



kompetent • schnell • erreichbar • servicefreundlich • preis-leistungstark

## **SAXSIM 2013**

# **Statistische Toleranzanalysen mit CETOL**

Wie statistische Toleranzanalysen die Produktsicherheit und Qualität erhöhen

# SAXSIM 2013

## Statistische Toleranzanalyse mit CETOL



### Christoph Bruns

cbruns@inneo.com ; +49 (0) 7961-890-203  
Bereichsleiter Simulation & Analyse

### Agenda:

- Produktanforderung heute
- Teamübergreifende Arbeitsweise
- Lösungsansätze im Vergleich
- Praxis 1: Arbeitstechniken in CETOL  
an Unterbaugruppen
- Praxis 2: Hierarchische Wiederverwendung  
von Toleranzmodellen



# Marktgetriebene Produktanforderungen heute



Produkthaftung nach  
EG-Richtlinie 85/374/EG

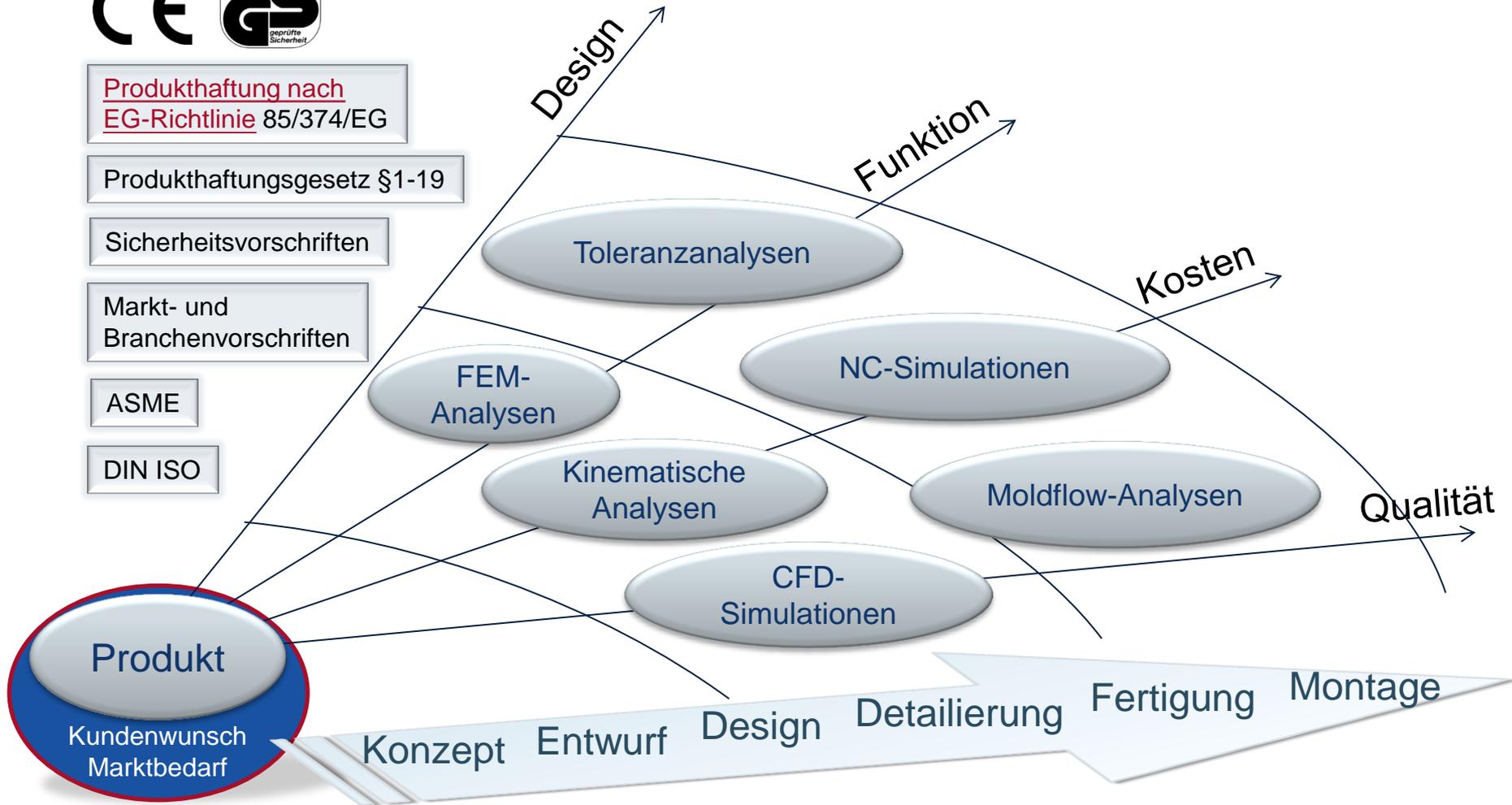
Produkthaftungsgesetz §1-19

Sicherheitsvorschriften

Markt- und  
Branchenvorschriften

ASME

DIN ISO



# Beispiel: statistische Toleranzanalyse mit **CETOL6<sup>®</sup>**

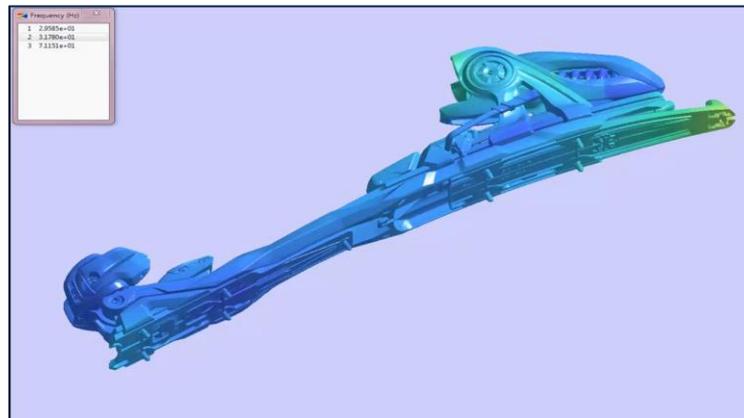
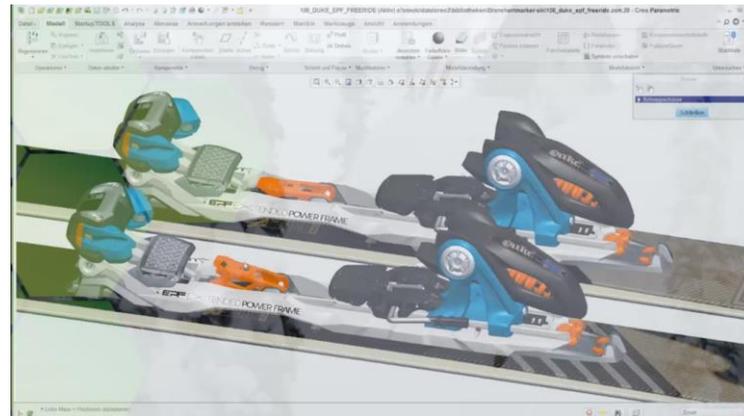
**Werden Funktionale Anforderungen erfüllt?**

**Wie hoch ist die Wahrscheinlichkeit des Ausschusses?**

**Kann die Prozessfähigkeit gehalten werden ( $cpk = 1,33$ )?**

## Produktcharakter:

- Tourenskibindung
- Komplexe Funktionsweise
- aufwendige Kinematik
- Zuverlässige Funktion
- Hohe Sicherheit
- Hohe Qualität
- Wertiges Branding



# Beispiel: statistische Toleranzanalyse mit **CETOL6**

1. Schließt die Bindung im Schnee?



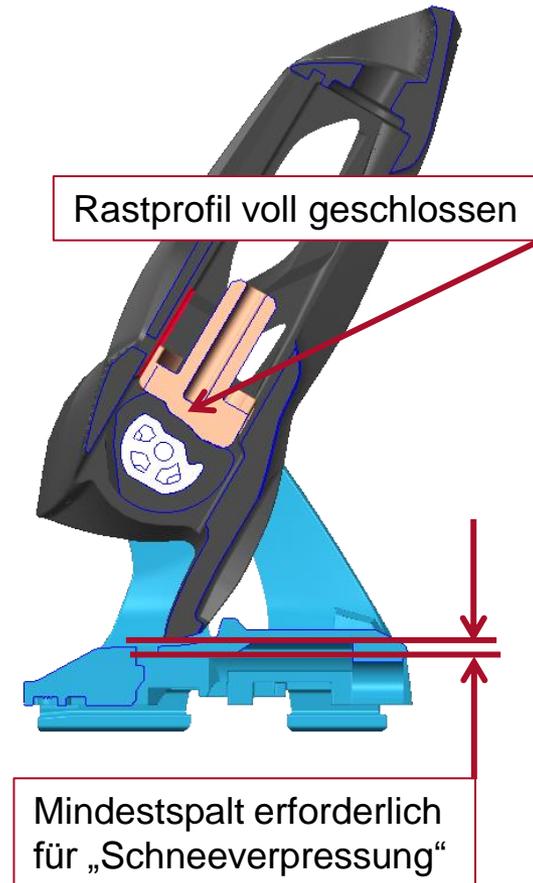
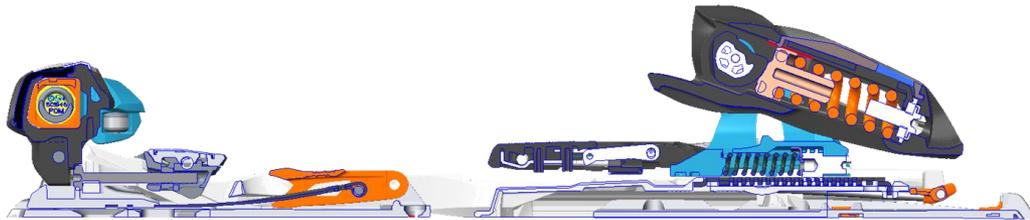
2. Passt der Schuh in die Bindung?

Folie 5



# Beispiel: statistische Toleranzanalyse mit **CETOL6<sup>vr</sup>**

## 1. Schließt die Bindung im Schnee?



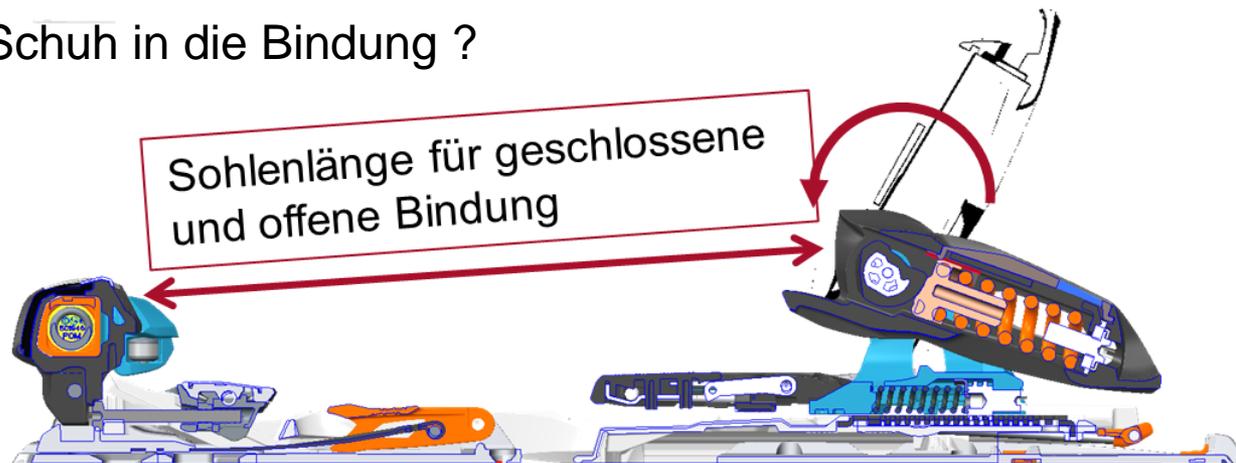
# Beispiel: statistische Toleranzanalyse mit **CETOL6<sup>+</sup>**



Größentabelle für Skischuhe

Mondpoint (cm)	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31
EU - Größen	36	37,5	38,5	39,5	41	42	43	44,5	45,5	46,5
Sohlenlänge (mm)	265	275	285	295	305	315	325	335	345	355

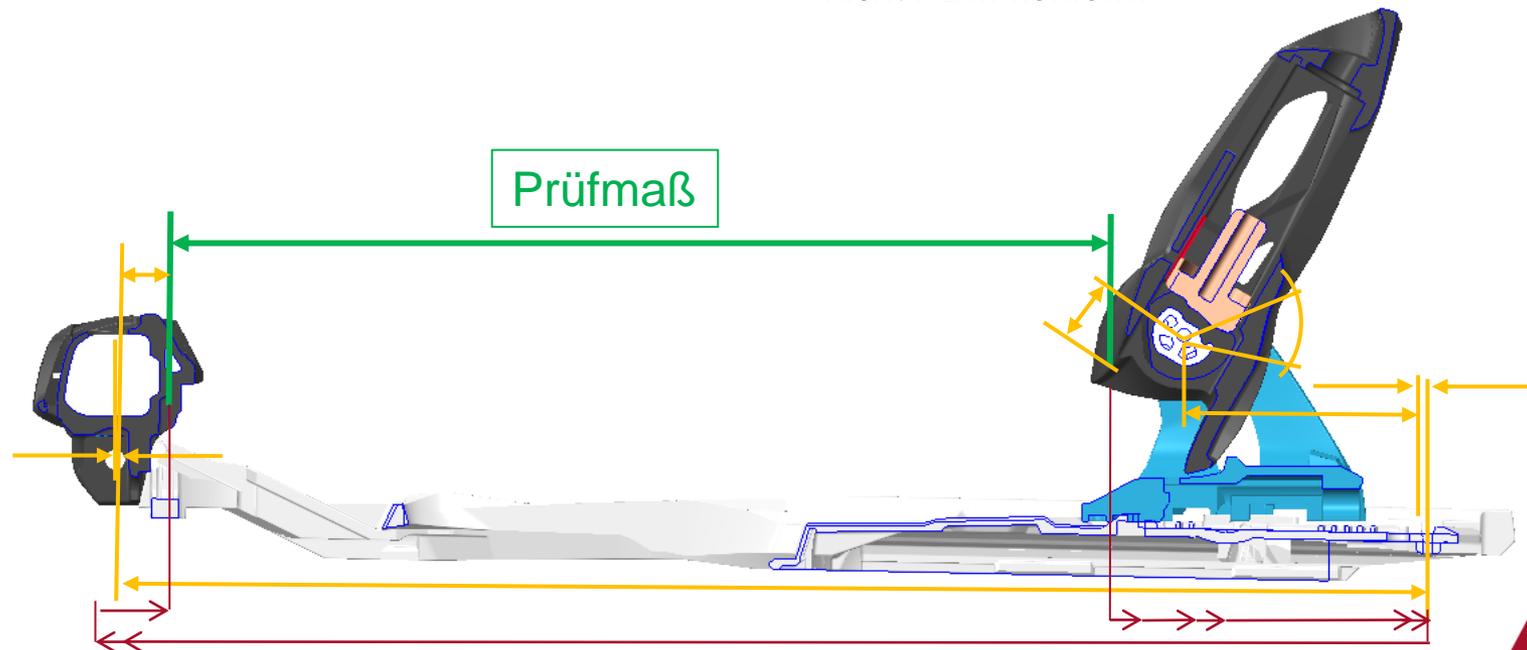
2. Passt der Schuh in die Bindung ?



# Lösungsansätze im Vergleich: Zeichnerische Lösung

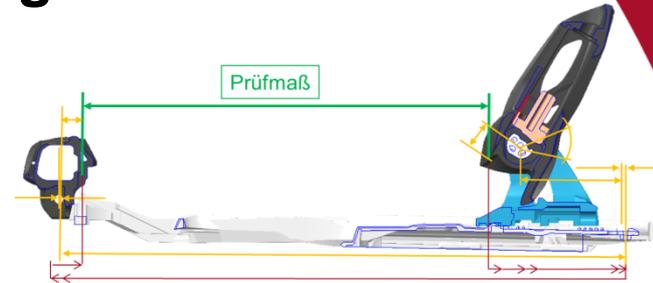
## ○ Zeichnerische Lösung nicht nutzbar weil:

- jede Baugruppenstellung in alle Richtung separat einrichten.
- keine Funktionskinematik im Toleranzmodell
- Lagerspieltoleranzen nicht enthalten
- nur projizierte 1D-Lösung möglich
- keine Form- & Lagetoleranzen enthalten
- nur Worst Case möglich
- keine statistische Vorhersage möglich
- sehr aufwendig
- erweiterte Auswertungen nur mit externen Programmen möglich (z. B. MS-EXCEL)
- keine Dokumentation
- nicht PDM-konform



# Lösungsansätze im Vergleich: Lösung mit MS-EXCEL

- **Microsoft EXCEL nicht nutzbar weil:**
  - jede Baugruppenstellung separat einrichten
  - keine Funktionskinematik im Toleranzmodell
  - nur vereinfachte Projektionen möglich
  - Statistik nur mit sehr hohem Aufwand möglich
  - nur bedingt für Kommunikation in der Gruppe geeignet
  - kein 3D-Modell möglich
  - Arbeitsblätter nicht übertragbar
  - häufig nicht nachvollziehbar
  - keine Dokumentation
  - nicht PDM-konform



- Maßkette extrahieren
- jedes Einzelmaß in Messrichtung projizieren



**TOLERANZANALYSE**

Bemerkung	Nr.	Nennmaß	$\mu$	Toleranz	cp	Stddev.	Richtung	Winkel
MH to LH - TY	Maß 1	5.2	5.2	0.2	1			
LH to B	Maß 2	20	20	0.2	1	0.866		
SH to C	Maß 3	10	10	0.2	1	-0.5		
LH to C	Maß 4	30	30	0.2	1	0.5		
SH to B	Maß 5	15	15	0.2	1	-0.866		
MH to C - RX	Maß 6	30	0	0.5	1	-0.866	x	
SH Size	Maß 7	5	5	0.2	1	-0.5		
MH Size	Maß 8	9	9	0.2	1	-0.5		
Maß 9	0							
Maß 10	0							
Maß 11	0							
Maß 12	0							
Maß 13	0							
Maß 14	0							
Maß 15	0							
Maß 16	0							
Maß 17	0							
Maß 18	0							
Maß 19	0							
Maß 20	0							

LTL	UTL	Toleranz	cp	Stddev
5.4	5	0.2	1	0.066666667
19.8	20.2	0.2	1	0.066666667
10.2	9.8	0.2	1	0.066666667
29.8	30.2	0.2	1	0.066666667
15.2	14.8	0.2	1	0.066666667
0.5	-0.5	0.5	1	0.166666667
5.2	4.8	0.2	1	0.066666667
9.2	8.8	0.2	1	0.066666667

Schließmaß

anfrähsch	LTL	MTL	DTL
	1.0543	2.13	3.2057

statistisch

$\mu$	$\sigma$
2.13	0.131957472

Grenzwerte des Schließmaßes

cp	LTL	UTL
1.515628206	1.8	3

$\cos(\alpha) = \frac{\Delta M}{M}$

`=WENN(G7="";WENN(E7="";"";WENN(F7="";"";E7/(3*F7)));G7)`

`=WENN(E33=0;"";WENN(E38="";"";WENN(E39="";"";WENN(E33="";"";(E39-E38)/(6*E33))))`

**In EXCEL**

- Schwer nachvollziehbar
- eingeschränkte Wiederverwendung
- eingeschränkte Ergebnisse

$$\delta = \sqrt{\sum_{i=0}^n \sigma^2}$$

$$\mu = \sum_{i=0}^n (\mu_n \cdot S_n)$$



# Lösungsansätze im Vergleich: **CETOL6**

## ○ **CETOL6**

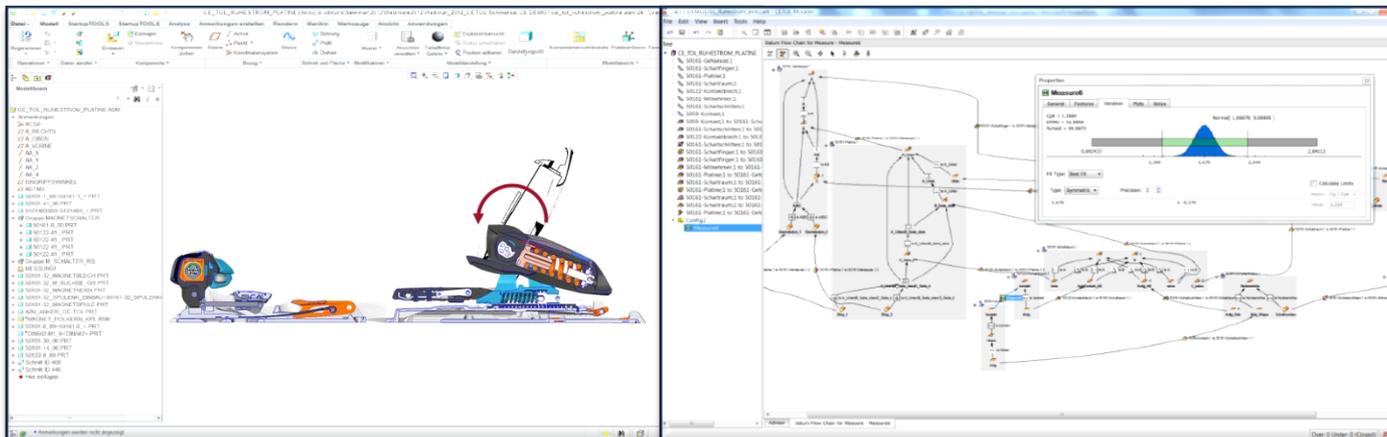
- jede Montagestellung der Baugruppe einstellbar
- Funktionskinematik im Toleranzmodell leicht konfigurierbar
- verschiedene Funktions- und Betriebszustände in nur einem Modell definierbar
- 3D-Maßketten sehr gut abbildbar
- Form- und Lagetoleranzen jederzeit machbar
- statistische und Worst Case Ergebnisse verfügbar
- automatische Dokumentation
- PDM-konformes Simulieren
- sehr gute Übersicht
- direkte Implementierung in die CAD-Datenstruktur (Pro/ENGINEER, Creo, Solid Works, Catia V5)

**Sigmatix**

**Schnell**

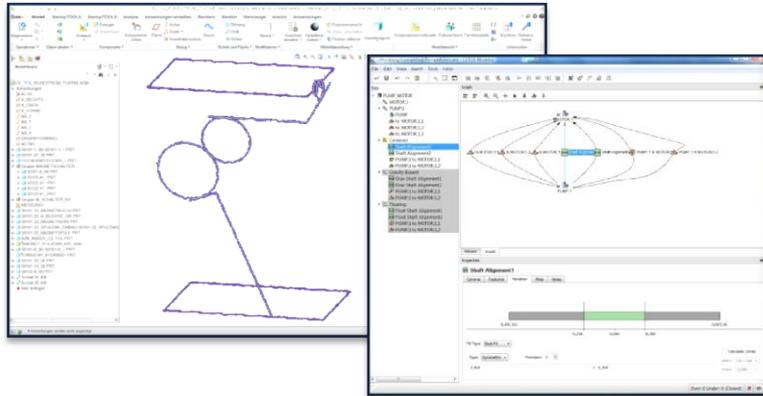
**Umfassend**

**Übersichtlich**



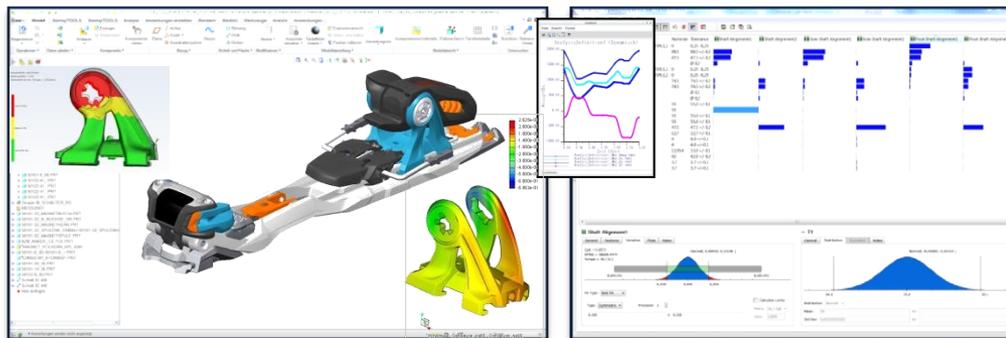
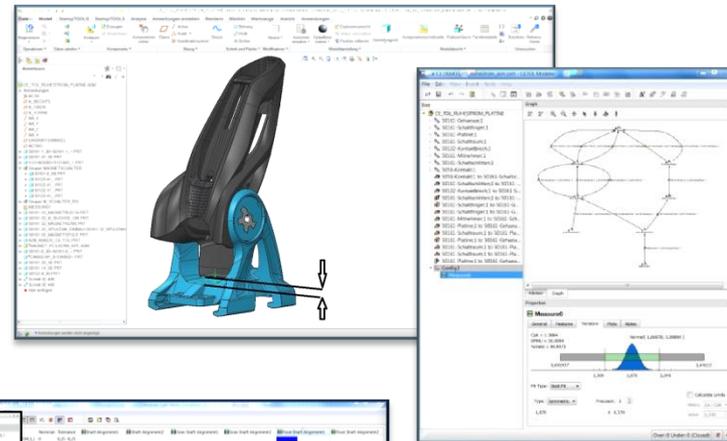
# Berechnungsablauf in **CETOL 6**

## Einsatzphasen und Arbeitsschritte mit **CETOL 6**



### 1. Konzeptuntersuchung an einfachen Kurven oder Flächen

### 2. Teilaufgabenuntersuchungen an vereinfachten Baugruppen



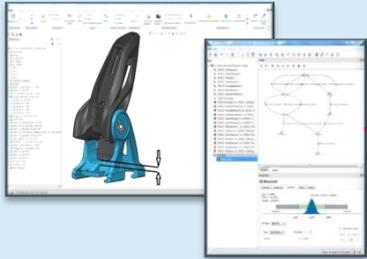
### 3. Prozessnahe Untersuchungen an voll-detaillierten Serienteilen



# Berechnungsablauf in **CETOL6**

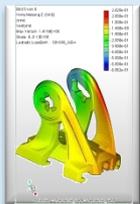
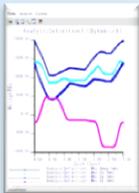
## Einsatzphasen und Arbeitsschritte mit **CETOL6**

### 1. Teilaufgabe



Ist eingebaut und wird weiter verwendet

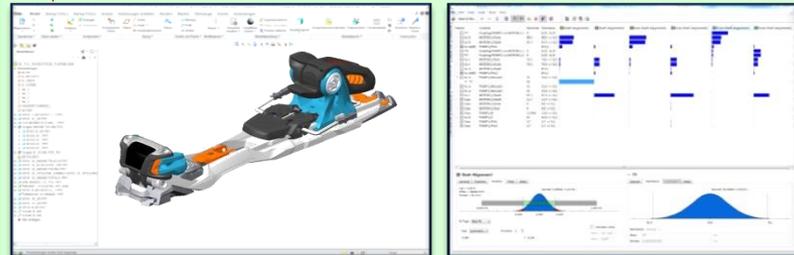
- Prüfmaße festlegen
- Kontakte und Gelenke definieren
- Maßkette aufbauen
- Toleranzen eintragen
- Ergebnisse auswerten



Interdisziplinäre  
Gegenprüfungen

- FEM
- Kinematik
- Spritzgussimulation
- Labor / Tests

### 2. Hauptfunktionsmerkmaluntersuchungen

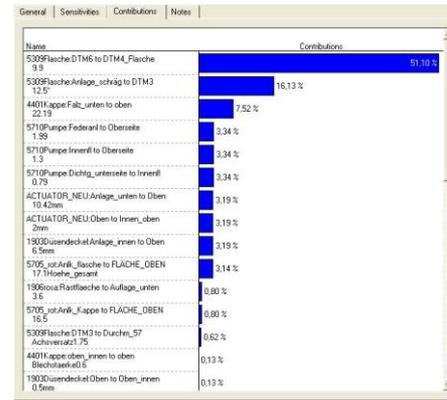


- Prüfmaße festlegen
- Kontakte und Gelenke definieren
- Maßkette aufbauen
- Toleranzen eintragen
- Ergebnisse auswerten

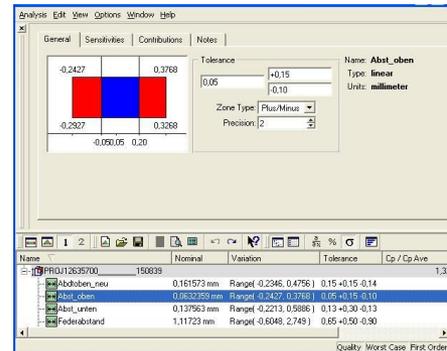
Modelle können weiter verwendet  
werden für weitere Aufgabenstellungen

# Ergebnisauswertung in **CETOL 6 $\sigma$**

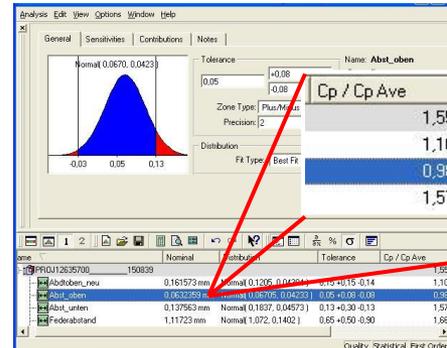
„Welches Maß hat welchen Einfluss?“



„Wie sieht der Worst-Case aus?“



Statistische Auswertung nach 6-Sigma



# Beispiel: statistische Toleranzanalyse mit **CETOL6<sup>®</sup>**

## Wo steht ihr Unternehmen ?

# Theorie & Praxis

Äußere Anforderungen an das Produkt



Produkthaftung nach EG-Richtlinie 85/374/EG

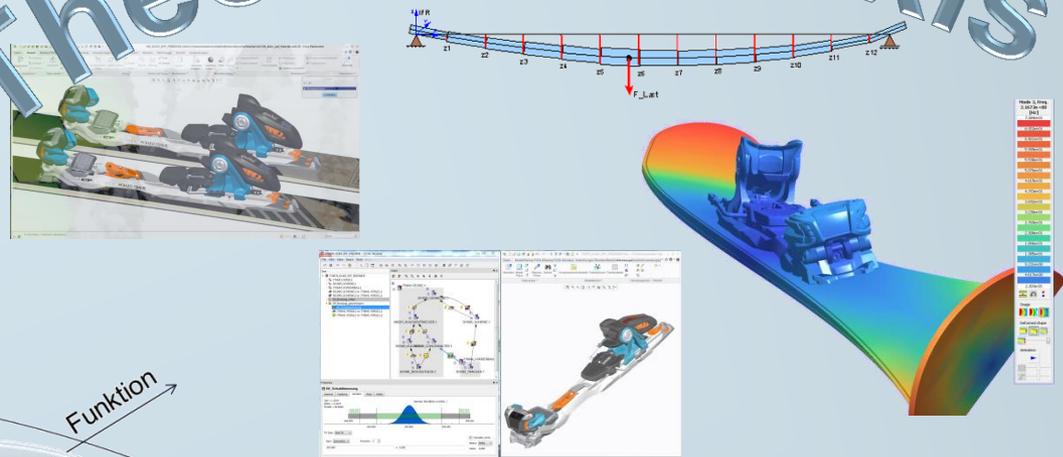
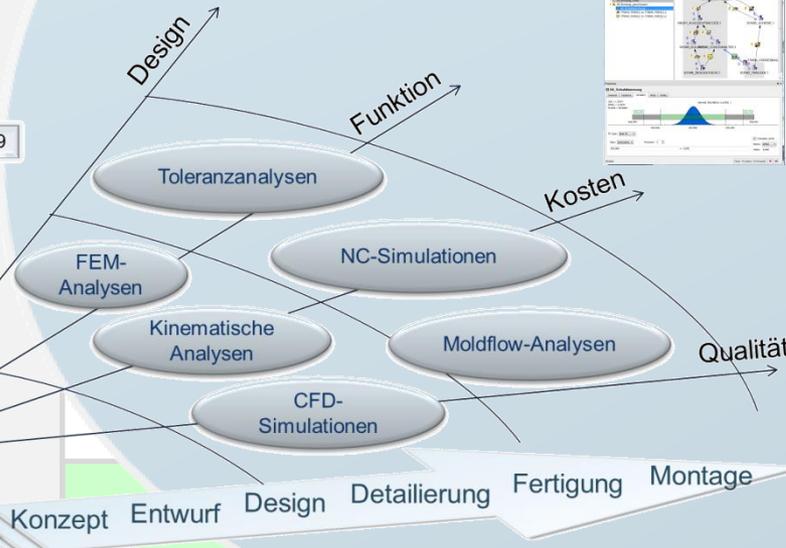
Produkthaftungsgesetz §1-19

Sicherheitsvorschriften

Markt- und Branchenvorschriften

ASME

DIN ISO



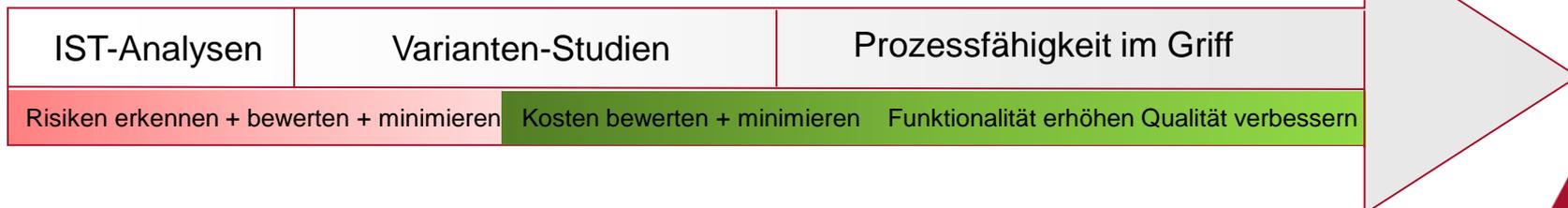
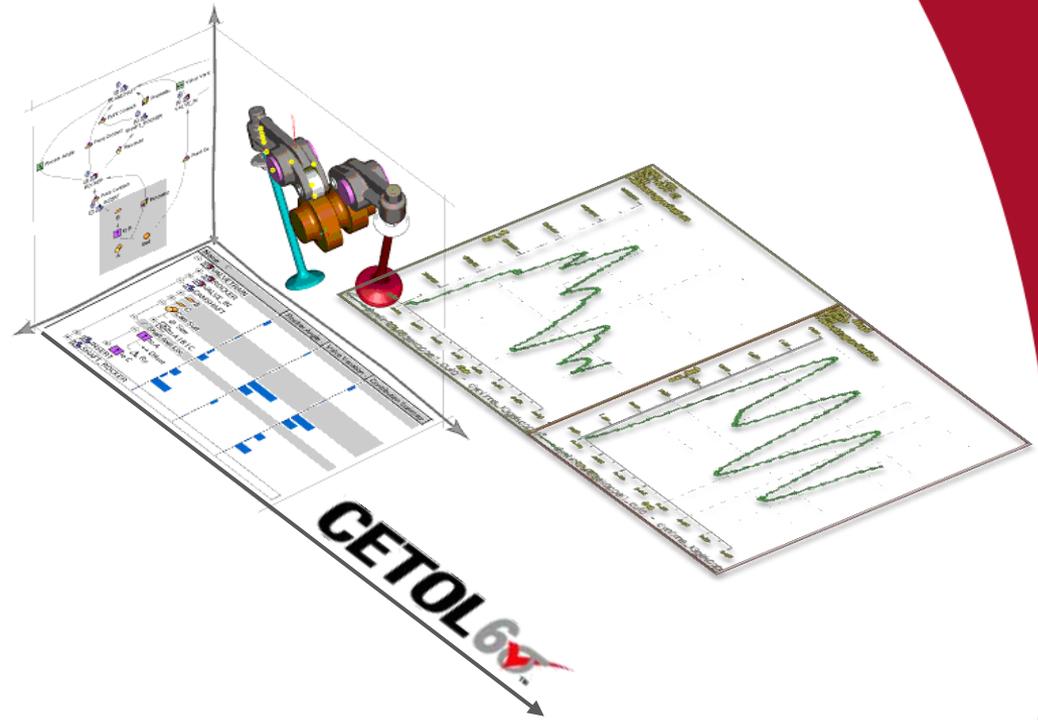
Unternehmensanforderungen an das Produkt



# Zusammenfassung Creo Elements und **CETOL6**<sup>✓</sup>

## SCHNELLER zum Ergebnis

- CAD-integriert
- Einfache Handhabung
- Umfassende Funktionalität
- Sehr genaue Ergebnisse
- Sehr schnelle Solver
- Messbare Wertschöpfung
- Schneller ROI





kompetent † schnell † erreichbar † servicefreundlich † preis-leistungsstark

**That's IT.**