

# Ermittlung der Zuverlässigkeit einer PKW-Getriebewelle mittels ARSM

G.Wehr, D.Roos  
ZF Friedrichshafen AG/ Dynardo GmbH



## Gliederung

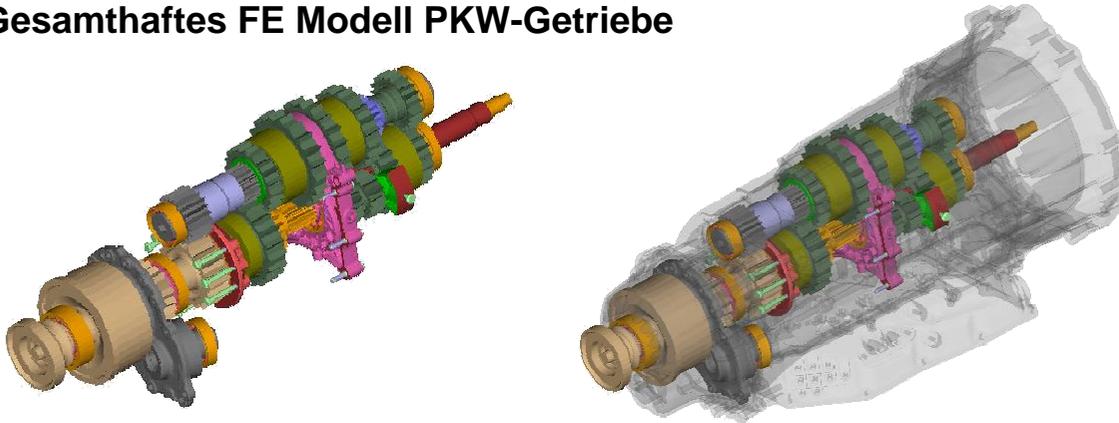
- Problembeschreibung
- Robustheit
- Zuverlässigkeit



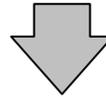
# RA einer PKW-Getriebewelle

## Problembeschreibung

**Gesamthaftes FE Modell PKW-Getriebe**

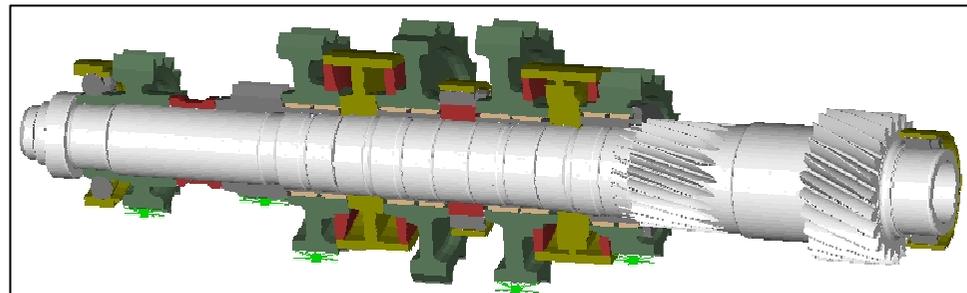


**Ausgangspunkt:**  
Komplettmodell für  
Integrale Getrieberechnung  
(Gehäusefestigkeit)



**Teilmodell:**

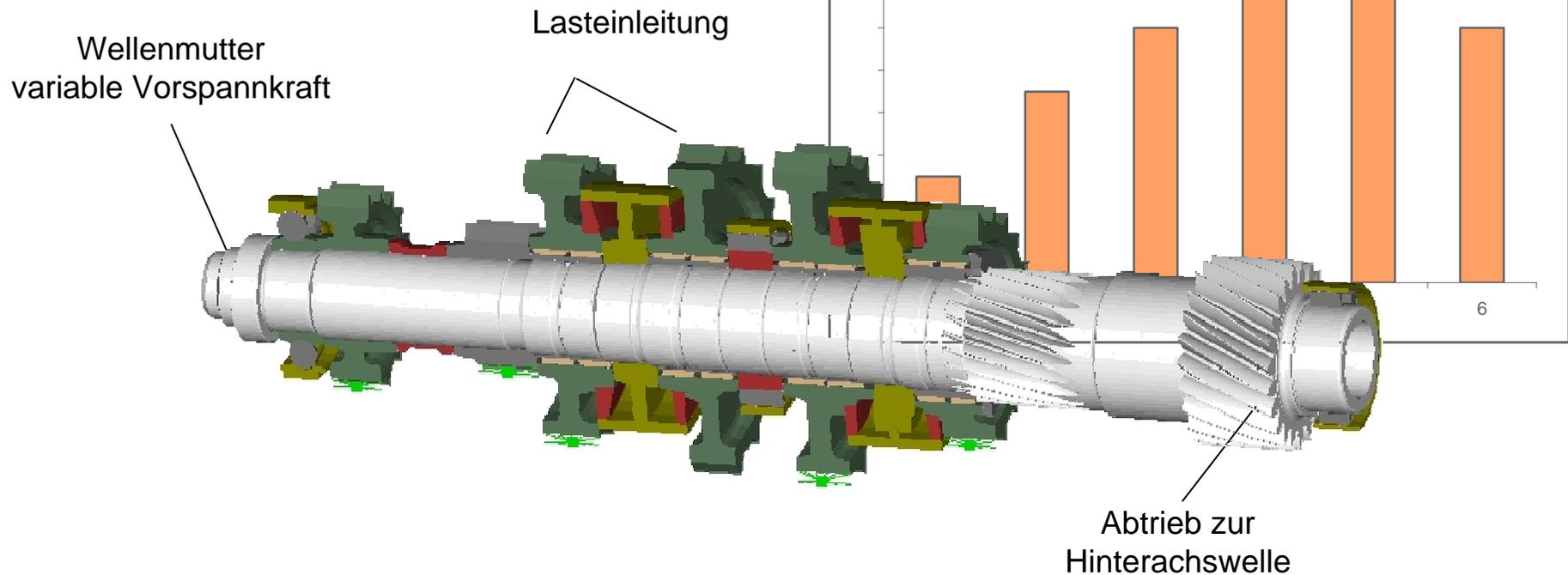
Vorgelegewelle mit Berücksichtigung der Nachgiebigkeit der Lager und Gehäuse für Festigkeitsberechnung



# RA einer PKW-Getriebewelle

## Problembeschreibung

### Teilmodell der Vorgelegewelle

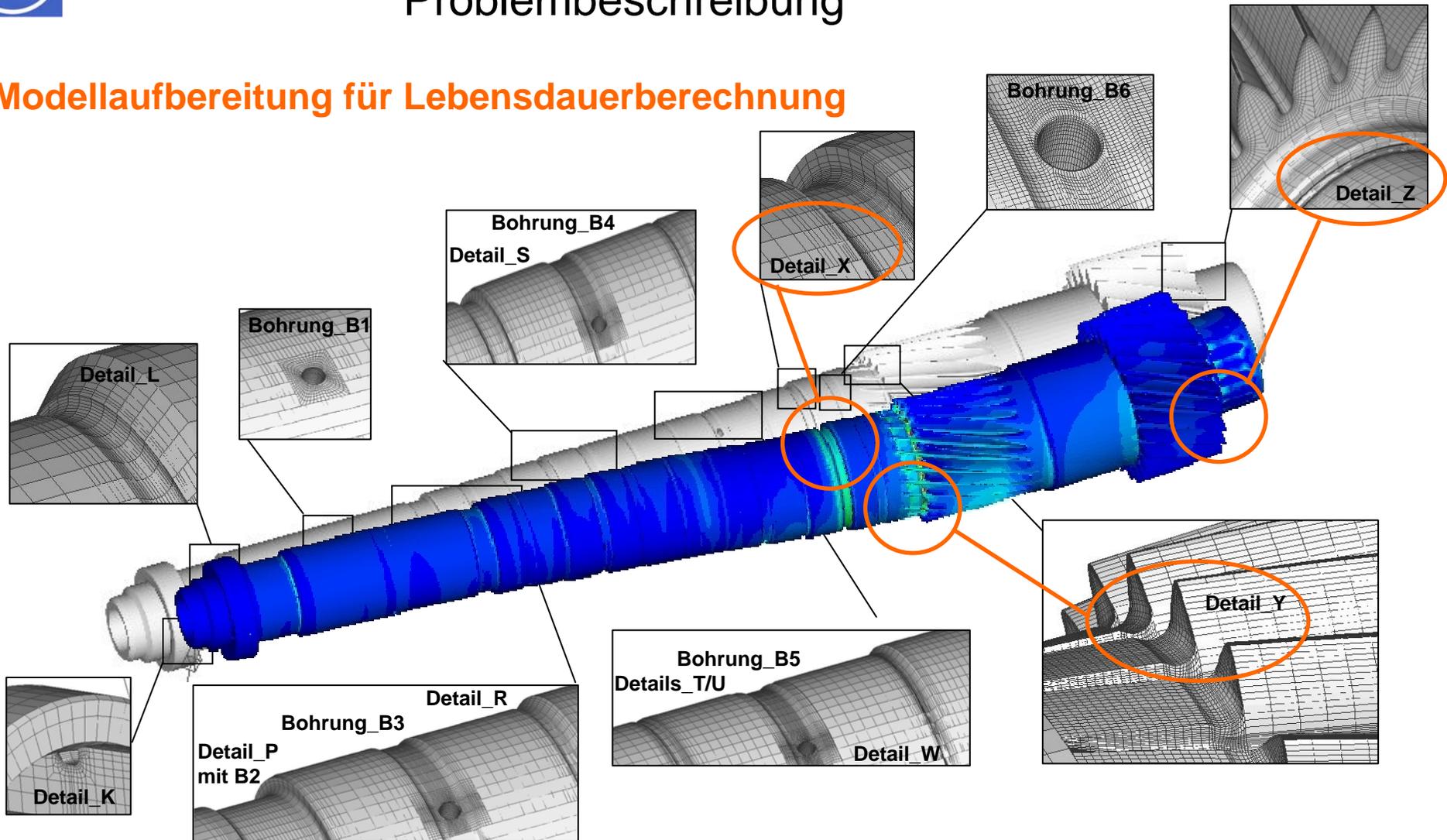


Widerstandsseite - durch Geometrie und Material definiert,  
 Beanspruchungsseite - durch Radkörperbelastung und Überrollungskollektiv charakterisiert.

# RA einer PKW-Getriebewelle

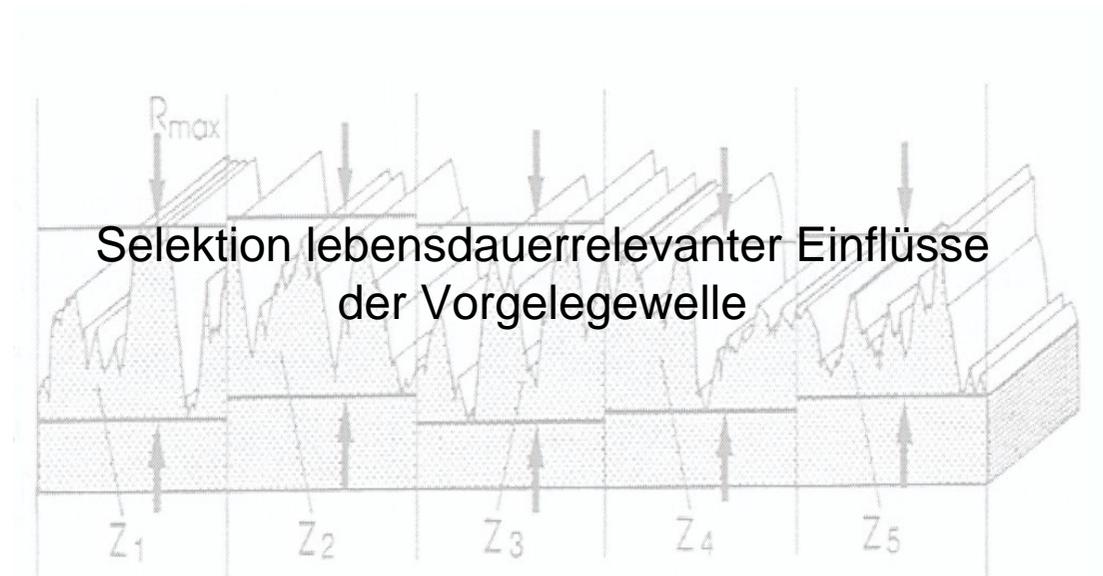
## Problembeschreibung

### Modellaufbereitung für Lebensdauerberechnung



# RA einer PKW-Getriebewelle

## Selektion lebensdauerrelevanter Einflüsse



# RA einer PKW-Getriebewelle

## Selektion lebensdauerrelevanter Parameter

### Rauigkeit

Fertigung aller Einstiche mit gle  
 → Mittelwert/ Streuung der Rau  
 → Rauhtiefen der einzelnen Ke

### Randeigenspannungen

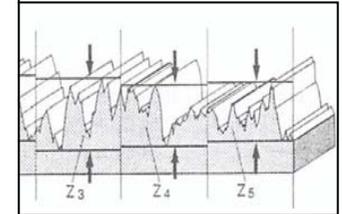
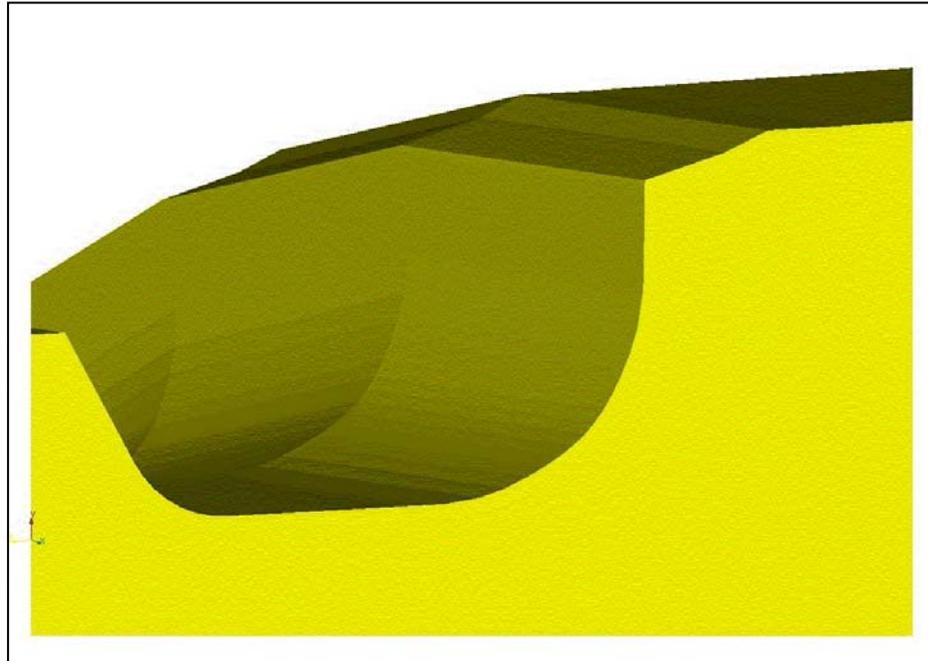
→ Ableitung des Mittelwertes d  
 jede Kerbgeometrie nach Me  
 → Annahme: gleiche Streuunge

### Einstichgeometrie

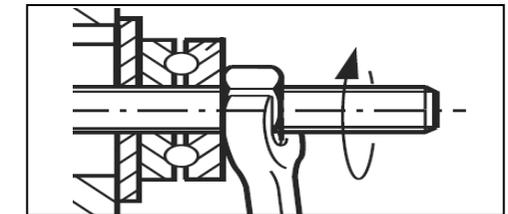
→ Streuungen entsprechend Z  
 → Ableitung der Verteilung nac

### Wellenmuttervorspannkraft

→ Streuung entsprechend Versuchsergebnissen



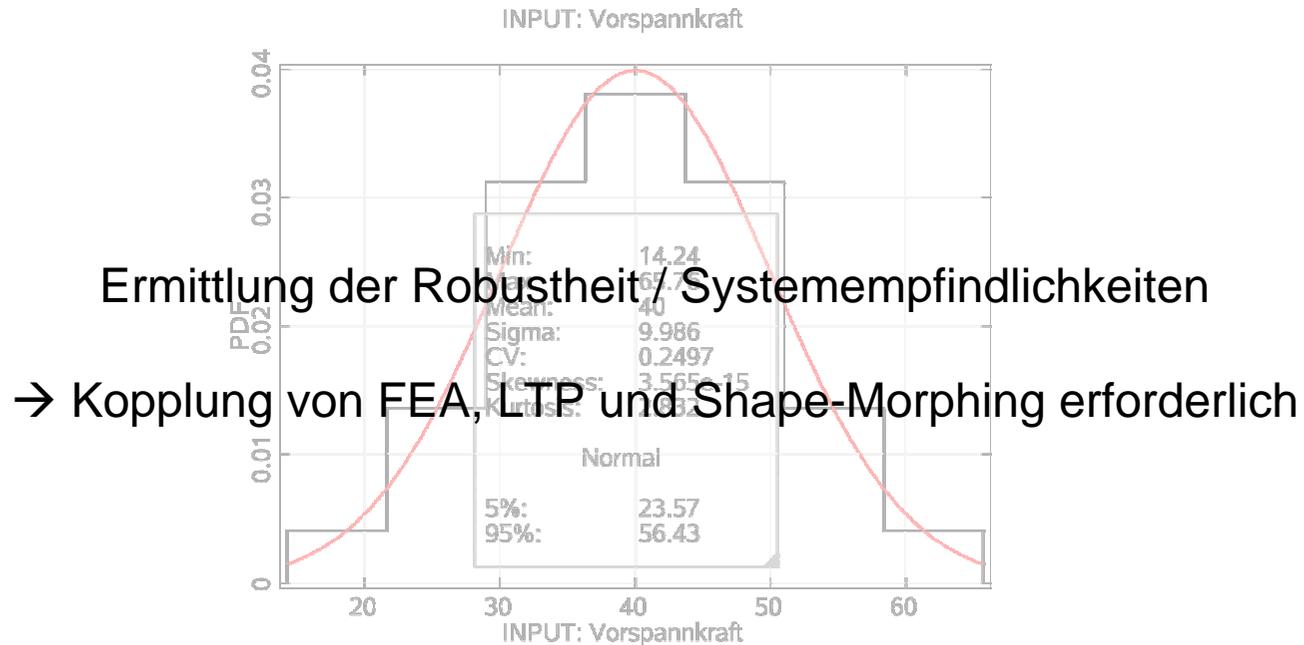
Animation des Morphings





# RA einer PKW-Getriebewelle

## Robustheit





# RA einer PKW-Getriebewelle

## Robustheit

### Fragestellungen

1) Sind die gewählten Toleranzbänder bzgl. der Rauhtiefe, der Kerbgeometrie und den Eigenspannungen) im Hinblick auf die Lebensdauer hinreichend dimensioniert?

*(Bewertung Istzustand)*

2) Können die geplanten Toleranzbänder der untersuchten Parameter vergrößert werden, ohne Einfluss auf Bauteilzuverlässigkeit zu nehmen?

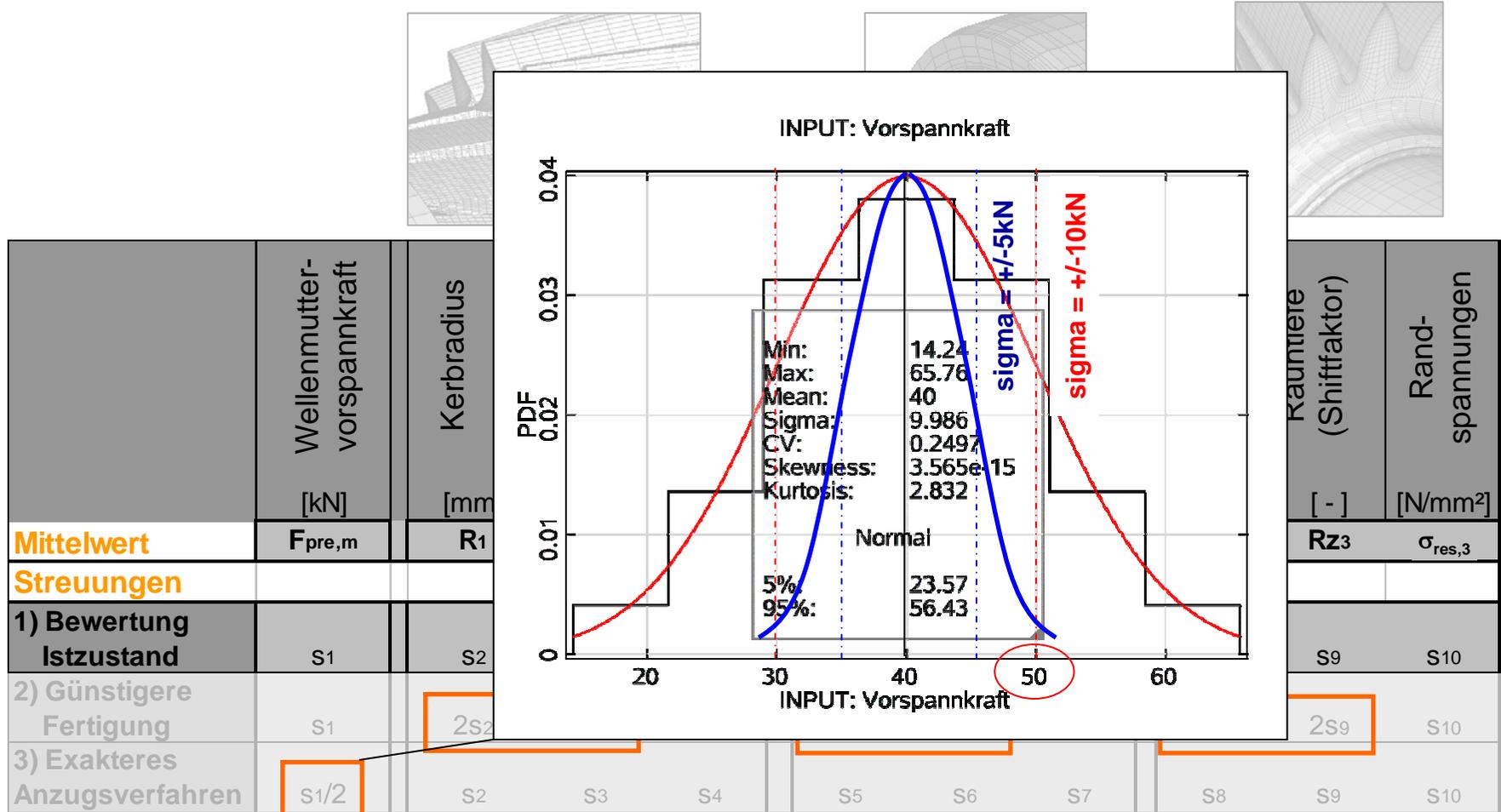
*(Kostengünstigere Fertigung)*

3) Welchen Einfluss hat die Wahl des Vorspannverfahrens der Wellenmutter auf Robustheit / Zuverlässigkeit?

*(Wahl des Vorspannverfahrens)*

# RA einer PKW-Getriebewelle

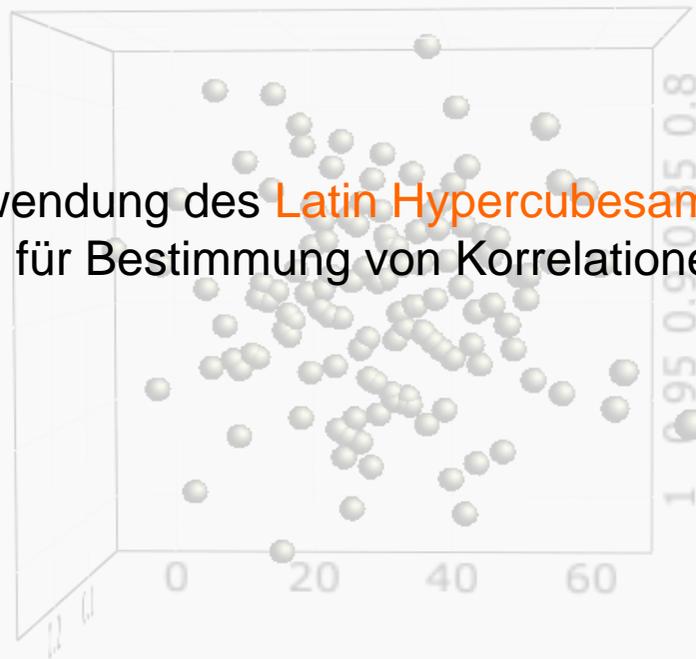
## Robustheit



# RA einer PKW-Getriebewelle

## Robustheit

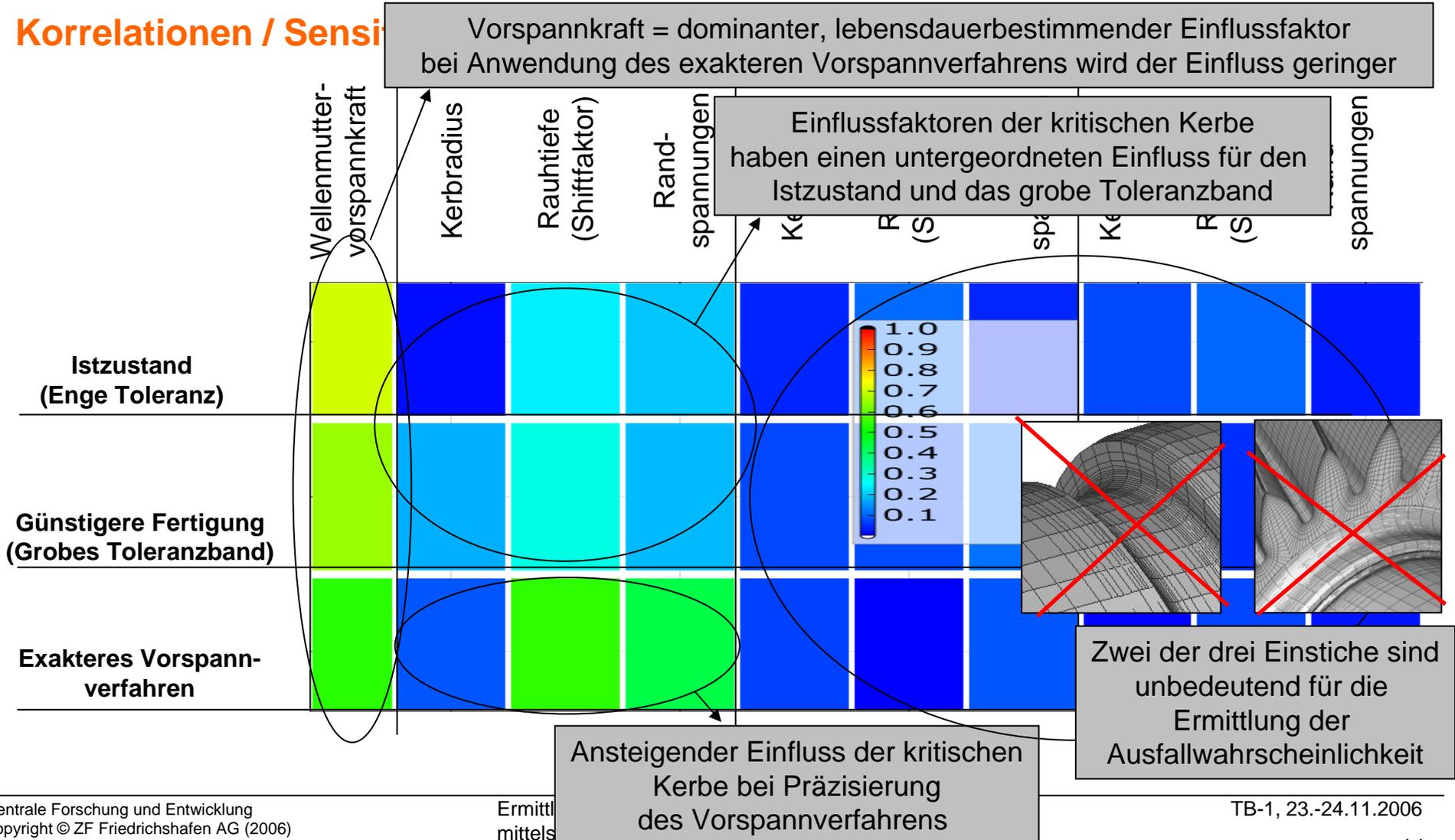
Anwendung des **Latin Hypercubesamplings**  
für Bestimmung von Korrelationen



# RA einer PKW-Getriebewelle

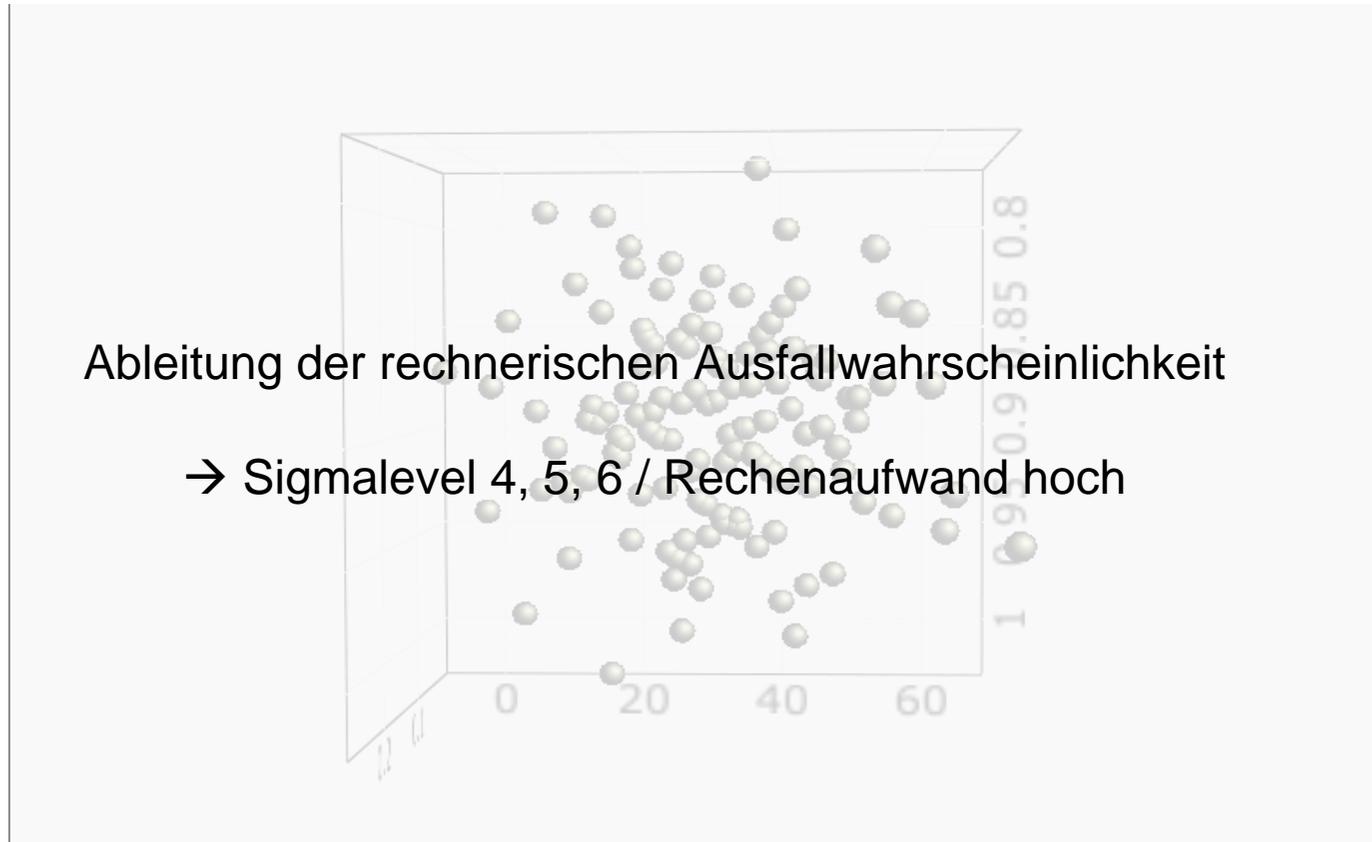
## Robustheit

### Korrelationen / Sensitivitäten



# RA einer PKW-Getriebewelle

## Zuverlässigkeit

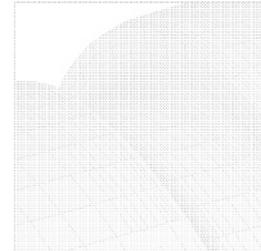




# RA einer PKW-Getriebewelle

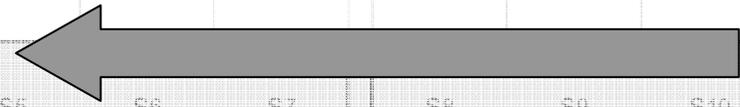
## Zuverlässigkeit

### Reduktion der streuenden Einflussvariablen



	Wellenmutter- vorspannkraft	Kerbradius	Rauhtiefe (Shiffaktor)	Rand- spannungen						
	[kN]	[mm]	[-]	[N/mm <sup>2</sup> ]						
<b>Mittelwert</b>	$F_{pre,m}$	$R_1$	$Rz_1$	$\sigma_{res,1}$						
<b>Streuungen</b>										
1) Bewertung Istzustand	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8	S9	S10
2) Günstigere Fertigung	S1	2S2	2S3	S4	2S5	2S6	S7	2S8	2S9	S10
3) Exakteres Anzugsverfahren	S1/2	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8	S9	S10

Reduktion der Eingangsparameter  
um die Kenngrößen  
der vernachlässigbaren Einstiche

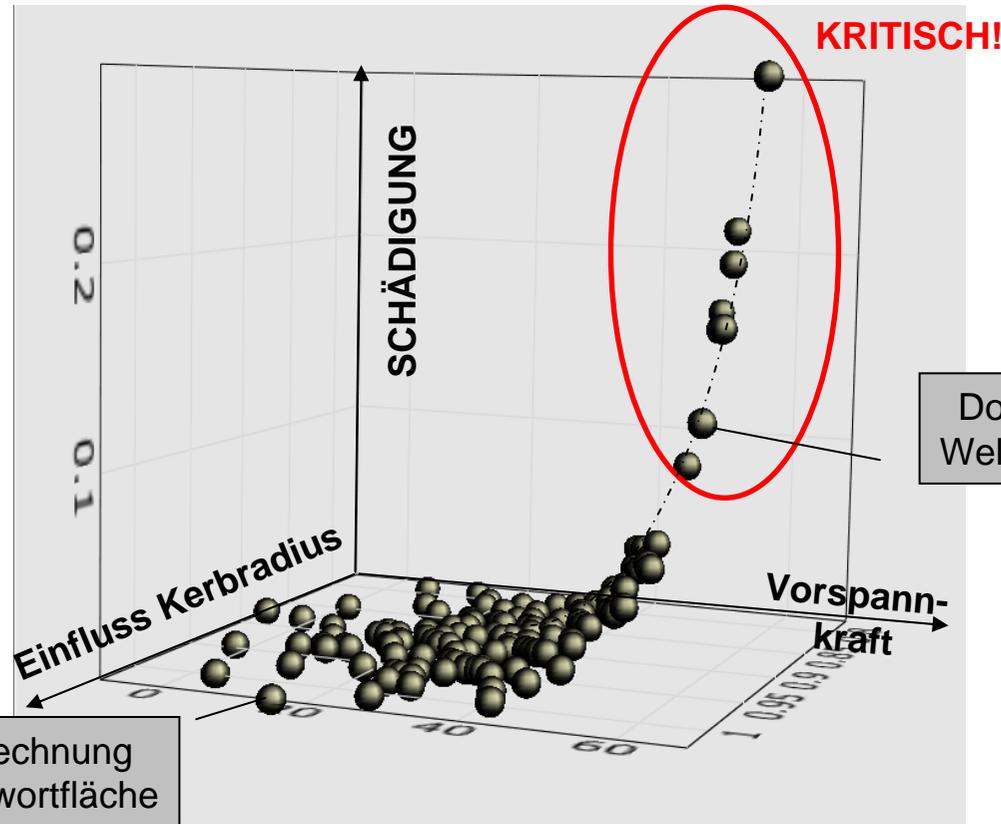


# RA einer PKW-Getriebewelle

## Zuverlässigkeit



### Visualisierung der Strukturantwort



**Einfluss** des Einstiches im **Vergleich** zur Wellenmuttervorspannkraft auf die Lebensdauer (Schadenssumme)



# RA einer PKW-Getriebewelle

## Zuverlässigkeit

### Rechnerische Ausfallwahrscheinlichkeiten der Varianten (Eingangsparameter verzerrt)

1) <b>Istzustand</b> (enges Toleranzband)	$P_f = 2,3 \text{ E-4}$	(ARSM) <i>(Kritisches Sicherheitsniveau)</i>
2) <b>Kostengünstigere Fertigung</b> (grobes Toleranzband)	$P_f = 1,2 \text{ E-3}$	(ARSM) <i>(Unzureichendes Sicherheitsniveau)</i>
3) <b>Exakteres Vorspannverfahren</b>	$P_f = 1,4 \text{ E-7}$	(ARSM) (Verringerung der Ausfallwahrscheinlichkeit um 3 Potenzen)

→ Die Wahl des Vorspannverfahren bietet Möglichkeit zur deutlichen Verminderung des Ausfallrisikos



# RA einer PKW-Getriebewelle

## Fazit

### Abgeleitete Erkenntnisse

- 1) Der Istzustand ist unter Voraussetzung der gewählten Eingangsparameter nicht hinreichend dimensioniert. Haupteinfluss bildet die Vorspannkraft der Wellenmutter.
- 2) Das exaktere Vorspannverfahren verringert wesentlich die Ausfallwahrscheinlichkeit. Damit verbliebe bei Anwendung Spielraum für kostenreduzierenden Maßnahmen.
- 3) Die geplanten Toleranzbänder können nur in Zusammenhang mit dem Einsatz eines exakteren Vorspannverfahrens aufgeweitet werden.



# RA einer PKW-Getriebewelle

## Istzustand

$P_f = 2,3 \text{ E-4}$  (ARSM),  
 $N = 75$  Solver evaluations

$P_f = 1,0 \text{ E-4}$  (Directional Sampling),  
 $N = 551$  Solver evaluations  
Standardabweichung:  $4.7 \text{ E-5}$

