

**2011**

**Kennfeldverbreiterung eines Radialverdichters für  
Abgasturbolader durch multidisziplinäre  
CFD-FEM-Optimierung mit FINE™/Turbo**

Th. Hildebrandt, L. Gresser, M. Sievert



**01**

**Zielsetzung & Methode**

**02**

**CFD basierte Optimierung**

**03**

**CFD-FEM basierte Optimierung**

**04**

**Zusammenfassung**

## Zielsetzung & Methode

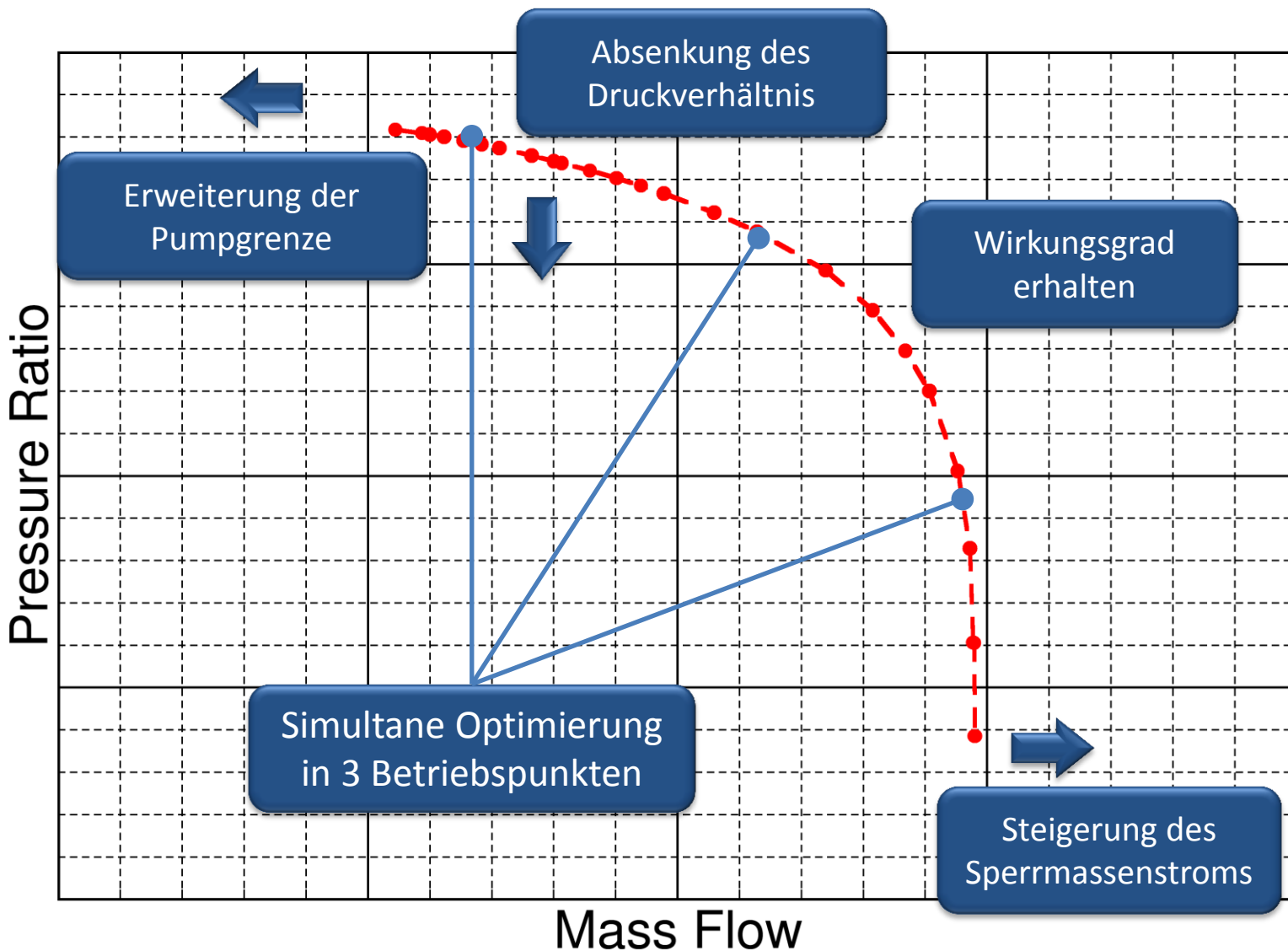


## Ziel:

Erweiterung des nutzbaren Betriebsbereiches eines ATL-Verdichters durch numerische Optimierung.

## Einzelziele:

- Steigerung des Sperrmassenstromes  $m_{\text{choke}}$  um mind. 10%
- Reduktion der Leistungsaufnahme durch Absenkung des Totaldruckverhältnis  $P_v$ .
- Erweiterung der Pumpgrenze.
- Beibehaltung oder Steigerung des Wirkungsgrads  $h_{is}$ .
- Begrenzung der maximalen von-Mises Spannung  $S_{\text{max}}$ .





Allgemeine Optimierungsprobleme in Bezug auf Strömungsmaschinen:

- Beinhalten viele Nebenrandbedingungen (Schaufeldicke, Festigkeit, Fertigbarkeit, etc.)
- Beinhalten in der Regel viele ( $> 20$ ) zu optimierende Parameter



N-dimensionale Zielfunktion mit zahlreichen Nebenextrema

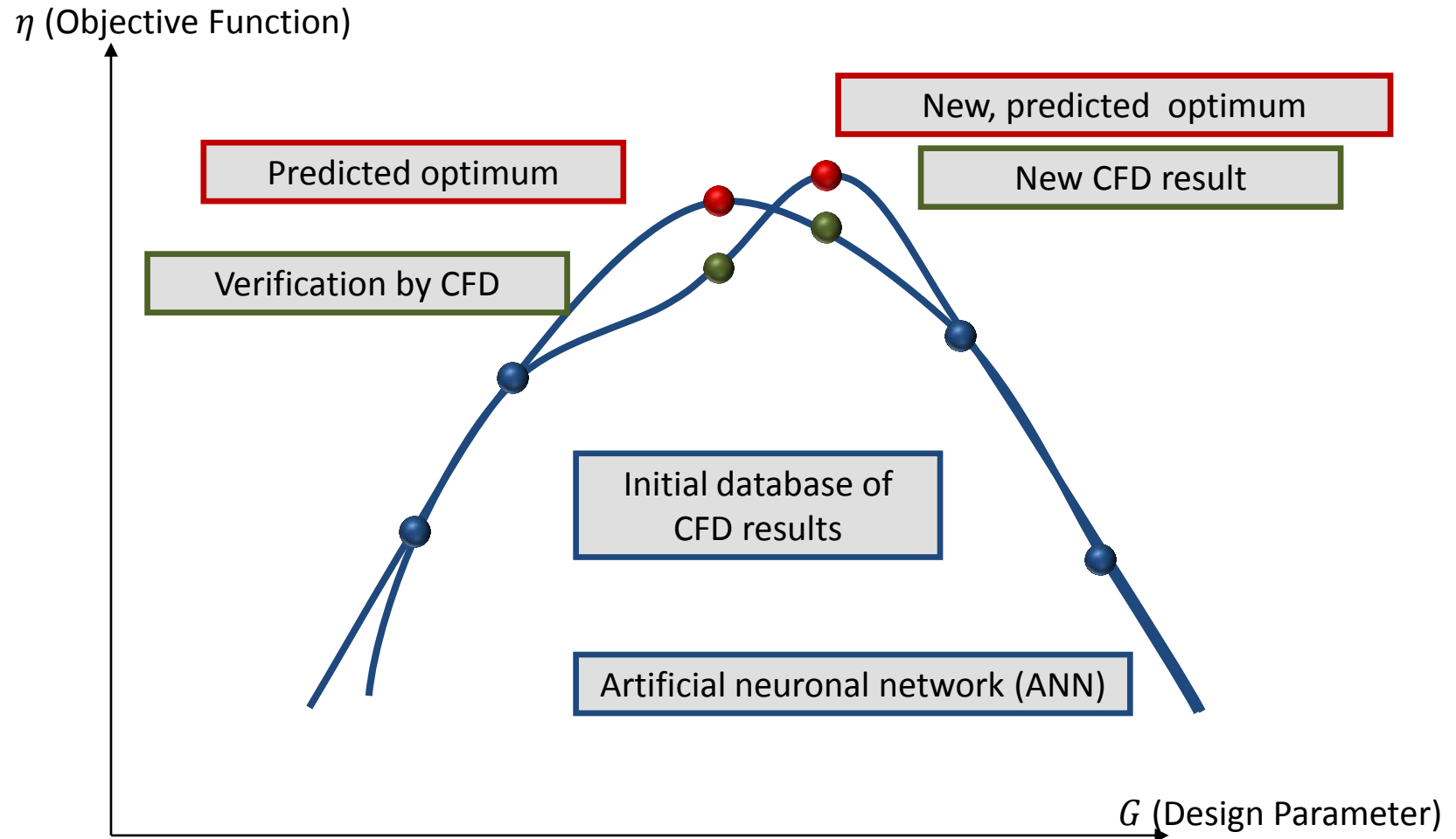
Familien von Optimierungsmethoden :

- Optimierungsmethoden basierend auf Gradientenverfahren:
  - + Gute Konvergenzrate ( $\sim 100 \dots 500$  Funktionsaufrufe)
  - Anfällig für Nebenextrema
- Genetische Algorithmen:
  - + Hohe Wahrscheinlichkeit die Nähe des globalen Optimums zu erreichen
  - Erfordern  $>10.000$  Funktionsaufrufe (nicht möglich für CFD)

- Anstelle eines 3D CFD Verfahrens wird ein künstliches neuronales Netzwerk (ANN) als Optimierungsfunktion verwendet
- Genetischer Optimierungsalgorithmus ruft dann das neuronale Netzwerk auf
- Ergebnisse werden per CFD verifiziert
- Rückführung der CFD Ergebnisse in das künstliche neuronale Netzwerk zur Verbesserung der Ergebnisse.

Neurales Netzwerk wird durch CFD trainiert!

## Step 7: CFD Verification of Improved Parameter Combination





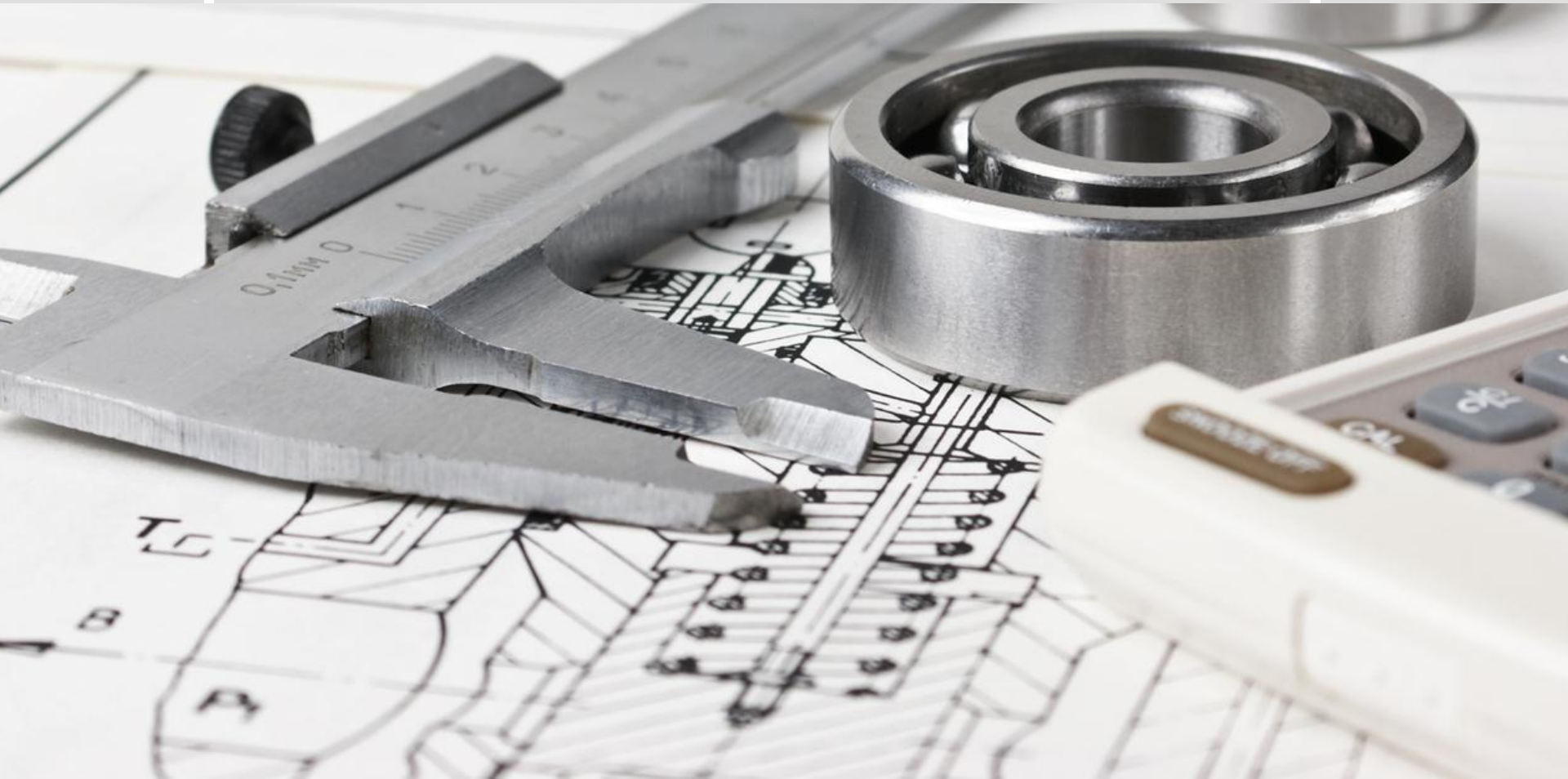


### Methode: FINE™/Design 3D:

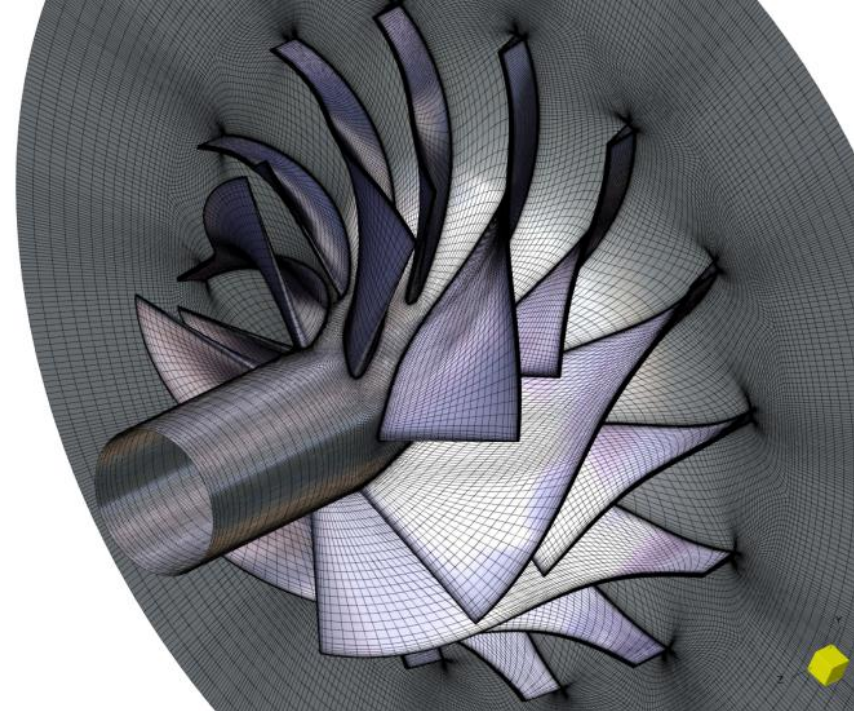
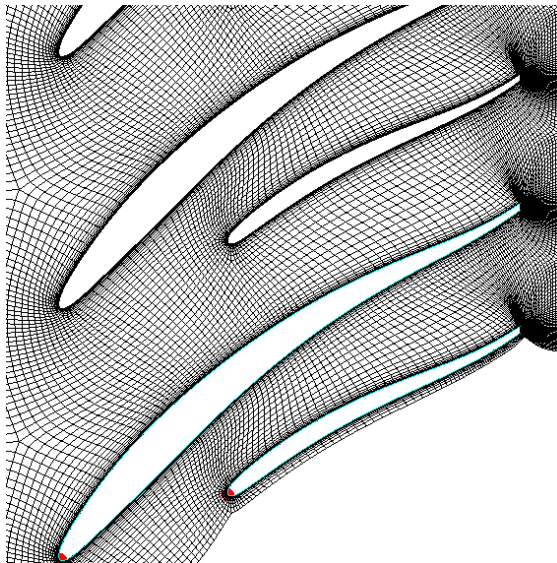
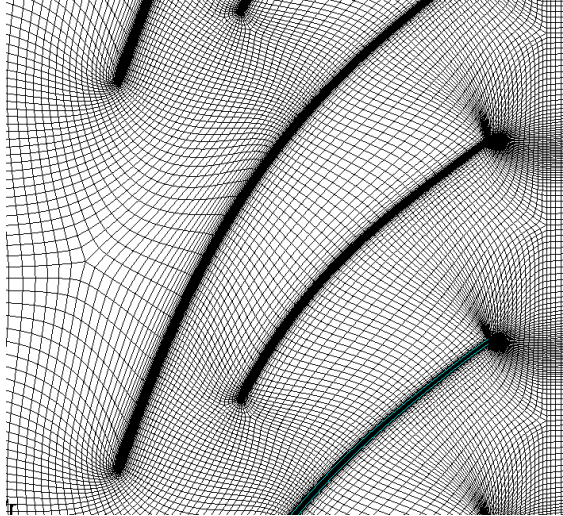
- Kommerziell verfügbares Optimierungsverfahren für Turbomaschinen
- Nahtlose Prozesskette:
  - Netzerzeugung
  - CFD Verfahren FINE™/Turbo
  - Parametrisierung der Geometrie
  - Optimierung

02

## CFD basierte Optimierung



Größe	Symbol	Wert	Einheit
Schaufelzahl	N	7 +7	[ - ]
Umfangsgeschwindigkeit (Austritt) n=100%	$u_2$	500	[m/s]
Außendurchmesser	$d_2$	77	[mm]
Totaldruckverhältnis (CFD)	$P_v$	3.9	[ - ]

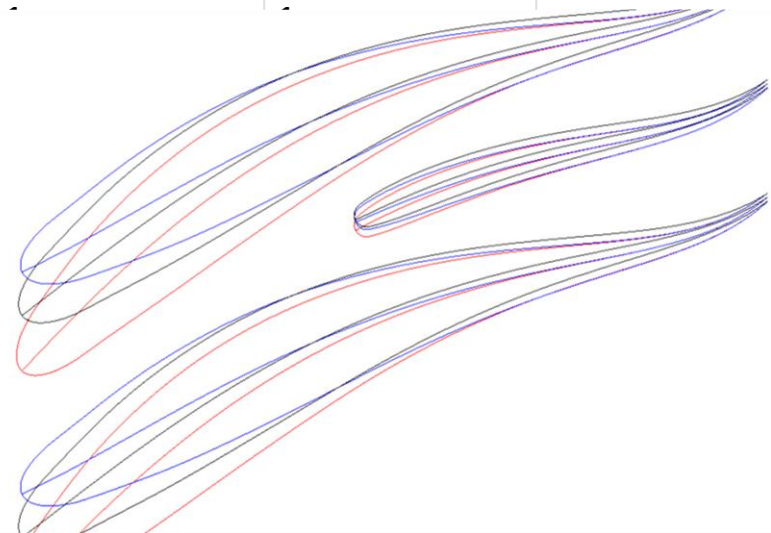


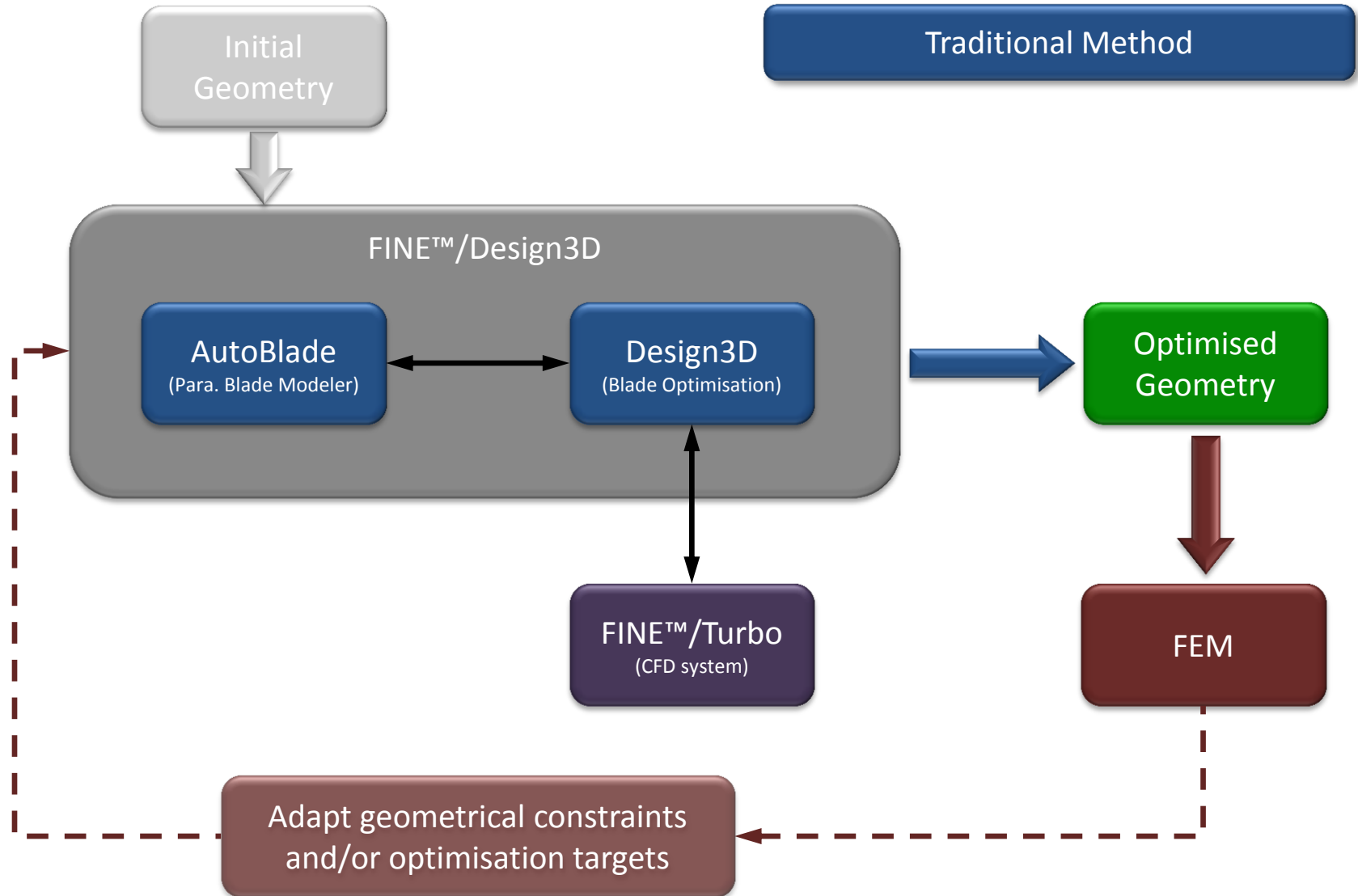
Größe	Wert
Punktezahl	ca. $10^6$ (1 Passage)
Generierung	~ ca. 2min
CFD Rechenzeit (4 cores)	ca. 1h (3 Betriebspunkte)



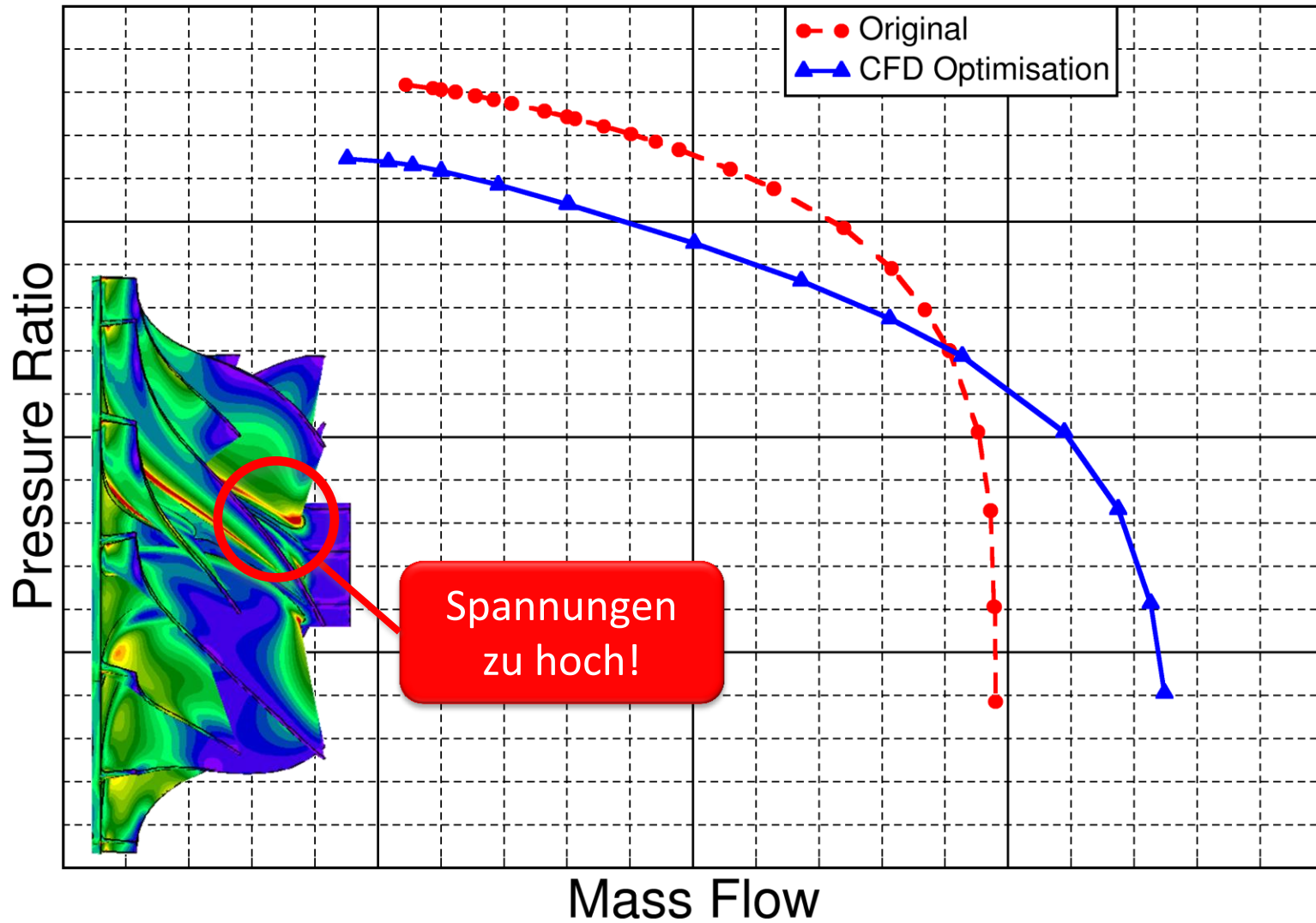
	Anzahl Parameter	
	Gesamt	Freie
Naben- & Gehäusekontur	18	4
Skelettlinie (Hauptschaufel)	$2*5=10$	$2*5=10$
Skelettlinie (Splitterschaufel)	$2*4=8$	0
Dickenverteilung (Hauptschaufel)	$2*12=24$	0
Dickenverteilung (Splitterschaufel)	$2*10=20$	0
Position d. Splitters	$2*3=6$	3
Meridionale Ausrichtung	6	2
Tangentiale Ausrichtung	-	-
Schaufelzahl		
<b>Summe</b>		

Mögliche Variation des Nabenschnittes









## Übliche Maßnahme:

- Leichte (!) Aufdickung des Schaufelfußes.

## Nicht möglich!

- Kleinster möglicher Fräserdurchmesser ( $\phi=5\text{mm}$ ).

## Lösung:

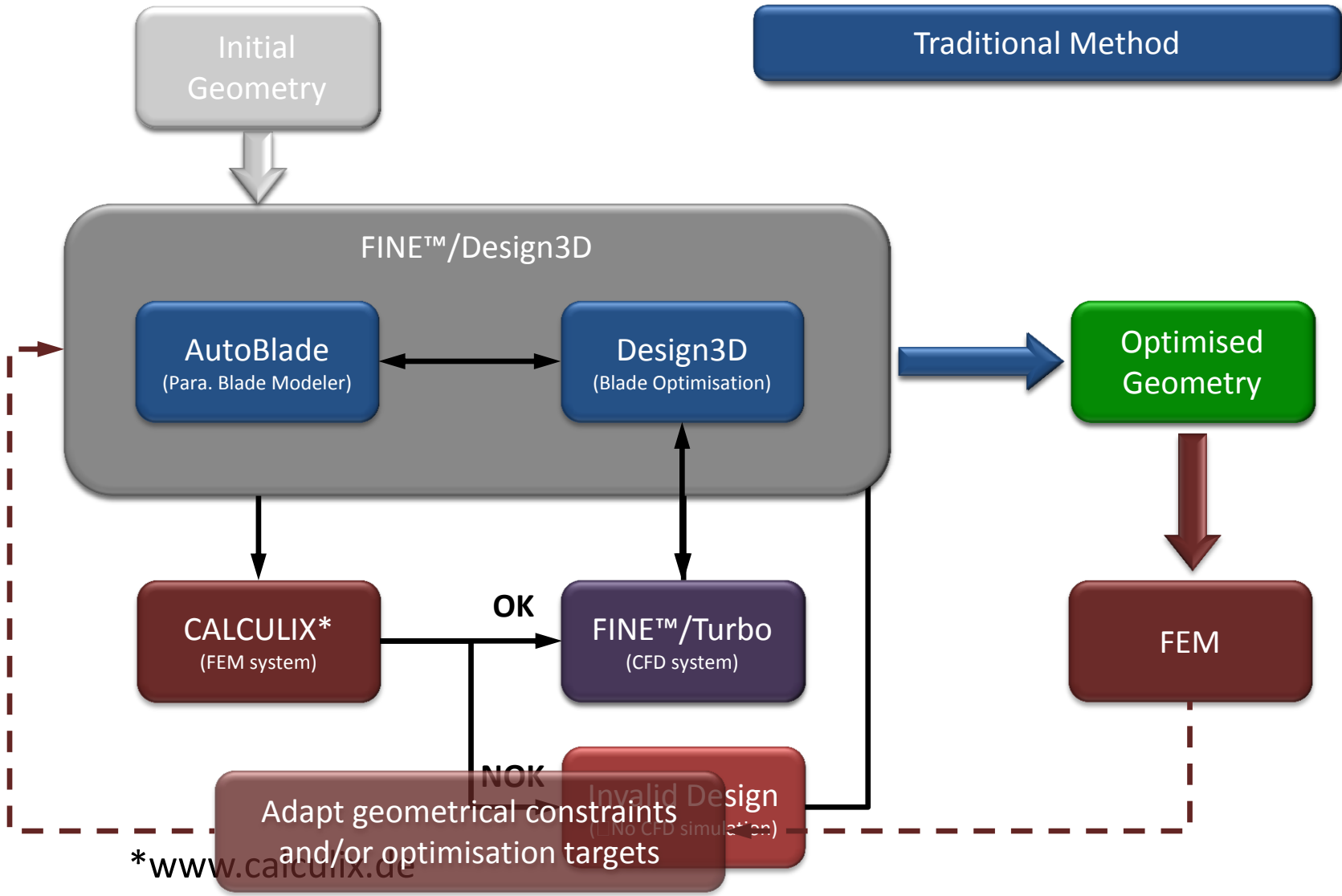
- Erweiterung des Optimierungsalgorithmus auf eine simultane CFD-FEM Optimierung.



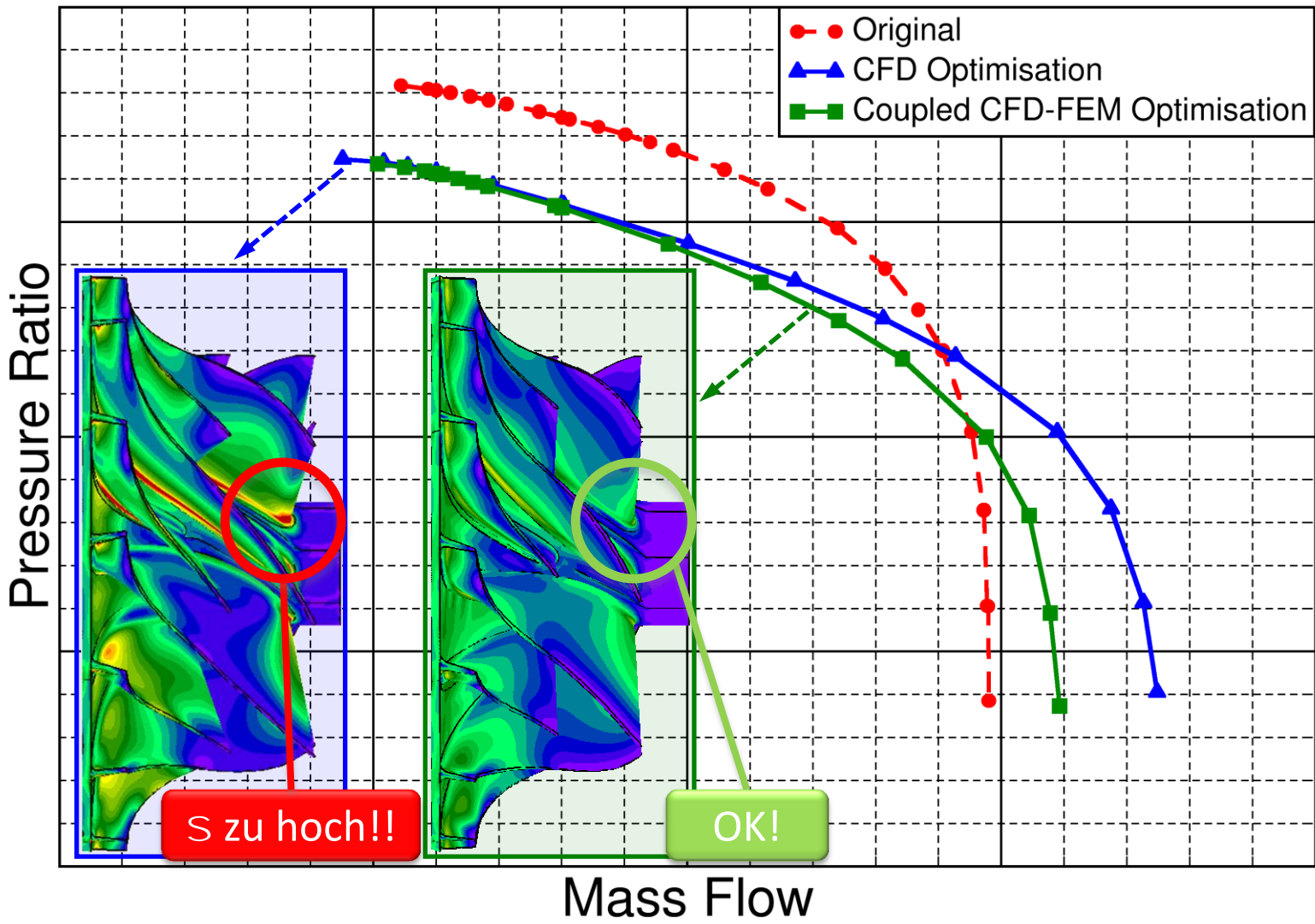
03

## CFD-FEM basierte Optimierung

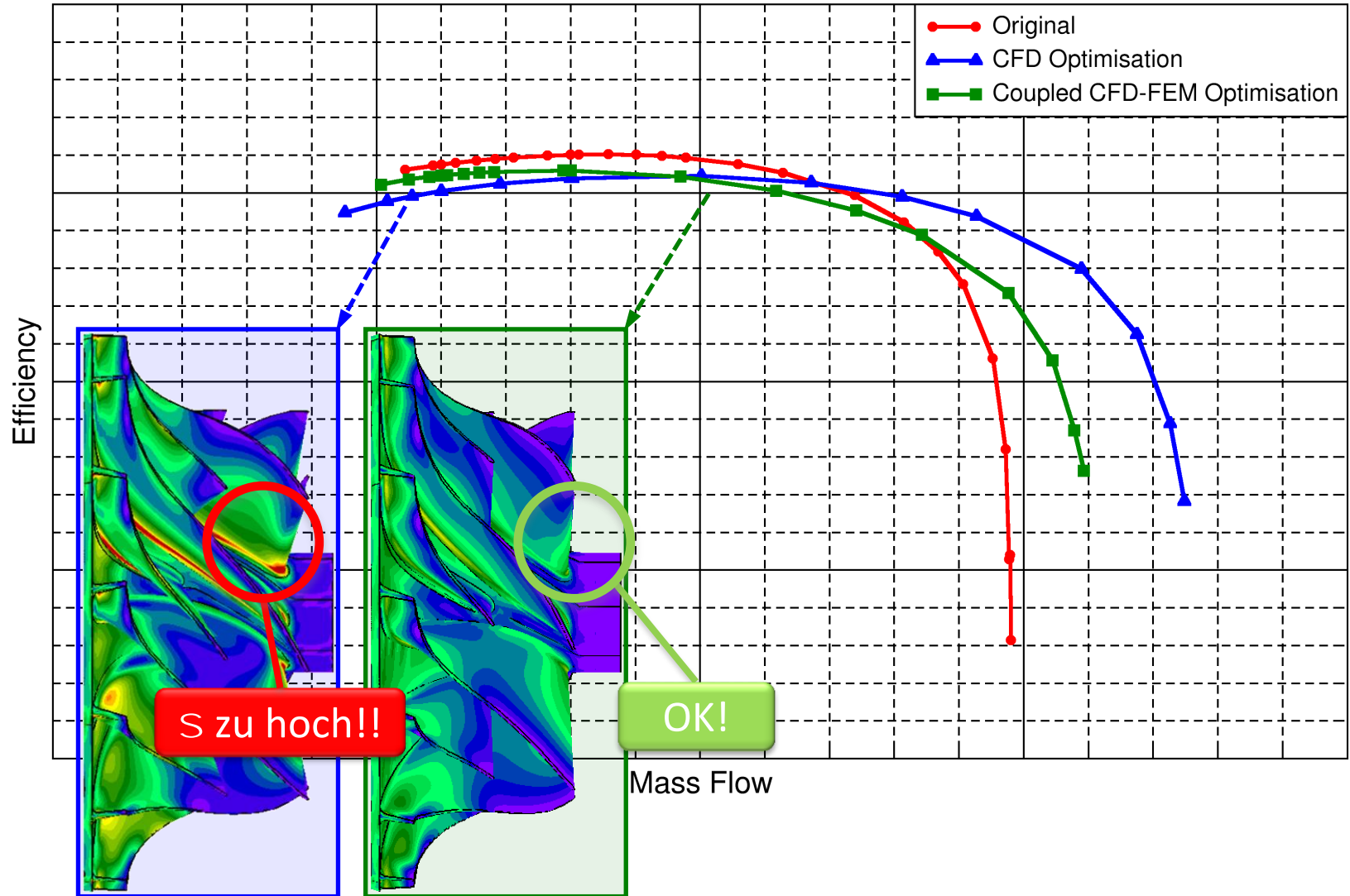




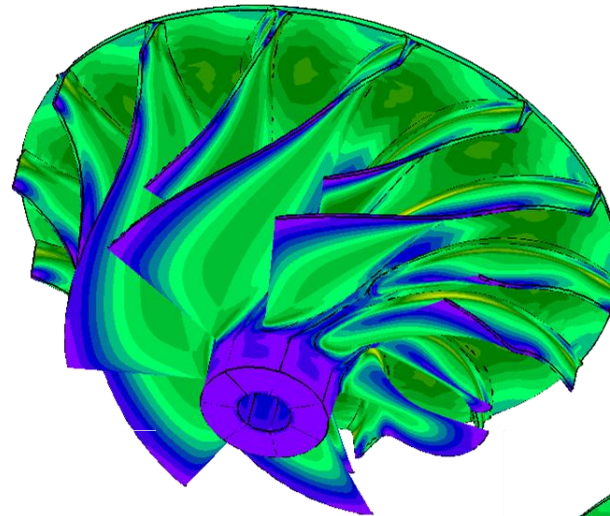
\*www.calculix.de



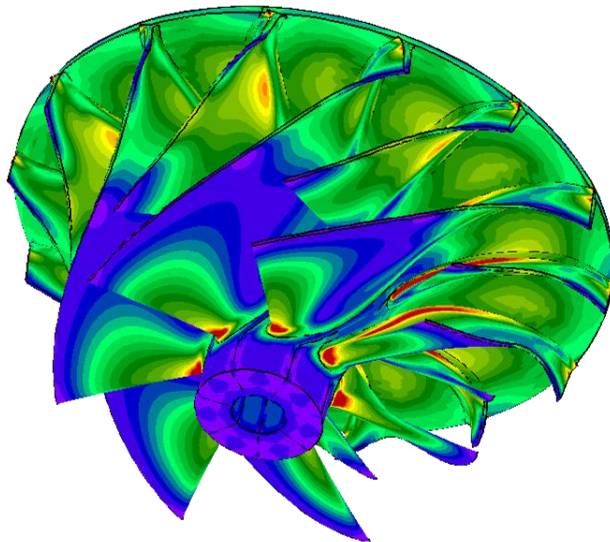




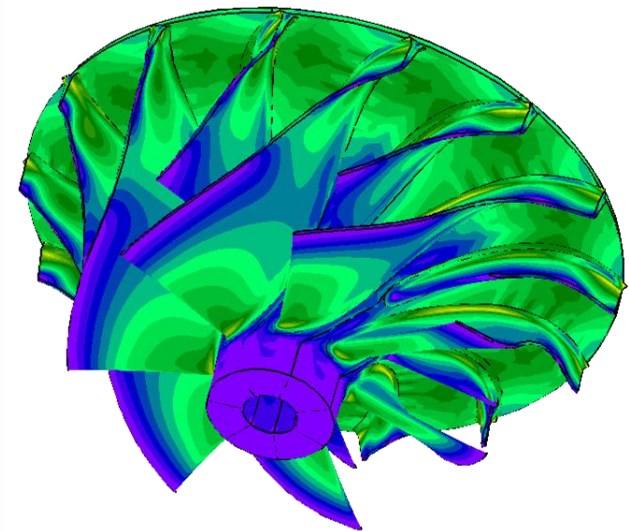




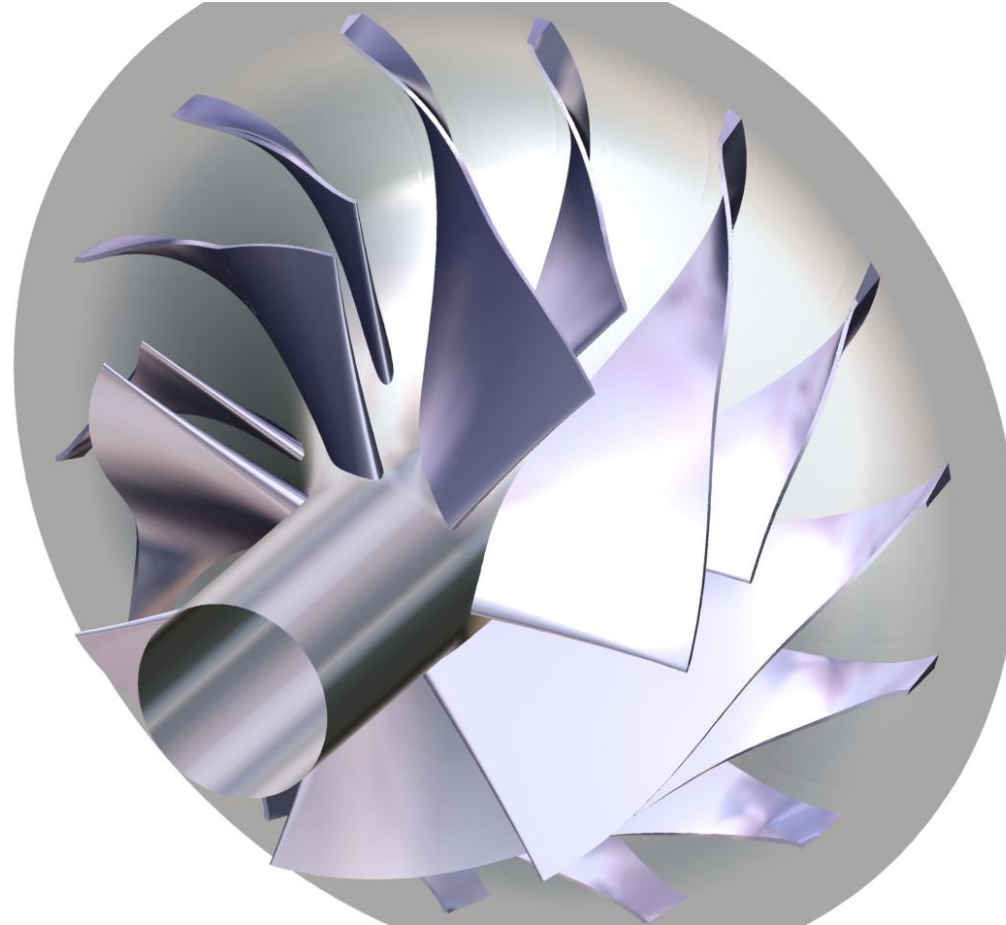
Original



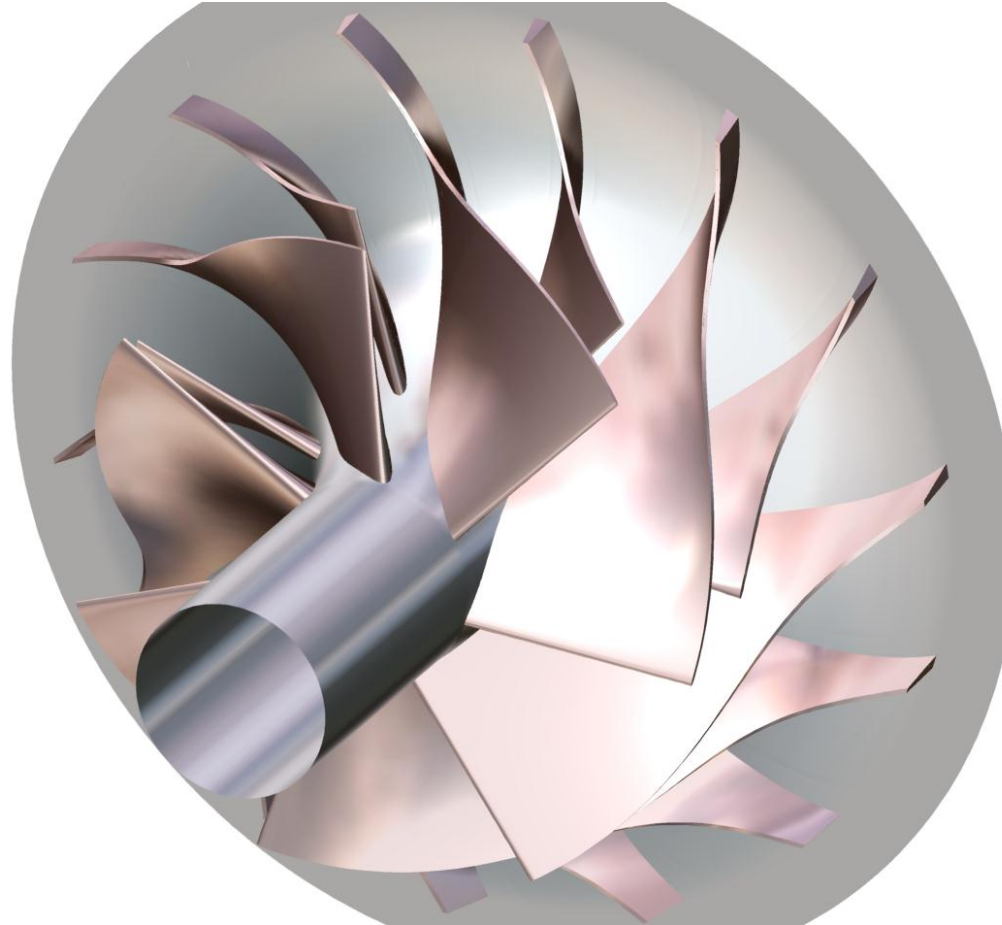
CFD Optimierung



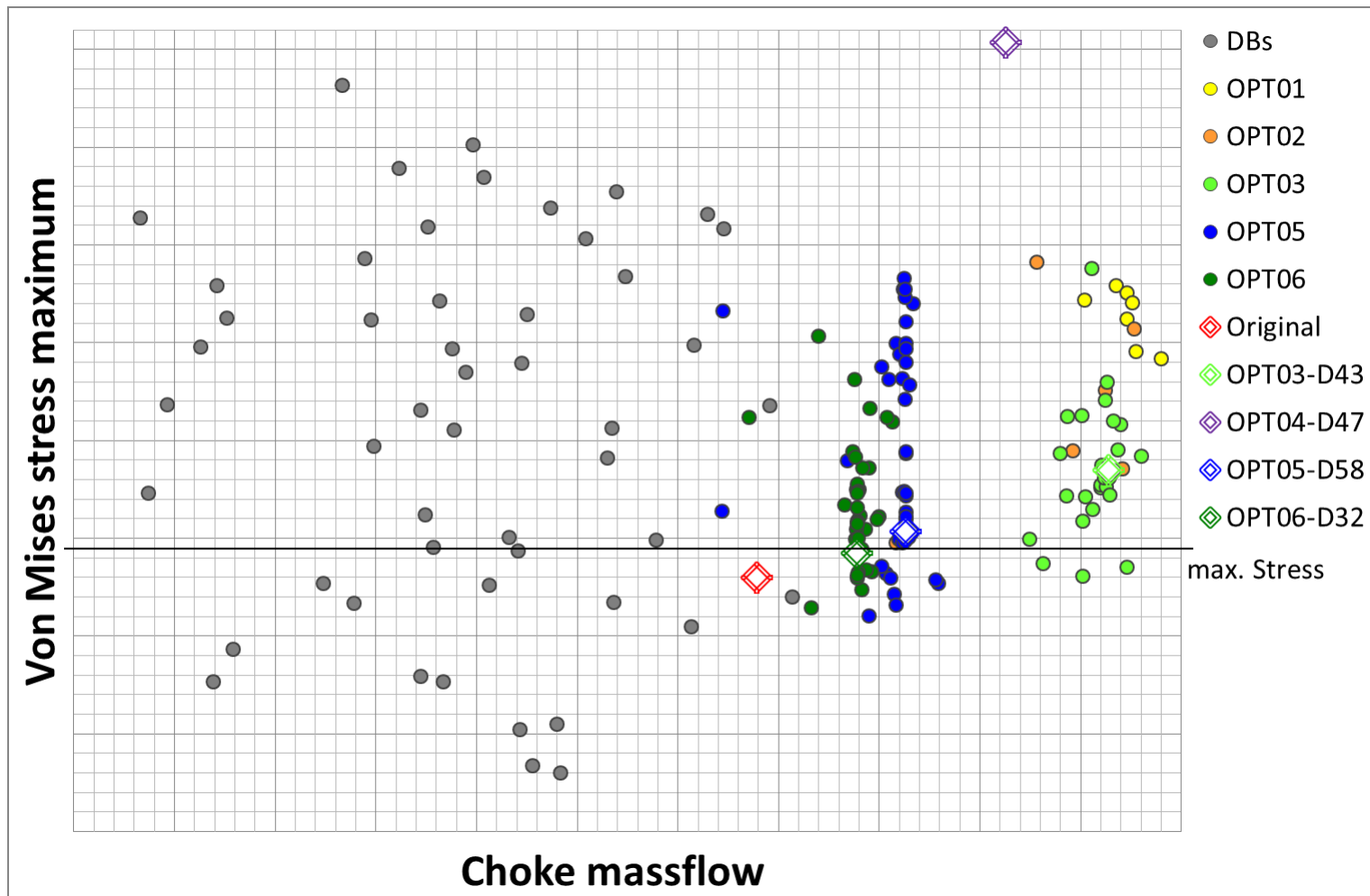
CFD-FEM Optimierung

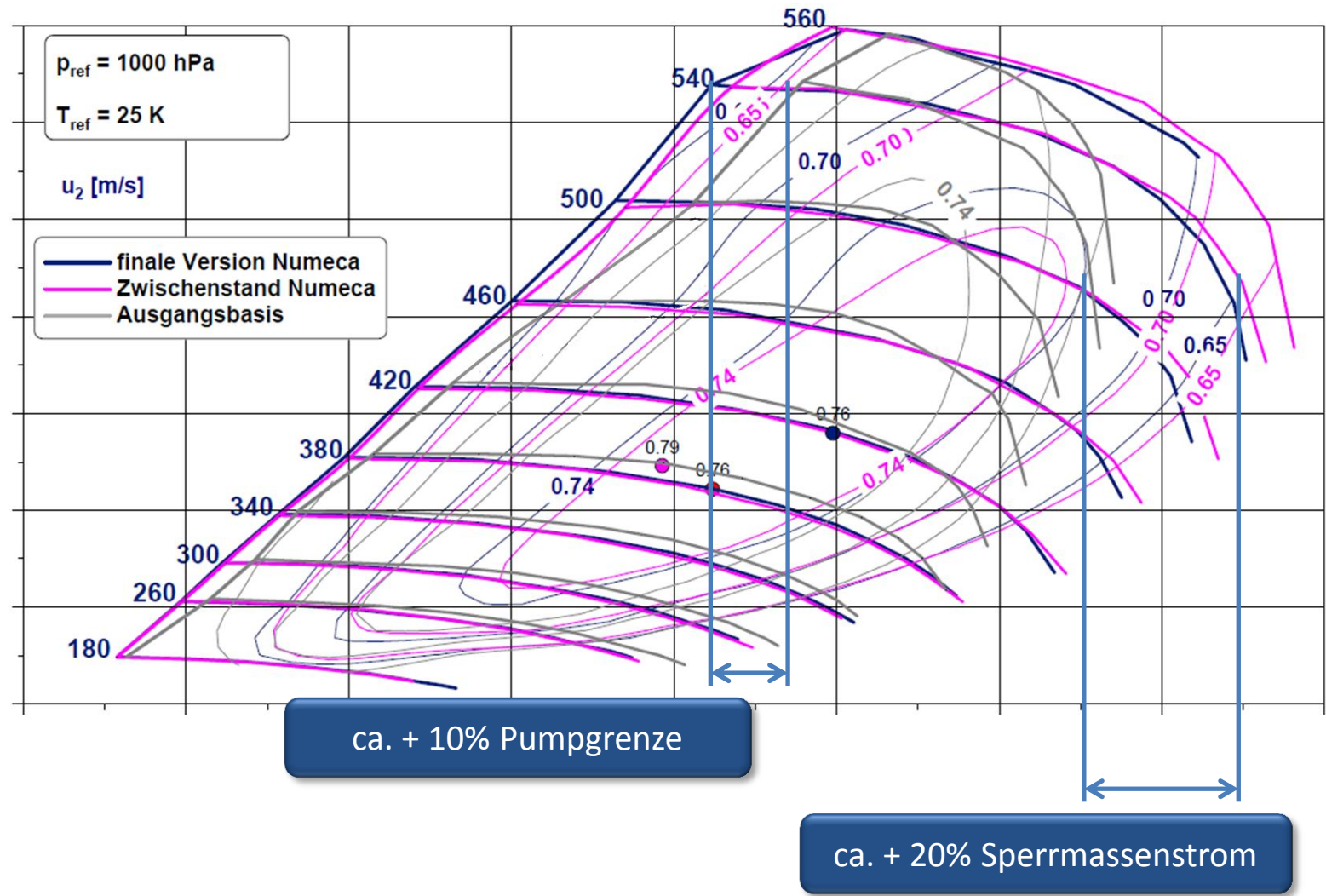


Original



CFD-FEM Optimierung





## Zusammenfassung

- Nutzbare Kennfeldbreite eines ATL Verdichterlaufrades im Vollastbereich um über 30% gesteigert.
- Kennfelderweiterung im Teillastbereich ca. 20%.
- Reine CFD-basierte Optimierung führt zu unzulässig hohen Materialspannungen.
- Multidisziplinäre CFD-FEM-Optimierung garantiert Einhaltung der maximal zulässigen Spannungen.
- Flankenfräsbarkeit gewährleistet.
- Ergebnisse im Prüfstandversuch bestätigt.



**2011**

Ende der Präsentation

**Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit!**

