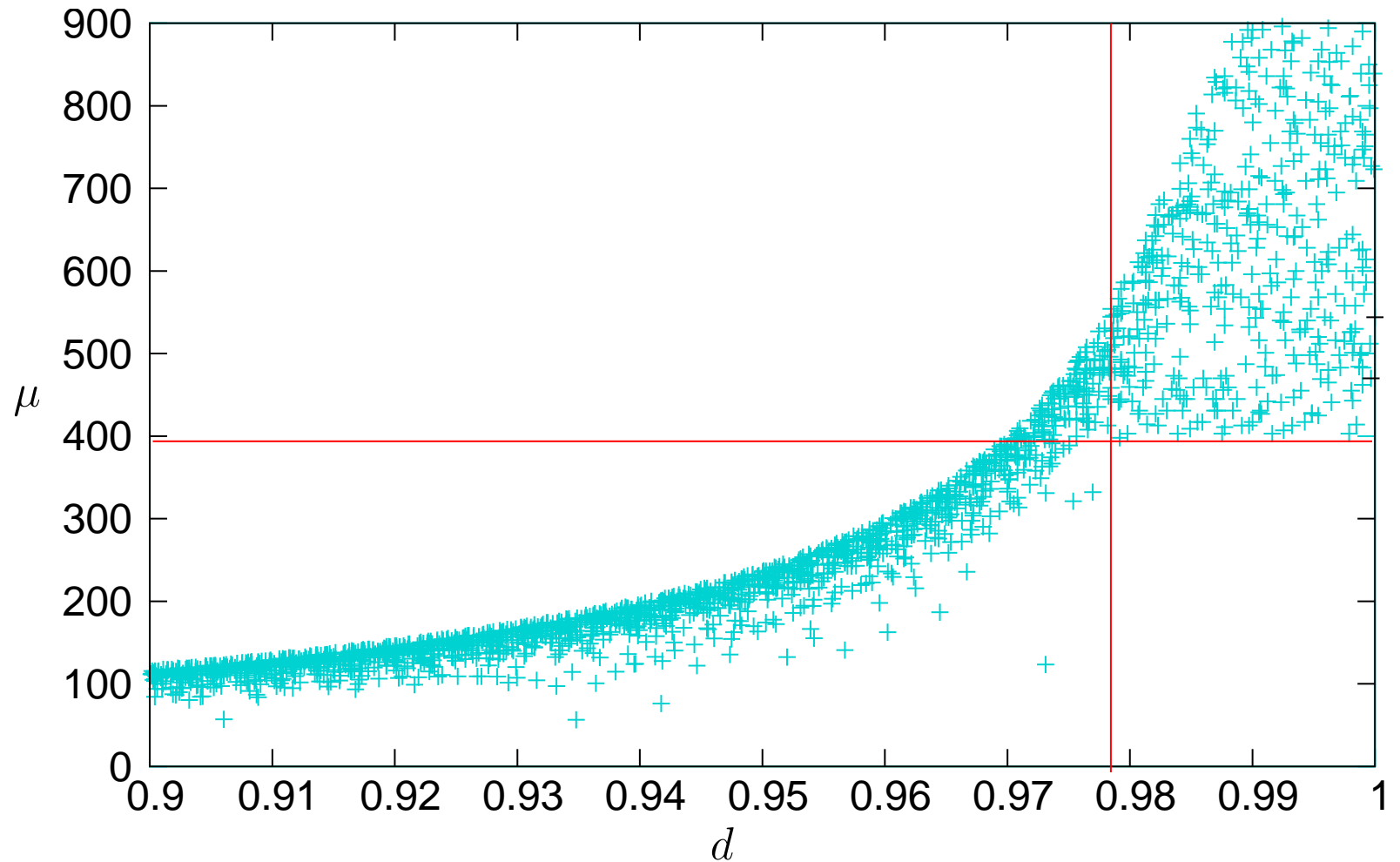
Zusammenfassung

- Ein sehr einfaches Verfahren sind Scatterplots
- Nutzung von gesampleten Daten
- Jeweils paarweiser Zusammenhang zwischen zwei Faktoren
- Kann bereits erste Vermutungen erlauben
- Zeigt auch schnell Fehler im Modell

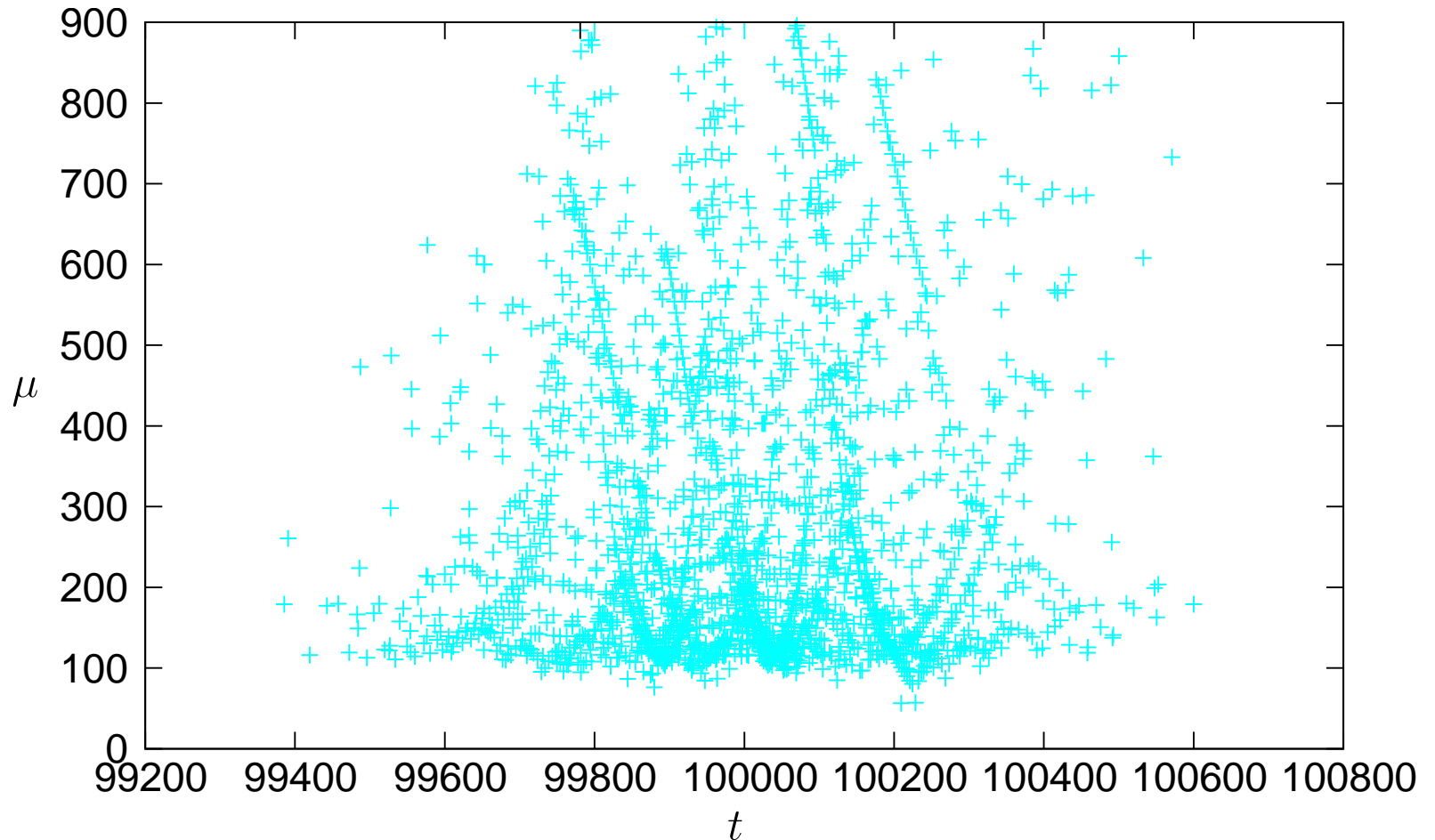
- [Einleitung](#)
- [Sensitivitätsanalyse](#)
- [Sensitivitätsindizes](#)
- [Beispiel](#)
- [Fischer-Wagner-Modell](#)
- [Fragen](#)
- [Verteilungen der Eingabeparameter](#)
- [Graphisches Screening](#)
- [\$p_1\$ und \$\mu\$](#)
- [d und \$\mu\$](#)
- [t und \$\mu\$](#)
- [inf und \$\mu\$](#)
- [Indizes](#)
- [Zusammenfassung](#)



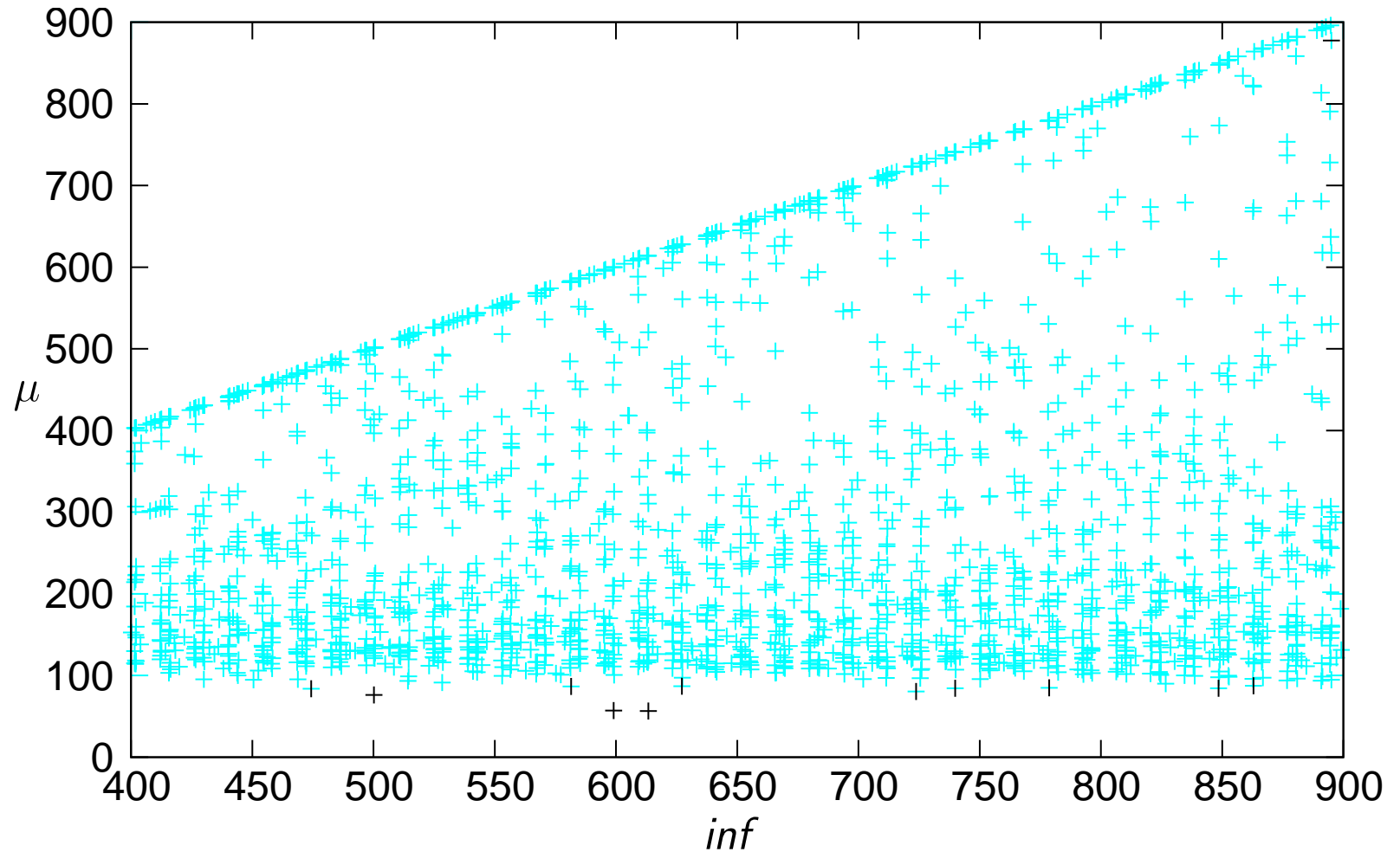
- Einleitung
- Sensitivitätsanalyse
- Sensitivitätsindizes
- Beispiel
- Fischer-Wagner-Modell
- Fragen
- Verteilungen der Eingabeparameter
- Graphisches Screening
- p_1 und μ
- d und μ**
- t und μ
- inf und μ
- Indizes
- Zusammenfassung



- Einleitung
- Sensitivitätsanalyse
- Sensitivitätsindizes
- Beispiel
- Fischer-Wagner-Modell
- Fragen
- Verteilungen der Eingabeparameter
- Graphisches Screening
- p_1 und μ
- d und μ
- t und μ**
- inf und μ
- Indizes
- Zusammenfassung



- Einleitung
- Sensitivitätsanalyse
- Sensitivitätsindizes
- Beispiel
- Fischer-Wagner-Modell
- Fragen
- Verteilungen der Eingabeparameter
- Graphisches Screening
- p_1 und μ
- d und μ
- t und μ
- inf und μ**
- Indizes
- Zusammenfassung



Einleitung

Sensitivitätsanalyse

Sensitivitätsindizes

Beispiel

Fischer-Wagner-
Modell

Fragen

Verteilungen der
Eingabeparameter

Graphisches
Screening

p_1 und μ

d und μ

t und μ

inf und μ

Indizes

Zusammenfassung

Main Effect

t	6.88e-5
p_1	0.0090
d	0.9026
inf	0.0158

Einleitung

Sensitivitätsanalyse

Sensitivitätsindizes

Beispiel

Fischer-Wagner-Modell

Fragen

Verteilungen der Eingabeparameter

Graphisches Screening

p_1 und μ

d und μ

t und μ

inf und μ

Indizes

Zusammenfassung

Main Effect

t	6.88e-5
p_1	0.0090
d	0.9026
inf	0.0158

Total Effect

t	0.005788
p_1	0.022365
d	0.975155
inf	0.086735

Einleitung

Sensitivitätsanalyse

Sensitivitätsindizes

Beispiel

Zusammenfassung

Wichtig

Referenzen /

Weitere
Informationen

Zusammenfassung

Einleitung

Sensitivitätsanalyse

Sensitivitätsindizes

Beispiel

Zusammenfassung

Wichtig

Referenzen /
Weitere
Informationen

- Gutes Modellieren ist nur mit Sensitivitätsanalyse möglich
- SA kann helfen, um:
 - ◆ Fehler im Modell zu finden,
 - ◆ das Modell zu vereinfachen,
 - ◆ Interaktionen zwischen Eingaben zu identifizieren,
 - ◆ Parameter zu identifizieren, die stärker untersucht werden sollten,
 - ◆ robuste Modell-Vorhersagen zu erreichen.
- Gerade für Software Engineering-Modelle wird diese Technik noch viel zu wenig eingesetzt!
- Gute Toolunterstützung ist vorhanden (Simlab)

(In Anlehnung an Folie von S. Tarantola)

Einleitung

Sensitivitätsanalyse

Sensitivitätsindizes

Beispiel

Zusammenfassung

Wichtig

**Referenzen /
Weitere
Informationen**

- [1] Andrea Saltelli and Ricardo Bolado. An alternative way to compute Fourier amplitude sensitivity test (FAST). *Computational Statistics & Data Analysis*, 26:445–460, 1998.
- [2] Andrea Saltelli, Karen Chan, and E. Marian Scott, editors. *Sensitivity Analysis*. John Wiley & Sons, 2000.
- [3] Andrea Saltelli, Stefano Tarantola, Francesca Campolongo, and Marco Ratto. *Sensitivity Analysis in Practice – A Guide to Assessing Scientific Models*. John Wiley & Sons, 2004.
- [4] Stefan Wagner. A Model and Sensitivity Analysis of the Quality Economics of Defect-Detection Techniques. In *Proc. International Symposium on Software Testing and Analysis (ISSTA '06)*, pages 73–83. ACM Press, 2006.