DaimlerChrysler

Robustheitsuntersuchung am Beispiel der rechnerischen Simulation der ECE-R14

alt

1. Vergleich der Methoden
   - Reine Monte-Carlo-Analyse
   - Ersatzflächenbasierte Monte-Carlo-Analyse
2. Restriktionen nach ECE-R14
3. FEM-Modell
4. Bauteile/ Parameter
5. Anwendung beider Methoden auf ECE-R14
6. Auswertung:
   - Verteilung von Parametern und Systemantworten
   - Histogramme der Systemantworten
   - Abgeleitete Größen
   - Parametereinflüsse
7. Qualität der Vertrauensintervalle: Konvergenz
8. Allgemeines zu Vertrauensintervallen
9. Zusammenfassung

. Reine Monte-Carlo-Analyse

Grundlagen:

- Untersuchtes System ist abhängig von *Parametern*
- Basiert auf *Statistik*: Auswahl möglichst vieler statistisch verteilter Parameterwerte
- Kombination der Parameterwerte zu Experimenten = *Stichproben*
- Auswertung der Experimente

System

Ausgabe:

- Statistische Verteilung der Systemantworten:
  - Form
  - Mittelwert
  - Standardabweichung
  - Versagenswahrscheinlichkeit
- Parametereinfluss: *Korrelationskoeffizienten*

inkl. *Vertrauensintervallen* au
statistischen Betrachtungen
modellunabhängig

2.1. Ersatzflächenbasierte Monte-Carlo-Analyse

<u>Grundlagen:</u>

- Zunächst keine Statistik, stattdessen *Regressionsanalyse*
- Approximation der Systemantwort über Regression ➔ Ersatzfläche
- Ersatzflächentypen:
  - Polynome, z. B. linear, quadratisch, kubisch, mit/ ohne gemischte Glieder
  - Neuronale Netzwerke
  - Kriging
- Typ der Ersatzfläche abhängig von Anzahl und Auswahl der Parameterkombinationen = Stützstellen
- Durchführung *sehr vieler* Monte-Carlo-Experimente auf Ersatzfläche
- Ziel: Weniger Simulationen durch „intelligente“/ strukturierte Stützstellenauswahl
  ➔ Gefahr: Schlechte bzw. ungeeignete Approximation verfälscht Ergebnis

.2. Ersatzflächenbasierte Monte-Carlo-Analyse

Ausgabe:

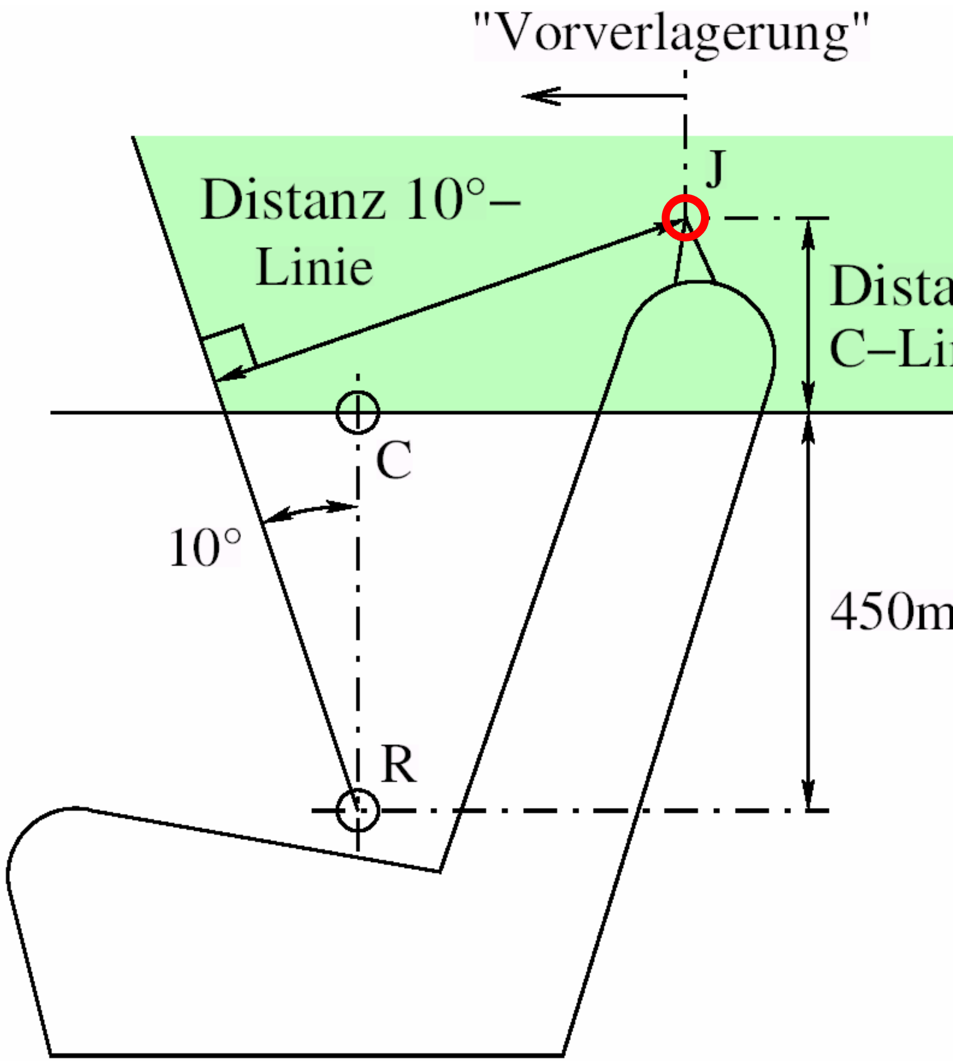
- Im Prinzip wie reine Monte-Carlo-Analyse
- Zusätzlich *Regressionskoeffizienten* für die Untersuchung des Parametereinflusse
- Nahezu beliebig viele Experimente auf Ersatzfläche auswertbar
  ➔ beliebig exakte Bestimmung von
    - Versagenswahrscheinlichkeit
    - Mittelwert
    - Standardabweichung
    - Korrelationskoeffizienten

  Statistik-basierte Vertrauensintervalle überflüssig!
  ➔ *Fehler liegt bei Regression*
- Vertrauensintervalle auf Basis des Regressionsfehlers nur für Regressionskoeffizienten sinnvoll

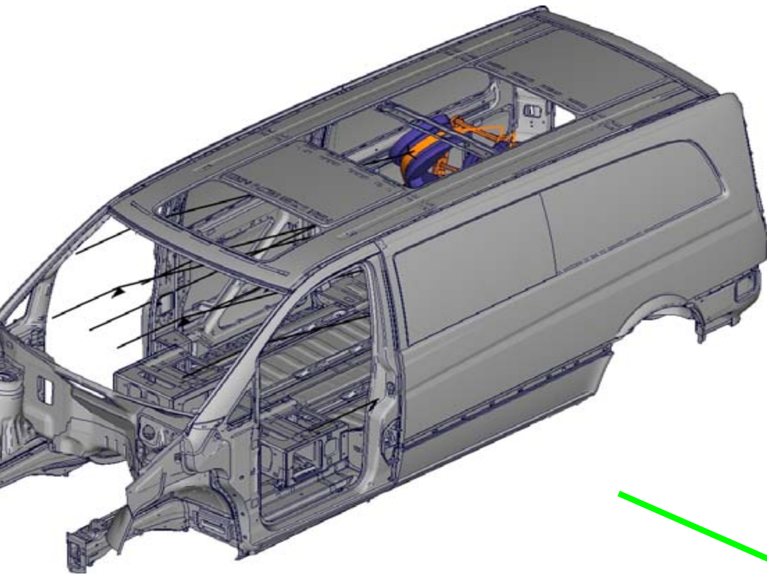
Restriktionen nach ECE-R14

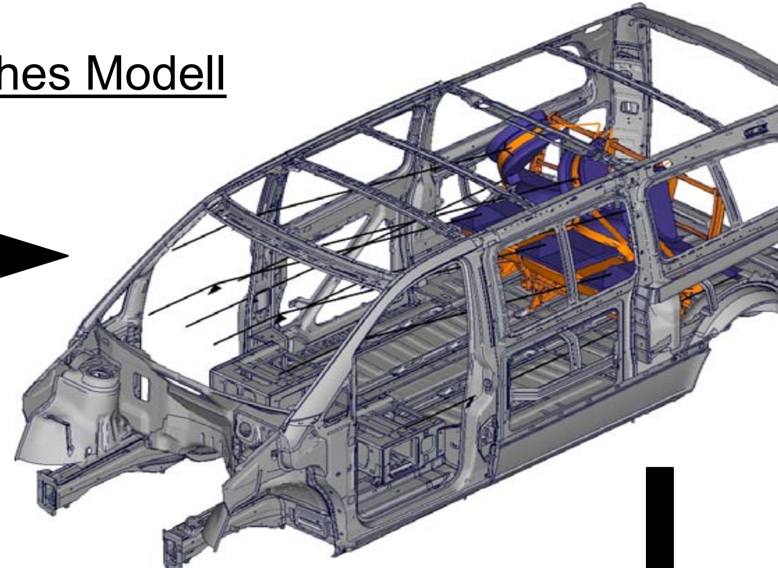
Prüfungsvorschrift für <u>Sitze</u>
Lastaufbringung quasistatisch
Lastniveau zusätzlich erhöht
➔ verschärfte Prüfungsbedingungen
➔ häufigeres Versagen zu erwarten
Berechnung mit LS-DYNA in stark verkürztem Zeitintervall
Geometrische Restriktionen an Gurtumlenker J
- Distanz 10°-Linie
- Distanz C-Linie

➔ 2 Antworten



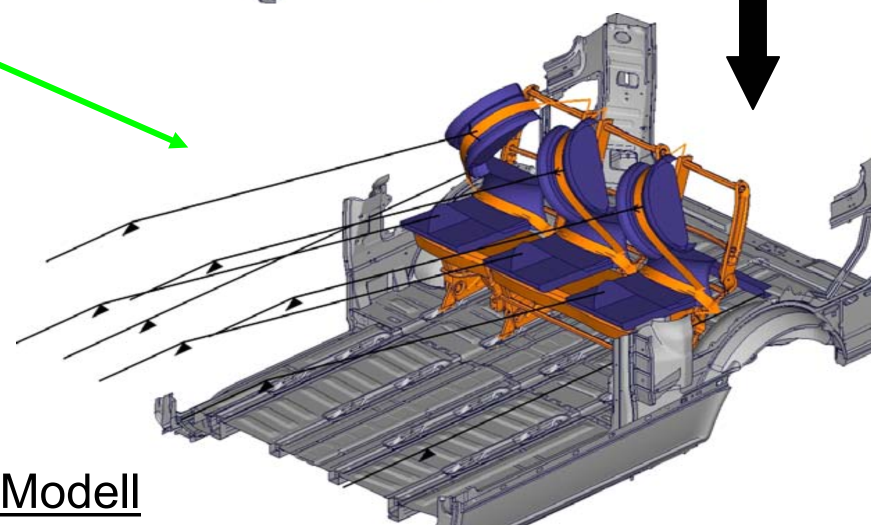
FEM-Modell





Ursprüngliches Modell

Randbedingungen aus einmaliger Gesamtrechnung fest vorgeschrieben



Ausgeschnittenes/ reduziertes Modell

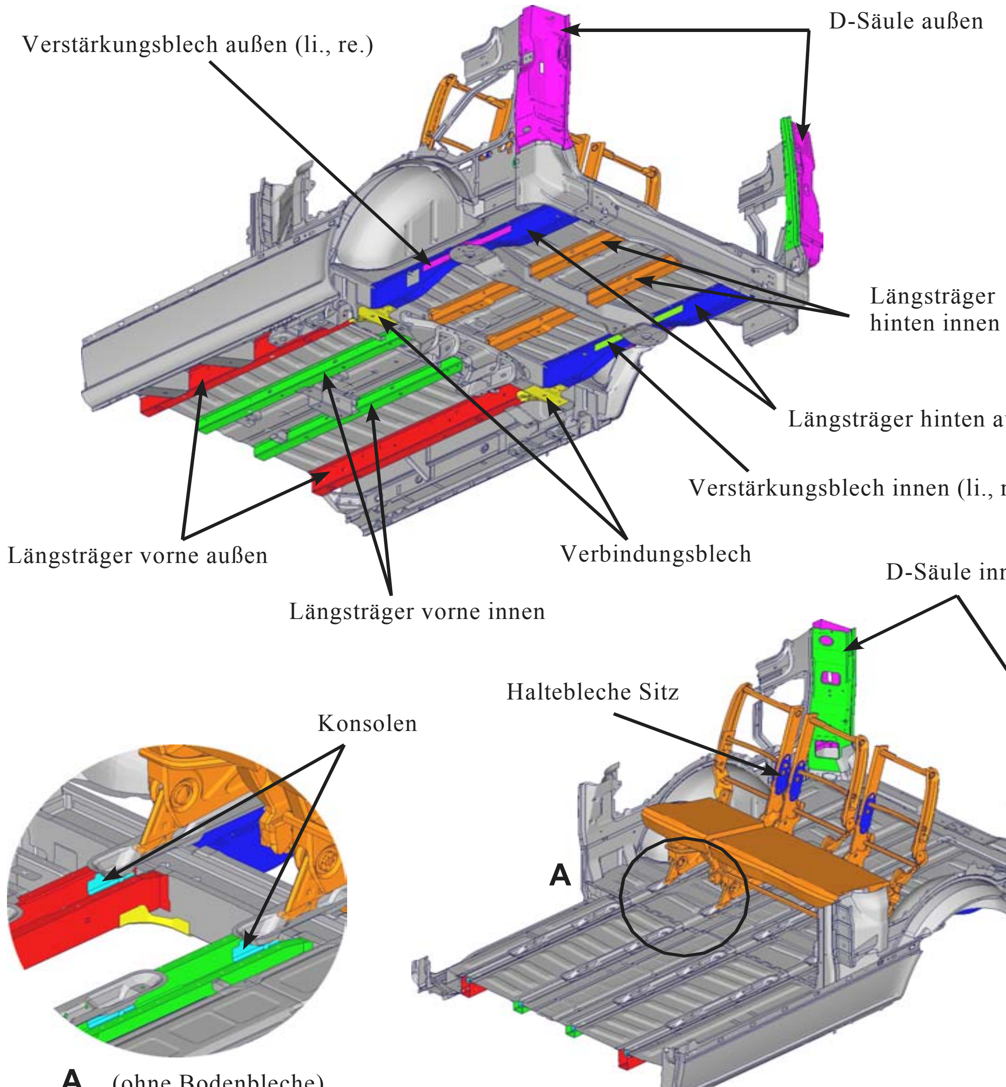
Bauteile/ Parameter

➔ 20 separate Bauteile

Parameter:

- Zugkraft (deutlich überhöht)
- E-Modul (alle Bauteile simultan)
- Reibung (alle Bauteile simultan)
- Wandstärken (20 x) „WS“
- Werkstoff: Skalierung der Fliesskurve (20 x) „FG“ (Fliessgrenze)

➔ 43 Parameter



Anwendung beider Methoden auf ECE-R14

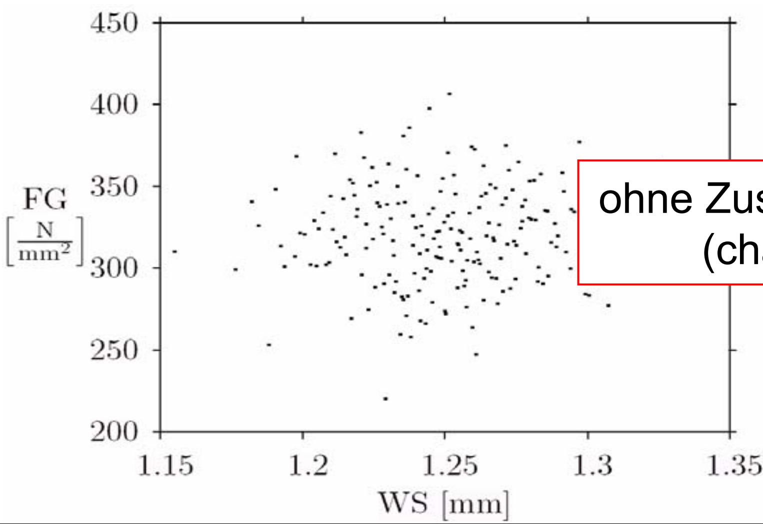
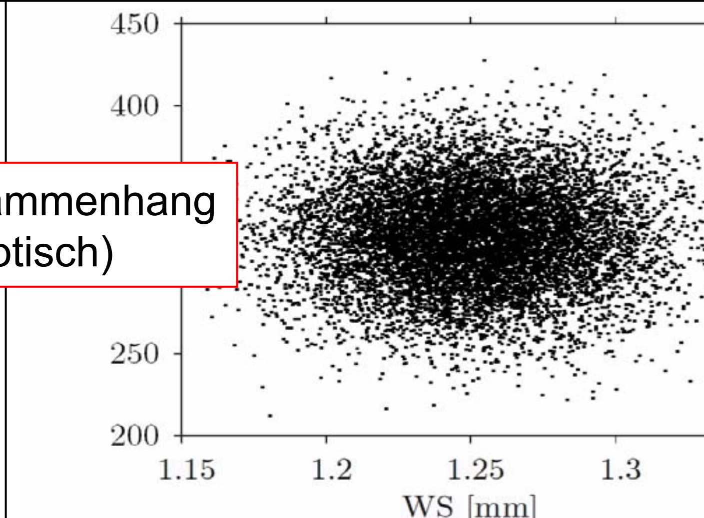
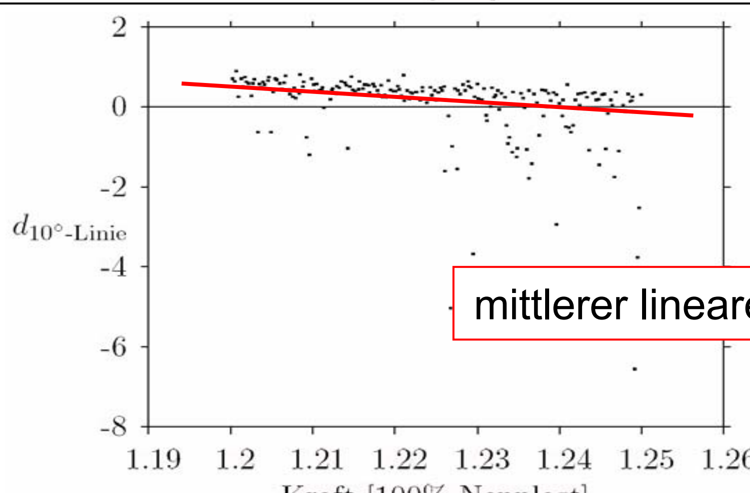
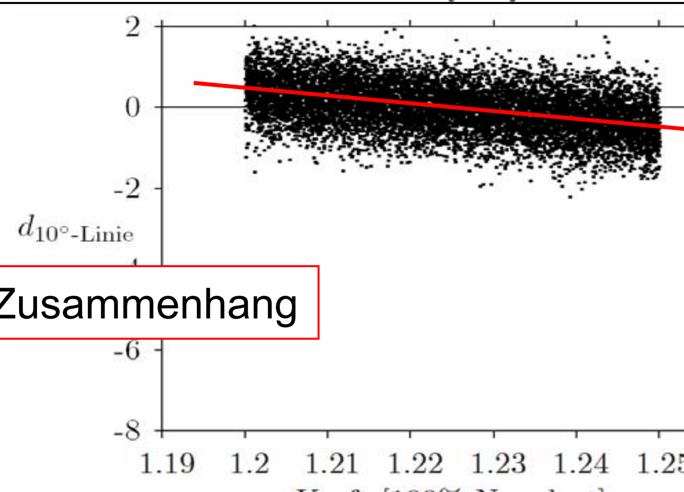
Reine Monte-Carlo-Analyse:

- 200 Experimente
- Latin Hypercube Sampling (teilstrukturierte Verteilung der Experimente)

Ersatzflächenbasierte Monte-Carlo-Analyse:

- Lineare Ersatzfläche und ohne gemischte Terme
- Globale Approximation
- 90 Stützstellen (● 100% Oversampling, bei 43 Parametern)
  - D-Optimales Design
  - Aus 10000 Punkte Space-Filling Auswahlset
- 10000 Experimente für Auswertung auf Ersatzfläche
- Latin Hypercube Sampling

. Verteilung von Parametern und Systemantworten (Beispiele)

	Reine MCA.	Ersatzflächenbas. MCA.
ameter – ameter		
ameter – temantwort		

ohne Zusammenhang (chaotisch)

mittlerer linearer Zusammenhang

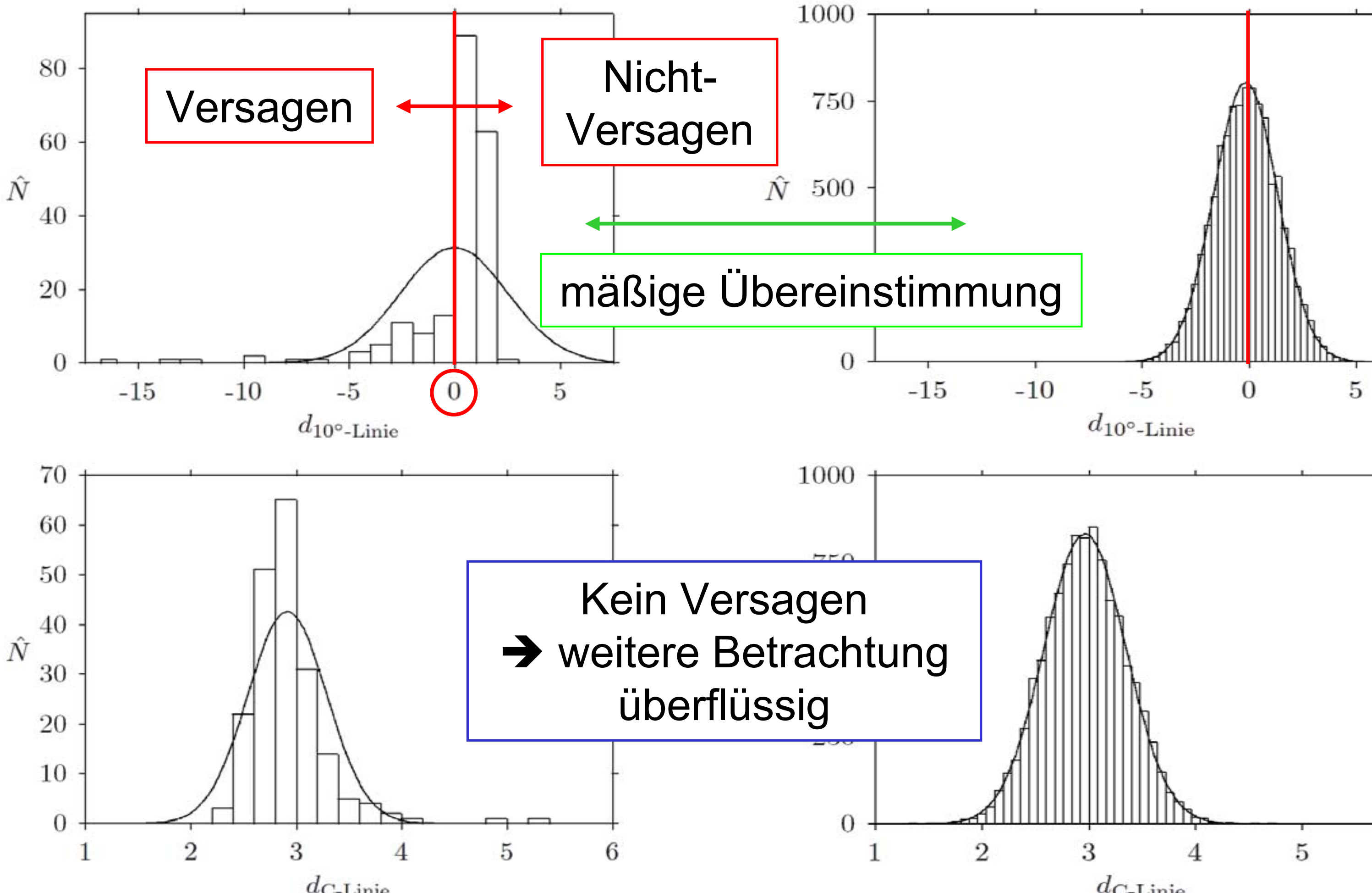
2. Histogramme der Systemantworten

Reine MCA.

Ersatzflächenbas. MCA.

anz 10°-Linie

anz C-Linie



3. Abgeleitete Größen

<u>Reine Monte-Carlo-Analyse:</u>

Versagenswahrscheinlichkeit:

- Most-Likelihood-Schätzung
- Vertrauensintervall:
  abgeleitet aus *Binomialverteilung*
  für große $P \cdot N > 10$ und $(1-P)N > 10$
  darstellbar über Normalverteilung (erfüllt)

$$P = \frac{\text{Anzahl Versagen}}{\text{Anzahl Stichproben}} = \frac{K}{N}$$

$$w_{\mathrm{B}} = \binom{N}{K} P^{K} (1-P)^{N-K}$$

Mittelwerte und Standardabweichungen der Systemantworten

Vertrauensintervalle:

Annahme einer bestimmten Verteilung notwendig, i. d. R. *Normalverteilung*
➔ hier nicht optimal

<u>Ersatzflächenbasierte Monte-Carlo-Analyse:</u>

Wie zuvor, jedoch *ohne* Statistik-basierte Vertrauensintervalle (beliebig viele Experimente, Regressionsfehler überwiegt)

.1. Parametereinflüsse

anz 10°-Linie

Rot: Vertrauensintervall

blau: Koeffizient nicht 0

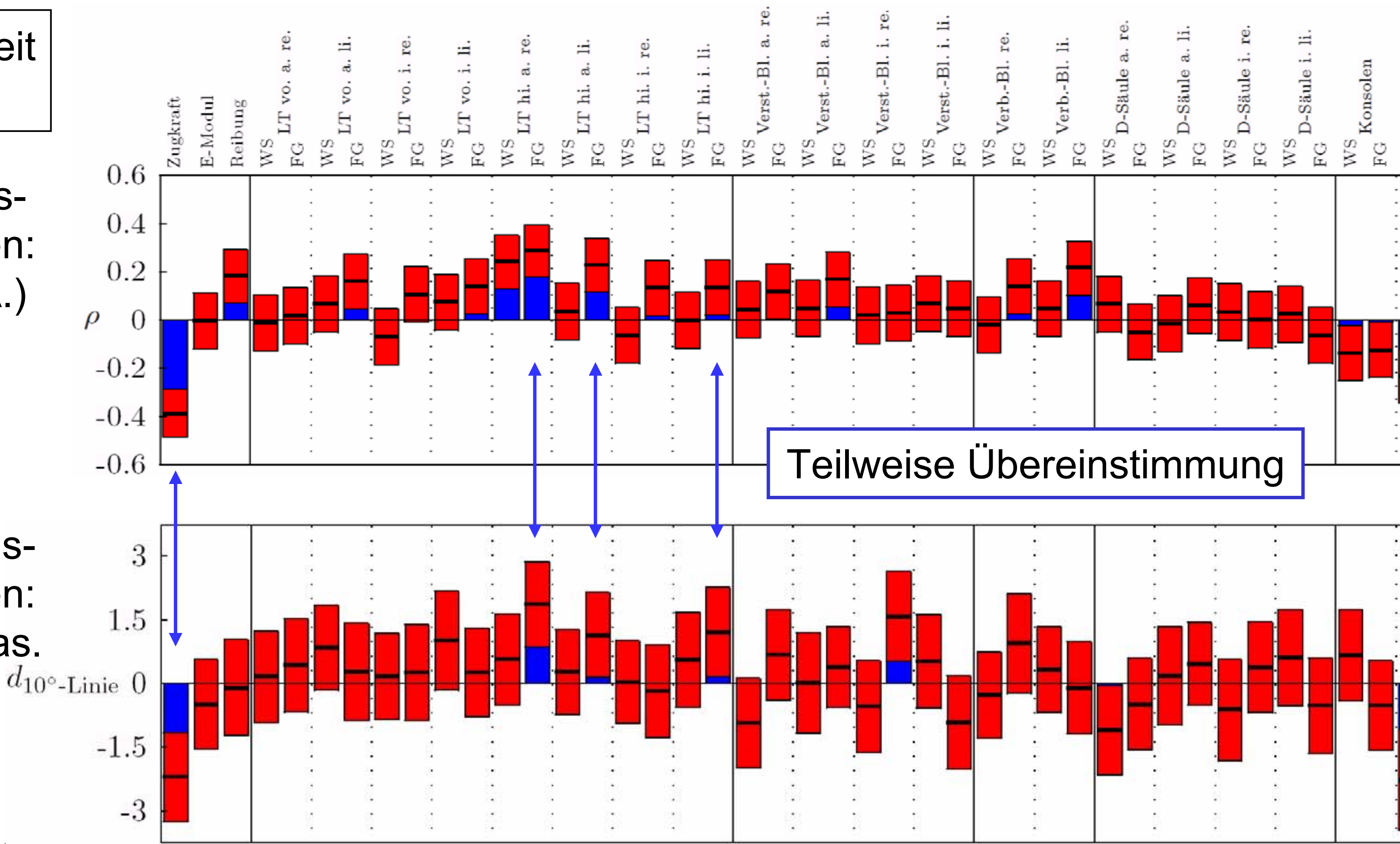
◆ „Signifikanz

sicherheit

$\alpha = 10\%$

relations-
ffizienten:
ne MCA.)

gressions-
ffizienten:
atzfl.-bas.
A.)



.2. Parametereinflüsse

anz C-Linie

Rot: Vertrauensintervall

blau: Koeffizient nicht 0

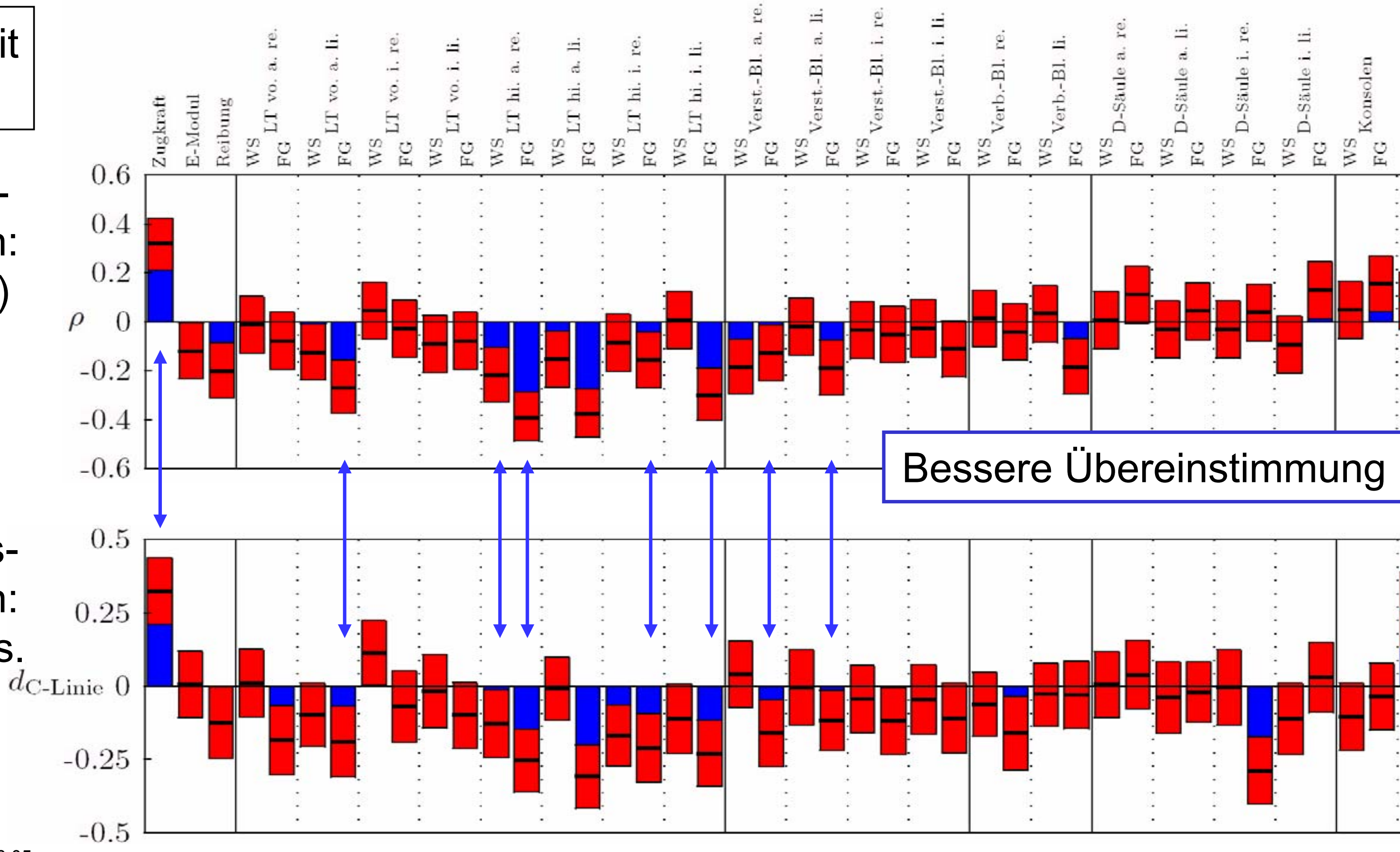
◆ „Signifikanz

sicherheit

$\alpha = 10\%$

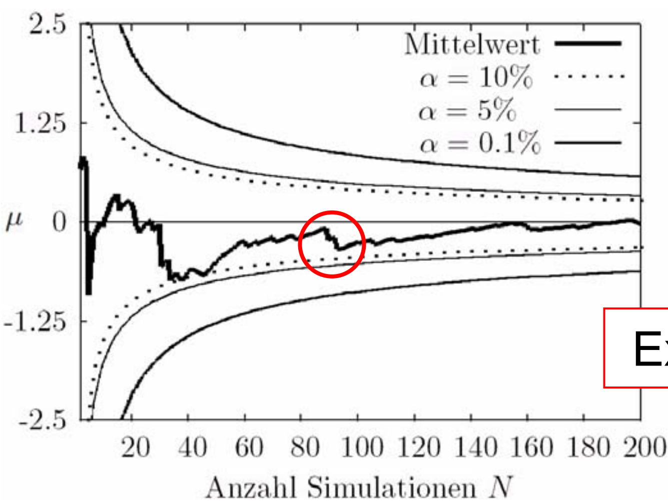
relations-
ffizienten:
ne MCA.)

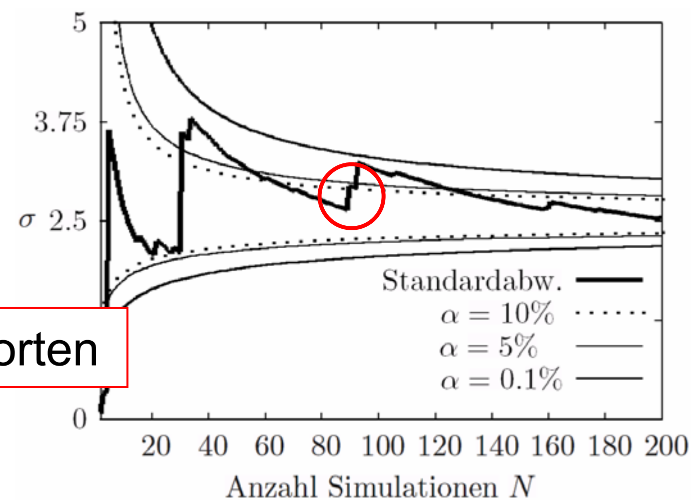
gressions-
ffizienten:
atzfl.-bas.
A.)



Qualität der Vertrauensintervalle: Konvergenz

anz 10°-Linie (Beispiele, reine Monte-Carlo-Analyse)

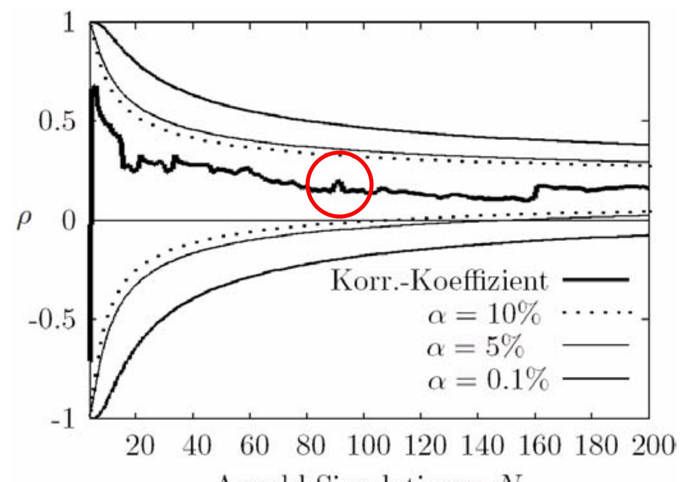




Extreme Antworten

Beliebige Unsicherheit α

Vertrauensintervalle bezogen auf $N = 200$



- Mittelwert
- Standardabweichung
- Korrelationskoeffizient

. Allgemeines zu Vertrauensintervallen

<u>Reine Monte-Carlo-Analyse:</u>

- Statistik: Breite der Vertrauensintervalle $\sim \frac{1}{\sqrt{\text{Anzahl Experimente}}} = \frac{1}{\sqrt{N}}$
- Korrelationskoeffizienten:
  - Beträge abhängig von Anzahl der einflussreichen Parameter
  - Breite jedes Vertrauensintervalls zusätzlich abhängig vom Betrag selbst (große Beträge ➔ kleine Vertrauensintervalle ➔ größere Aussagefähigkeit)

➔ Folgerungen:

- Maximale Anzahl an Simulationen:
  ♏ Breite der Vertrauensintervalle minimal
- Minimale Anzahl an einflussreichen Parametern:
  ♏ Beträge der Korrelationskoeffizienten maximal
  ♏ Breite der Vertrauensintervalle zusätzlich minimal
  ♏ Signifikanz genauer feststellbar

2. Allgemeines zu Vertrauensintervallen

<u>Ersatzflächenbasierte Monte-Carlo-Analyse:</u>

Vertrauensintervalle für Regressionskoeffizienten werden über Approximationsfehler *geschätzt*:

- Breite der Vertrauensintervalle ist abhängig von Approximationsgüte
- Minimierung der Breite vor allem über eine geeignete Wahl des Ersatzmodells
- Tatsächliche Qualität der Ersatzflächenapproximation nicht bekannt
- Qualität der Vertrauensintervalle nicht bekannt
- Breite in vorliegenden Fall zu groß geschätzt

Zusammenfassung

<u>gemeine Zielkonflikte der beider Verfahren:</u>

- Untersuchung möglichst großer FE-Modelle
- bei begrenzten Rechenkapazitäten
- bei Betrachtung möglichst vieler Parameter
- bei möglichst großer Genauigkeit der Aussagen

➔ Ziele können nicht gleichzeitig erreicht werden
➔ Kompromiss erforderlich
➔ Definition von Prioritäten notwendig

<u>rgleich der Methoden:</u>

- Qualitativ nur mäßige Übereinstimmung beider Verfahren
- Lineares Ersatzmodell für globale Approximation möglicherweise nicht geeignet
- Reine Monte-Carlo-Analyse unterliegt zumindest keinem Approximationsfehler