



Anwendung stochastischer und geometrischer Analysen zur systematischen Robustheitsuntersuchung im Strukturcrash

D. Weigert, Prof. F. Duddeck (TU München); S. Brack, Dr. H. Schluder (AUDI AG)

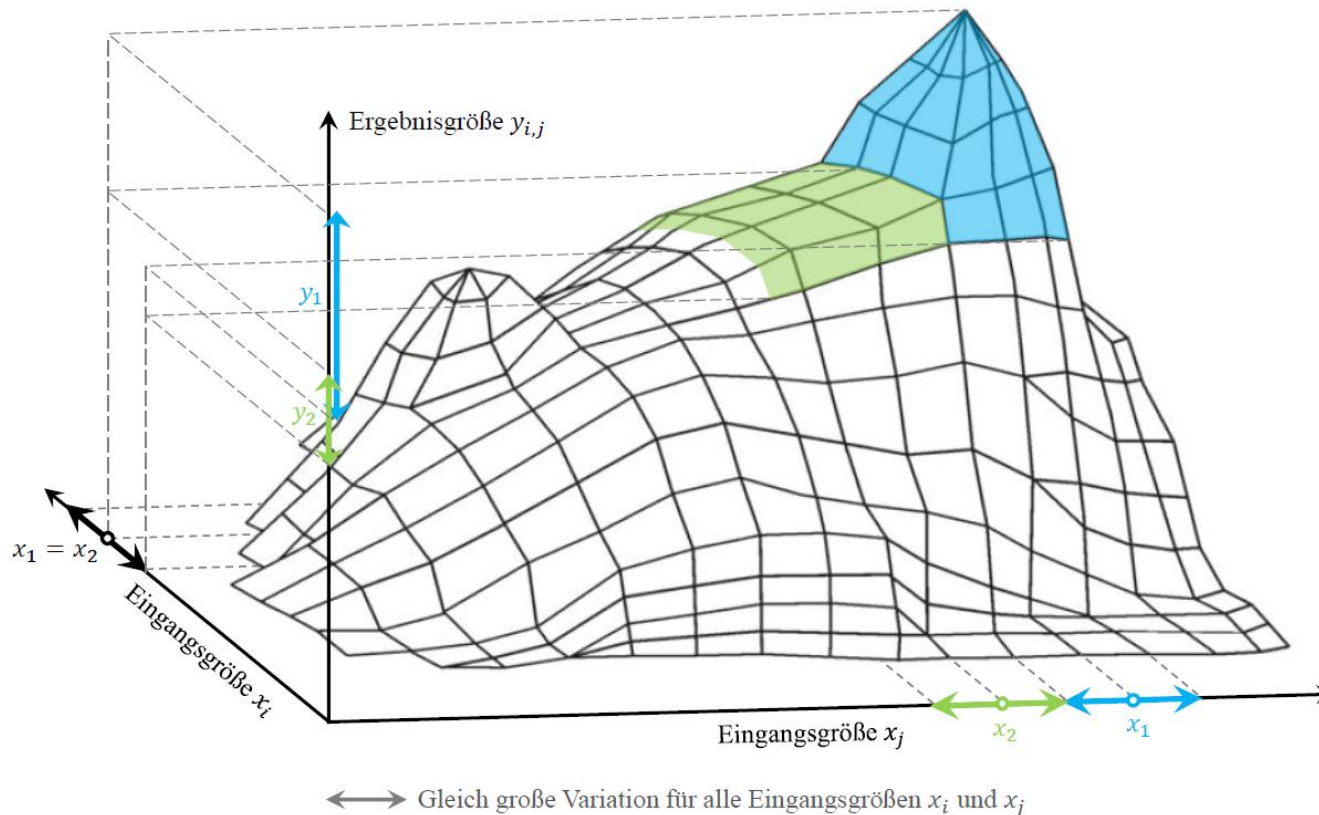
- ▶ Definition „Robustheit“ und Motivation
- ▶ Prozessablauf zur Durchführung einer Robustheitsuntersuchung
- ▶ Stochastische Analyse – ein Anwendungsbeispiel
 - ▶ Prüfung der Normalverteilungsannahme
 - ▶ Berücksichtigung von Konfidenzintervallen
- ▶ Geometrische Analyse – ein Anwendungsbeispiel
 - ▶ Bewertung der Robustheit am gesamten FE-Modell
- ▶ Zusammenfassung

Robustheit

DEFINITION UND MOTIVATION

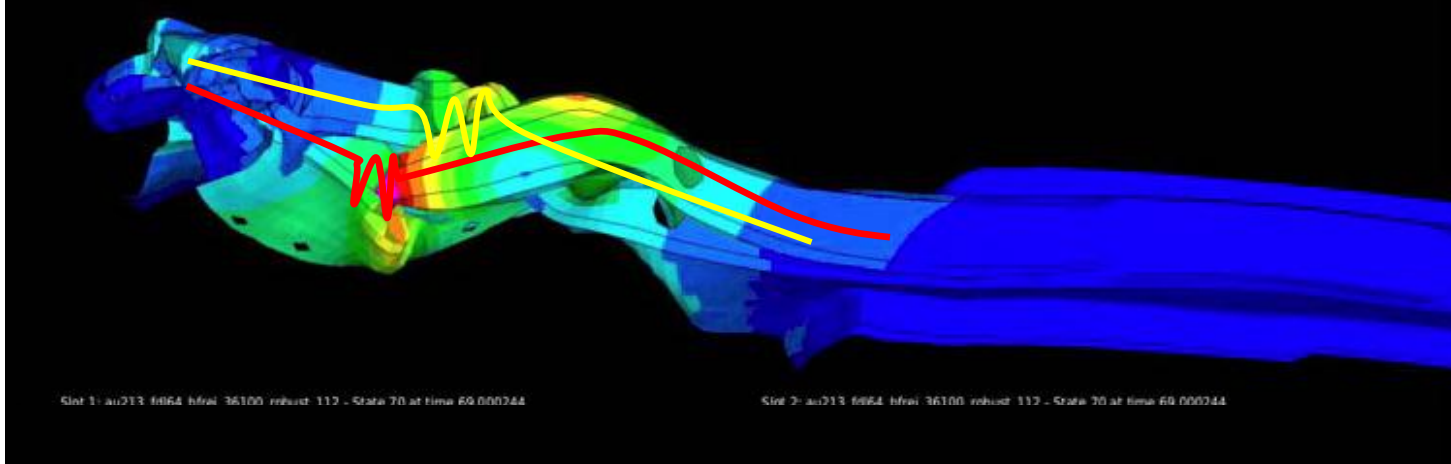
Definition des Begriffes „Robustheit“

Robustheit charakterisiert eine **geringe Sensitivität der Ergebnisgrößen** bezüglich einer **Variation von Eingangsgrößen**.



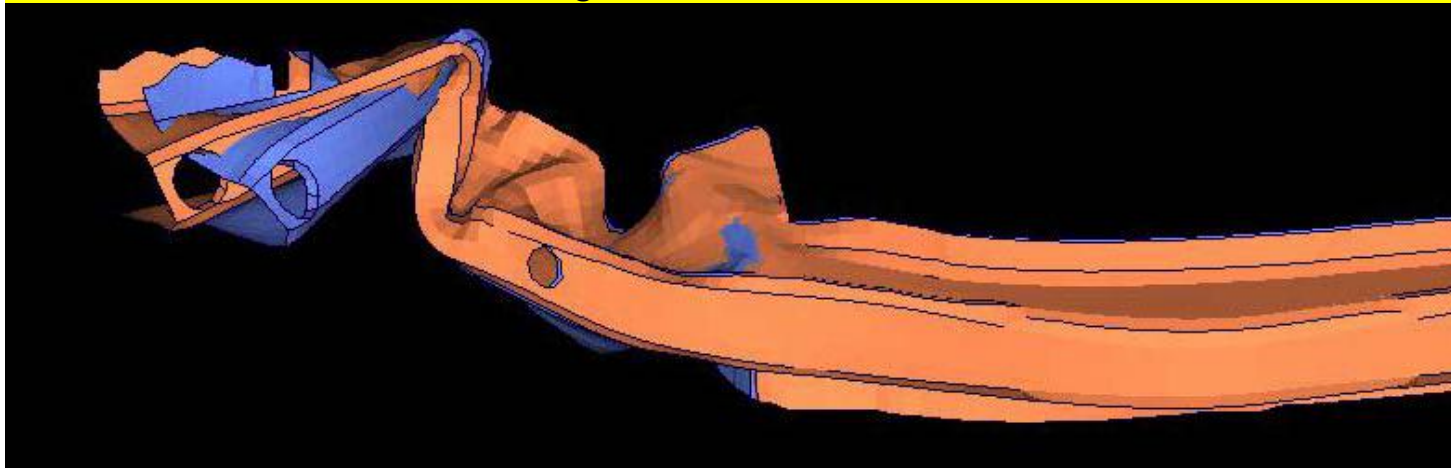
Motivation – Längsträger im Frontcrash

Typisches Stabilitätsversagen eines Längsträgers im Frontcrash



Entnommen aus einer Studie des FHG-Instituts SCAI, Sankt Augustin

Stabilitätsversagen nach Modifikation der Geometrie



Entnommen aus einer Studie des FHG-Instituts SCAI, Sankt Augustin

SDM-System *LoCo* und *LS-OPT*

PROZESS ZUR DURCHFÜHRUNG EINER ROBUSTHEITSUNTERSUCHUNG

LoCo – Loadcase Composer

Werkzeug zum Aufbau von Simulationen aus Simulationsdateien

Komponentenpool



Coupé

US-NCAP Seite

US-NCAP Front

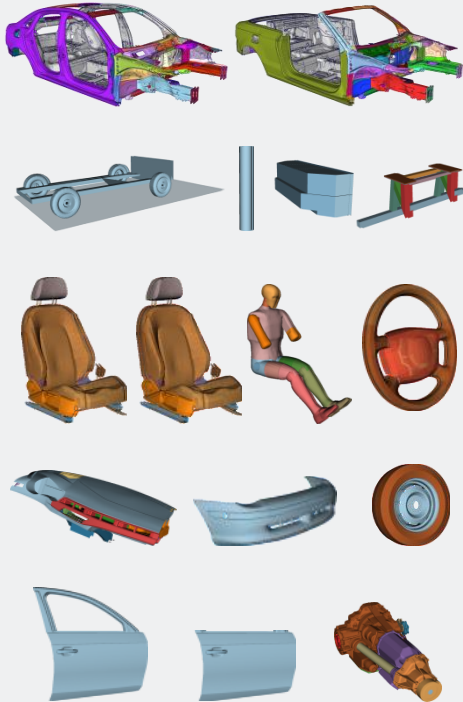


Cabriolet



Schnittstelle zwischen *LoCo* und *LS-OPT*

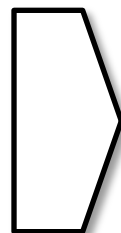
Komponentenpool



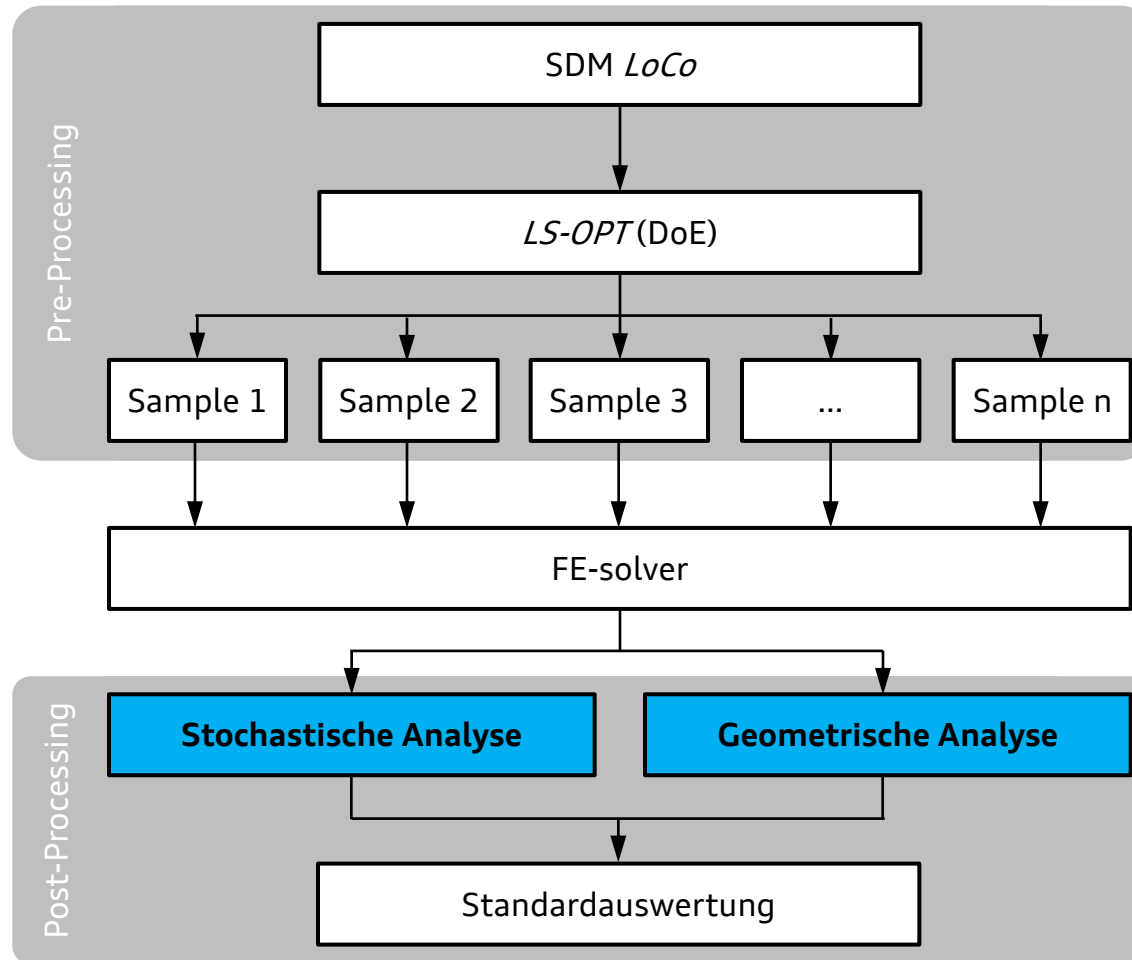
Komponentenparameter

| | |
|-----------------|--------|
| Geschwindigkeit | 1.0mm |
| Reibung | ... |
| Blechdicke | ... mm |
| Barriernhöhe | 1.4mm |
| Aufprallwinkel | |

- ▶ Erweiterung des Komponentenpools um -parameter
- ▶ Definition der Parametercharakteristik mit Hilfe statistischer Verteilungen und deren Verteilungsparameter
- ▶ DoE über Schnittstelle zwischen *LoCo* und *LS-OPT*



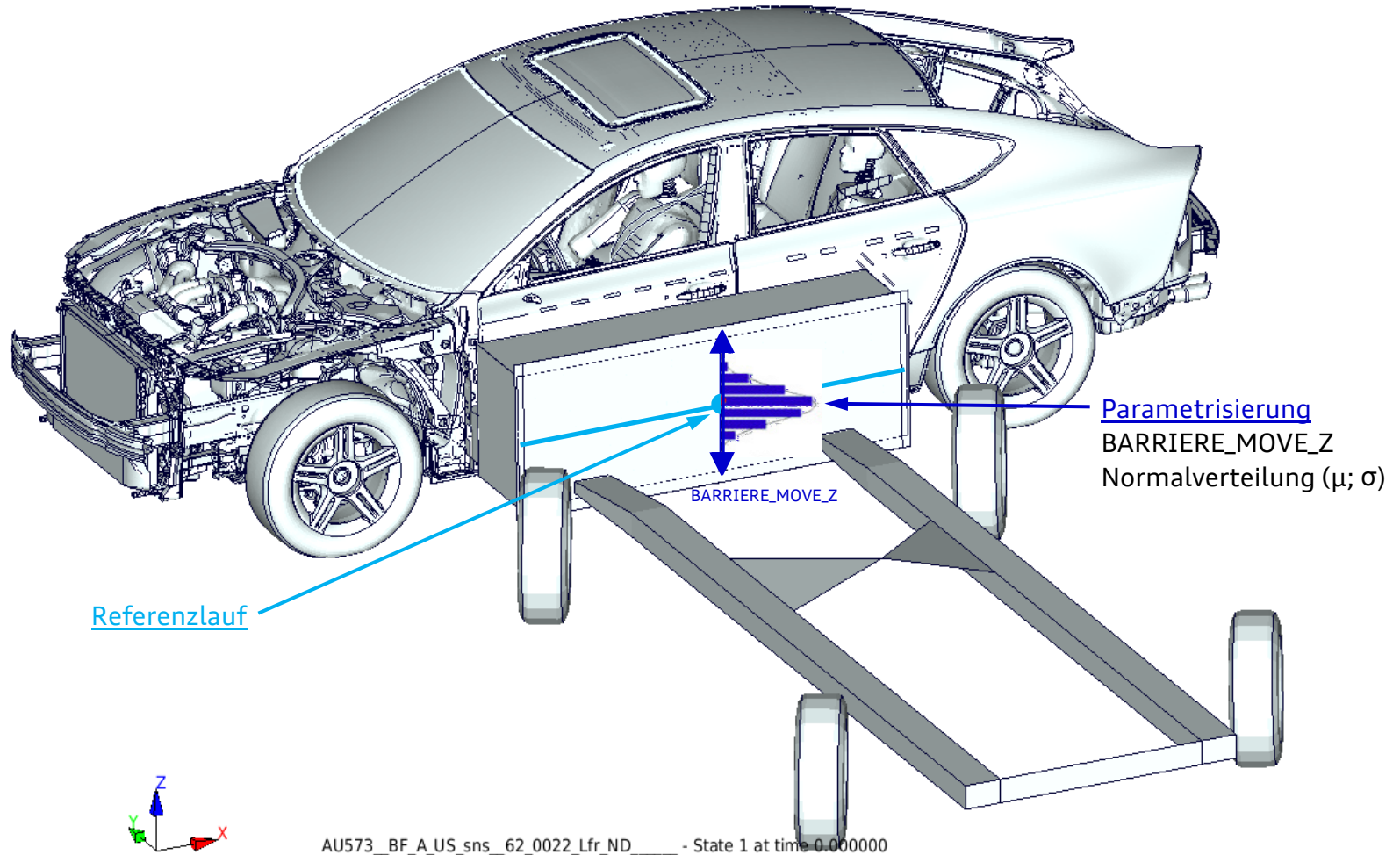
Stochastischer Prozessablauf



Anwendungsbeispiel

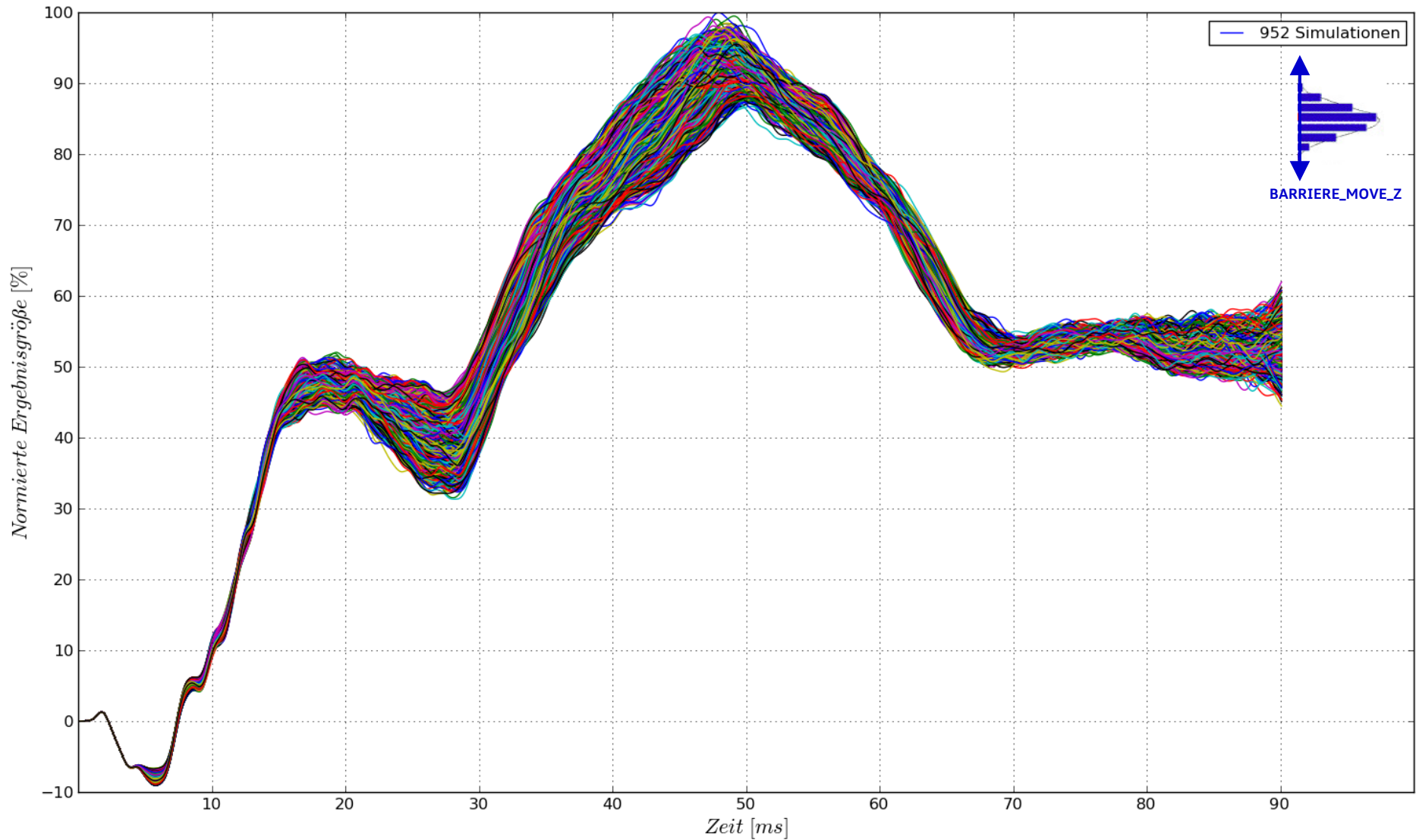
STOCHASTISCHE ANALYSE

Beschreibung Anwendungsbeispiel



Beschreibung Anwendungsbeispiel

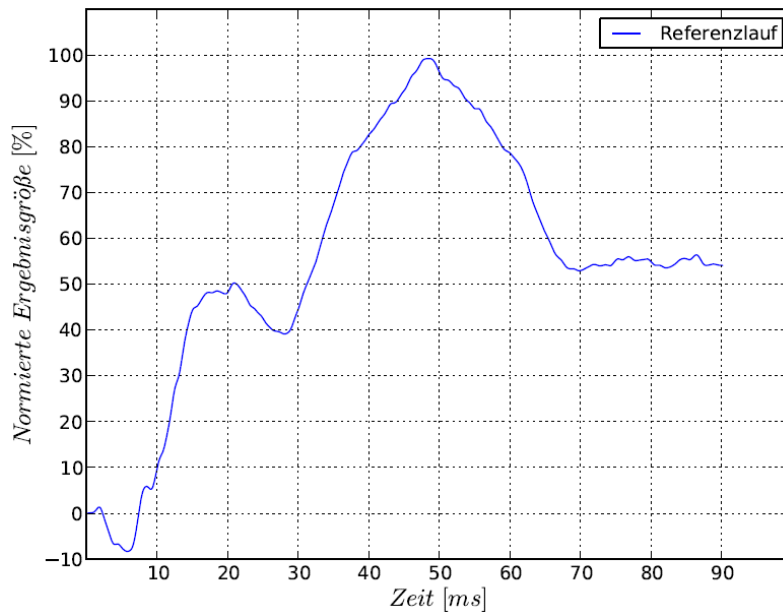
Ausgewählte Ergebnisgröße



Stochastische Analyse

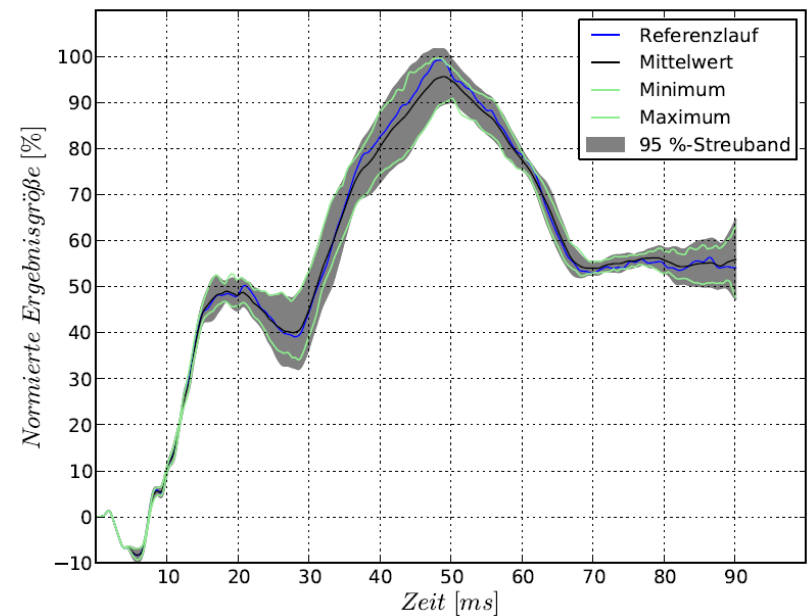
Statistische Auswertung des zeitlichen Verlaufs einer Ergebnisgröße

Deterministische Auswertung



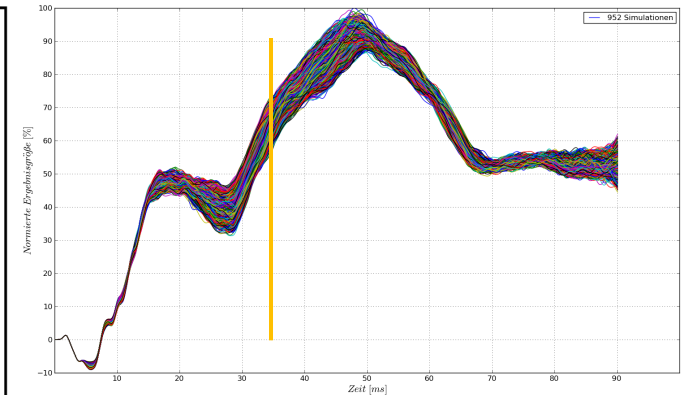
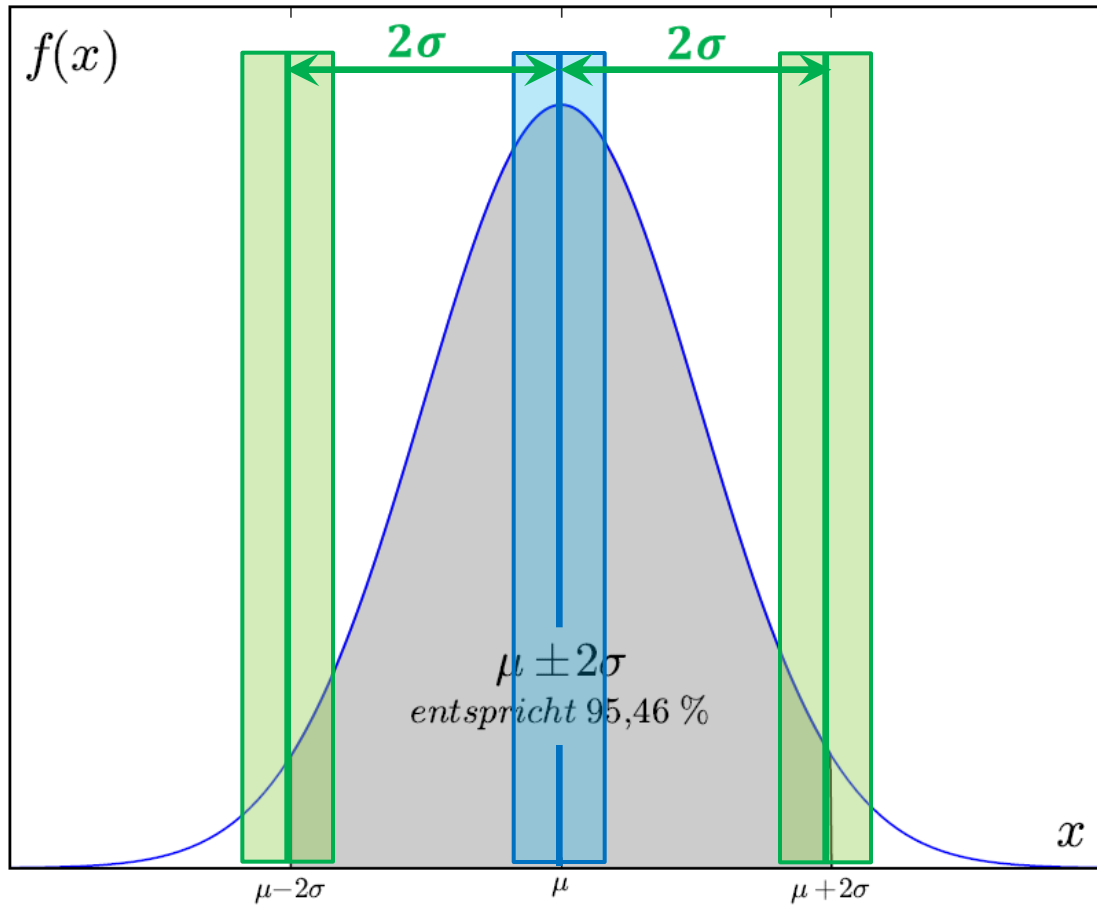
- ▶ Ergebnisse eines Simulationslaufs
- ▶ Es ist schwierig, belastbare Aussagen über die Variation einer Ergebnisgröße auf Basis einzelner Kurvenverläufe zu treffen

Stochastische Auswertung



- ▶ **Mittelwertkurve** und **Referenzlauf**
- ▶ **Grenzkurve** mit Min-/Max-Werten
- ▶ Bestimmung des **Streubandes** unter Zuhilfenahme von statistischen Methoden und unter Einbeziehung der Güte der Parameterschätzung durch Konfidenzintervalle

Normalverteilungsannahme und Güte der Parameterschätzung

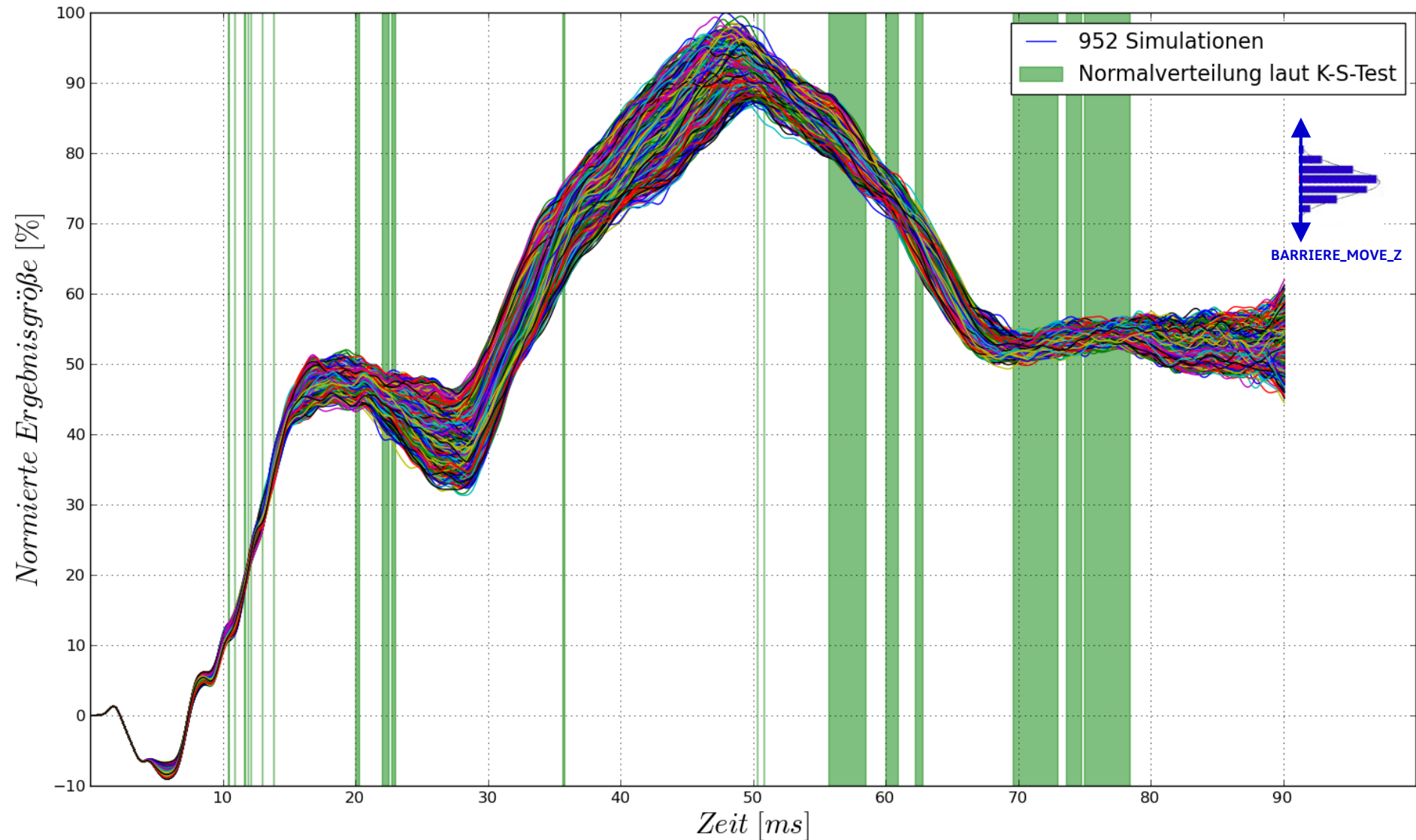


- ▶ **Normalverteilungsannahme**
 $N(\mu; \sigma)$ der Ergebnisgrößen
- ▶ **Güte der Parameterschätzung**
für Mittelwert und Standardabweichung ist abhängig vom **Stichprobenumfang**

Kolmogoroff-Smirnov-Test zur Überprüfung der **NORMALVERTEILUNGSANNAHME**

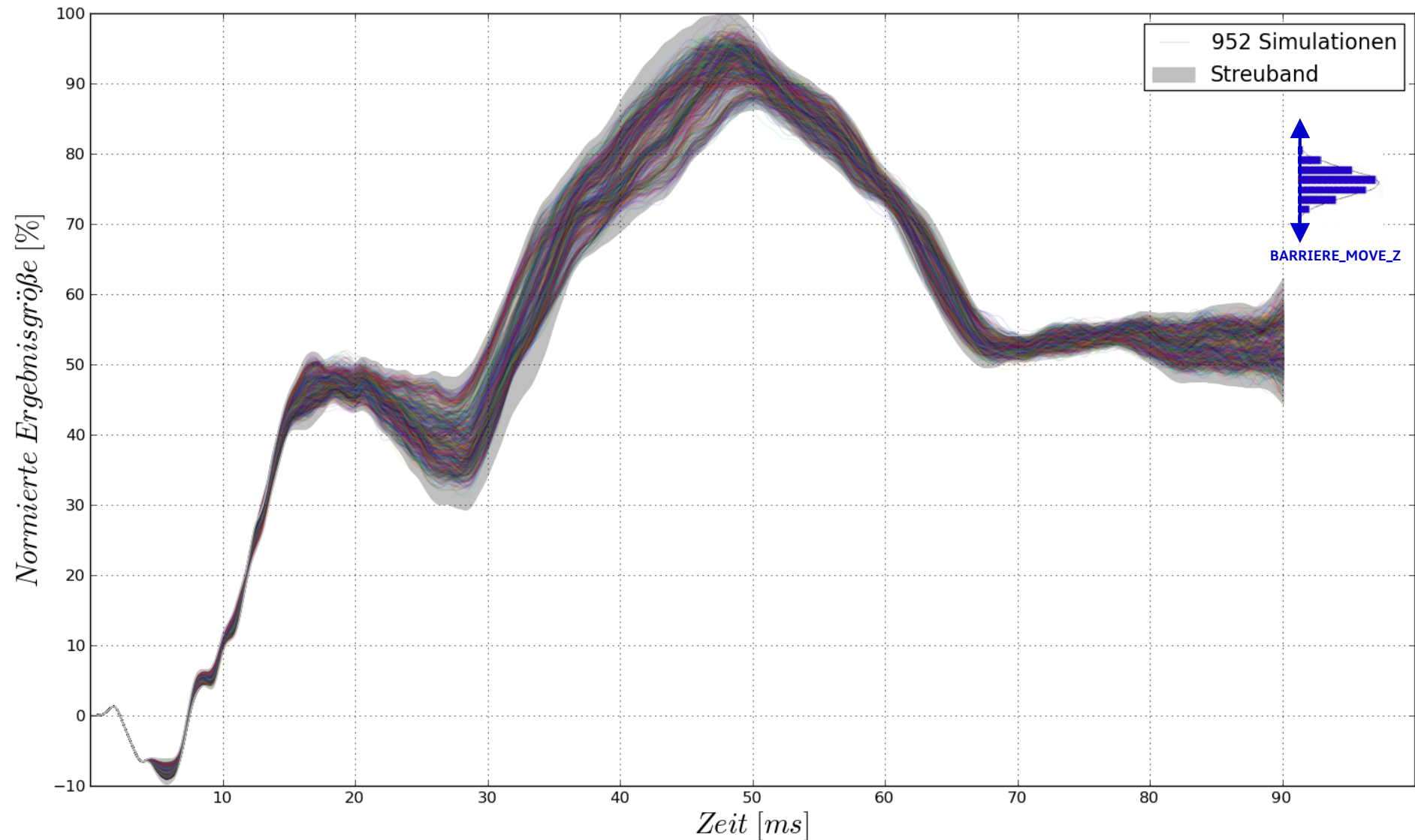
Normalverteilungsannahme – KS-Test

952 Simulationen – 95 % Aussagesicherheit des KS-Tests



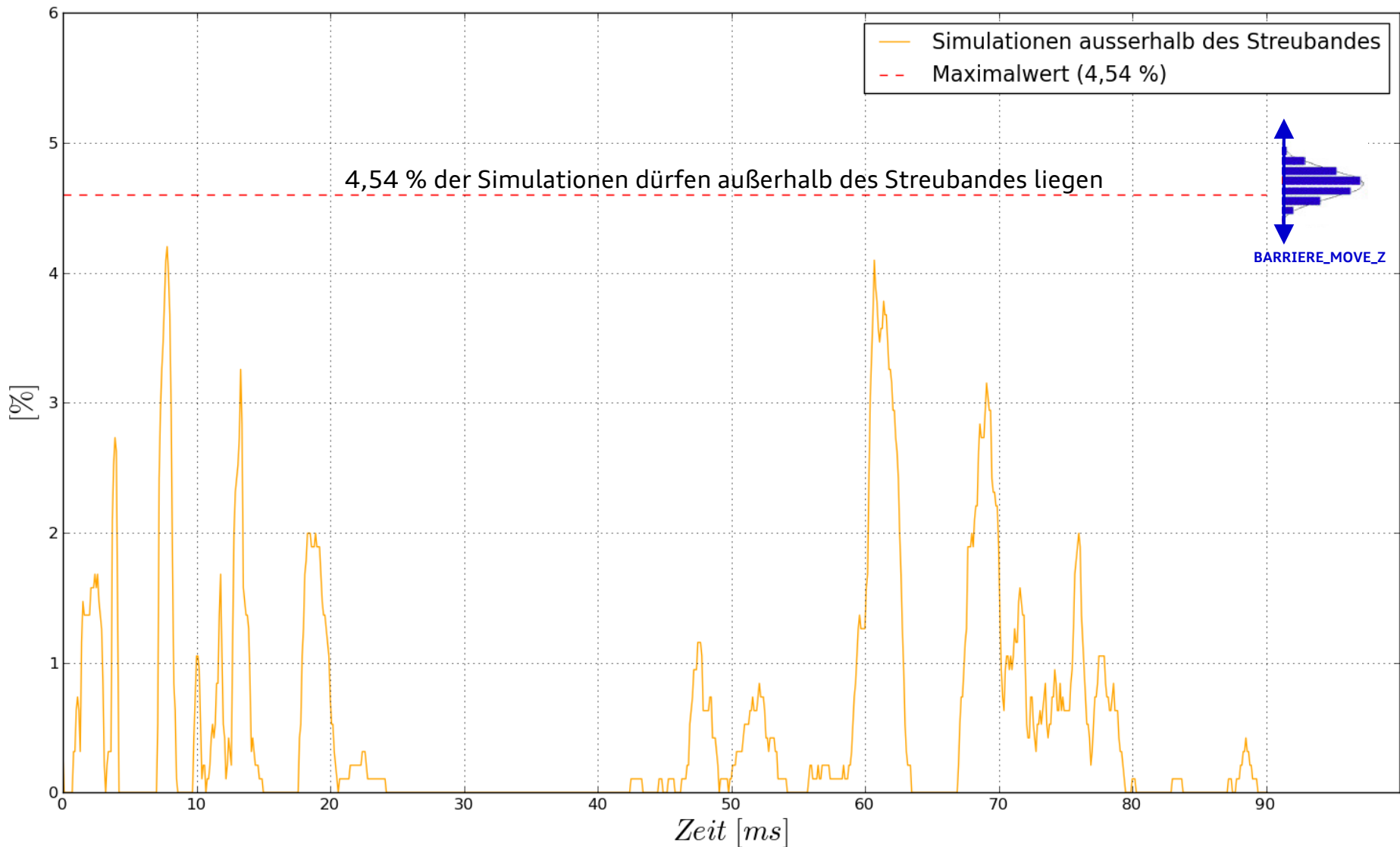
Normalverteilungsannahme – 95% Streuband

auf Basis von 30 Simulationen



Normalverteilungsannahme – 95% Streuband

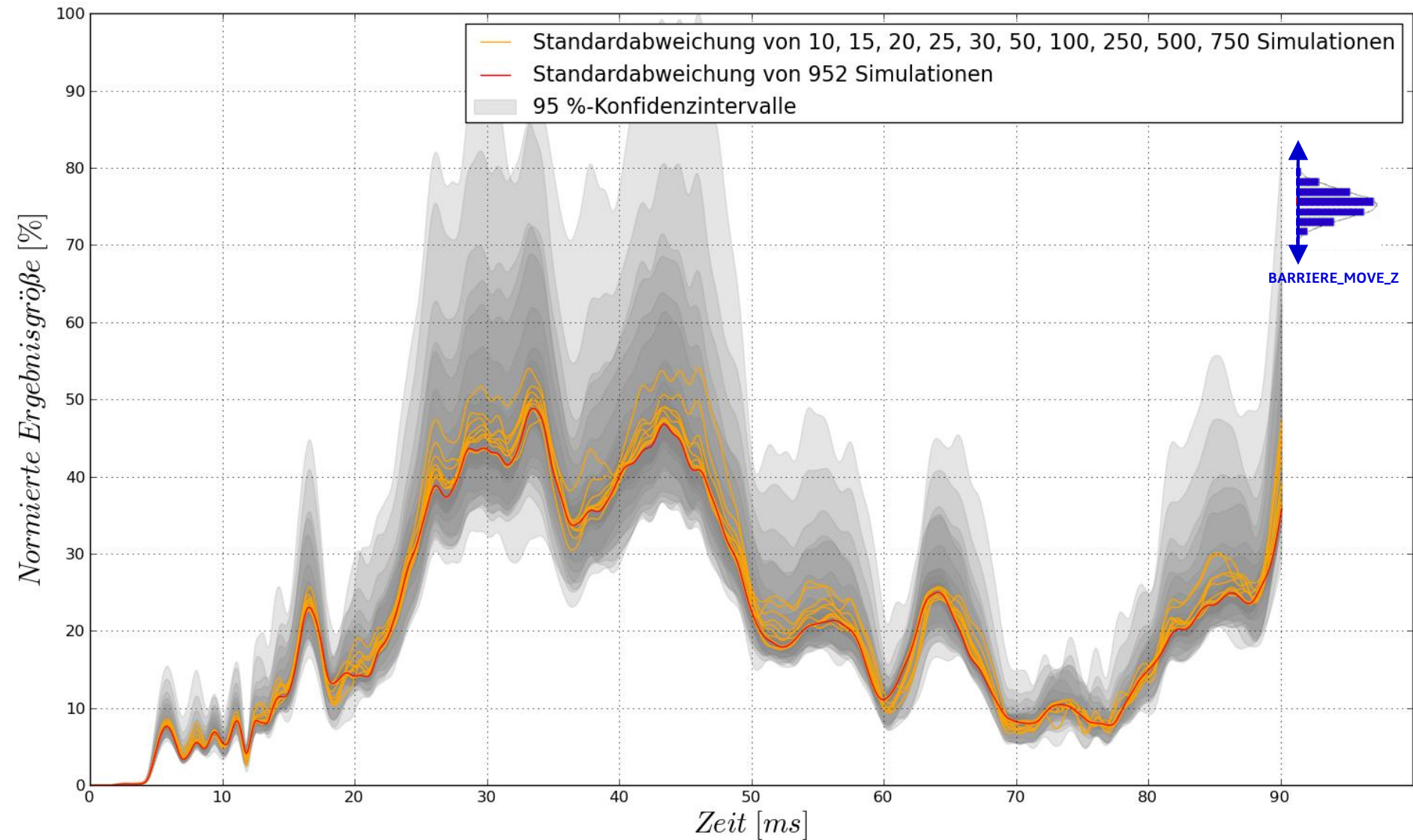
auf Basis von 30 Simulationen



Güte der Parameterschätzung

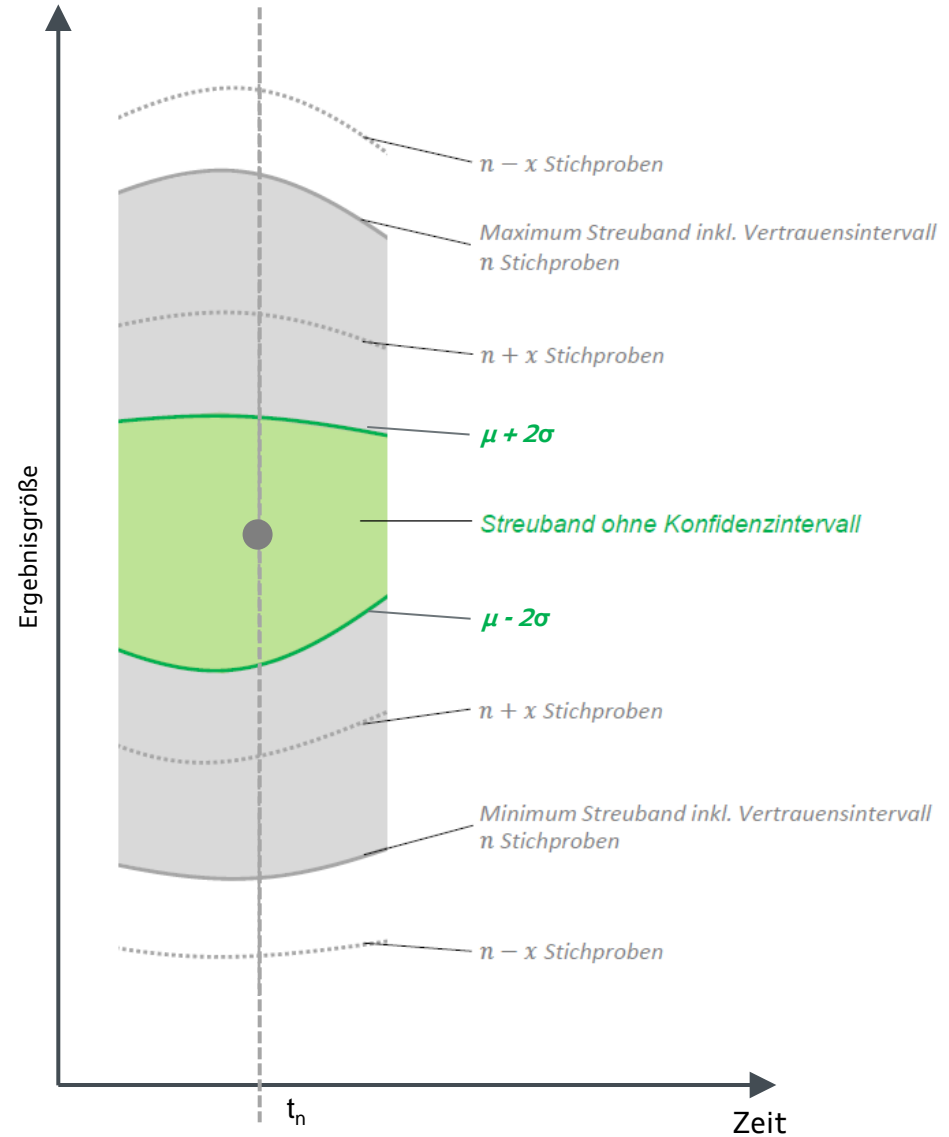
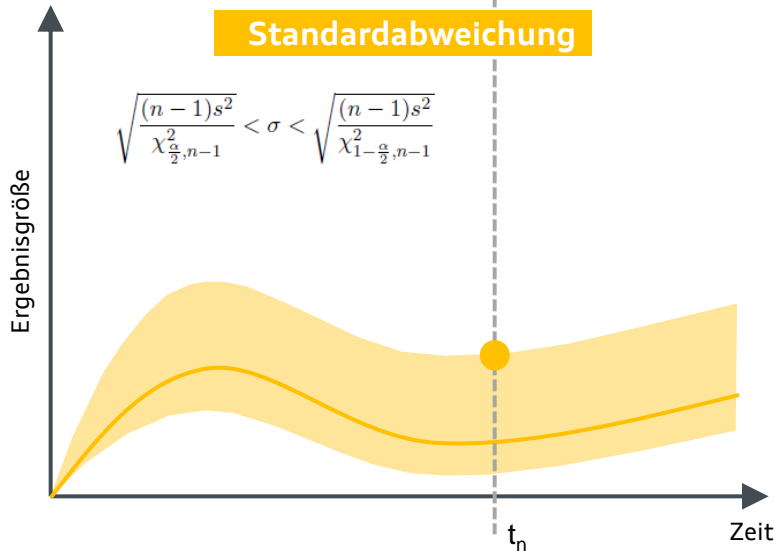
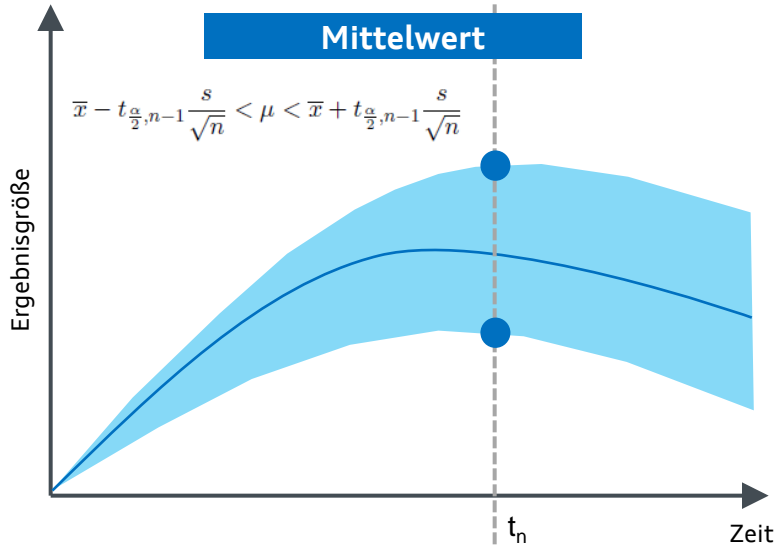
KONFIDENZINTERVALLE

Konfidenzintervalle der Standardabweichung



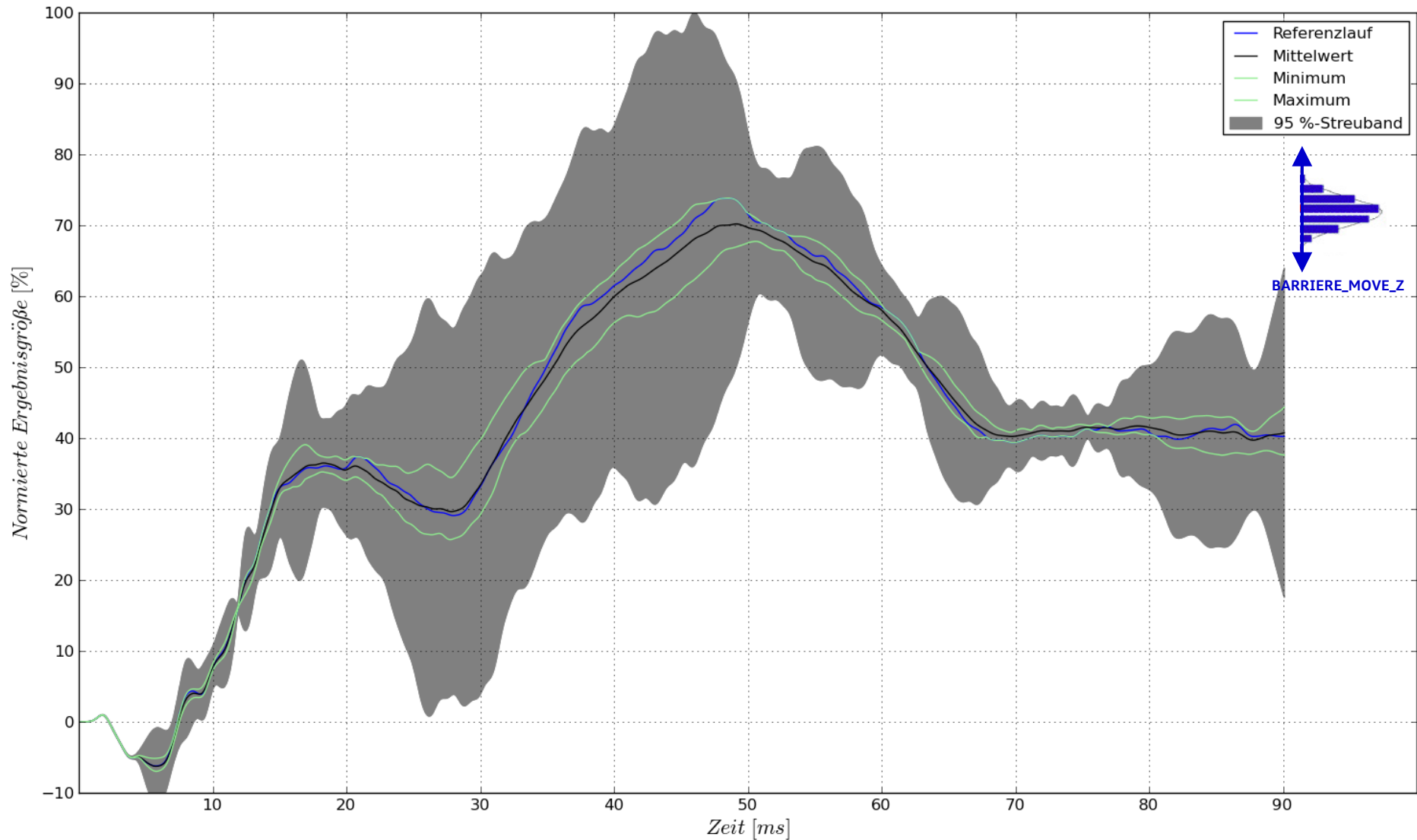
Konfidenzintervalle

Güte der Parameterschätzung für Mittelwert und Standardabweichung



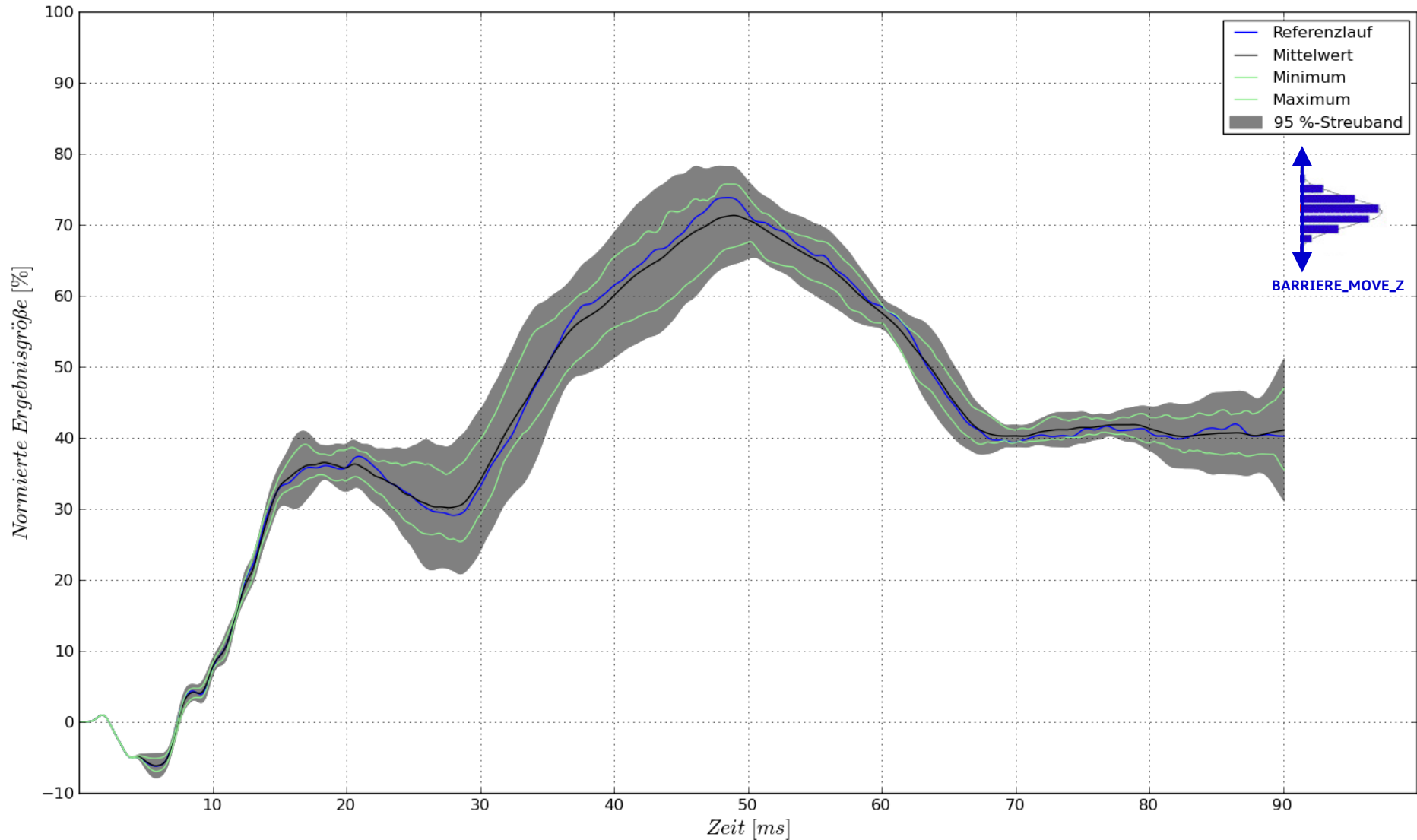
Güte der Parameterschätzung

auf Basis von 5 Simulationsläufen



Güte der Parameterschätzung

auf Basis von 30 Simulationsläufen



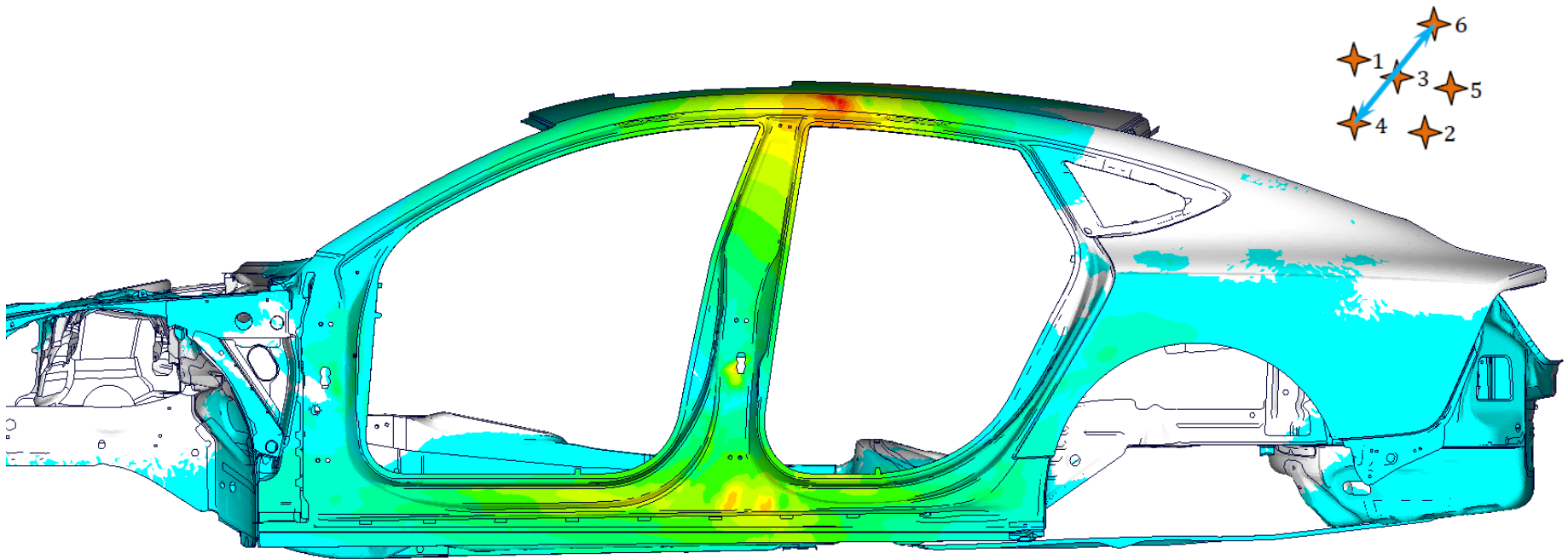
Anwendungsbeispiel

GEOMETRISCHE ANALYSE

Geometrische Analyse

Darstellung zeit- und ortsabhängiger statistischer Größen auf dem FE-Netz

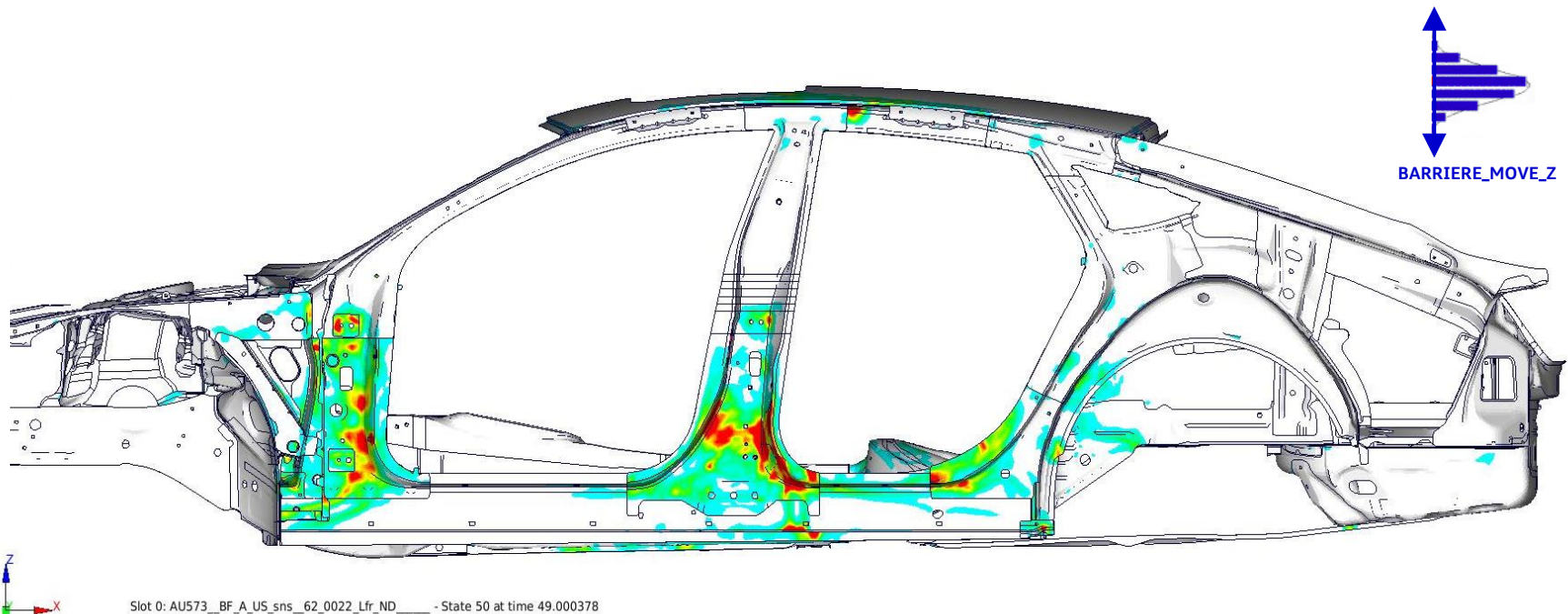
- ▶ State-of-the-art: **Verschiebungsgrößen** *(maximaler Abstand zwischen 2 FE-Knoten im 3D-Vektorraum)*
- ▶ Neu in dieser Arbeit: **weitere Kenngrößen** *(plast. Dehnungen, Spannungen, Thinning etc.)*



Anwendungsbeispiel zur geometrischen Analyse

Schätzung des Mittelwertes (inkl. KI) der plast. Dehnungen*

KI = Konfidenzintervalle

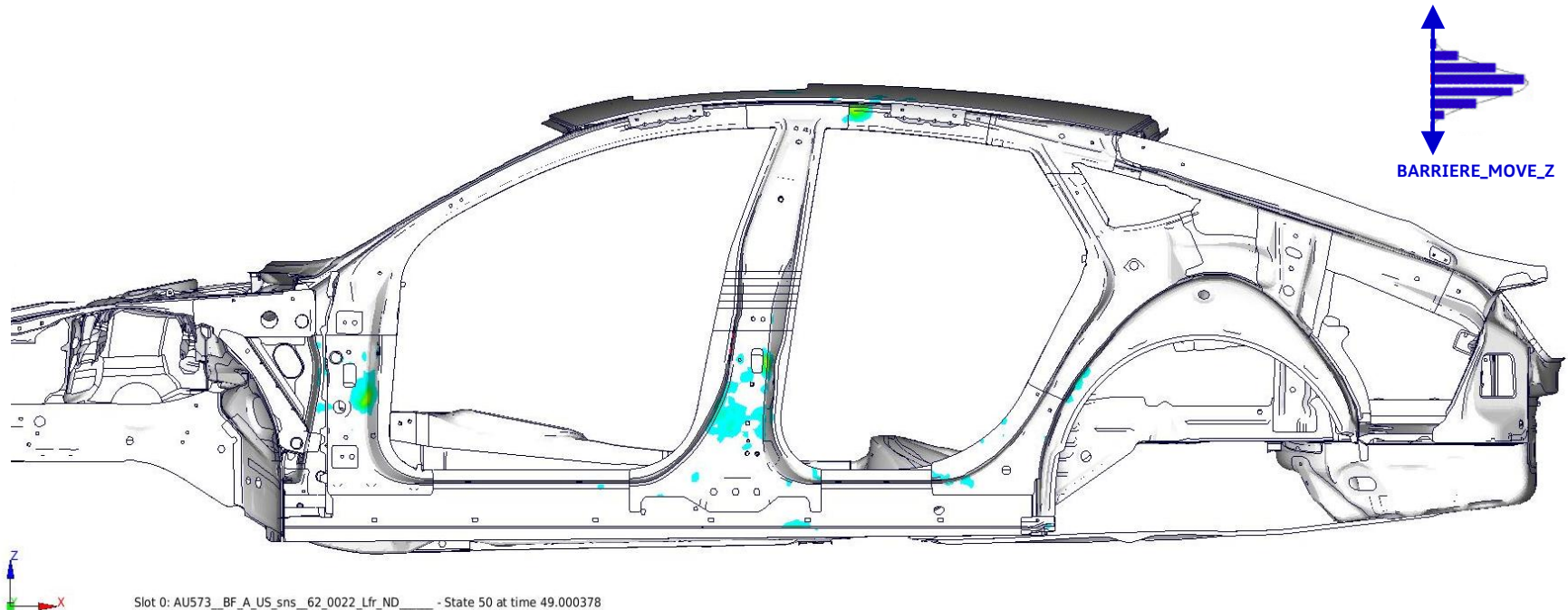


* 30 DSY-Dateien, BARRIERE_MOVE_Z, 49 ms

Anwendungsbeispiel zur geometrischen Analyse

Schätzung der Standardabweichung (inkl. KI) der plast. Dehnungen*

KI = Konfidenzintervalle

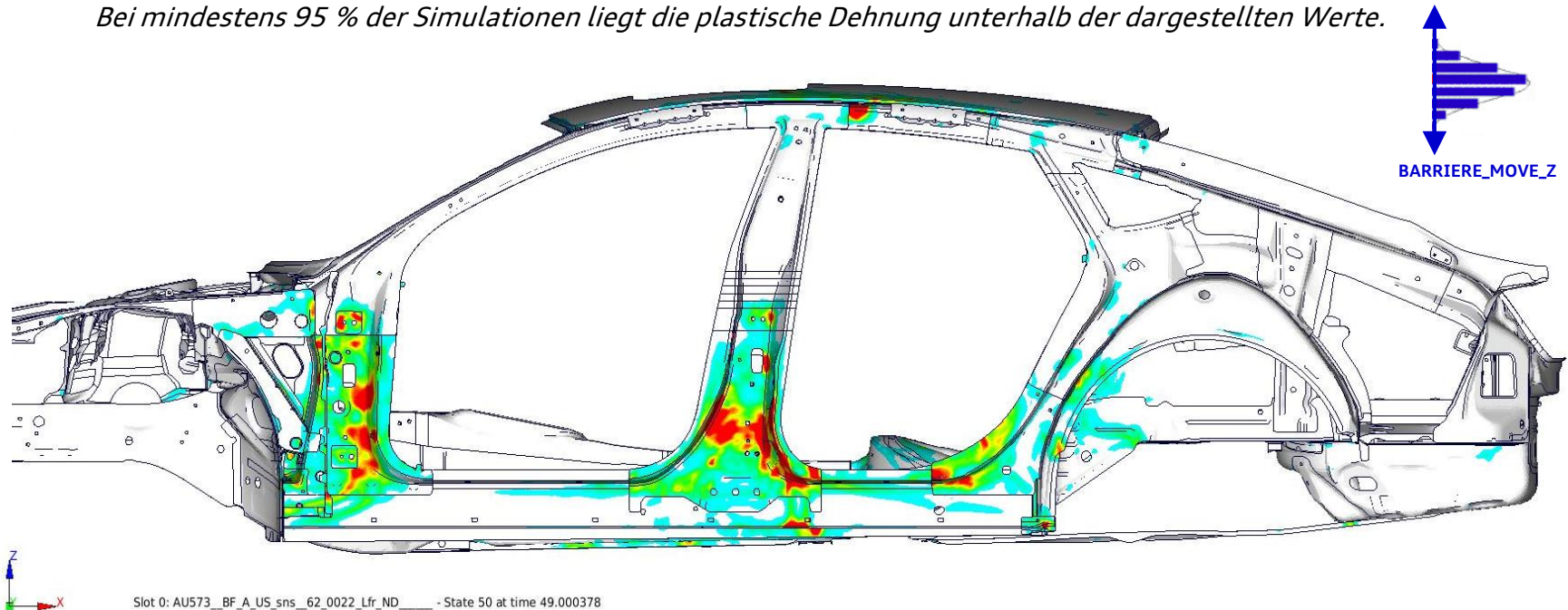


* 30 DSY-Dateien, BARRIERE_MOVE_Z, 49 ms

Anwendungsbeispiel zur geometrischen Analyse

Obere Grenze des Streubandes der plast. Dehnungen*

Bei mindestens 95 % der Simulationen liegt die plastische Dehnung unterhalb der dargestellten Werte.



* 30 DSY-Dateien, BARRIERE_MOVE_Z, 49 ms

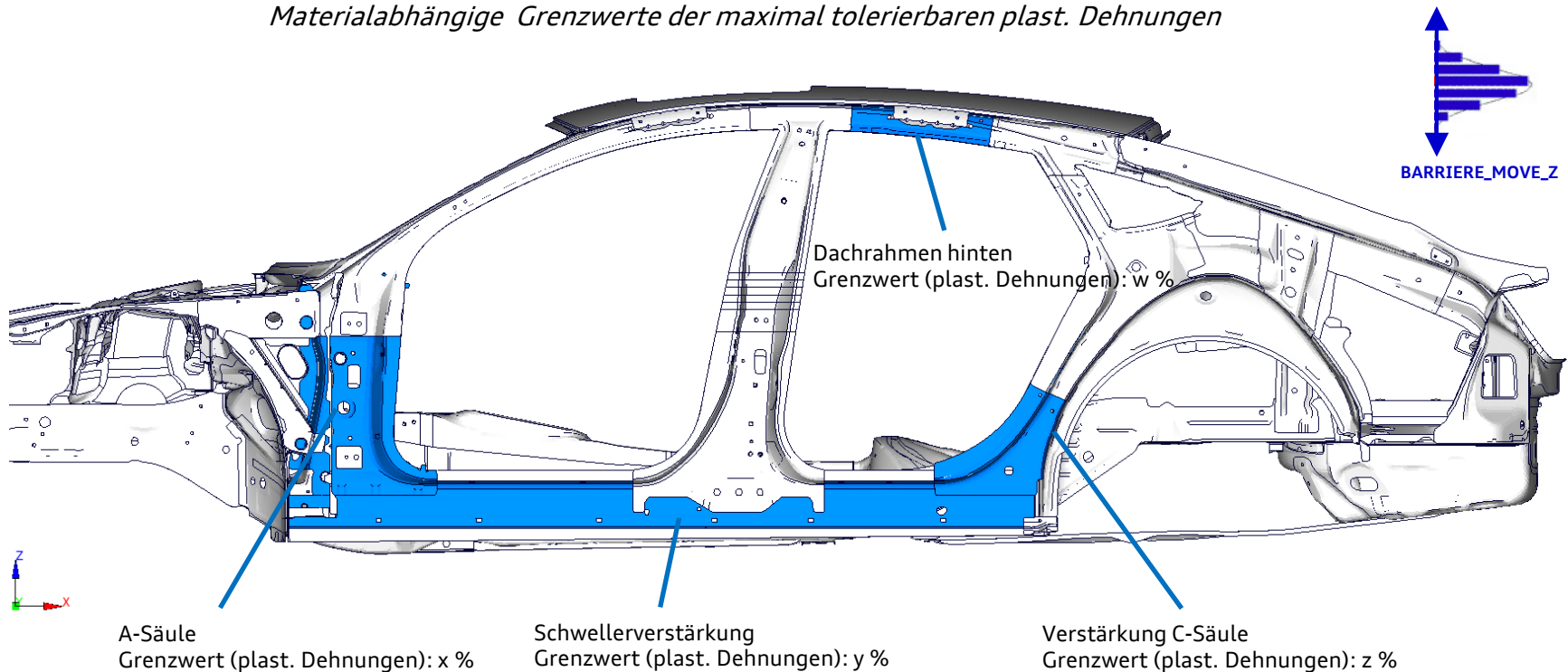
Anwendungsbeispiel zur geometrischen Analyse

Ziel: Automatische Identifikation von kritischen Bereichen hinsichtlich der materialabhängigen Grenzwerte der plastischen Dehnung.

Anwendungsbeispiel zur geometrischen Analyse

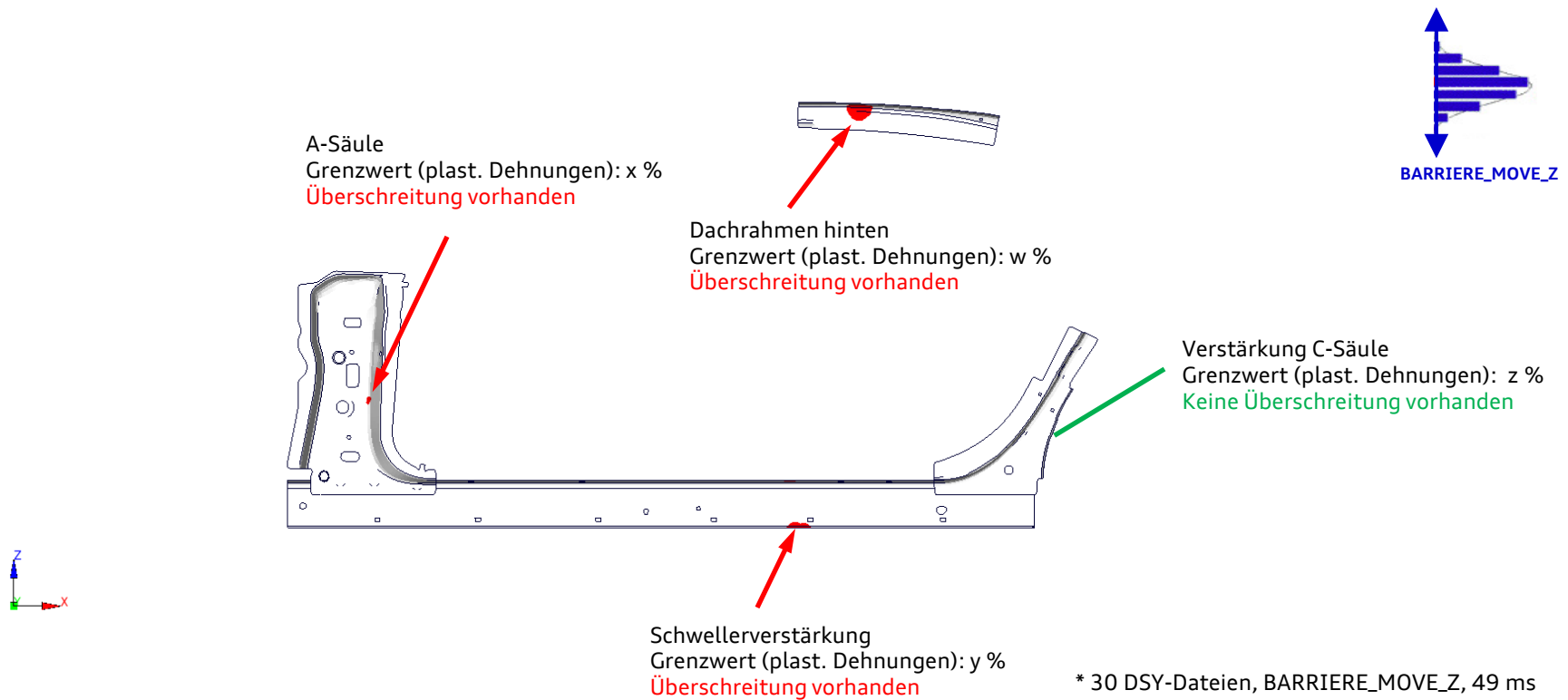
4 ausgewählte Bauteile mit materialabhängigen Grenzwerten der plast. Dehnung

Materialabhängige Grenzwerte der maximal tolerierbaren plast. Dehnungen



Anwendungsbeispiel zur geometrischen Analyse

Identifikation von kritischen Bereichen bezüglich der plast. Dehnung*



- ▶ Aussagen zur Robustheit **nur in Relation zu anderen Beobachtungen** möglich.
- ▶ **Vollautomatisierter und standardisierter Prozess** zur Durchführung einer Robustheitsuntersuchung.
- ▶ SDM-System **LoCo als Ausgangspunkt** zur Durchführung einer Robustheitsstudie.
- ▶ Automatisierter Aufbau der **DoE-Studie in LS-OPT**.
- ▶ **Kleine Stichprobenumfänge** werden über den Einfluss der **Konfidenzintervalle** berücksichtigt.
- ▶ **Geometrische Analyse** ermöglicht Aussagen zur Robustheit auf dem gesamten FE-Modell.



Vielen Dank.

Daniel Weigert (I/EK-14)

extern.daniel1.weigert@audi.de