

# Robust Design als Design for Six Sigma Baustein bei der Robert Bosch GmbH



**BOSCH**

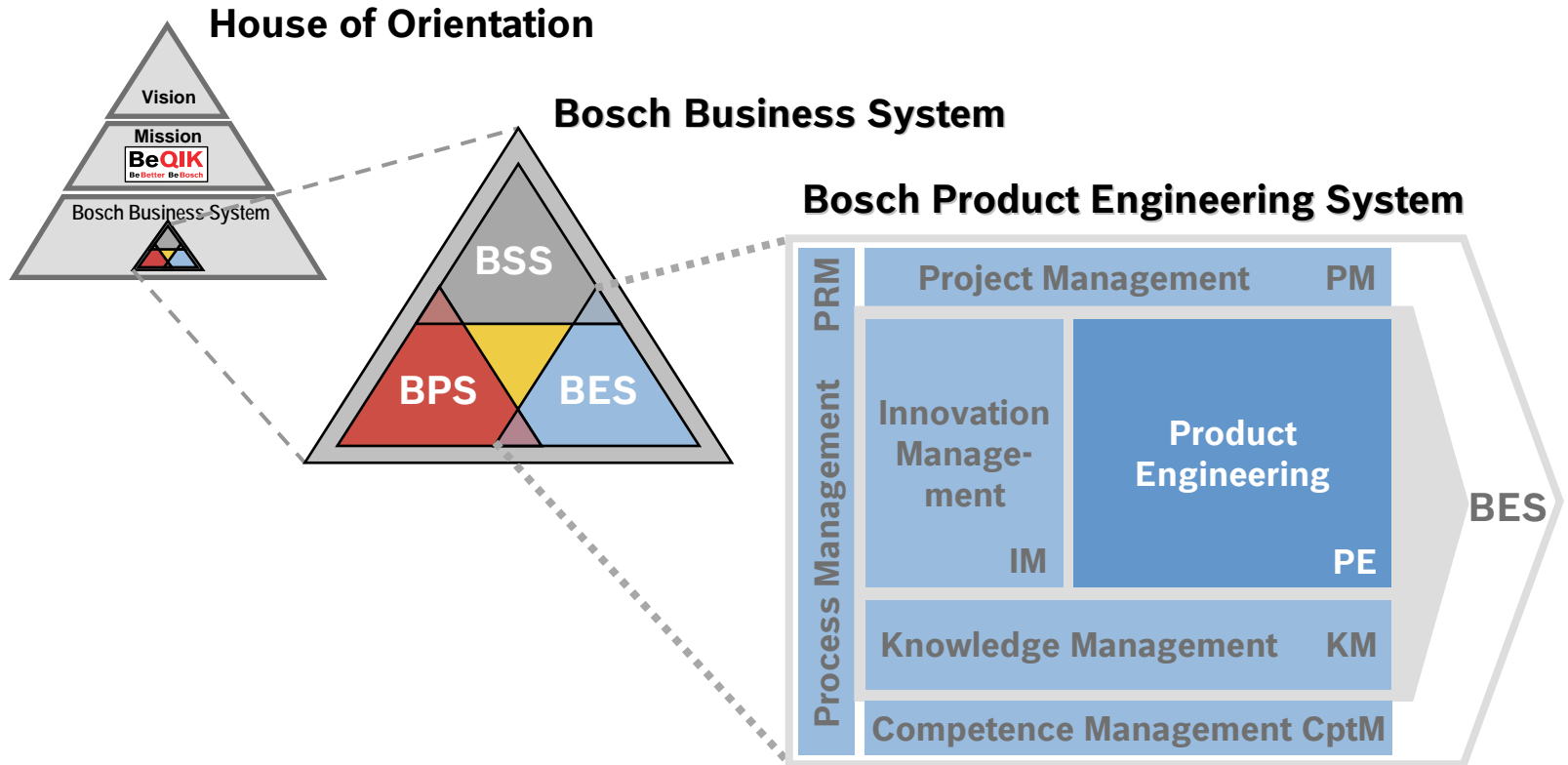
## Inhalt

- Entwicklungsprozess und DFSS-Methoden
- Schulungskonzept für DFSS-Methoden bei der Robert Bosch GmbH
- Inhalt des Seminars „Robust Design“
- Warum brauchen wir „Robust Design“?
- Definition „Robust Design“
- Beispiel Schraubendruckfeder
  - Berechnungsablauf
  - Systemanalyse
  - Sensitivität
  - Optimierung
  - Robustheit
- Zusammenfassung

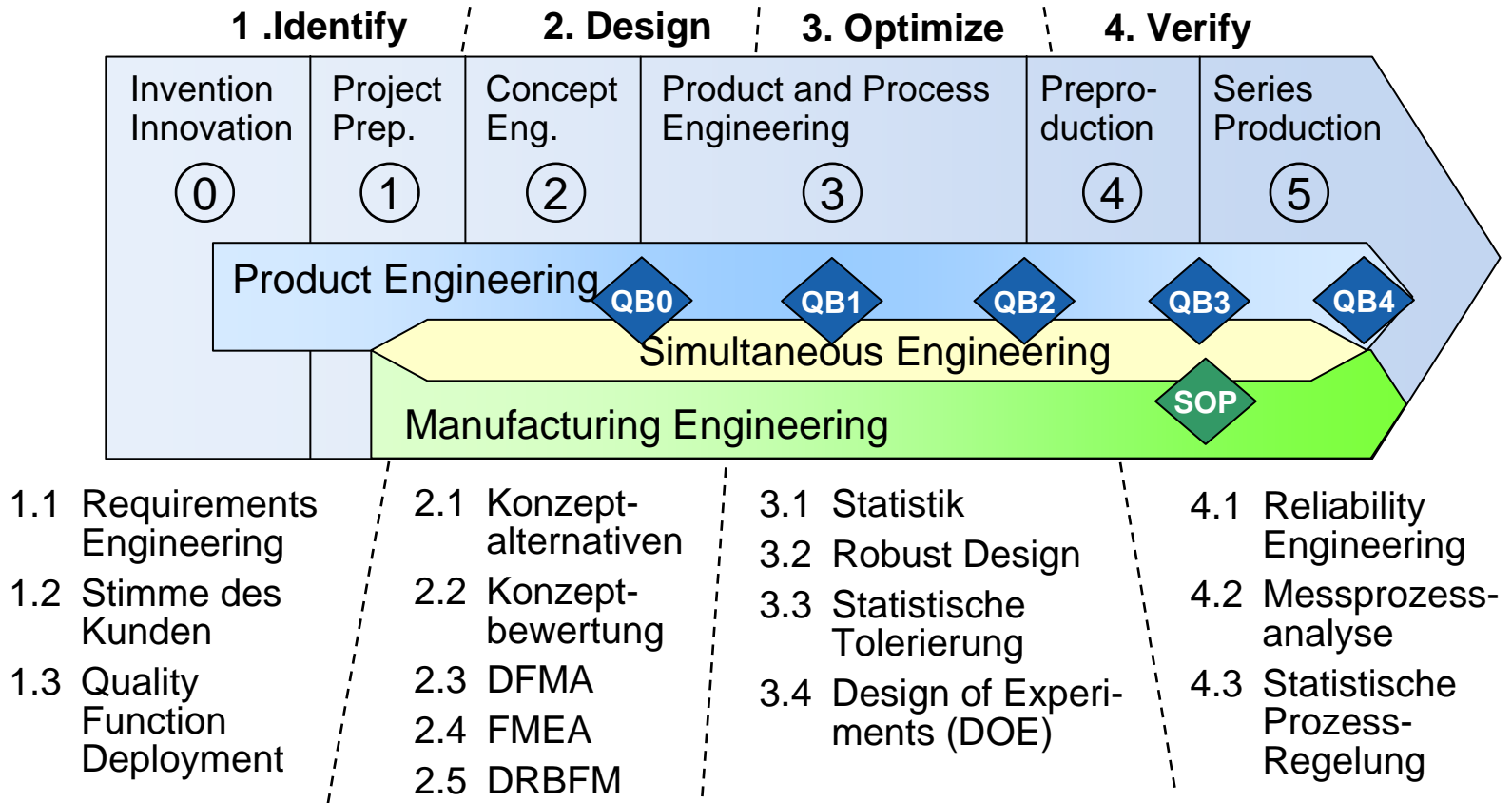


# Robust Design als Design for Six Sigma Baustein bei der Robert Bosch GmbH

## PE im Bosch Business System



## DFSS-Methoden im Produktentstehungsprozess



# Robust Design als Design for Six Sigma Baustein bei der Robert Bosch GmbH

## Schulungsangebot (Auszug)

	Basis
Elemente und Verfahren des Qualitätsmanagements bei Bosch	
	Identify
QFD - Quality Function Deployment	
	Design
DRBFM FMEA-Grundseminar	
	Optimize
Grundlagen der Technischen Statistik Statistische Versuchsplanung (DoE) <b>Robust Design</b> Statistische Tolerierung	
	Verify
Statistische Prozessregelung Grundlagen der Zuverlässigkeit	

...



**BOSCH**

## Seminar „Robust Design“ – Inhalt

- Motivation, Begriffe und Definitionen
- Robust Design im Entwicklungsprozess
- Statistische Grundlagen
- Einsatz der Simulation im Entwicklungsprozess
- Systemanalyse
- Sensitivitätsanalyse
- Grundlagen und Einsatz von Optimierungsmethoden
- Grundlagen und Einsatz der Robustheitsbewertung  
/Störvariablenexperiment
- Robuste Optimierung und Zuverlässigkeit
- Taguchi-Methode
- begleitendes Beispiel Schraubendruckfeder



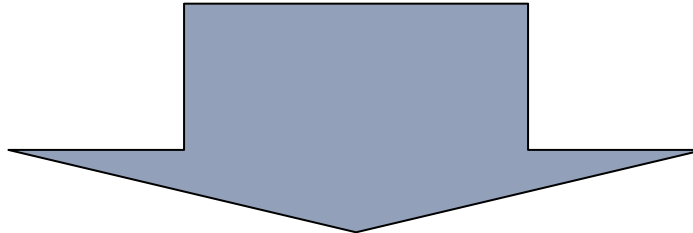
# Robust Design als Design for Six Sigma Baustein bei der Robert Bosch GmbH

## Warum brauchen wir Robust Design?



## Warum brauchen wir Robust Design?

- Kunden sind nur mit Produkten die höhere Leistungsanforderungen erfüllen zu gewinnen
- die gesetzlichen Anforderungen steigen kontinuierlich (Abgasnormen Euro 1-6 ff., CO<sub>2</sub>-Diskussion, ...)
- neue Herstellungsverfahren und Werkstoffe sind am Markt verfügbar




- die Auslegung unserer Produkte erfolgt immer näher an der physikalischen Grenze
- Beanspruchung und Beanspruchbarkeit müssen damit immer genauer bestimmt werden um mögliche Ausfälle vorhersagen zu können



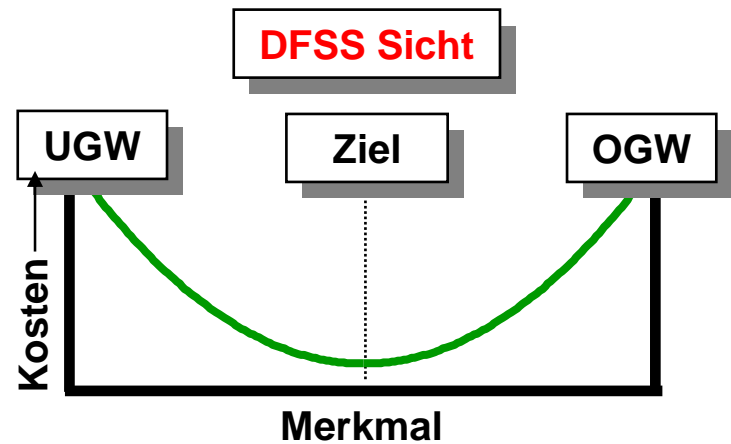
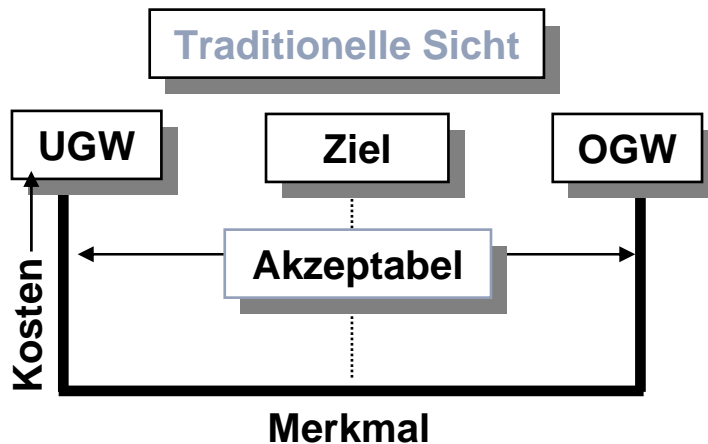
## Warum brauchen wir Robust Design?

- Eigenschaften von Werkstoffen, Fertigungsparameter, Umgebungs-, Betriebs- und Gebrauchsbedingungen unterliegen immer Schwankungen – die Funktion des Produktes muss trotz auftretender Abweichungen mit hinreichender Sicherheit gegeben sein.
- Nicht robuste Designs führen zu Ausfällen der Produkte im Feld oder zu Fehlern in der Produktion.
- Einige Komponenten und Eigenschaften von Produkten sind ausschlaggebend für die Schwankungen - wie können diese negativen Einflüsse minimiert werden?

 Ziel ist es **Produkte zu gestalten**, die **unempfindlich** sind gegen die unvermeidliche Streuung von Fertigungs-, Umgebungs-, Betriebs- und Gebrauchsbedingungen.

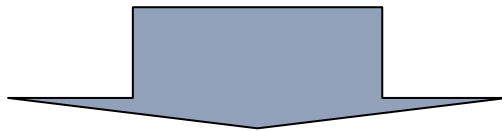
## Definition von Robust Design

- Robust Design ist, wenn ein Produkt/Prozess eine gleichmäßig hohe Qualität liefert, trotz bestehender Abweichungen und Streuungen
- “Hohe Qualität” bedeutet, dass die Produkteigenschaften
  - im Zielkorridor (OGW – UGW) liegen
  - innerhalb einer relativ geringen Bandbreite verglichen mit dem Zielkorridor der Spezifikation variieren
  - im Zeitablauf stabil bleiben

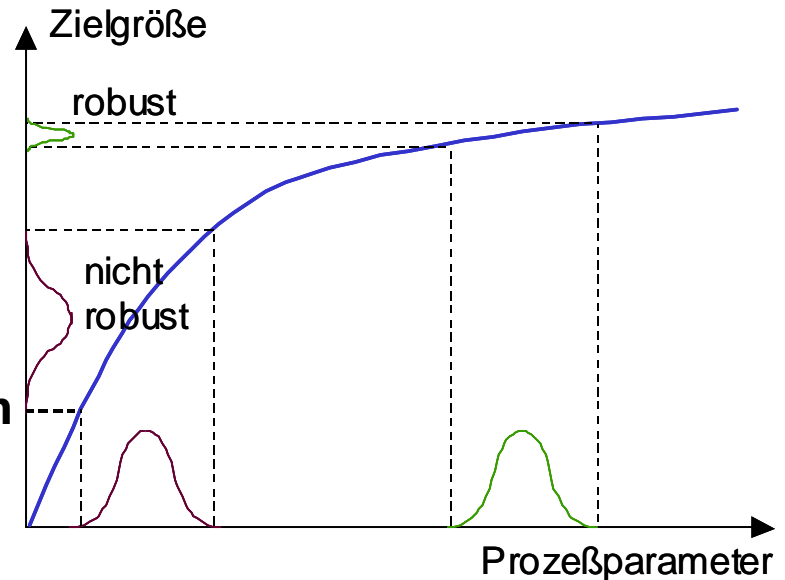


## Wie erreichen wir ein Robust Design?

- streuende Parameter und Umgebungsbedingungen sollen keinen spürbaren Einfluss auf die Produkteigenschaften haben
- eine Unempfindlichkeit gegen diese Streuung wird durch eine Wahl eines Designpunktes erreicht, indem die Streuungen nur einen geringen Einfluss auf die Produkteigenschaften haben



- **Robust Design ist eine Produkteigenschaft die durch das Design der Parameter erreicht wird und mit den vorgestellten Methoden nachgewiesen werden kann**



## Anwendungsbeispiel Schraubendruckfeder



## Anwendungsbeispiel Schraubendruckfeder

→ Federsteifigkeit

$$c = \frac{G}{8} \cdot \frac{d^4}{d_m^3 \cdot nf}$$

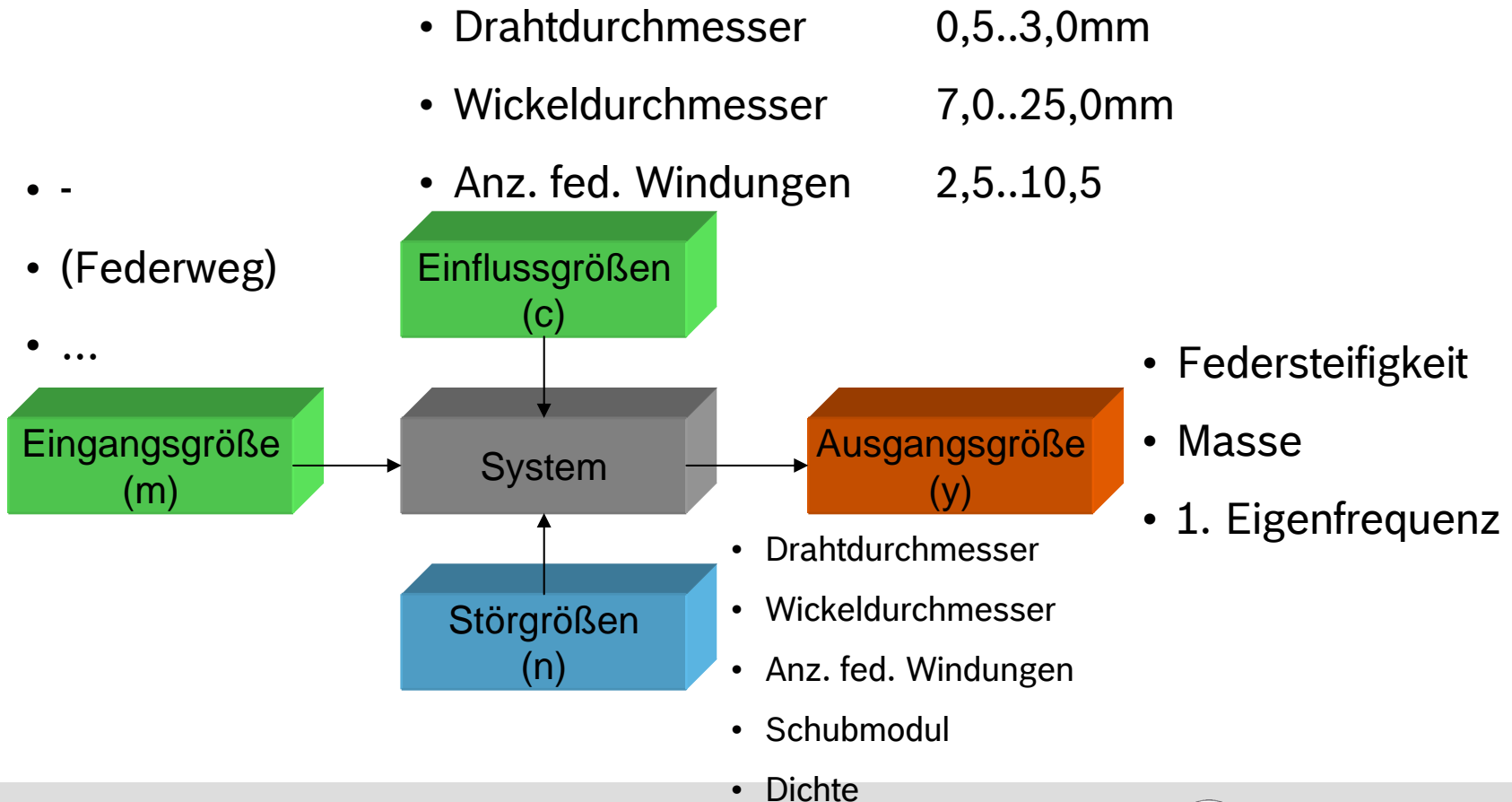
→ Masse

$$m = \frac{\pi^2}{4} \cdot d^2 \cdot d_m \cdot \rho \cdot (nf + 2)$$

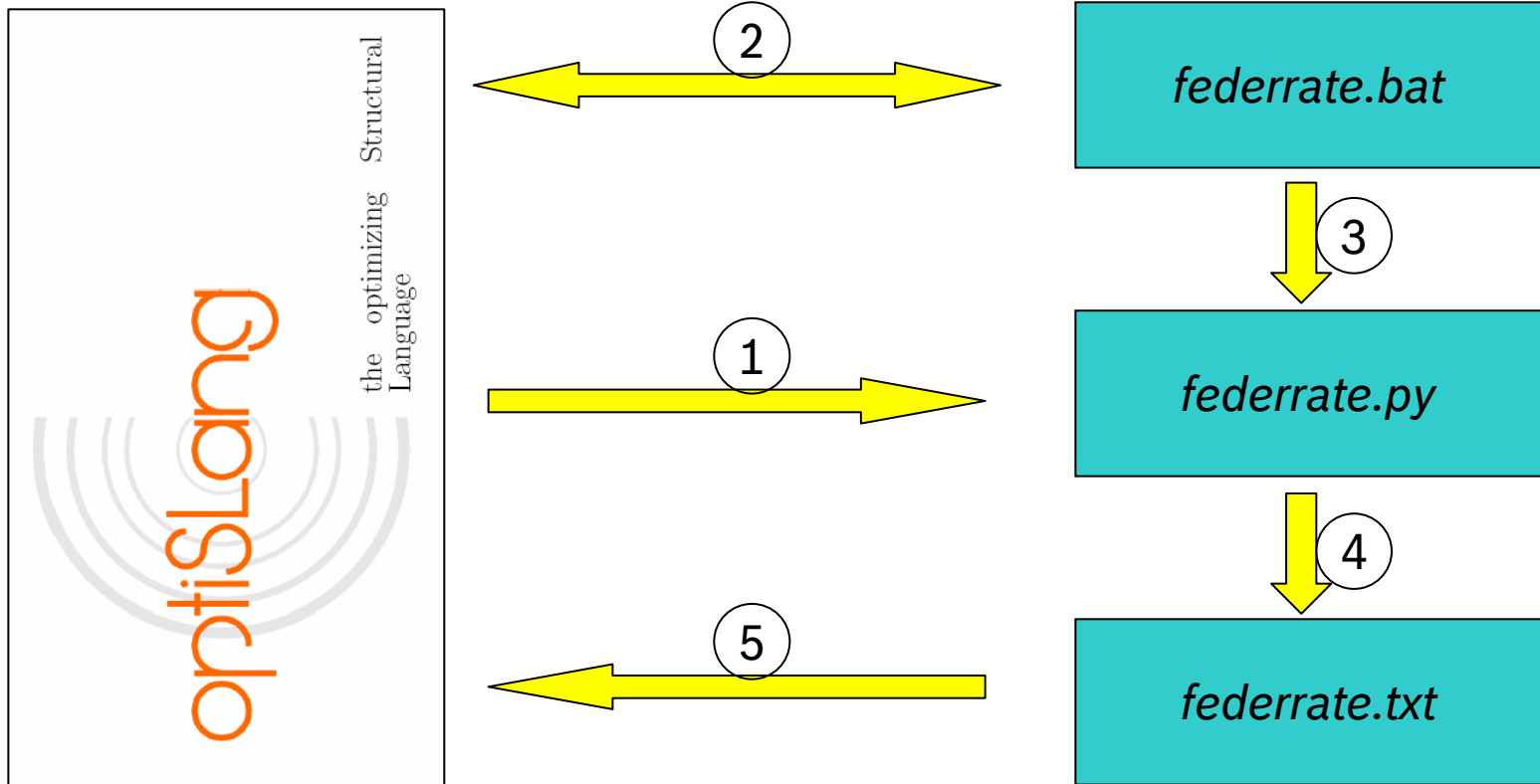
→ erste Eigenfrequenz

$$\varphi_1 = \frac{1}{2} \cdot \frac{d}{d_m^2 \cdot nf \cdot \pi} \cdot \sqrt{\frac{G}{2\rho}}$$

## Systemanalyse

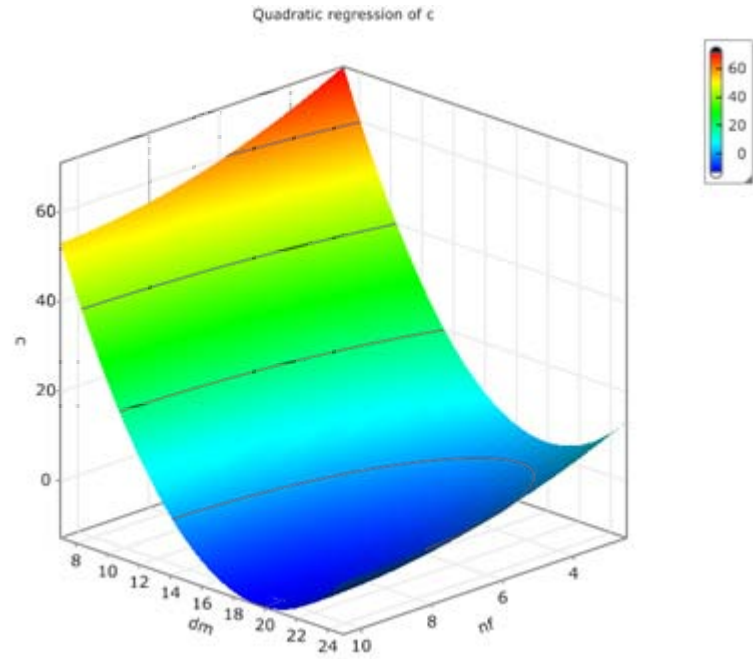
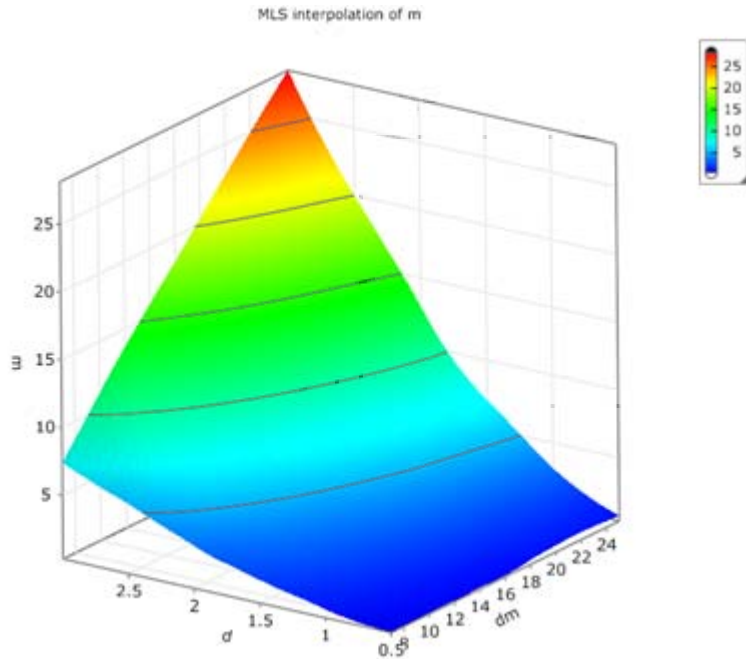


### Berechnungsablauf



## Sensitivität

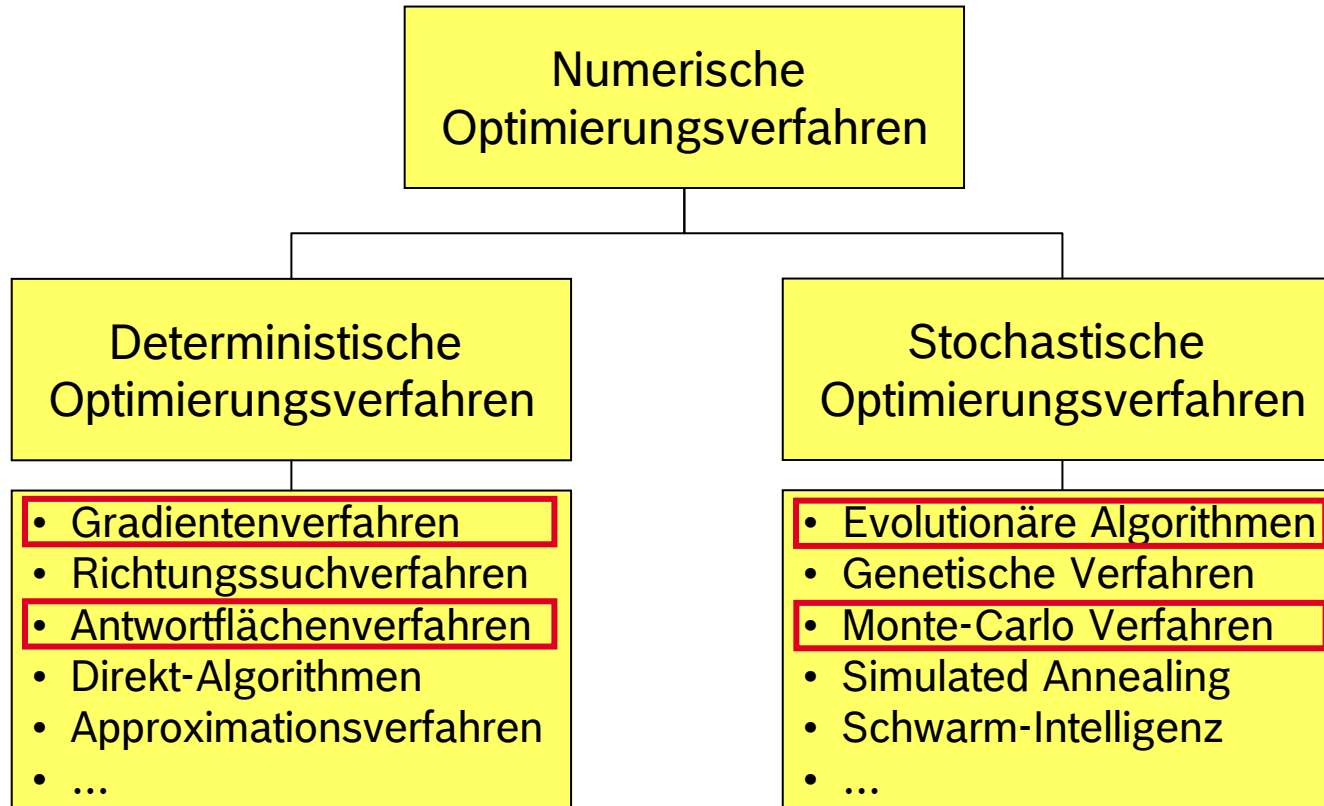
- Erstellung virtueller Muster durch ein Samplingverfahren
- Darstellung der Zielfunktion im gesamten Parameterraum
- **Ziel: Identifikation von Parametern mit geringem Einfluss auf die Zielgrößen**





## Optimierung

→ Einteilung der numerischen Optimierungsverfahren



## Startpunkte für die Optimierung

Parameter	Startpunkt 1	Startpunkt 2	Startpunkt 3
d	3,0mm	1,0mm	1,25mm
d <sub>m</sub>	20,0mm	10,0mm	19,25mm
nf	8,5	2,5	3,5

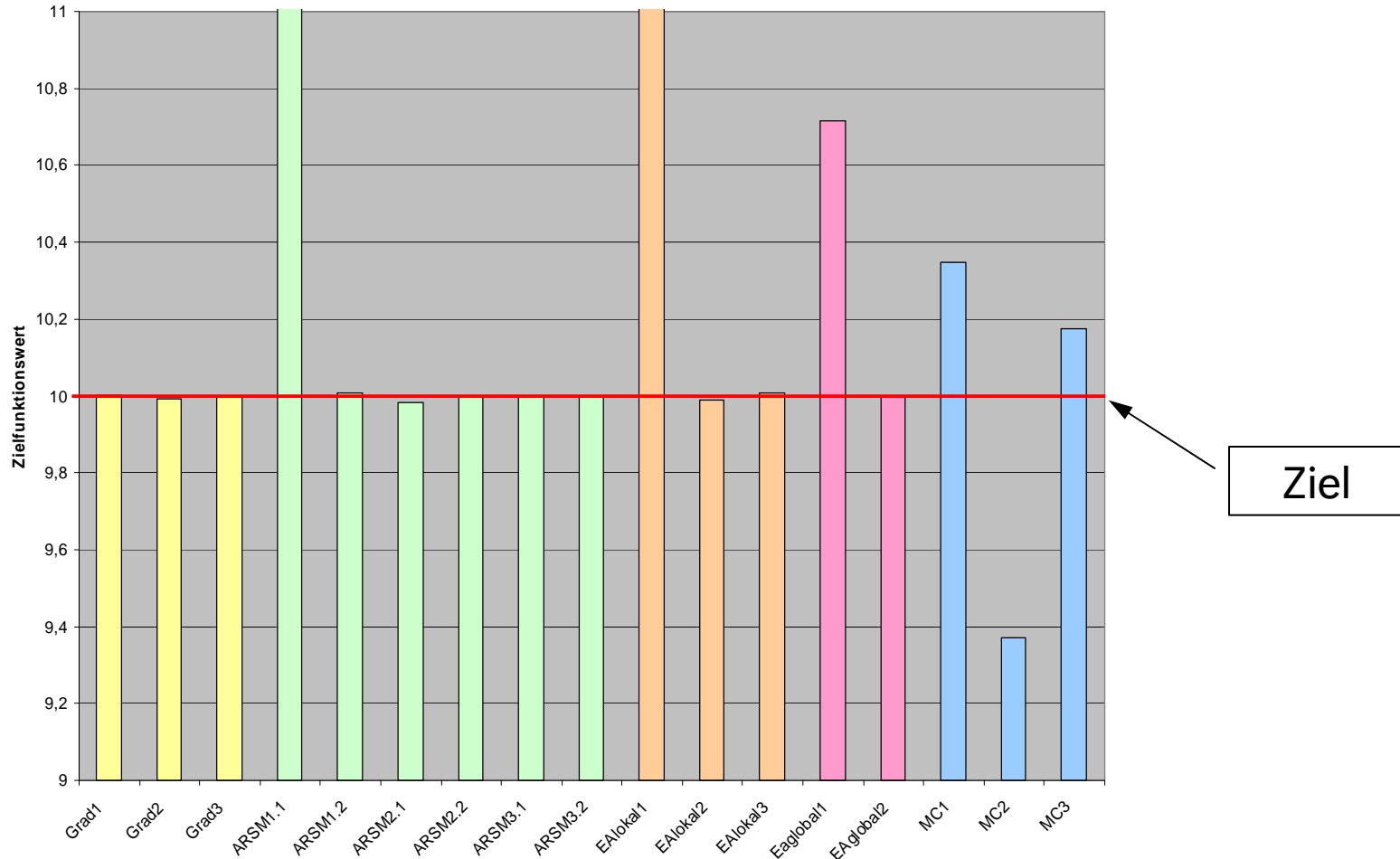


## Optimierung – Gradientenverfahren

Parameter	Startpunkt 1	Startpunkt 2	Startpunkt 3
d	1,912mm	1,195mm	1,741mm
d <sub>m</sub>	13,08mm	9,283mm	15,361mm
nf	5,897	2,519	2,503
Zielfunktionswert c	10,001N/mm	9,993N/mm	10,0N/mm
Iterationen	133	128	92



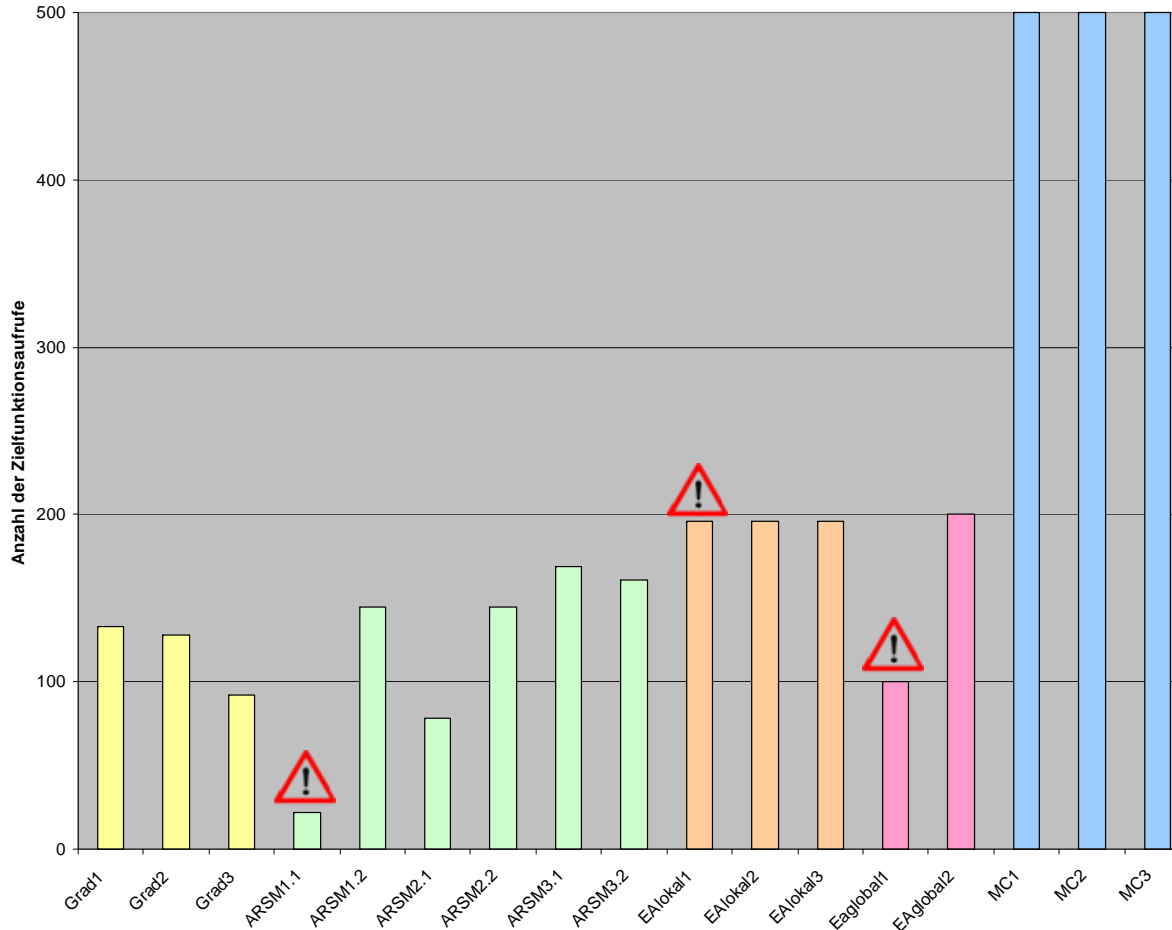
## Ergebnis der Optimierung – Zielfunktionswert



Ziel



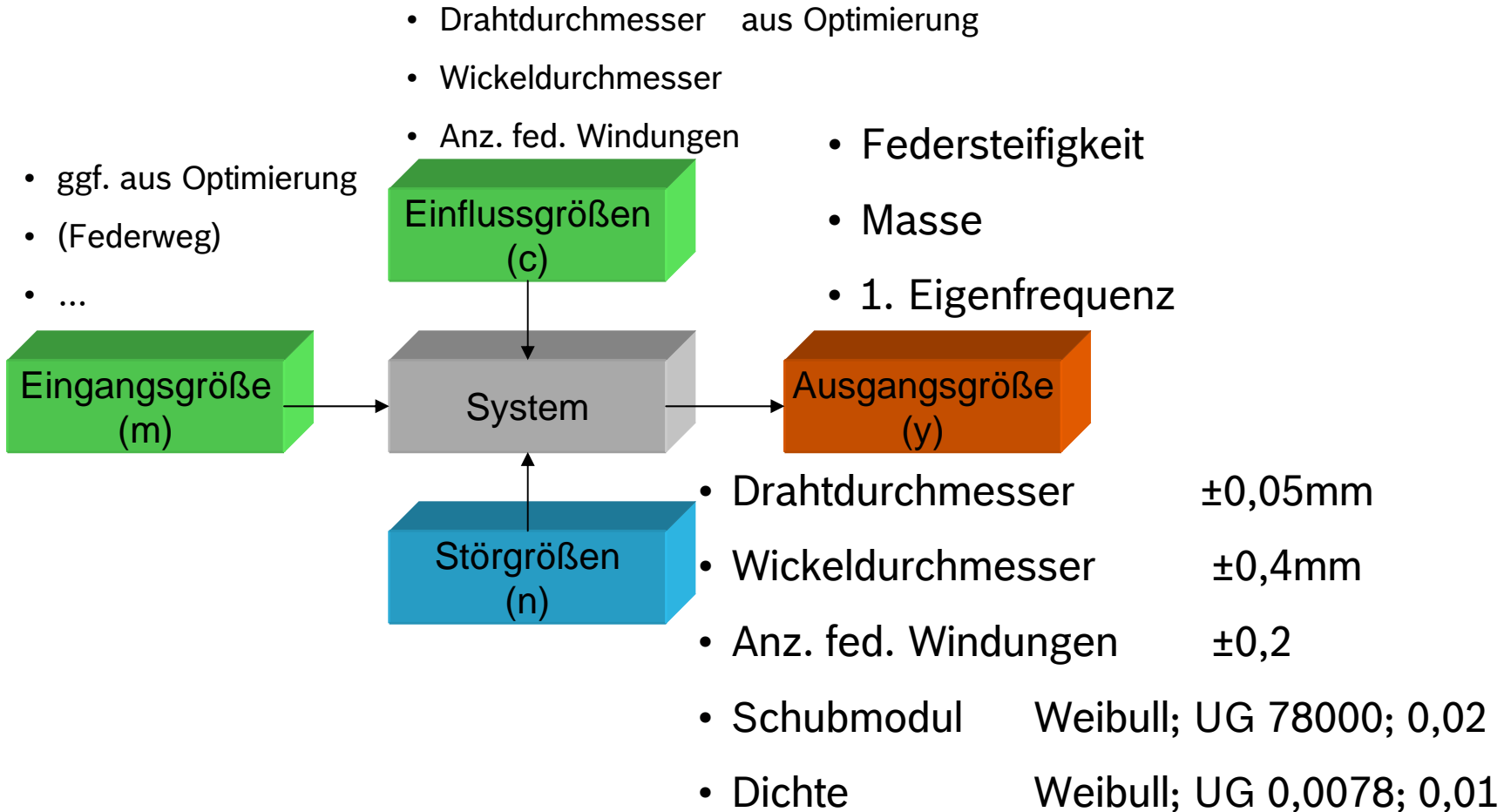
## Ergebnis der Optimierung – Aufwand



## Fazit Optimierung

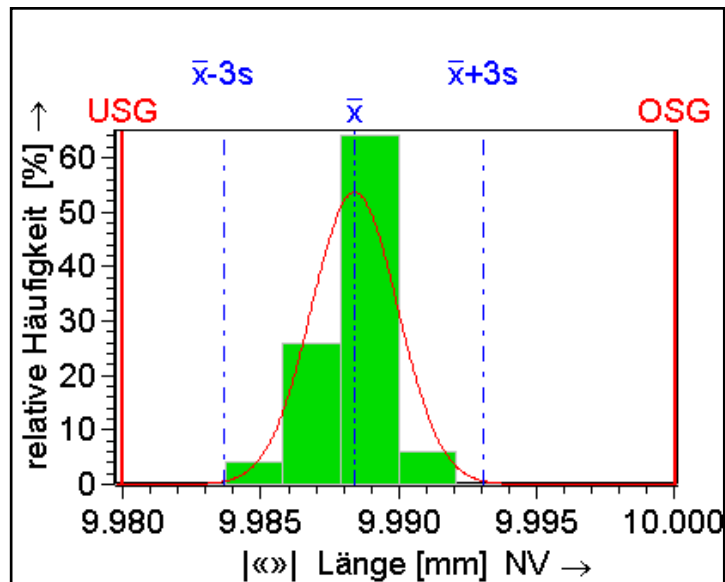
- es gibt mehrere Designpunkte die optimal sind
- verschiedene Optimierungsalgorithmen angewendet – Details zu den Verfahren im Seminar TQ018
- einzelne Algorithmen führen bei einzelnen Startpunkten und bei einzelnen Einstellungen nicht zu einem gültigen Optimum
- unterschiedlicher Aufwand bei den einzelnen Algorithmen
  
- Erfahrung bei der Auswahl und der Anwendung der Optimierungsalgorithmen notwendig
  
- **Frage: Welcher Designpunkt ist der robusteste?**

## Robustheitsanalyse der Schraubendruckfeder



## Systemanalyse – Umrechnung der Toleranzen

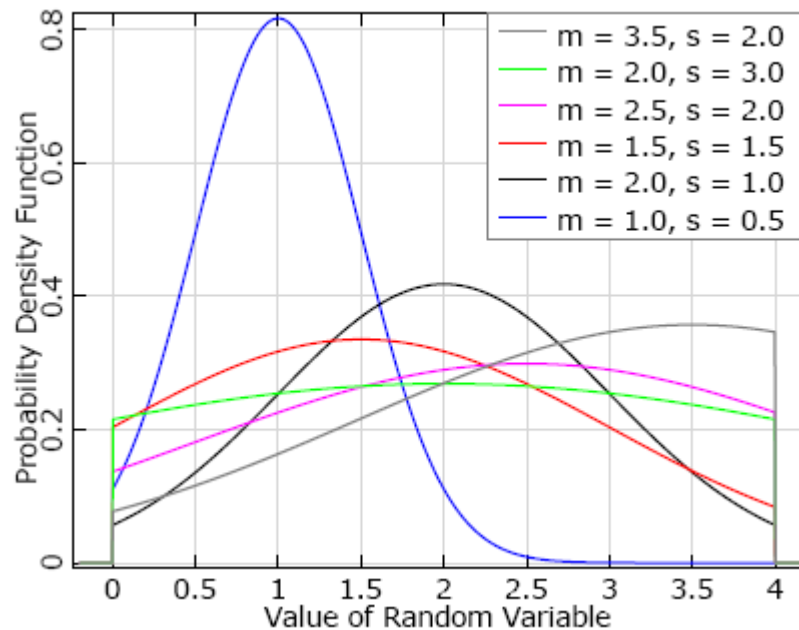
- angegebene Toleranzen sind Ober- bzw. Untergrenze für die Fertigung
- bei stabilen Prozessen werden die Toleranzgrenzen nicht ausgeschöpft
- diese Eigenschaft wird als Prozessfähigkeit  $c_p$  bzw.  $c_{pk}$  bezeichnet
- mit diesem Index können die angegebenen Werte in  $1\sigma$ -Werte und anschließend in Variationskoeffizienten CV umgerechnet werden





## Systemanalyse – Umrechnung der Toleranzen

- angegebene Toleranzen sind Ober- bzw. Untergrenze für die Gut-Schlecht-Sortierung
- angegebenen Größen müssen nicht symmetrisch sein



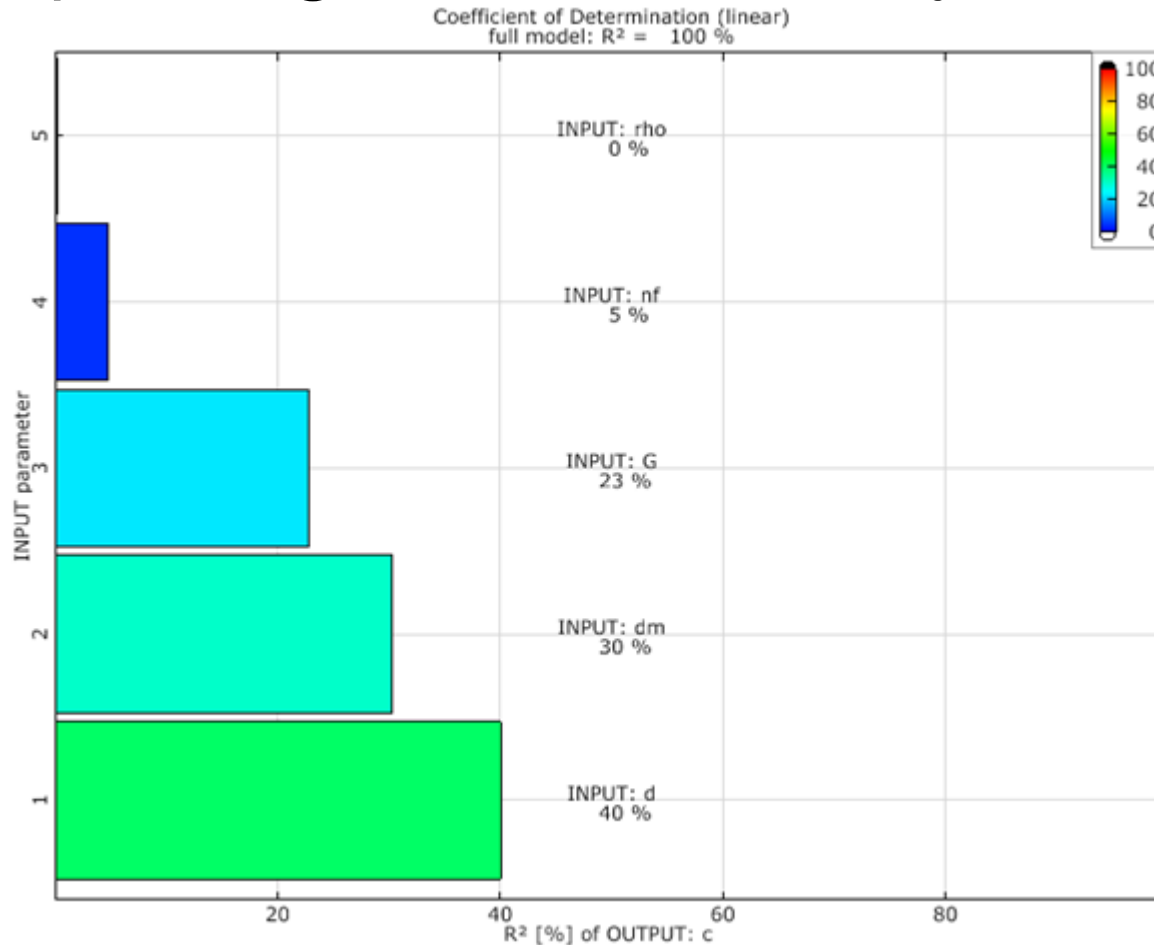
## optiSLang – Robustheitsanalyse - Postprozessing

	Designpunkt 1	Designpunkt 2	Designpunkt 3
Mittelwert	10,26	10,27	10,26
Standard- abweichung	0,4165	0,6159	0,4121

**Fazit: Designpunkt 1 und Designpunkt 3 weisen ähnliche Streuungen auf, Designpunkt 2 ist weniger robust**



## optiSLang – Robustheitsanalyse - Postprozessing

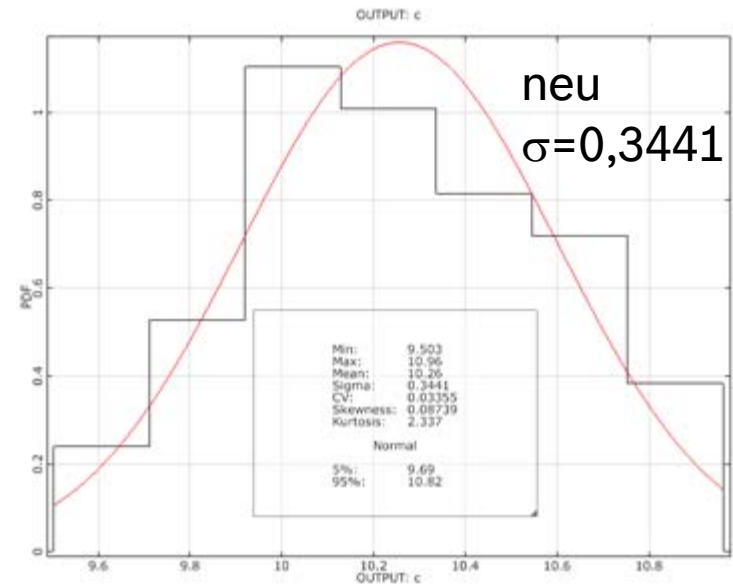
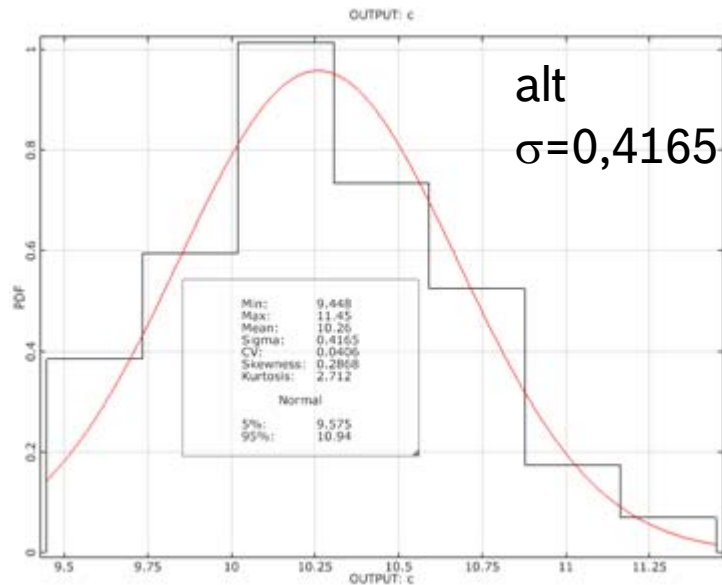


Bestimmtheitsmaß  $R^2$  stellt dar wie viel Prozent der Änderungen durch das Simulationsmodell erklärt werden können

Beitragsleister liefern die Anteile der Parameter

## optiSLang – Robustheitsanalyse

- Änderung der Streuung des Parameters  $d_m$  von  $\pm 0,4\text{mm}$  auf  $\pm 0,1\text{mm}$
- Vergleich der Streuungen des Outputparameters  $c$



- **Fazit: die Streuung der Federsteifigkeit  $c$  konnte um ca. 15% verringert werden**

## Zusammenfassung

- Mit Robust Design kann die Streuung der Produkteigenschaften vorhergesagt und gezielt verbessert werden
- Man setzt Simulationsmethoden und -modelle ein bzw. führt systematische Versuche durch, um zu einem frühen Zeitpunkt in der Entwicklung detaillierte Aussagen über die zu erwartende Streuung zu erhalten
- Mit Robust Design können die Parameter, die große Unsicherheiten in das System bringen, identifiziert und gezielt beeinflusst werden
- Robust Design ist eine Basis für die Festlegung der Toleranzen der Bauteile, Systeme und Fertigungsprozesse



Vielen Dank für die Aufmerksamkeit!

