TECHNISCHE UNIVERSITÄT DRESDEN

Fakultät Maschinenwesen · Institut für Strömungsmechanik · Professur für Turbomaschinen und Strahlantriebe

Probabilistisches Simulationstool - ProSi

Matthias Voigt

Gunter Lang; Thorsten van Lil

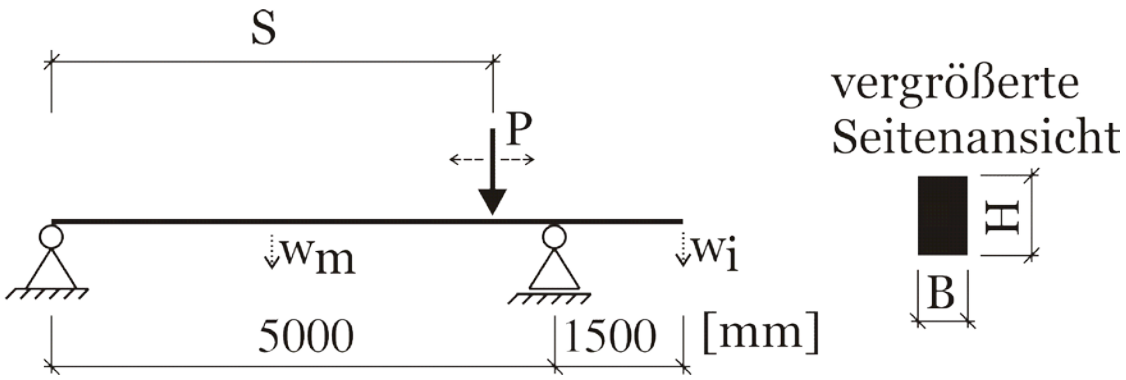
ProSi – Wofür wird die Software entwickelt?

- Werkzeug zur probabilistischen Untersuchung von Systemverhalten
- Möglichst einfache und fehlertolerante Anwendung der probabilistische Methoden
- Automatische parallele Berechnung der deterministischen Lösungen auf verschiedenen Computern
- Weitreichende Unterstützung des Anwenders bei der Auswertung der probabilistischen Simulationsergebnisse

Historische Entwicklung:

- 2002 erste Programmteile zur Auswertung von probabilistischen Ergebnissen
- 2003 erste Version von ProSi (RSM)
- 2005 ProSi 1.1 unterstützt MCS und RSM auf allen Unix, Linux Rechnern
- 2007 ProSi 2.0
- 2008 ProSi 2.1 Windows + Unix
- 2011 ProSi 2.3

Träger auf zwei Stützen mit Kragarm

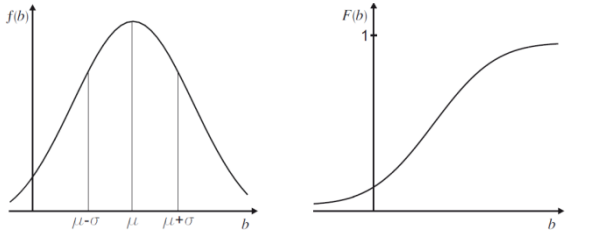


- Höhe des Trägers
- Breite des Trägers
- E-Modul
- Punktlast
- Position der Punktlast

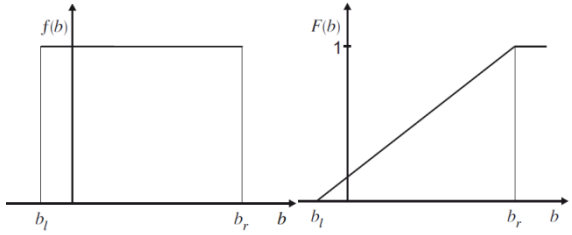
Probabilistische Methoden:

MCS

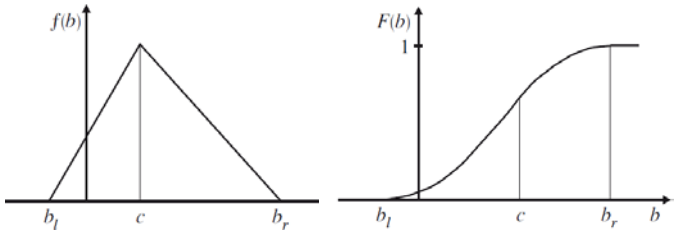
Verteilungen



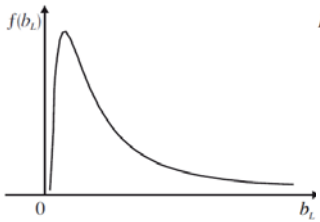
Normalverteilung

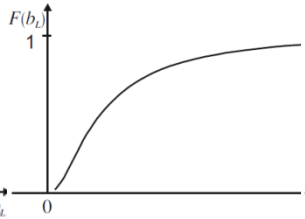


Gleichverteilung

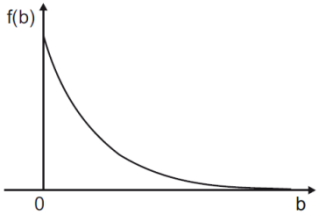


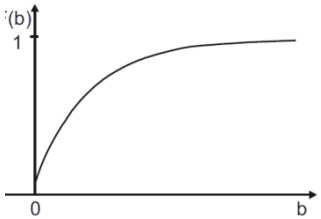
Dreiecksverteilung



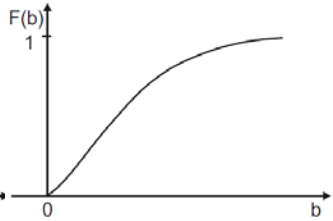


Lognormalverteilung





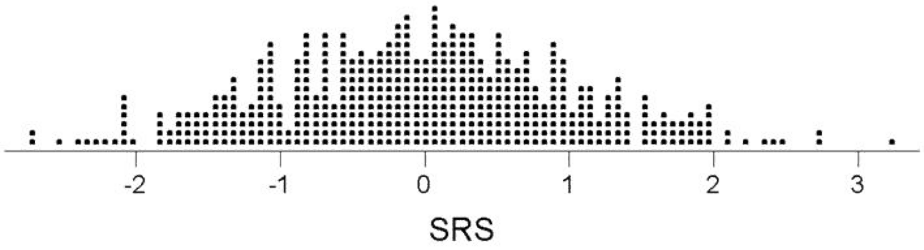
Exponentialverteilung

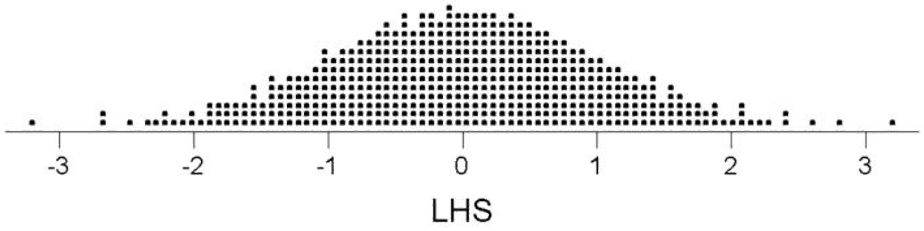


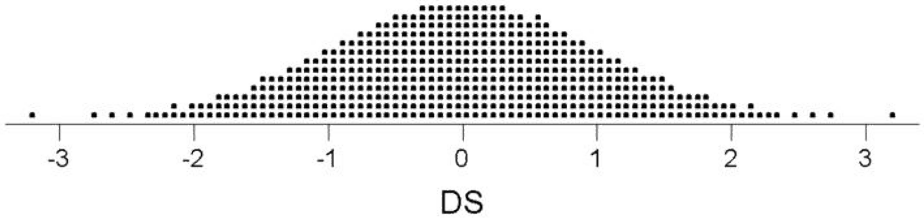
Weibullverteilung

Probabilistische Methoden:

MCS



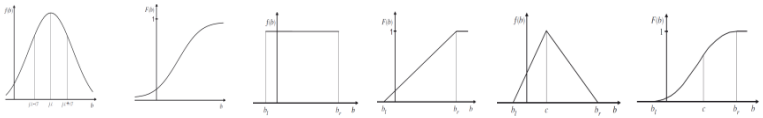


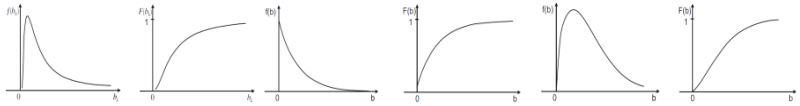


Probabilistische Methoden:

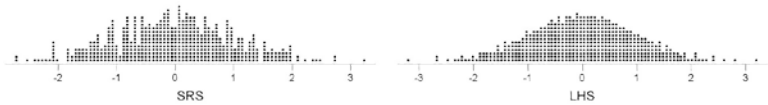
MCS

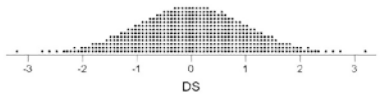
Verteilungen





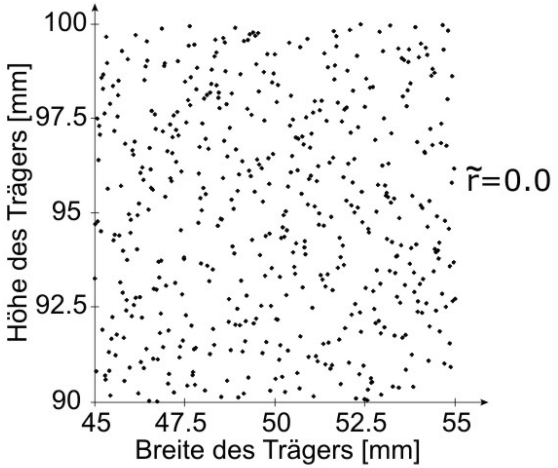
Samplingmethoden

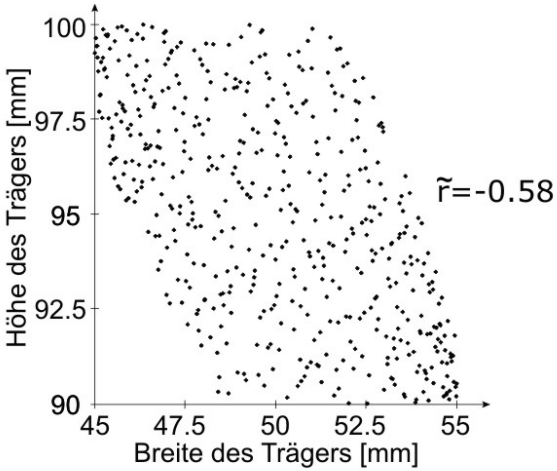


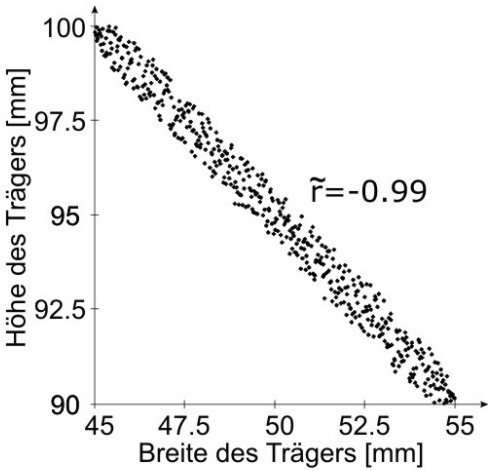


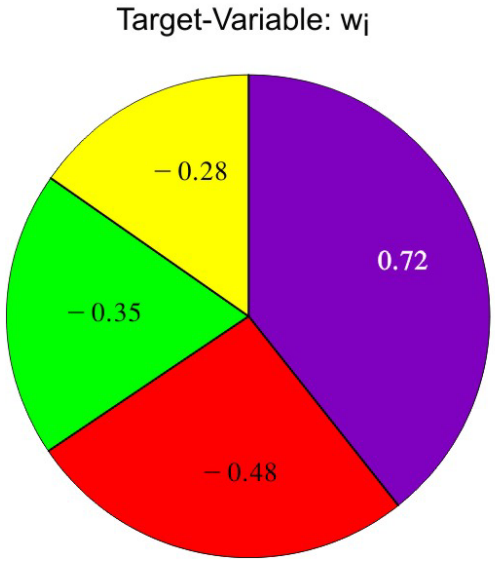
Korrelationseinstellung

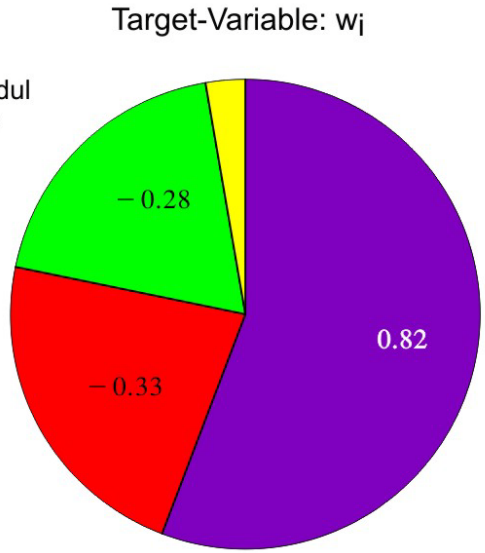
Einfluss der Eingangsgrößenkorrelation

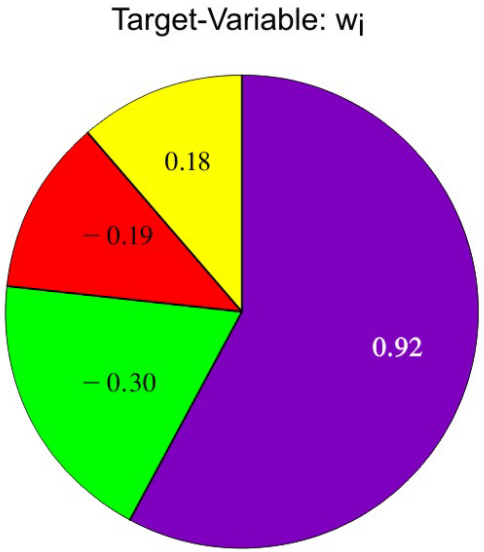




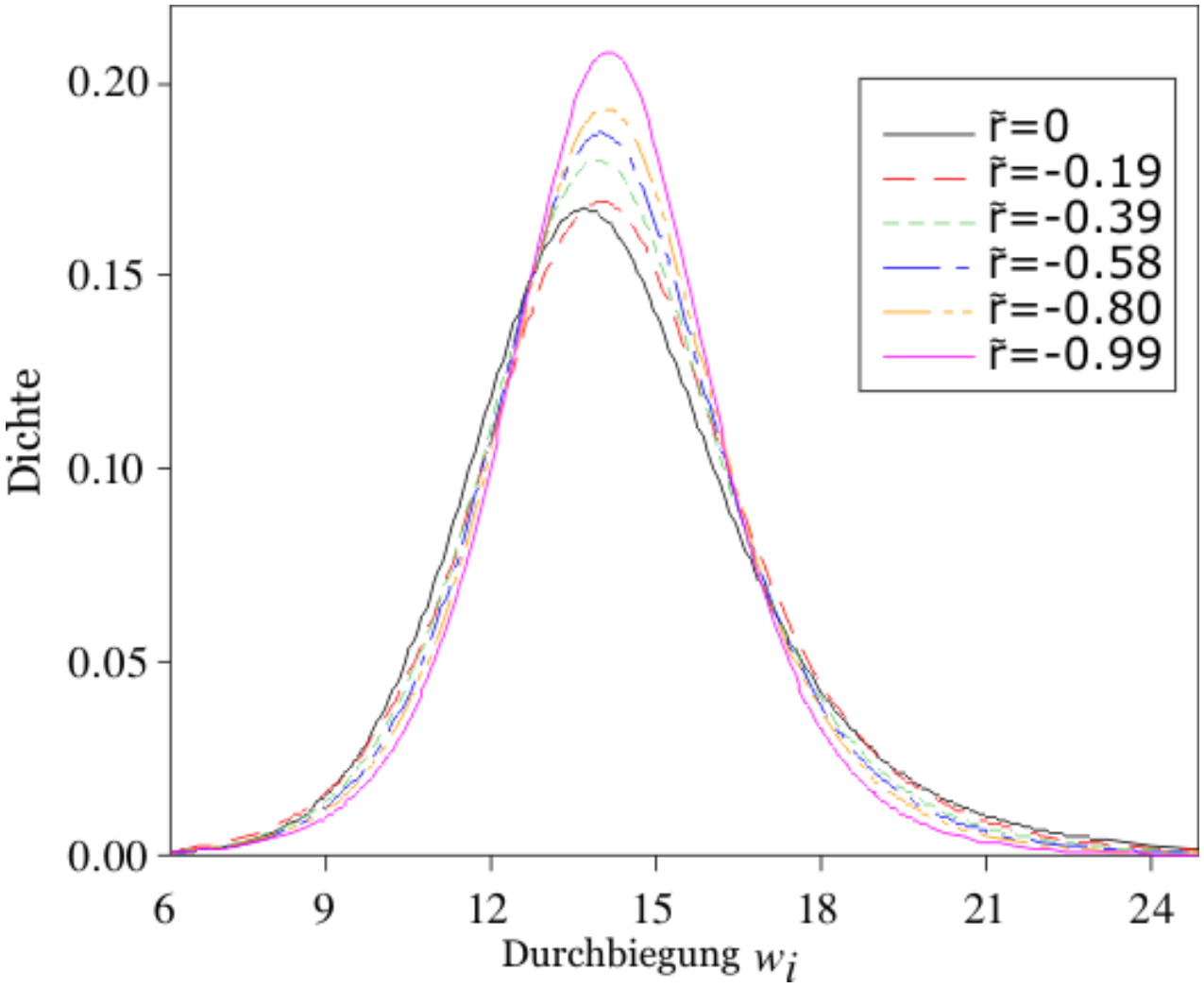








Einfluss der Eingangsgrößenkorrelation



Restricted-Pairing

- Iterativer Algorithmus, mit welchem sich beliebige Korrelations-strukturen zwischen Zufallsvektoren erstellen lassen
- Startbedingung:
  - Datenmatrix $\mathbf{b}_r$ vom Typ (n_b, n_{sim})
  - Zielkorrelationsmatrix **T** (Rangkorrelation) vom Typ (n_b, n_b)
- Algorithmus:
  - Beseitigen der perfekten Korrelation infolge LHS bzw. DS
  - Berechnung der Korrelationsmatrix **C** (Rangkorrelationen zwischen den Spalten b_{ri})
  - Berechnen der unteren Dreiecksmatrix **Q** aus $\mathbf{QQ}^T = \mathbf{C}$
  - Berechnen der Matrix **P** mit $\mathbf{PP}^T = \mathbf{T}$
  - Berechnen von **S** aus dem Gleichungssystem $\mathbf{S}=\mathbf{PQ}^{-1}$
  - Berechnen von **R**, so dass $\mathbf{R} = \mathbf{b}_r\mathbf{S}^T$ ist
  - Umsortieren von $\mathbf{b}_r$ aufgrund der Rangfolge der Werte von **R**

Restricted-Pairing

- Problem: Zielkorrelationsmatrix:

$$T = \begin{pmatrix} 1 & 0.9 & 0.9 \\ 0.9 & 1 & -0.9 \\ 0.9 & -0.9 & 1 \end{pmatrix}$$

  - **T** muss eine positiv semidefinite Matrix sein
  - Automatische Anpassung (z.B.: iSight FD, ProSi)

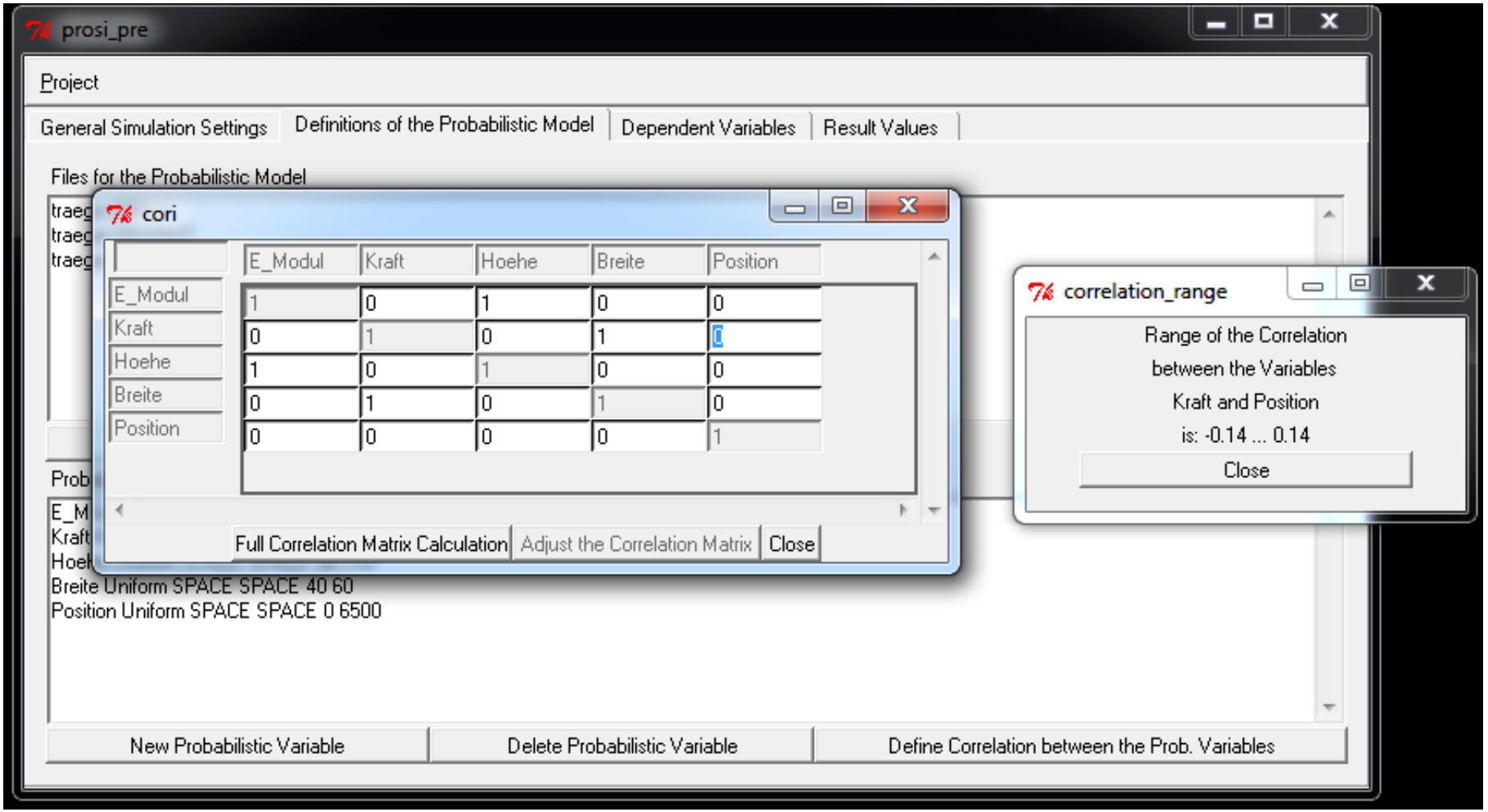
$$T = \begin{pmatrix} 1 & 0.28 & 0.28 \\ 0.28 & 1 & -0.28 \\ 0.28 & -0.28 & 1 \end{pmatrix}$$

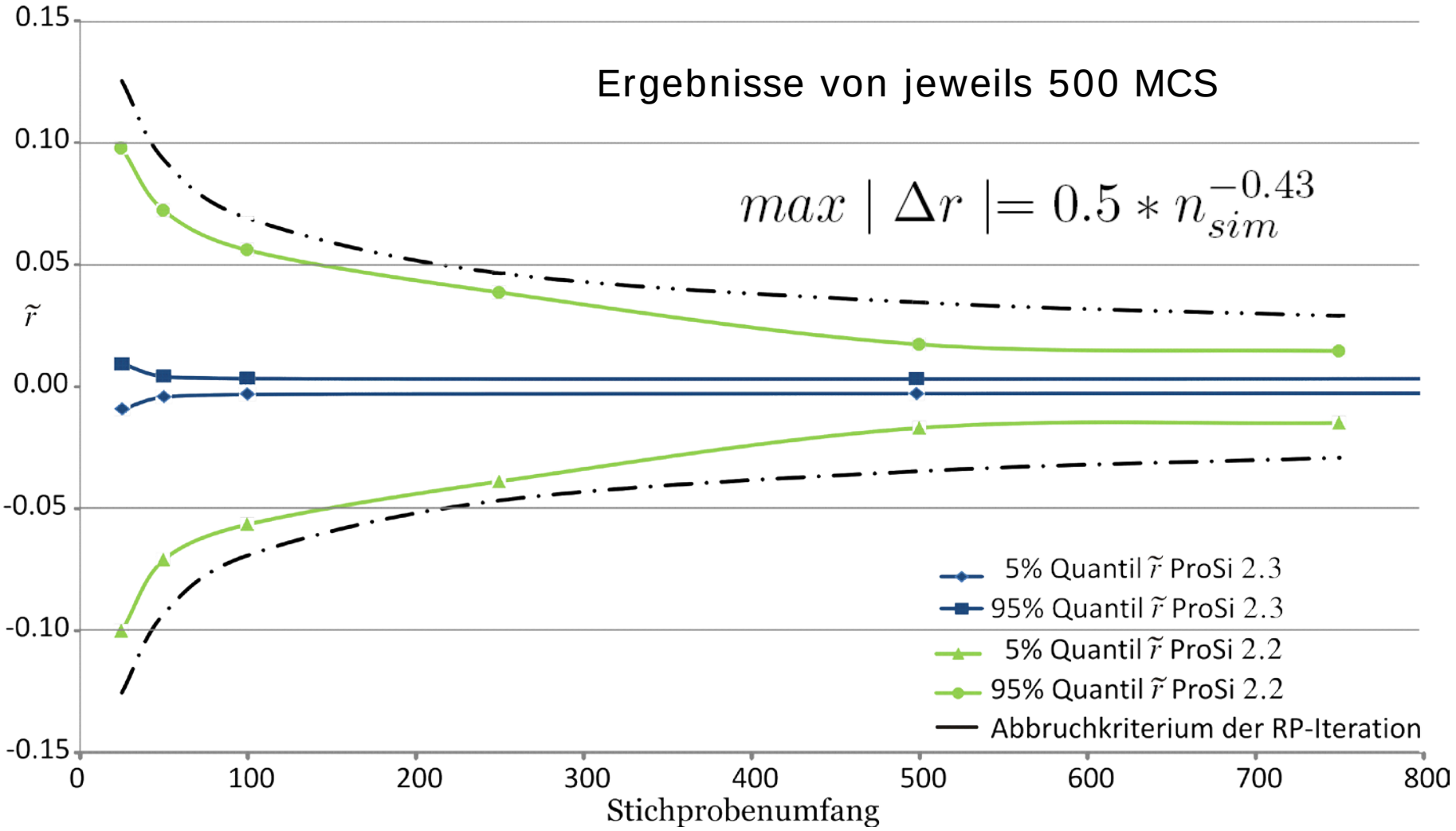
  - Problem: Alle Korrelationen werden „gleichmäßig“ angepasst.

Restricted-Pairing

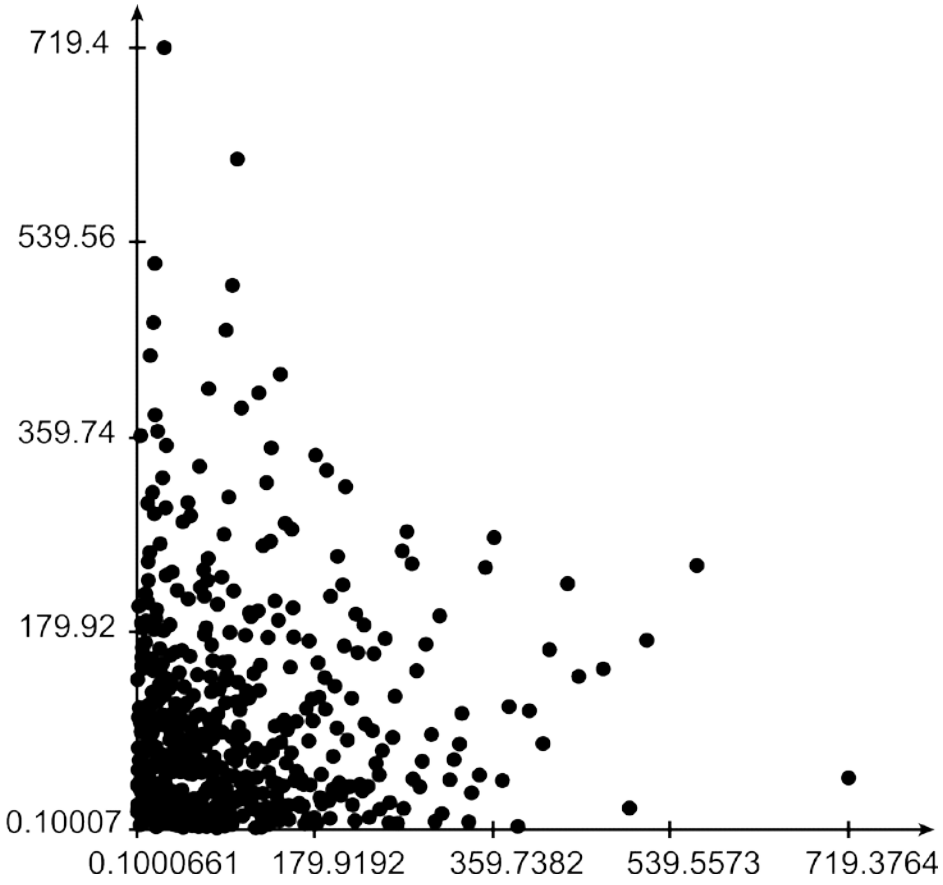
- Problem: Zielkorrelationsmatrix:
  - Manuelle Anpassung der Korrelationsmatrix (ProSi)
  - Ausgangspunkt Einheitsmatrix $\mathbf{I} = \mathbf{T}_{(0)}$ vom Typ (n_b, n_b)
  - Anpassung der Korrelation paarweise ($t_{jk} = t_{kj}$) ausgehend von der „wichtigsten“ Eingangsgrößenkombination
  - ProSi berechnet die Intervallgrenzen der einzelnen Korrelations-paare, so das die Matrix noch positiv semidefinit ist

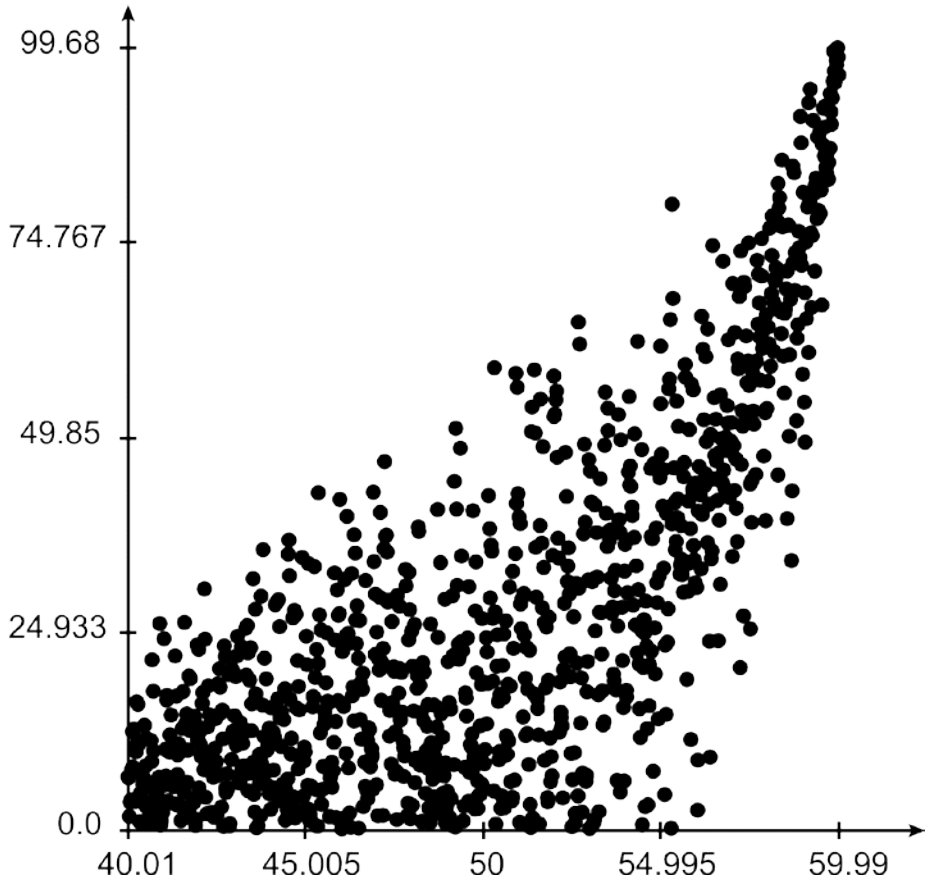
$$T = \begin{pmatrix} 1 & 0.9 & 0.28 \\ 0.9 & 1 & -0.16 \\ 0.28 & -0.16 & 1 \end{pmatrix}$$


prosi_pre
Project
General Simulation Settings
Definitions of the Probabilistic Model
Dependent Variables
Result Values
Files for the Probabilistic Model
Breite Uniform SPACE SPACE 40 60
Position Uniform SPACE SPACE 0 6500
New Probabilistic Variable
Delete Probabilistic Variable
Define Correlation between the Prob. Variables
cori
E_Modul
Kraft
Hoehe
Breite
Position
Full Correlation Matrix Calculation
Adjust the Correlation Matrix
Close
correlation_range
Range of the Correlation
between the Variables
Kraft and Position
is: -0.14 ... 0.14
Close


Ergebnisse von jeweils 500 MCS
$max \mid \Delta r \mid = 0.5 * n_{sim}^{-0.43}$
0.15
0.10
0.05
0.00
-0.05
-0.10
-0.15
$\tilde{r}$
0
100
200
300
400
500
600
700
800
Stichprobenumfang
5% Quantil $\tilde{r}$ ProSi 2.3
95% Quantil $\tilde{r}$ ProSi 2.3
5% Quantil $\tilde{r}$ ProSi 2.2
95% Quantil $\tilde{r}$ ProSi 2.2
Abbruchkriterium der RP-Iteration

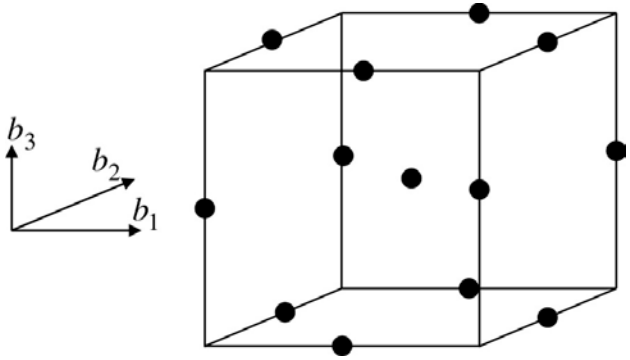
Korrelationen der Eingangsgrößen





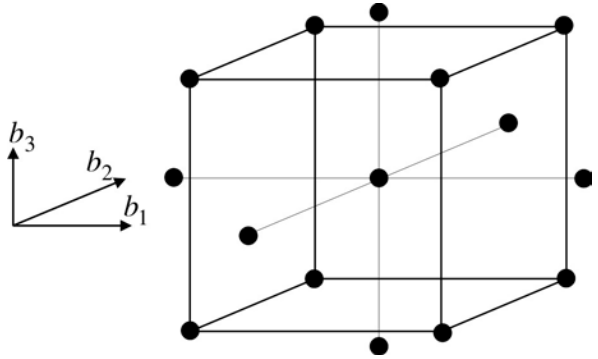
Funktionsumfang von ProSi

Probabilistische Methoden:

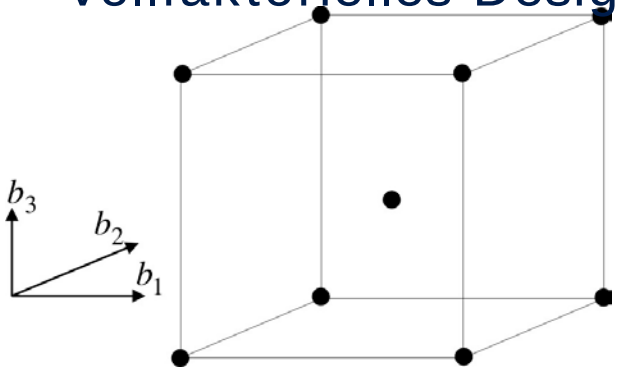


Vollfaktorielles Design

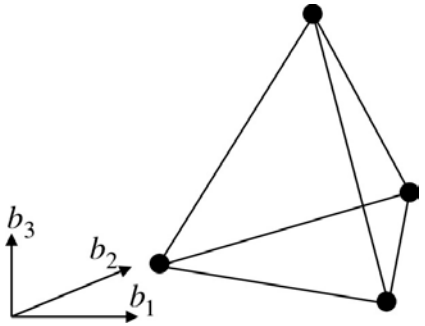
RSM



Central-Composite-Design



Box-Behnken-Design

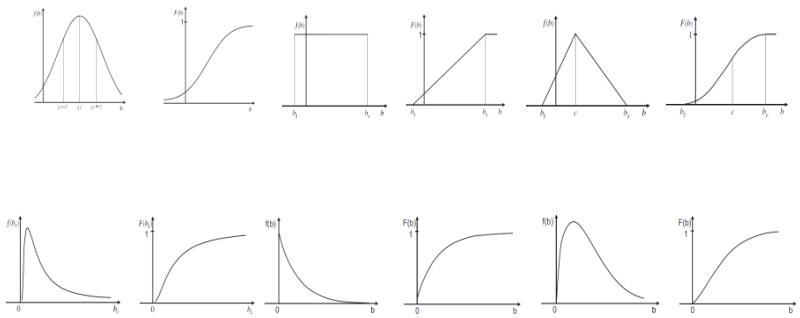


Simplex-Design

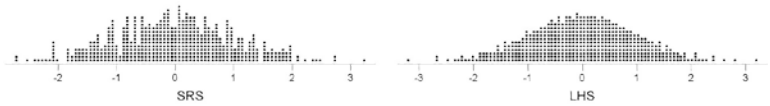
Probabilistische Methoden:

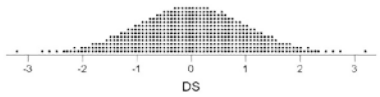
MCS

Verteilungen



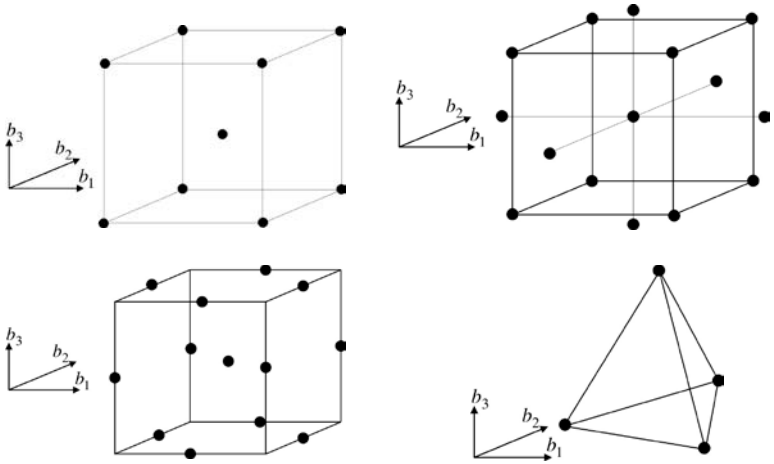
Samplingmethoden





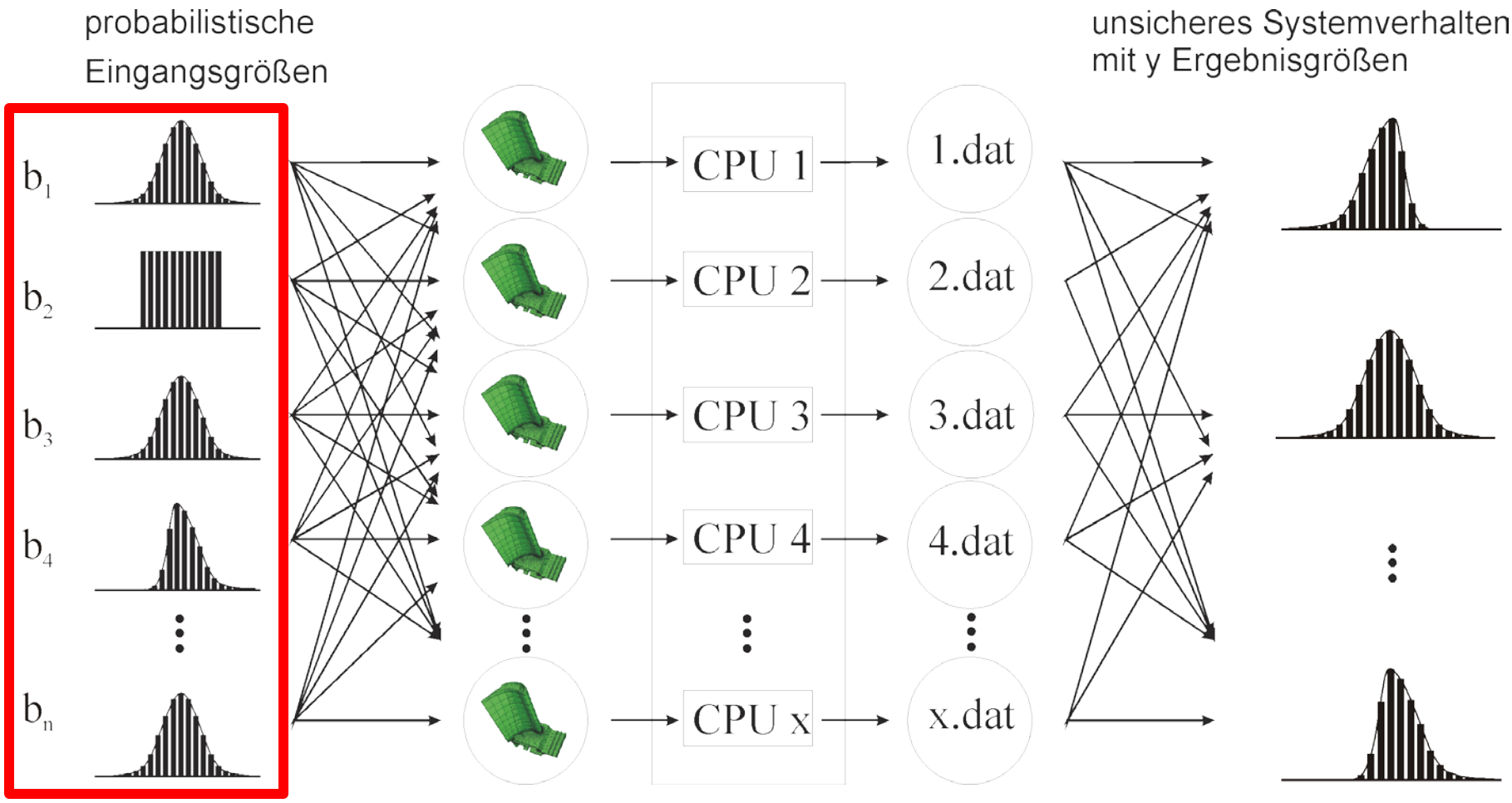
Korrelationseinstellung

RSM



Box-Cox-Transformation

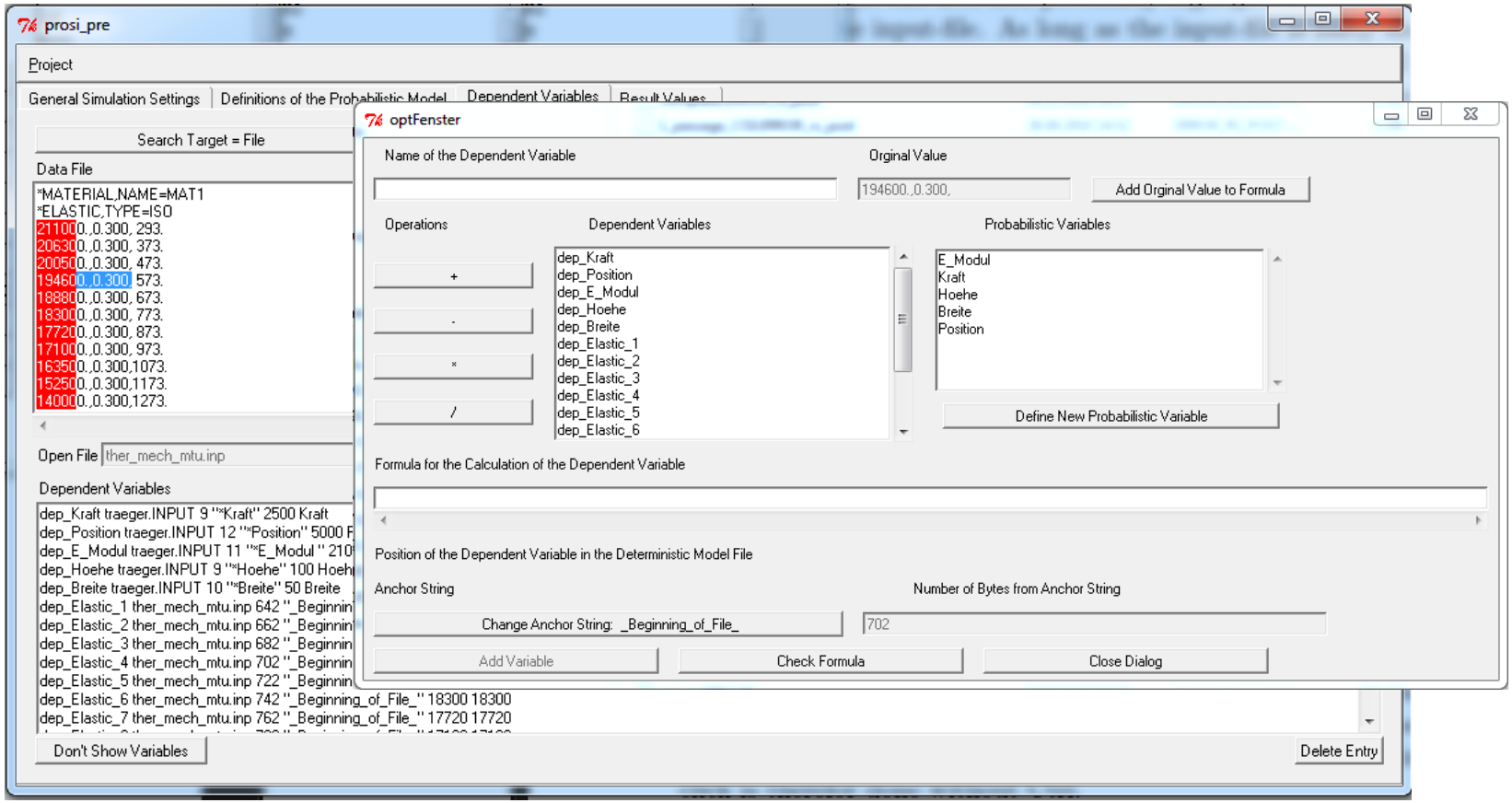
Filtermethode

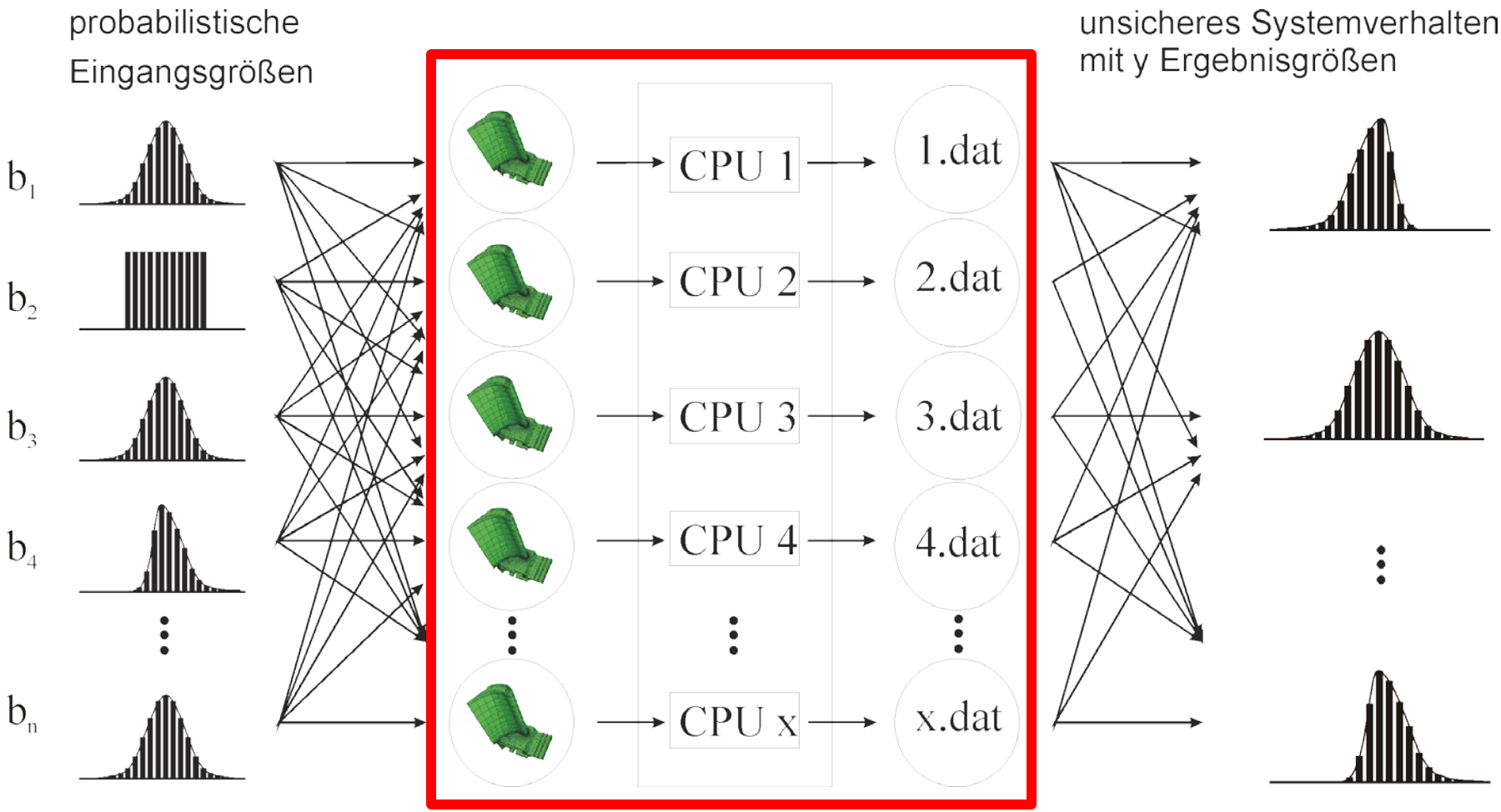

probabilistische
Eingangsgrößen
b1
b2
b3
b4
bn
CPU 1
CPU 2
CPU 3
CPU 4
CPU x
1.dat
2.dat
3.dat
4.dat
x.dat
unsicheres Systemverhalten
mit y Ergebnisgrößen

ProSi pre

Pre processing: (Probabilistische Modelldefinition)

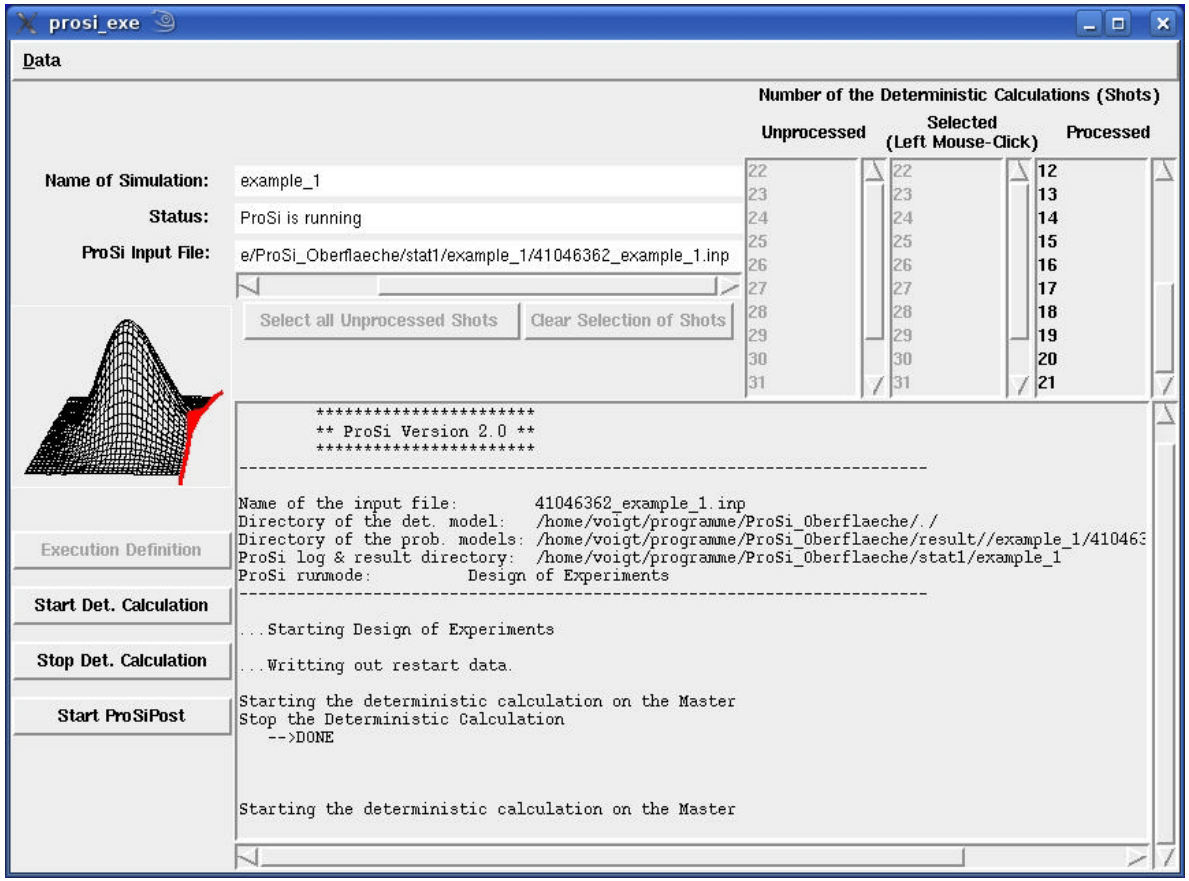
- Definition des deterministschen Modells
- Beschreiben der probabilistischen Eingangs- und Ergebnisgrößen

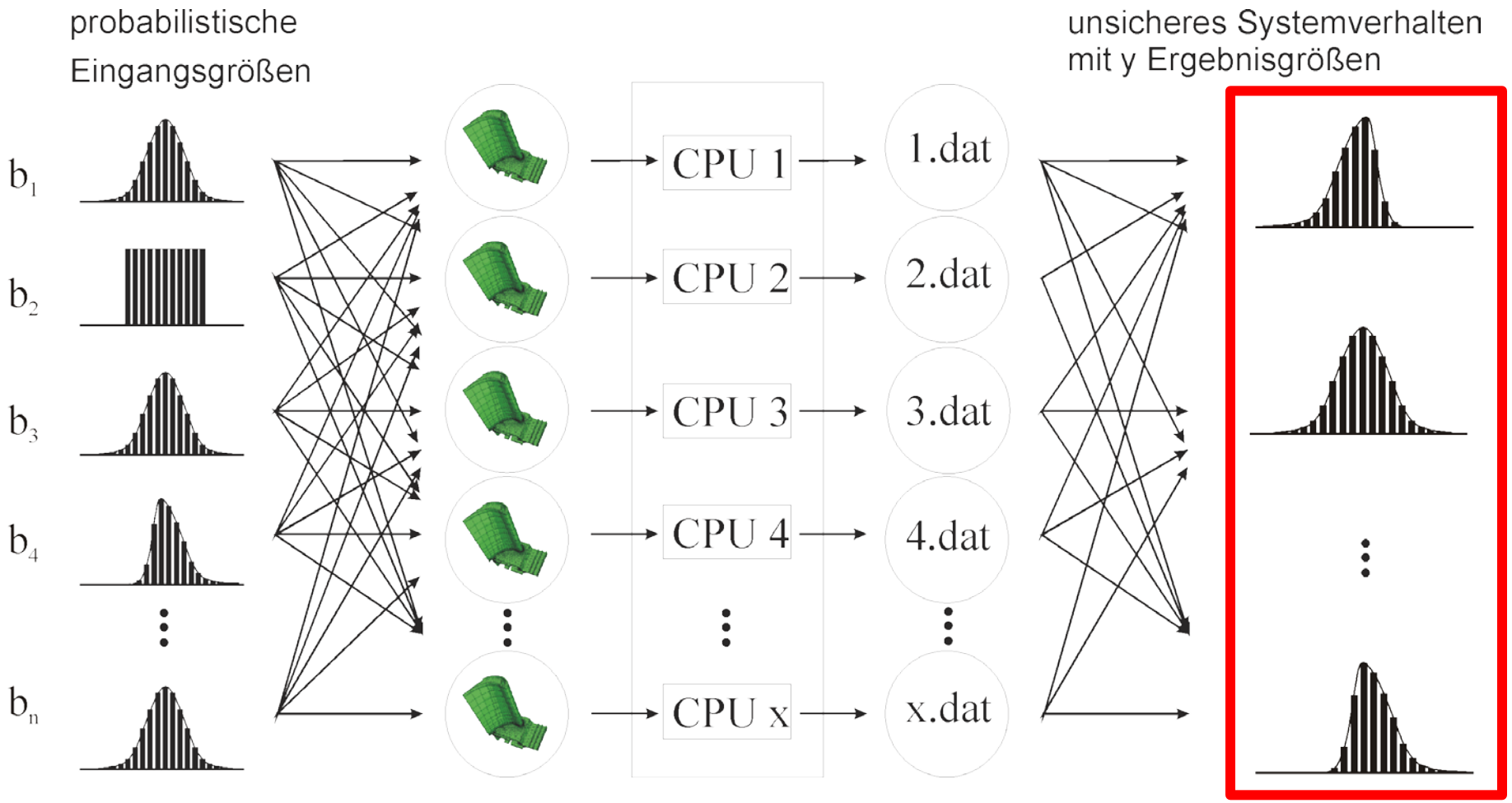



probabilistische
Eingangsgrößen
b1
b2
b3
b4
bn
CPU 1
CPU 2
CPU 3
CPU 4
CPU x
1.dat
2.dat
3.dat
4.dat
x.dat
unsicheres Systemverhalten
mit y Ergebnisgrößen
ProSi exe

Durchführen der deterministischen Rechnungen:

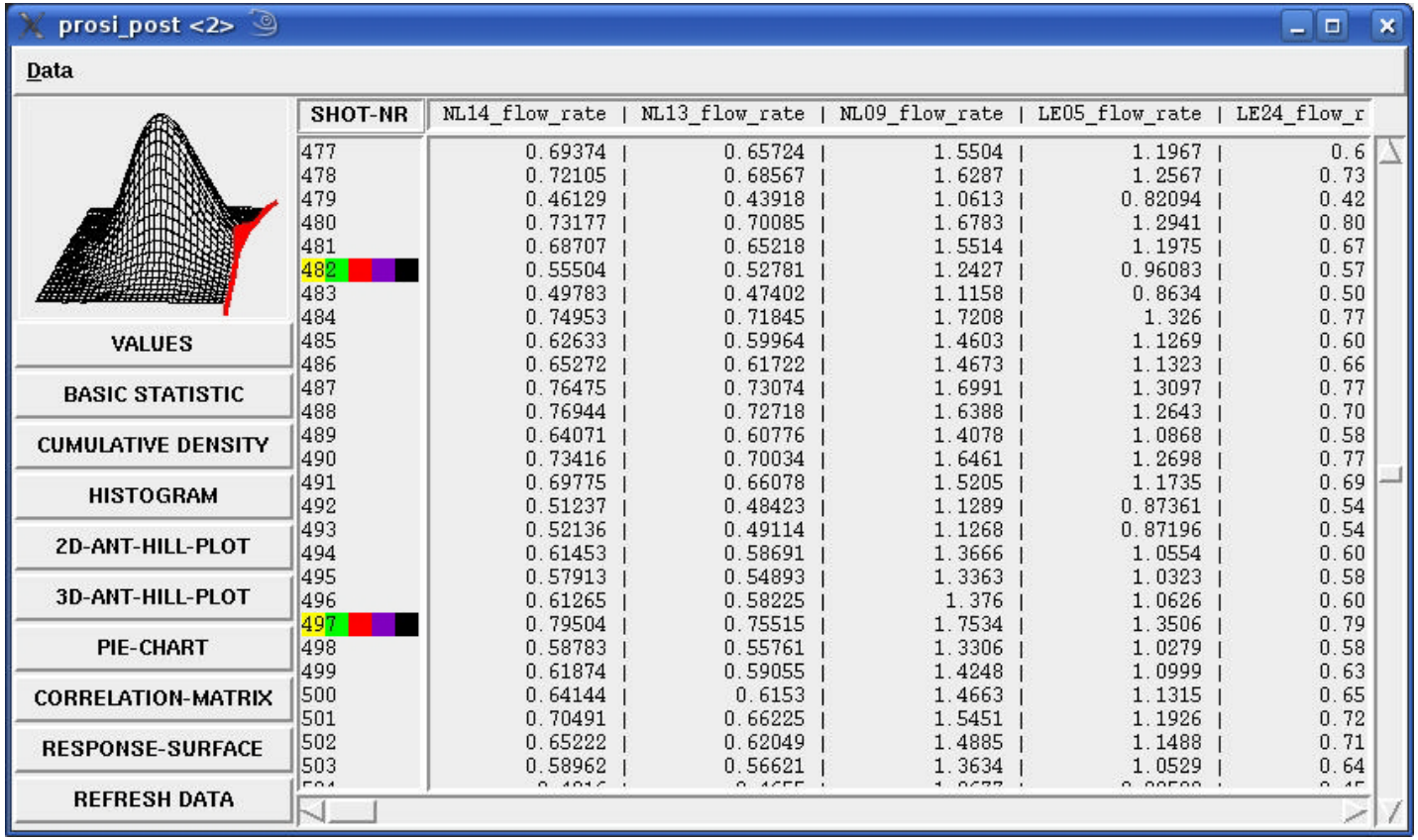
- Definition der Rechner (Linux-Cluster)
- Steuerbar über eine graphische Oberfläche



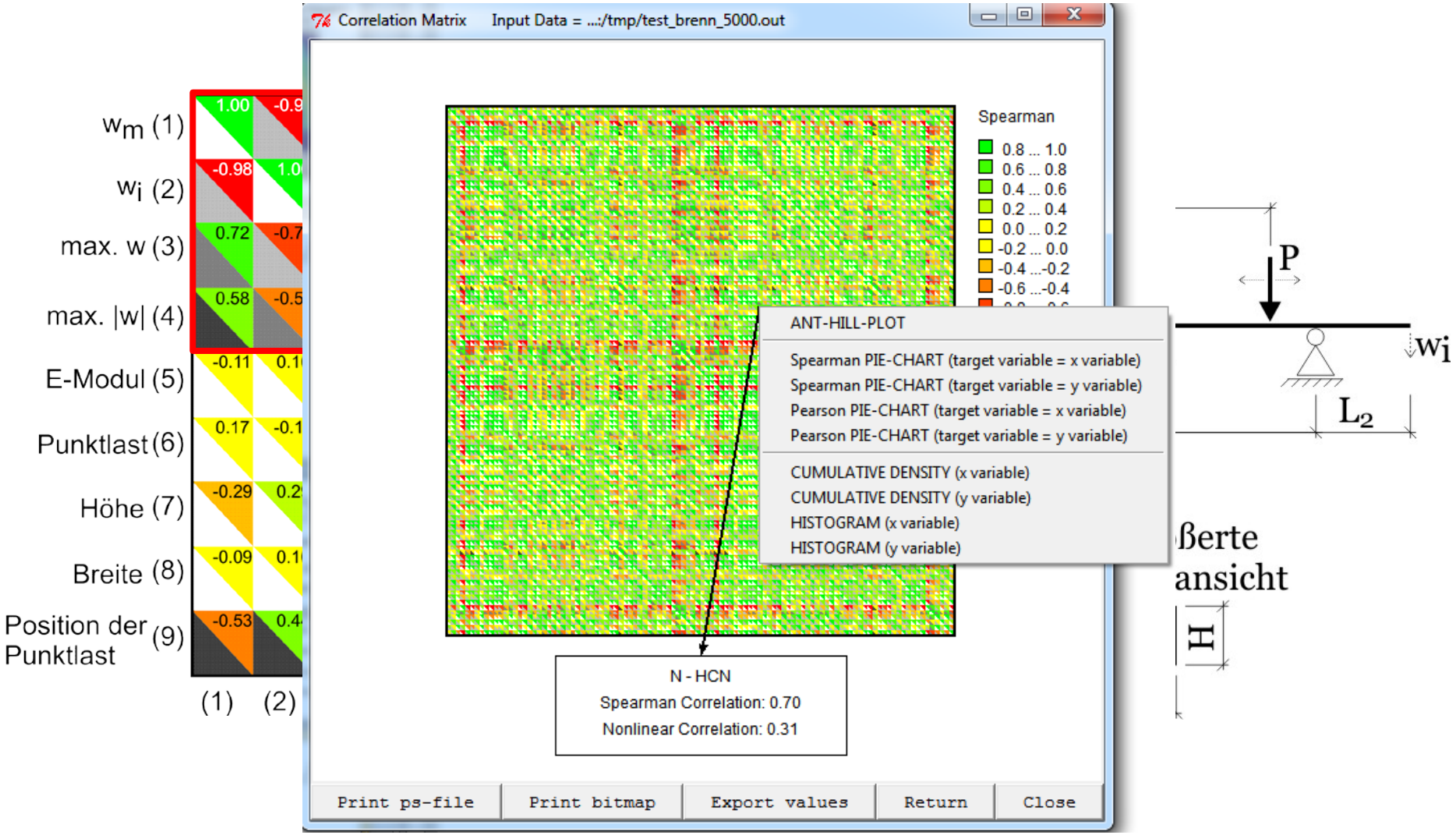

probabilistische
Eingangsgrößen
b1
b2
b3
b4
bn
CPU 1
CPU 2
CPU 3
CPU 4
CPU x
1.dat
2.dat
3.dat
4.dat
x.dat
unsicheres Systemverhalten
mit y Ergebnisgrößen
ProSi post

Postprozessing:

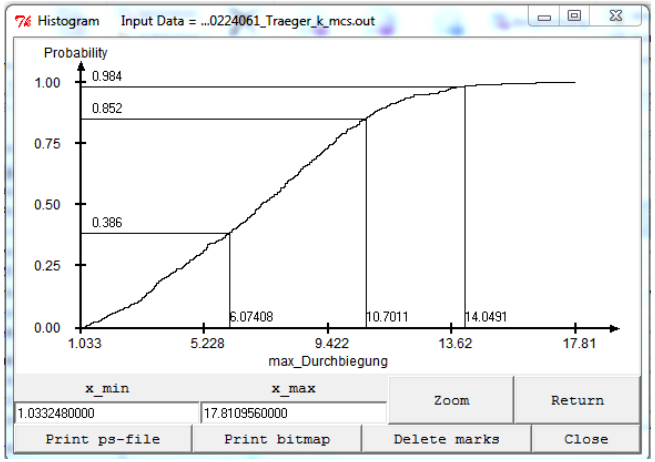
- Statistische Auswertung
- Reduzierung des Zeitaufwandes
- Verhindern von Auswertungsfehlern



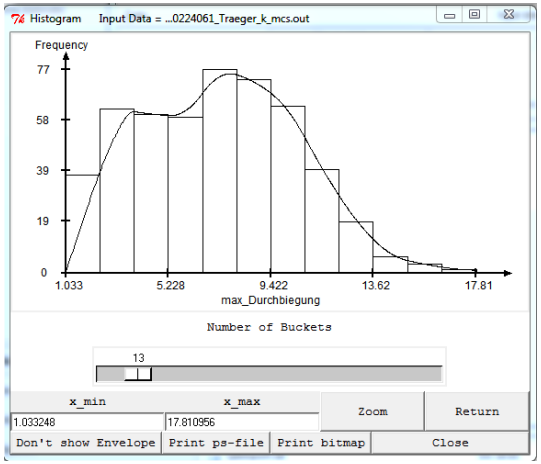
SHOT-NR	NL14_flow_rate	NL13_flow_rate	NL09_flow_rate	LE05_flow_rate	LE24_flow_r
477	0.69374	0.65724	1.5504	1.1967	0.6
478	0.72105	0.68567	1.6287	1.2567	0.73
479	0.46129	0.43918	1.0613	0.82094	0.42
480	0.73177	0.70085	1.6783	1.2941	0.80
481	0.68707	0.65218	1.5514	1.1975	0.67
482	0.55504	0.52781	1.2427	0.96083	0.57
483	0.49783	0.47402	1.1158	0.8634	0.50
484	0.74953	0.71845	1.7208	1.326	0.77
485	0.62633	0.59964	1.4603	1.1269	0.60
486	0.65272	0.61722	1.4673	1.1323	0.66
487	0.76475	0.73074	1.6991	1.3097	0.77
488	0.76944	0.72718	1.6388	1.2643	0.70
489	0.64071	0.60776	1.4078	1.0868	0.58
490	0.73416	0.70034	1.6461	1.2698	0.77
491	0.69775	0.66078	1.5205	1.1735	0.69
492	0.51237	0.48423	1.1289	0.87361	0.54
493	0.52136	0.49114	1.1268	0.87196	0.54
494	0.61453	0.58691	1.3666	1.0554	0.60
495	0.57913	0.54893	1.3363	1.0323	0.58
496	0.61265	0.58225	1.376	1.0626	0.60
497	0.79504	0.75515	1.7534	1.3506	0.79
498	0.58783	0.55761	1.3306	1.0279	0.58
499	0.61874	0.59055	1.4248	1.0999	0.63
500	0.64144	0.6153	1.4663	1.1315	0.65
501	0.70491	0.66225	1.5451	1.1926	0.72
502	0.65222	0.62049	1.4885	1.1488	0.71
503	0.58962	0.56621	1.3634	1.0529	0.64


Correlation Matrix
Input Data = ...:/tmp/test_brenn_5000.out
wm (1)
wi (2)
max. w (3)
max. |w| (4)
E-Modul (5)
Punktlast (6)
Höhe (7)
Breite (8)
Position der Punktlast (9)
(1) (2)
1.00
-0.98
0.72
0.58
-0.11
0.17
-0.29
-0.09
-0.53
Spearman
0.8 ... 1.0
0.6 ... 0.8
0.4 ... 0.6
0.2 ... 0.4
0.0 ... 0.2
-0.2 ... 0.0
-0.4 ...-0.2
-0.6 ...-0.4
ANT-HILL-PLOT
Spearman PIE-CHART (target variable = x variable)
Spearman PIE-CHART (target variable = y variable)
Pearson PIE-CHART (target variable = x variable)
Pearson PIE-CHART (target variable = y variable)
CUMULATIVE DENSITY (x variable)
CUMULATIVE DENSITY (y variable)
HISTOGRAM (x variable)
HISTOGRAM (y variable)
N - HCN
Spearman Correlation: 0.70
Nonlinear Correlation: 0.31
Print ps-file
Print bitmap
Export values
Return
Close
P
wi
L2
ßerte
ansicht
H

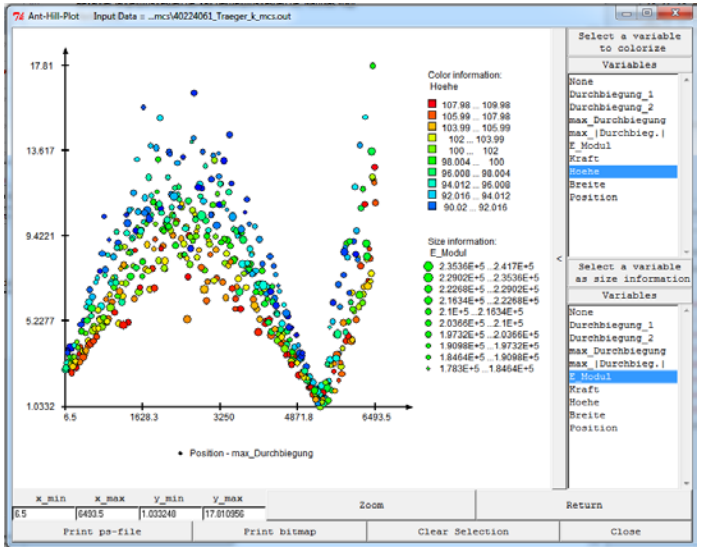
Cumulative density



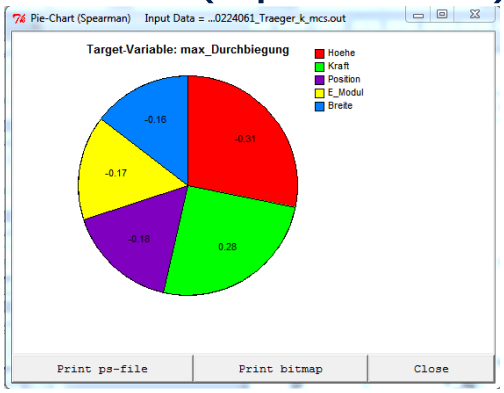
Histogram



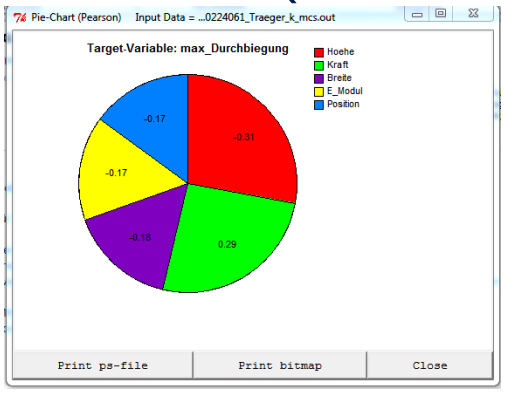
2D Ant Hill Plot



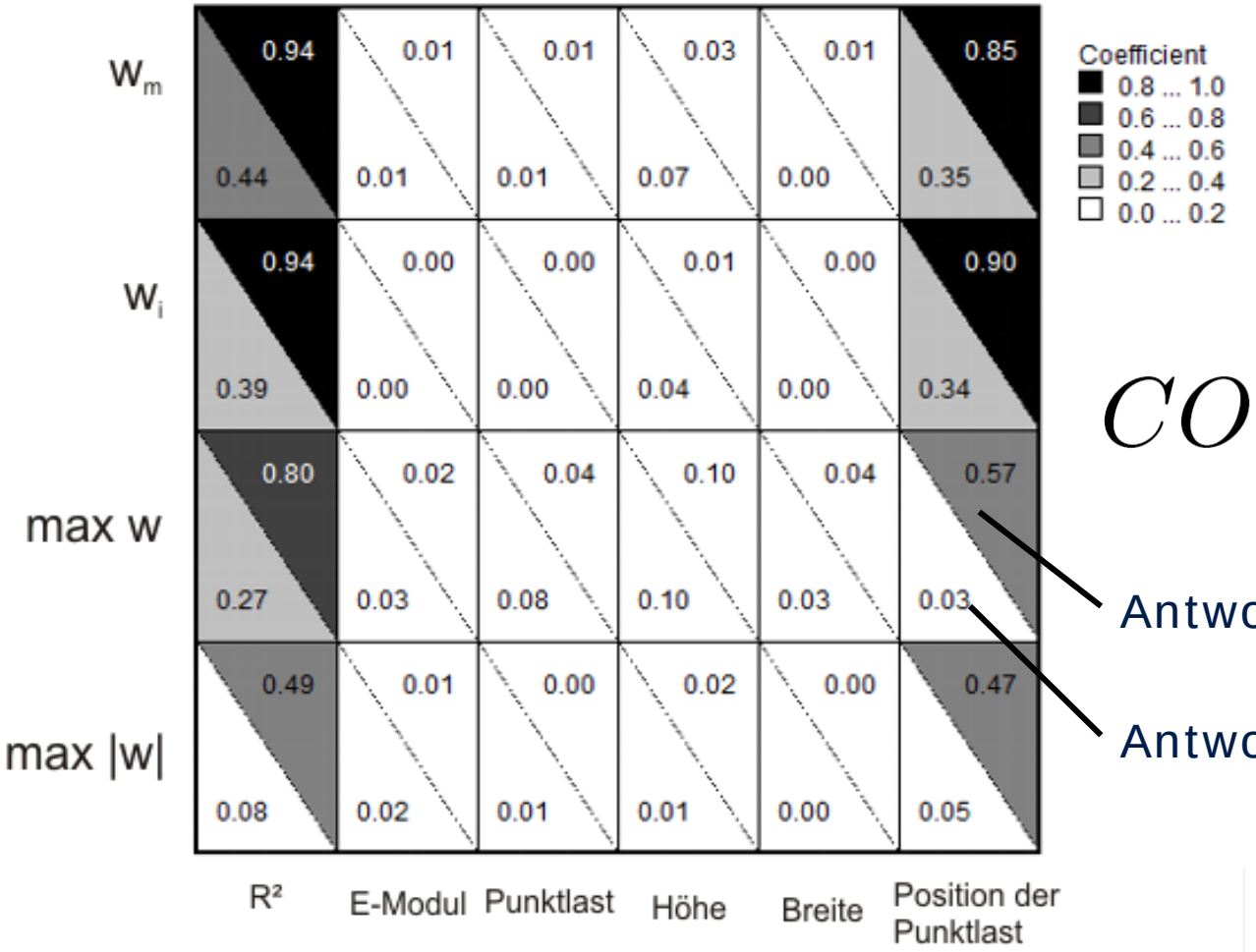
Pie-Chart (Spearman)



Pie-Chart (Pearson)



COI



$$COI_e = R^2 - R_e^2$$

Antwortfläche dritter Ordnung

Antwortfläche erster Ordnung

Plot statistischer Größen

Monte-Carlo-Simulation

↓

Für jede deterministische Rechnung innerhalb der MCS: Auslesen der Ergebnisgröße z.B.: an allen Zellen des CFD-Modells.

↓

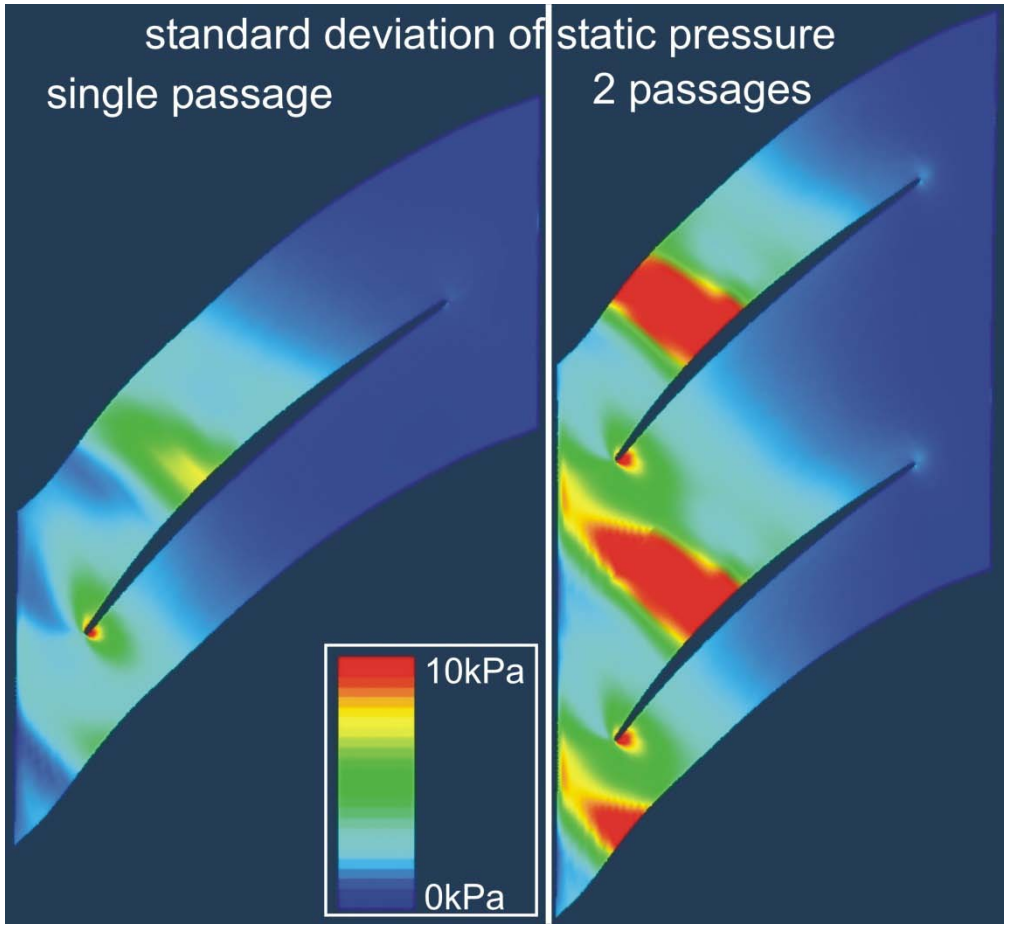
Statistische Auswertung aller Werte

↓

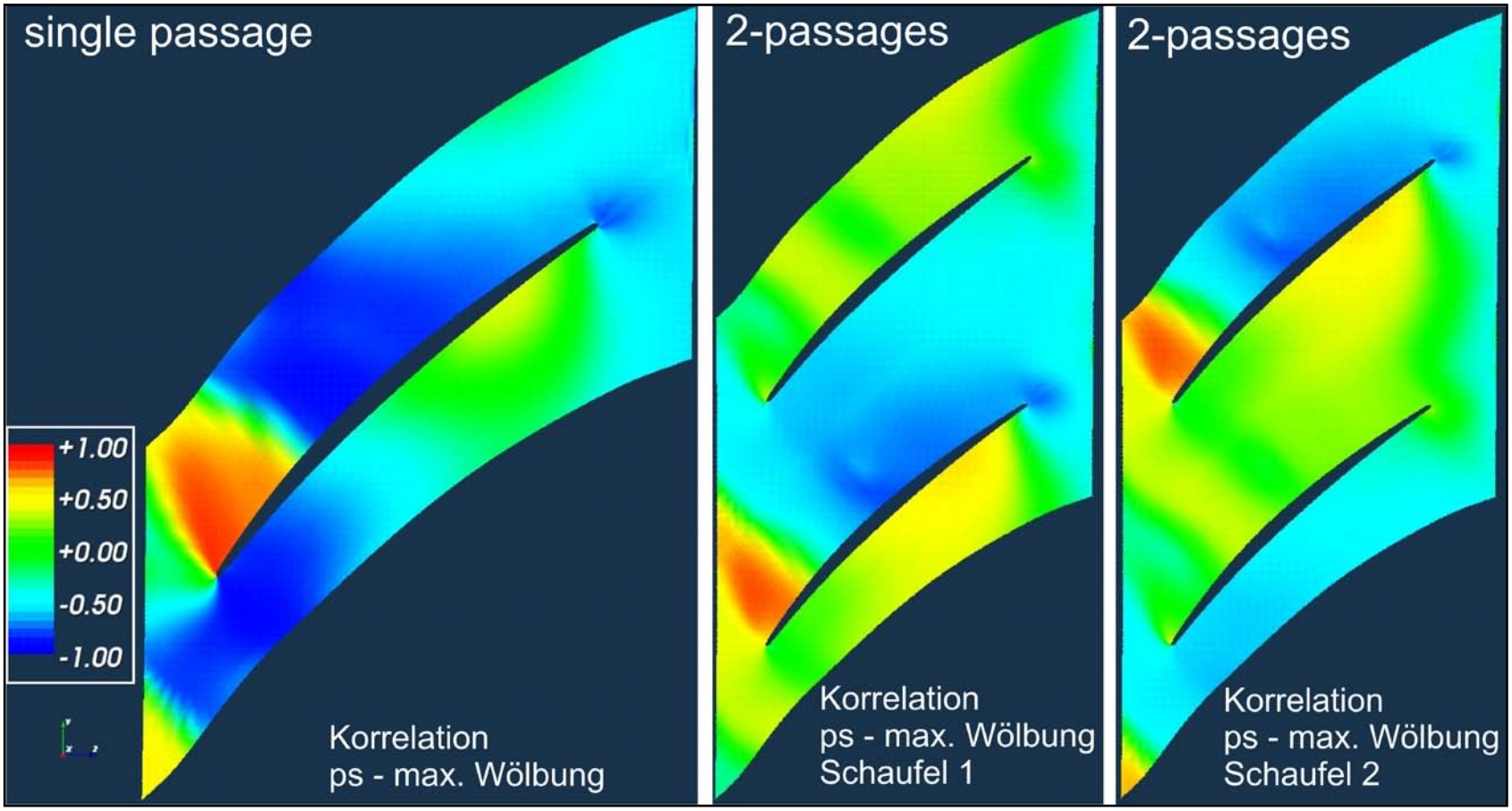
Hinzufügen der statistischen Ergebnisse zu einer Datenbank

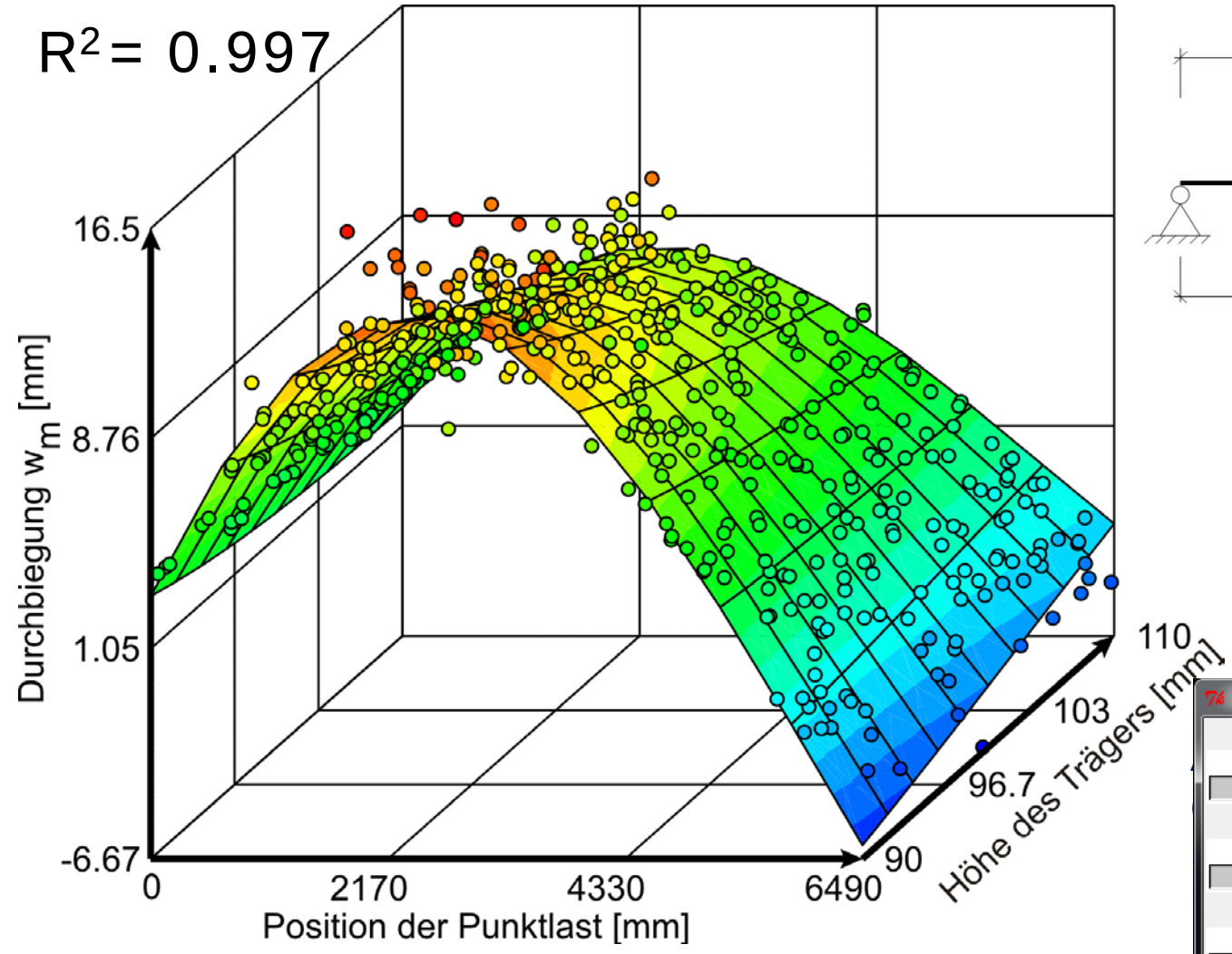
↓

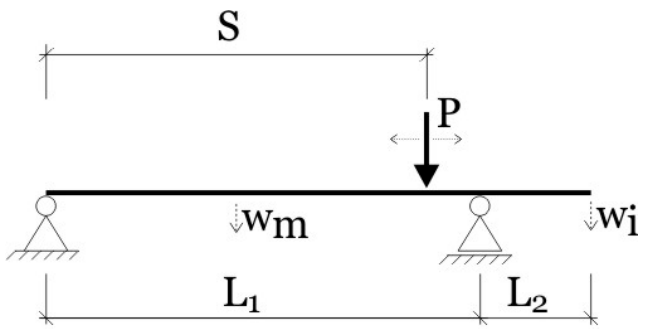
Graphische Auswertung im 3D-Viewer



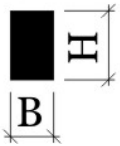
Globale Korrelationsplots (SoP)

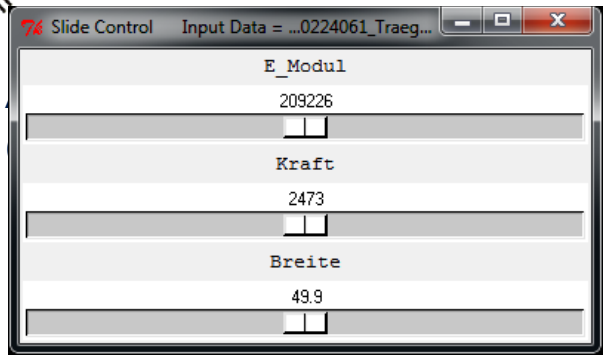


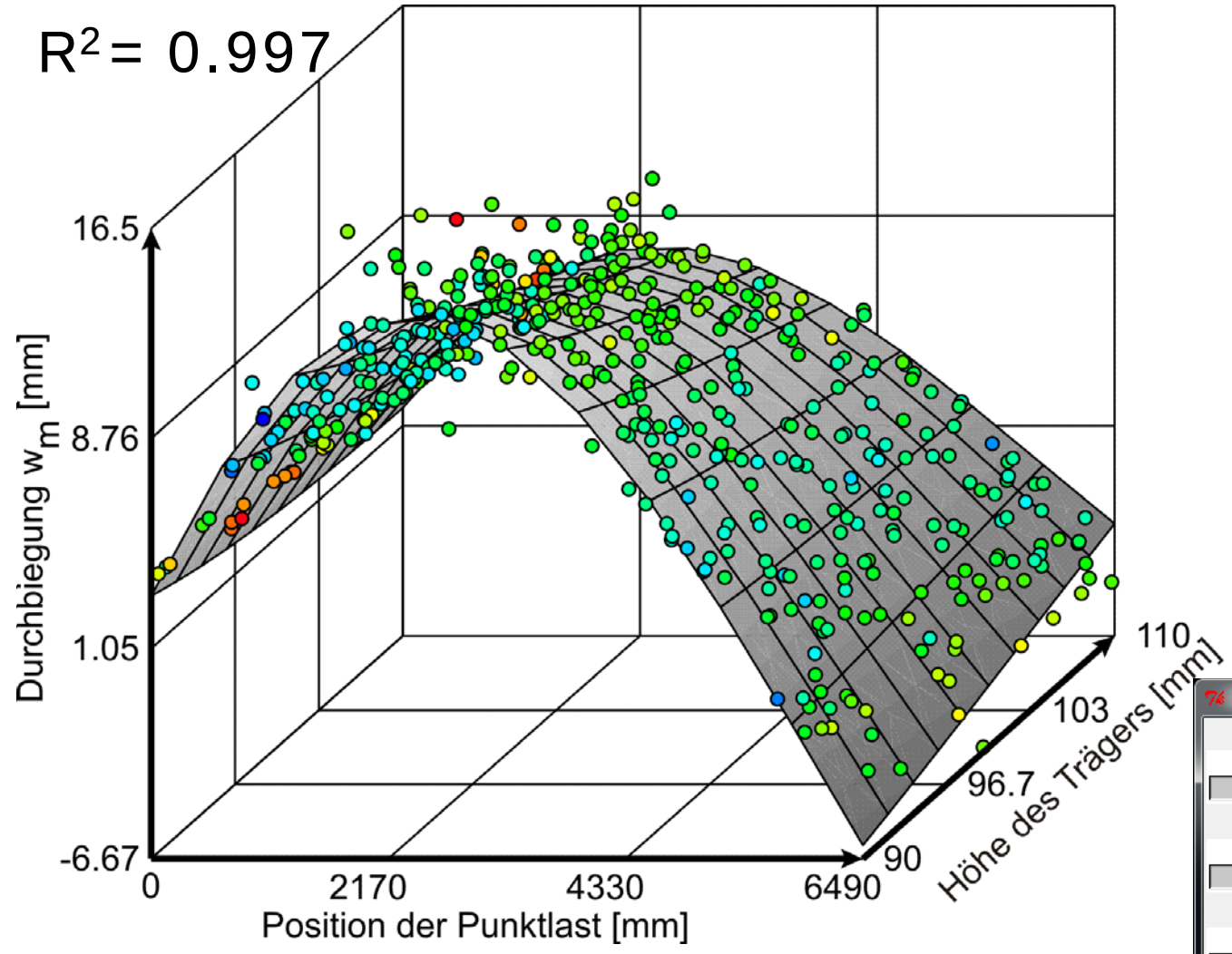




vergrößerte Seitenansicht

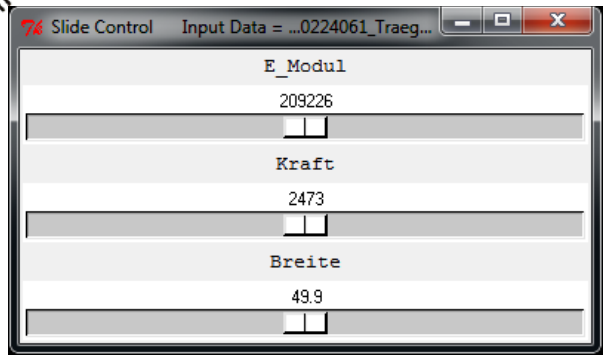






Color information:
Signed error

	0.725 ... 0.883
	0.567 ... 0.725
	0.408 ... 0.567
	0.250 ... 0.408
	0.092 ... 0.250
	-0.066 ... 0.092
	-0.224 ...-0.066
	-0.383 ...-0.224
	-0.541 ...-0.383
	-0.699 ...-0.541



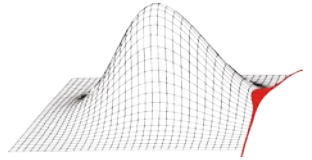
Globales Ziel:

Mit möglichst wenigen Realisierungen das Systemverhalten gut zu beschreiben.

- Unterstützung weiterer Verteilungen (Beta,...)
- „Konfidenzintervallgesteuerte“ Zufallszahlgenerierung
  - Hinzufügen weiterer Realisierungen
- Metamodelle zur Systemverhaltensbeschreibung (Kriging, ...)

- iSight Plug-In

Danksagung



ProSi entstand innerhalb der AG Turbo Vorhaben

„Probabilistische mechanische Auslegung von Turbinen“

und

„Entwicklung und Umsetzung von effizienten probabilistischen Methoden in der Auslegung von Turbinenschaufeln“

mit finanzieller Unterstützung von

ALSTOM, MTU, Rolls-Royce Deutschland

und dem

Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie

TECHNISCHE UNIVERSITÄT DRESDEN

Fakultät Maschinenwesen · Institut für Strömungsmechanik · Professur für Turbomaschinen und Strahlantriebe

Probabilistisches Simulationstool - ProSi

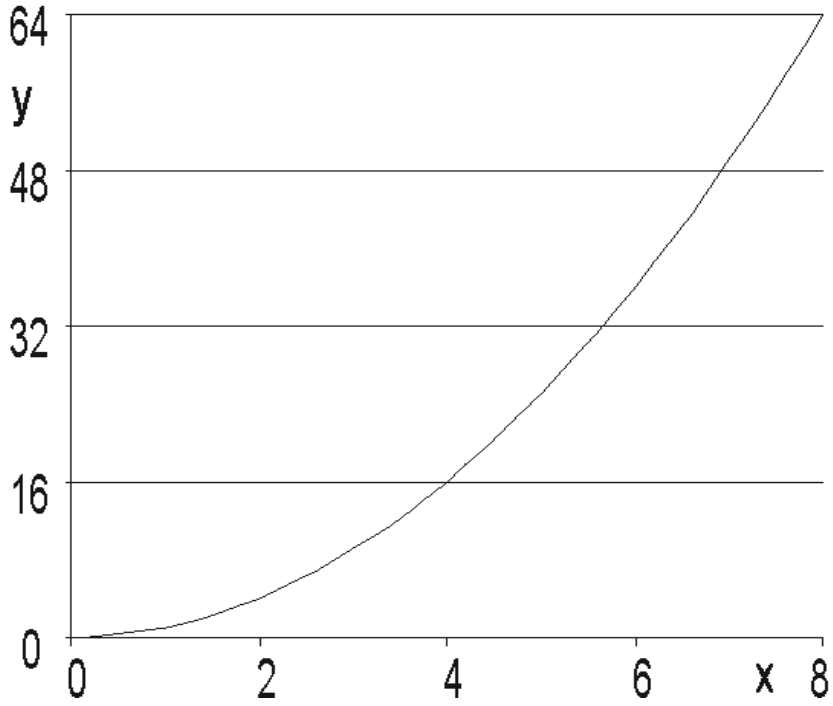
Matthias Voigt

Gunter Lang; Thorsten van Lil

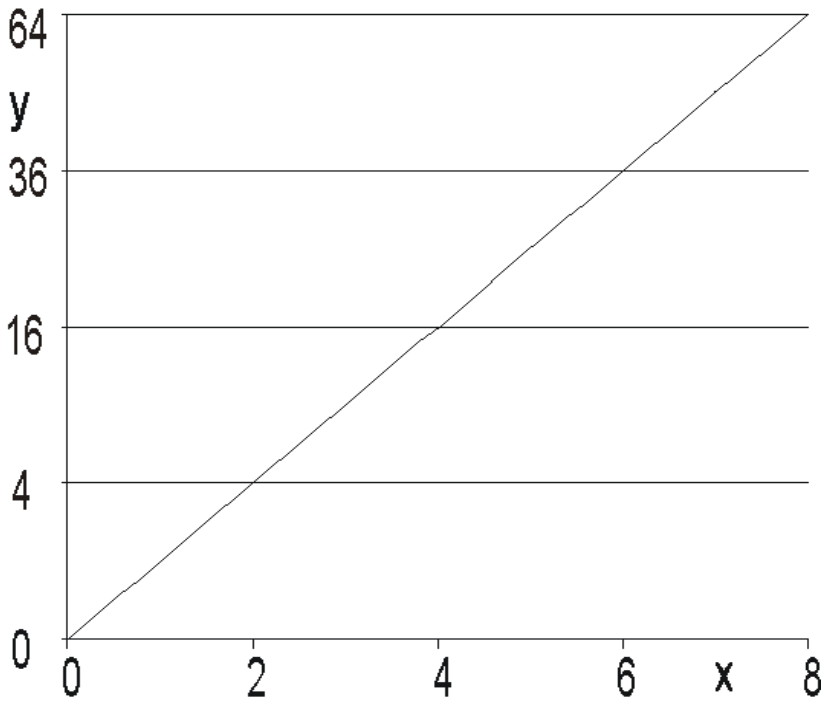
$$y^x = \overline{c_0} + \sum_{k=1}^{n_b} \overline{c_k} b_k + \sum_{k=1}^{n_b} \sum_{m=1}^{n_b} \overline{c_{km}} b_k b_m + \bar{\epsilon}$$

$$\tilde{y} = -t + \left(\overline{c_0} + \sum_{k=1}^{n_b} \overline{c_k} b_k + \sum_{k=1}^{n_b} \sum_{m=1}^{n_b} \overline{c_{km}} b_k b_m \right)^{\frac{1}{x}}$$

keine Skalierung der y-Achse



skalierte y-Achse



$$y = x^2$$