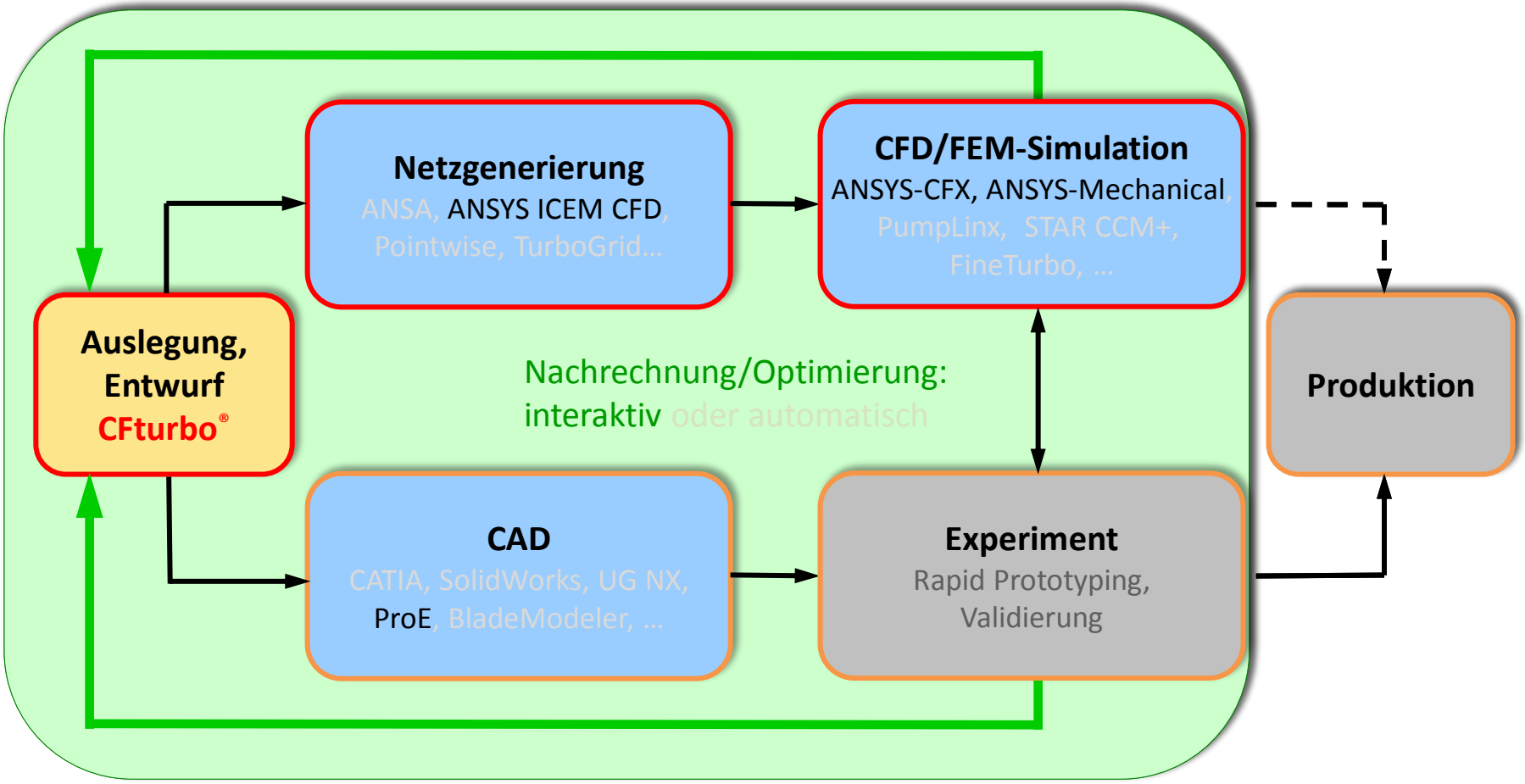
Auslegung, Entwurf, Nachrechnung und Optimierung einer Hochdruck-Turboverdichterstufe

Alexander Fischer, Marius Korfanty, Ralph-Peter Müller
CFturbo® Software & Engineering GmbH, München

Johannes Strobel
ASA Kompressor GmbH, Aresing

ANSYS Conference & 32nd CADFEM Users' Meeting 2014
June 4 – 6, 2014, NCC Ost, Messe Nürnberg

1. Einleitung – Entwicklungsprozess Turbomaschinen



Auslegung einer Hochdruckverdichterstufe, bestehend aus Laufrad, unbeschaufeltem Radialdiffusor und Spiralgehäuse im Kundenauftrag der Firma ASA® Kompressor GmbH.

Auslegungsdaten

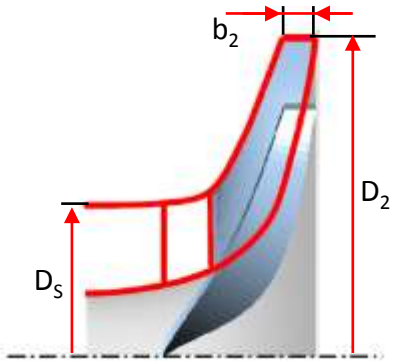
Totaldruckverhältnis:	$\Pi_{tt} = 4$
Massenstrom:	$\dot{m} = 0.11$ kg/s
Drehzahl:	$n = 90.000$ min^{-1}
Motorleistung:	$P_m = 30.0$ kW
Verfügbare Leistung:	$P_i = 25.5$ kW

Berücksichtigung geometrischen Randbedingungen des Gehäuses, der Anschlussmaße, sowie fertigungsrelevanter Parameter.

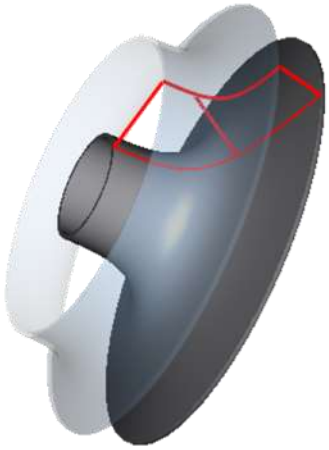
2. Entwurfsprozess – Stufenentwurf mit CFturbo®

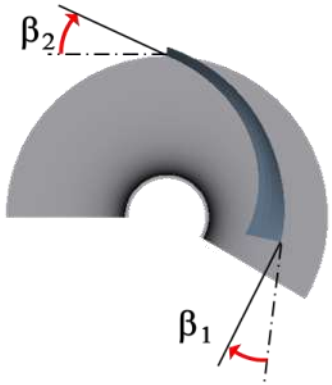
Hauptabmessungen

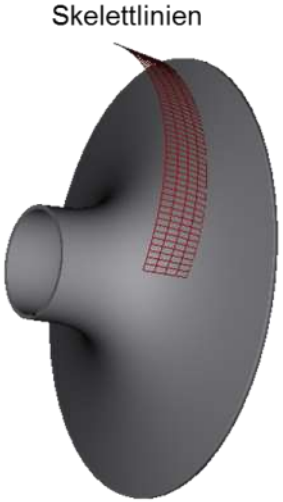
Aussendurchmesser,
Saugmunddurchmesser,
Austrittsbreite

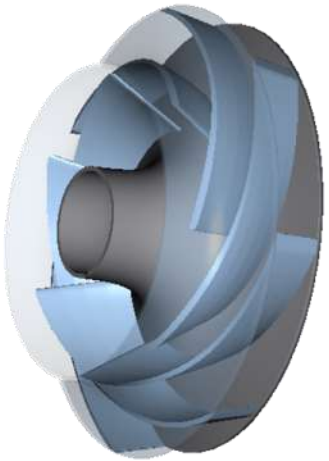


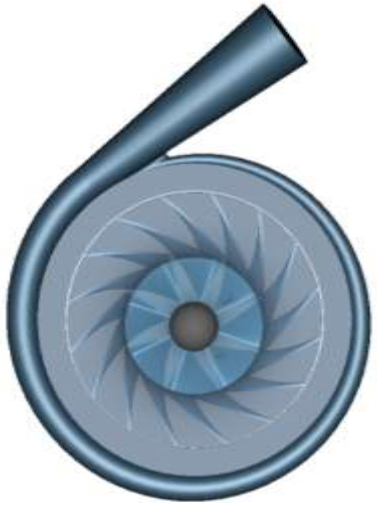
Meridiankontur	Schaufeleigenschaften	Skelettlinien	Schaufelprofile	Stufe
Trag- & Deckscheibe Ein- & Austrittskante	Schaufelform Geschwindigkeits-dreiecke Ein- & Austrittwinkel	Schaufelwinkel-verteilung Umschlingungswinkel	Dickenverteilung Form der Ein- & Austrittskante	Kompletter Entwurf: Laufrad, Radialdiffusor und Spiralgehäuse







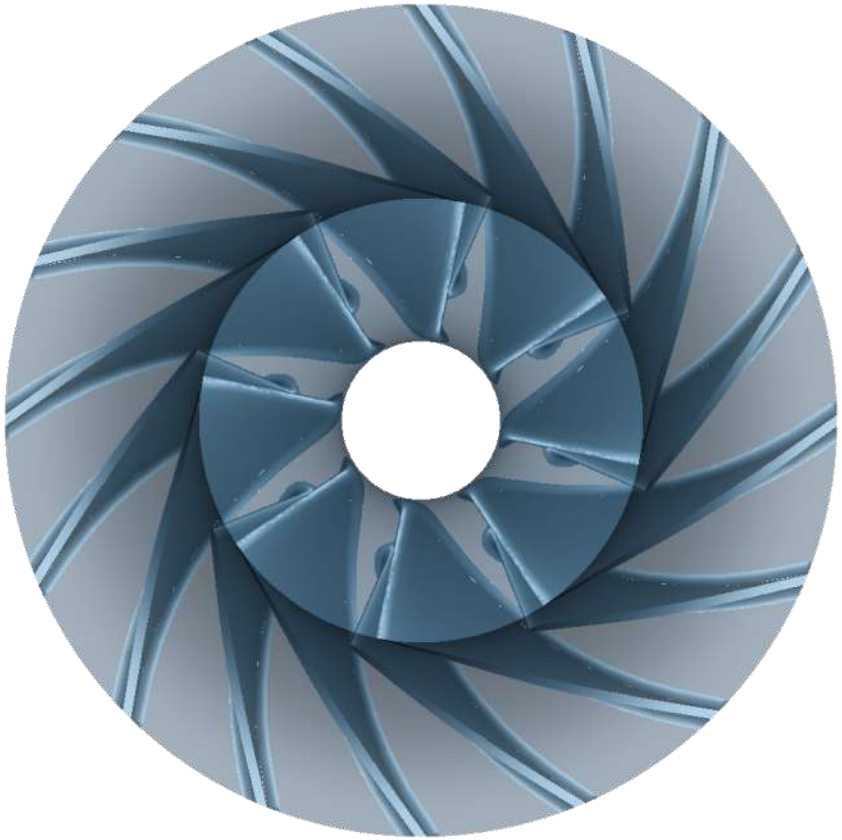


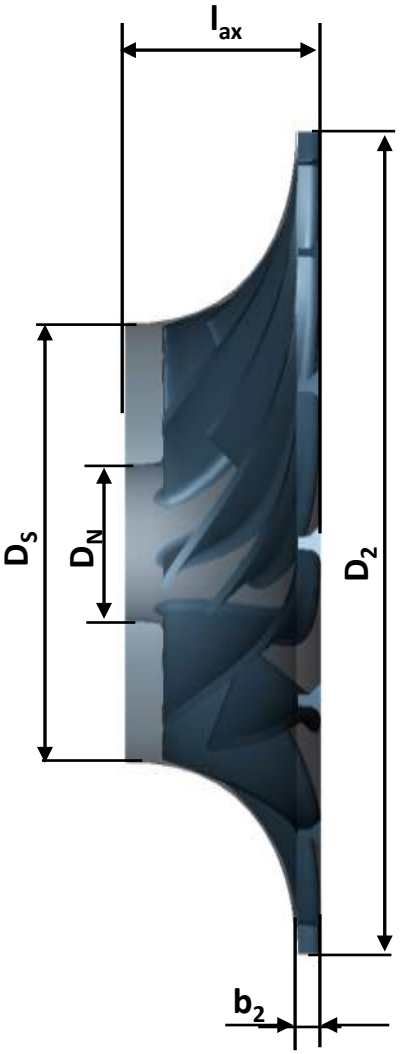


2. Entwurfsprozess – Laufrad

Parameter:

Anzahl Schaufeln	8x8
Saugmund ⌀ D_S [mm]	56
Naben ⌀ D_N [mm]	20
Außen ⌀ D_2 [mm]	104
Eintrittswinkel β_1 [°]	34.5
Austrittswinkel β_2 [°]	55
Austrittsbreite b_2 [mm]	3.2
Ax. Erstreckung l_{ax} [mm]	25
Fussverrundung [mm]	1.5
Umschlingung ε [°]	57

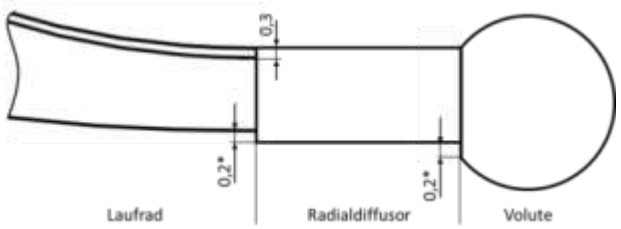




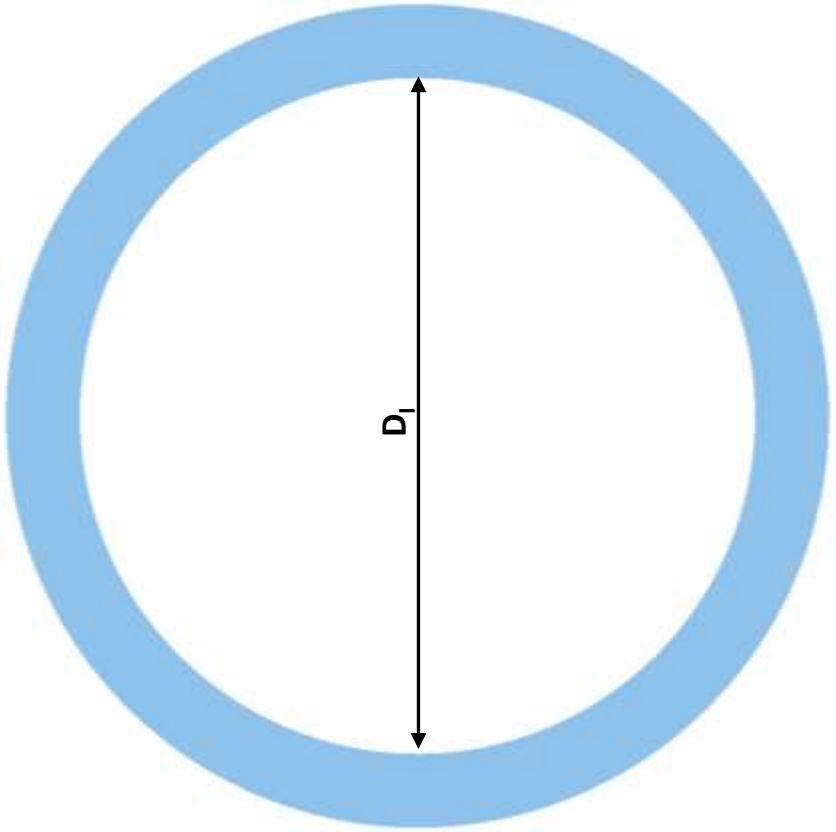
2. Entwurfsprozess – Radialdiffusor

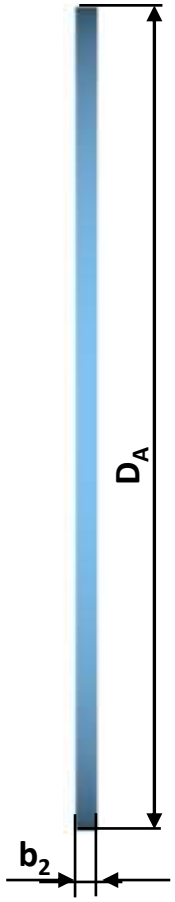
Parameter:

Anzahl Schaufeln	-
Innen ⌀ D_I [mm]	104
Außen ⌀ D_A [mm]	128
Austrittsbreite b_2 [mm]	3.4*
Spaltabstand s [mm]	0.3



*Zuschlag von 0.2mm auf Grund von Fertigungstoleranzen

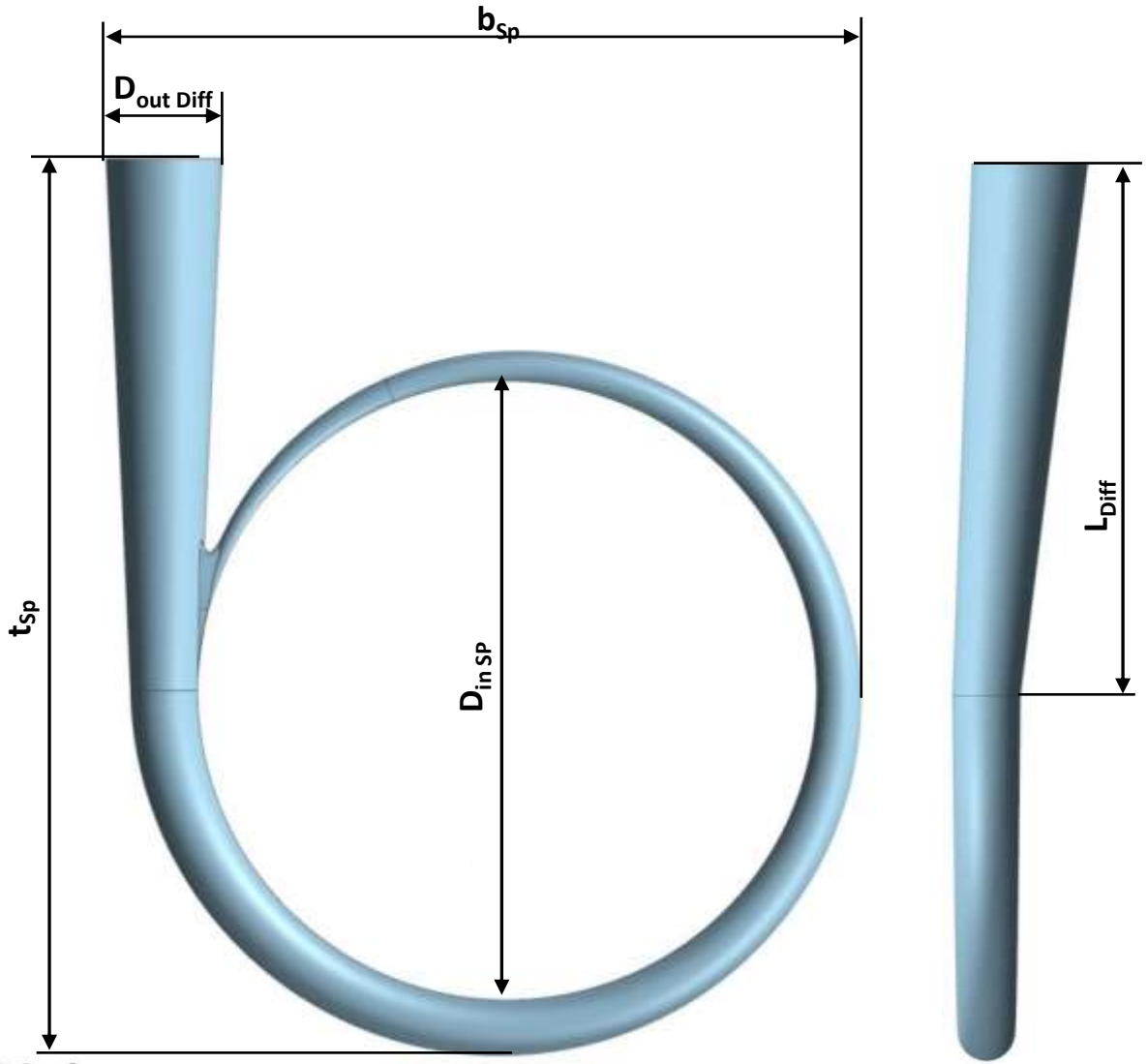




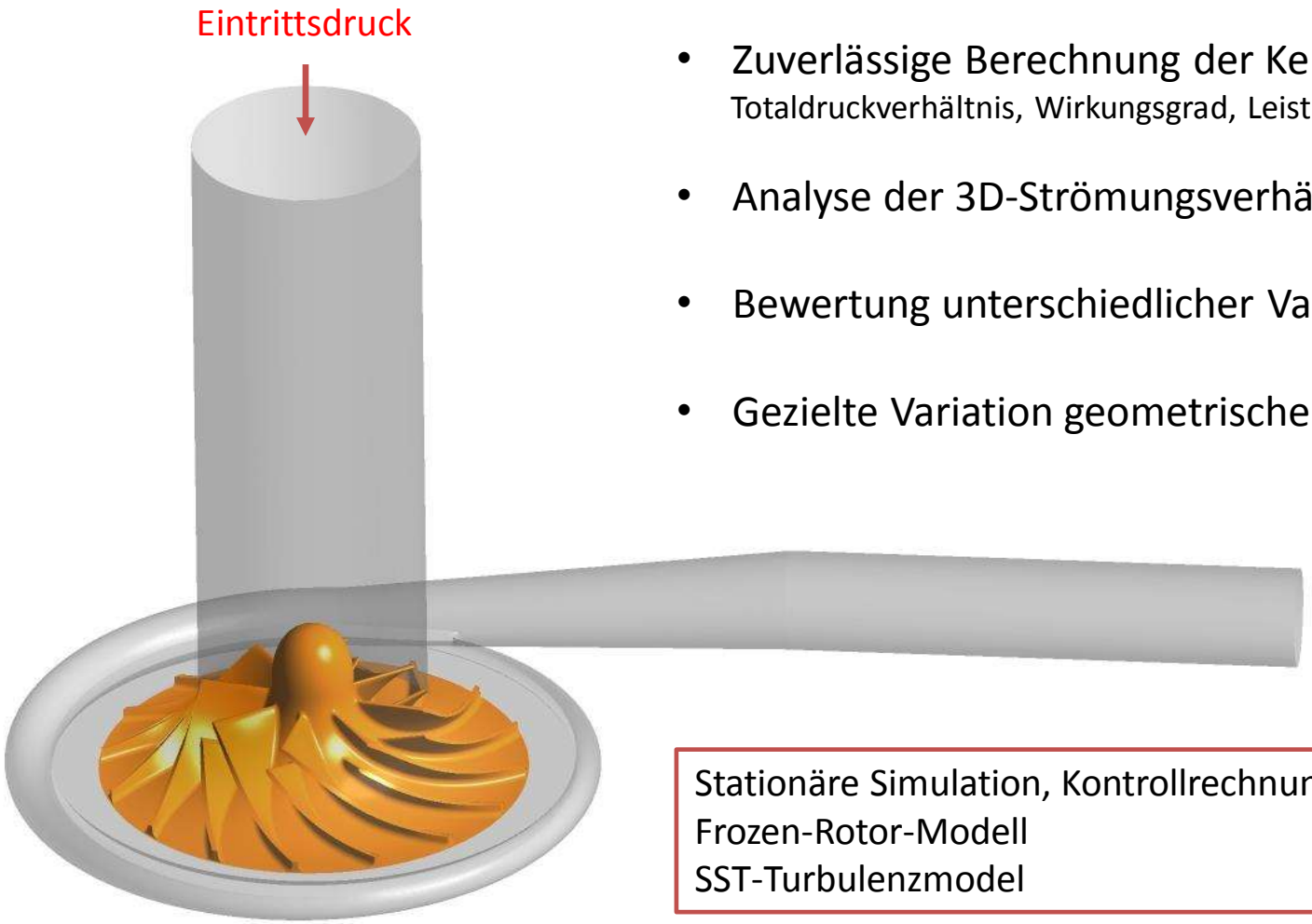
2. Entwurfsprozess – Spiralgehäuse

Parameter:

$D_{in\ Sp}$ [mm]	128
$D_{out\ Diff}$ [mm]	30
Wrap $angle_{Sp}$ [°]	360
t_{Sp} [mm]	185.55
b_{Sp} [mm]	155,5
L_{Diff} [mm]	110
Cone Angle [°]	4.1°
Form Spiralgehäuse	Kreis sym.
Methode	Pfleiderer



Ziele und Vorgehen:



- Zuverlässige Berechnung der Kennlinien
  Totaldruckverhältnis, Wirkungsgrad, Leistungsaufnahme
- Analyse der 3D-Strömungsverhältnisse
- Bewertung unterschiedlicher Varianten
- Gezielte Variation geometrischer Parameter

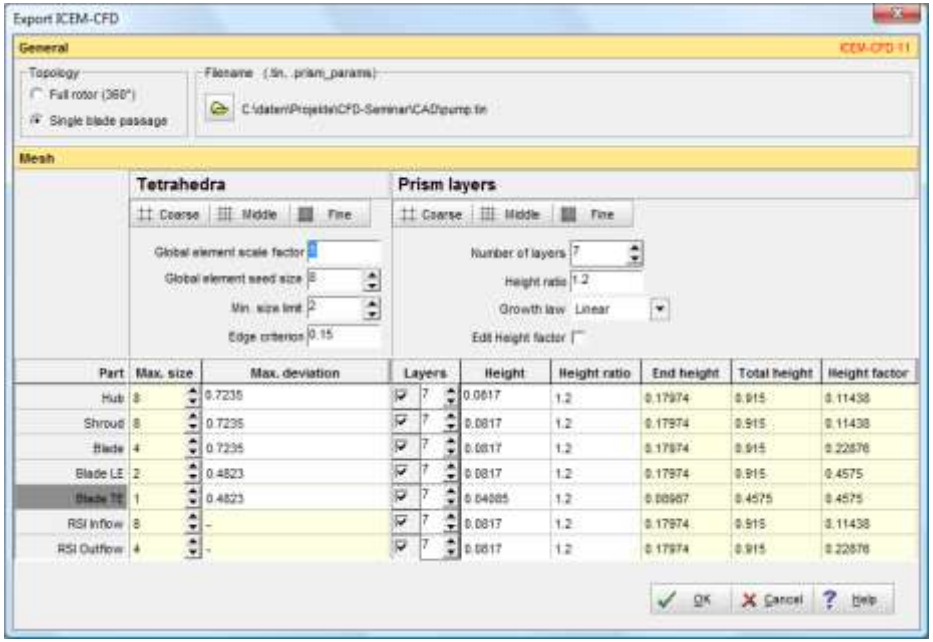
Stationäre Simulation, Kontrollrechnung transient
Frozen-Rotor-Modell
SST-Turbulenzmodel

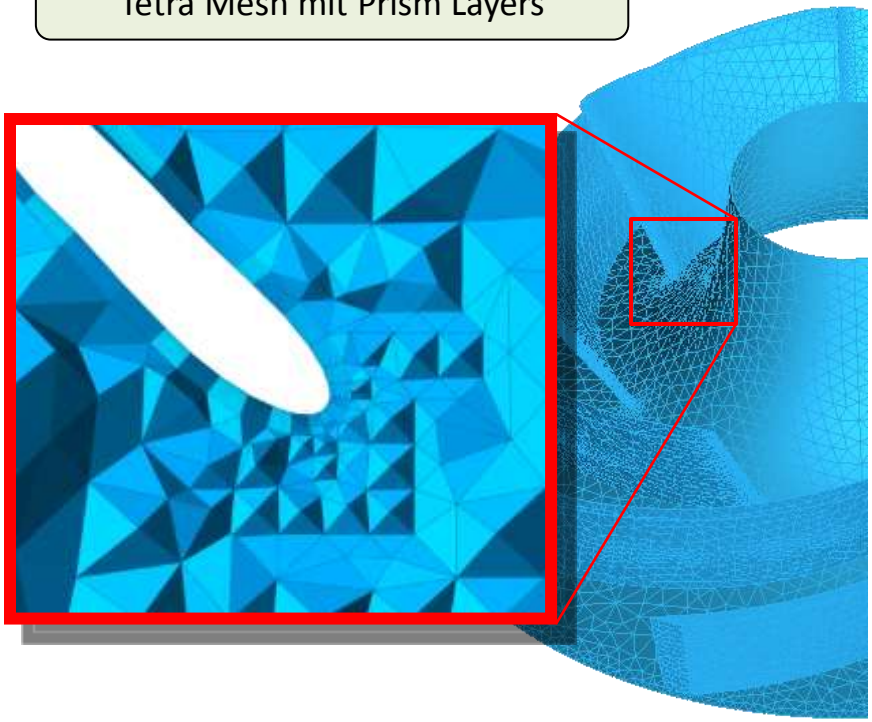
Direkter Import aus CFturbo®

Meshing Parameter Dialog

Vernetzung mit ICEM CFD

Tetra Mesh mit Prism Layers

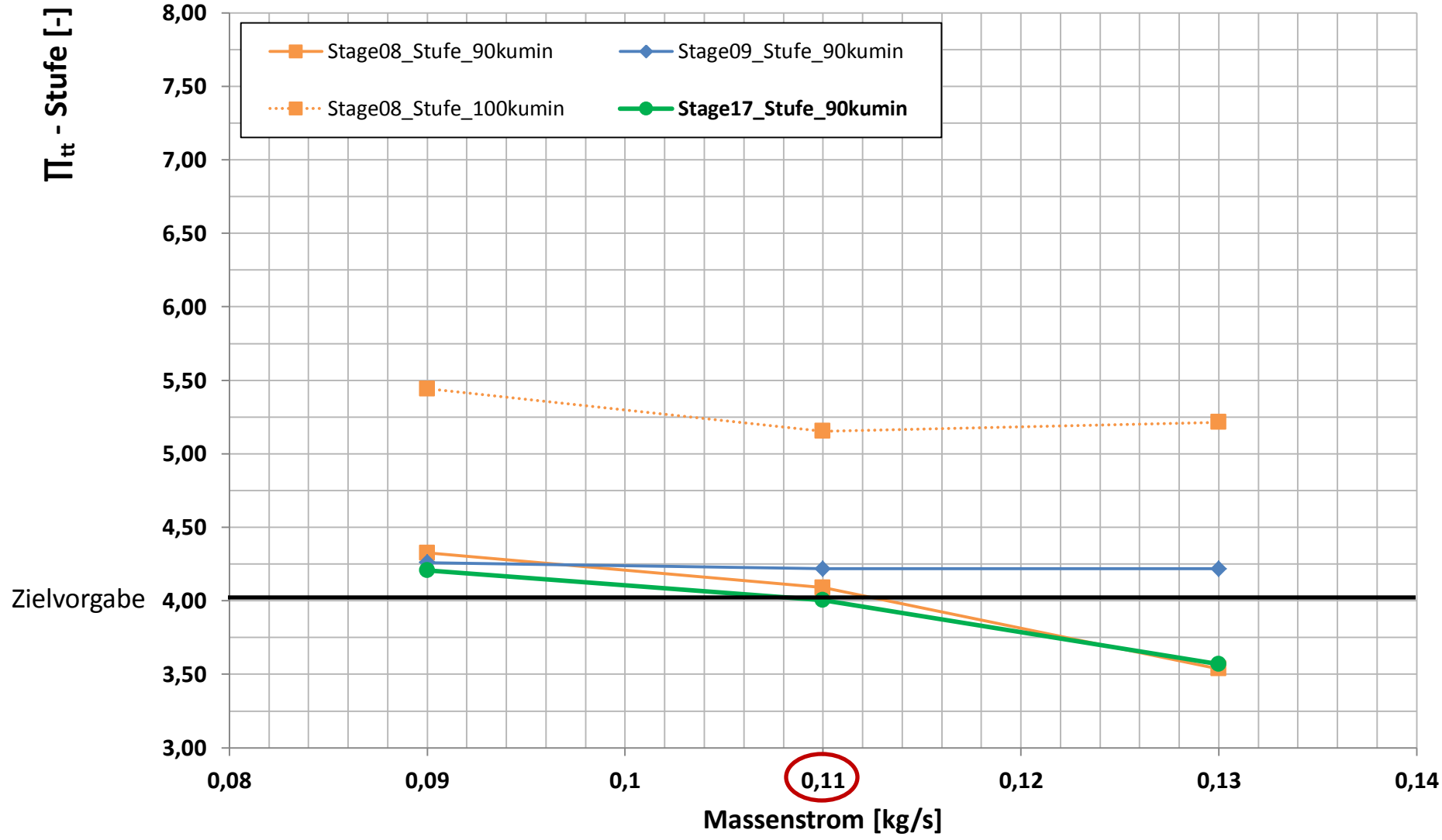




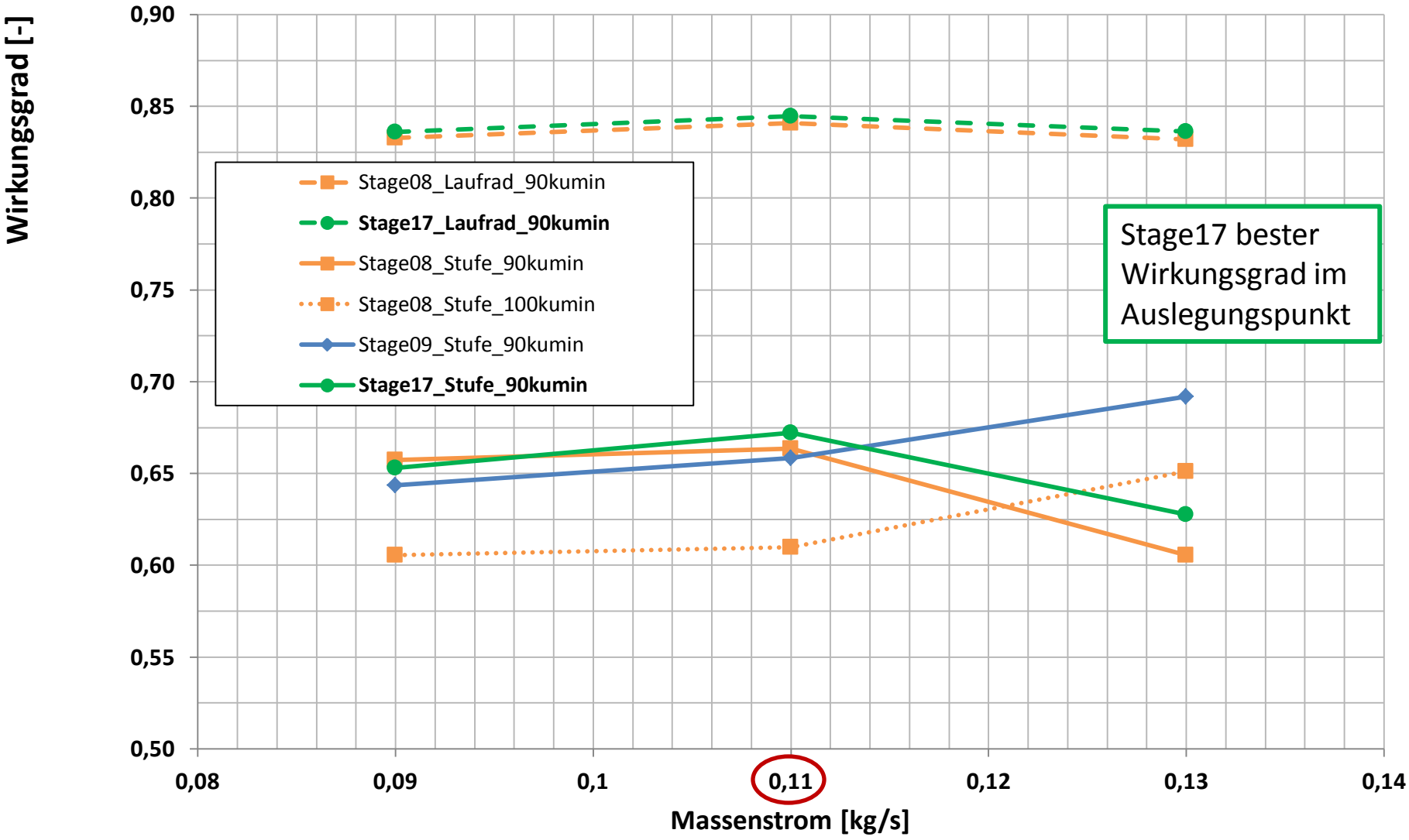
- Vergabe der Vernetzungsparameter in CFturbo
- Automatisierte, skript-basierte Vernetzung

Auslegung, Entwurf und Vernetzung einer kompletten Verdichterstufe **t < 1 Stunde**

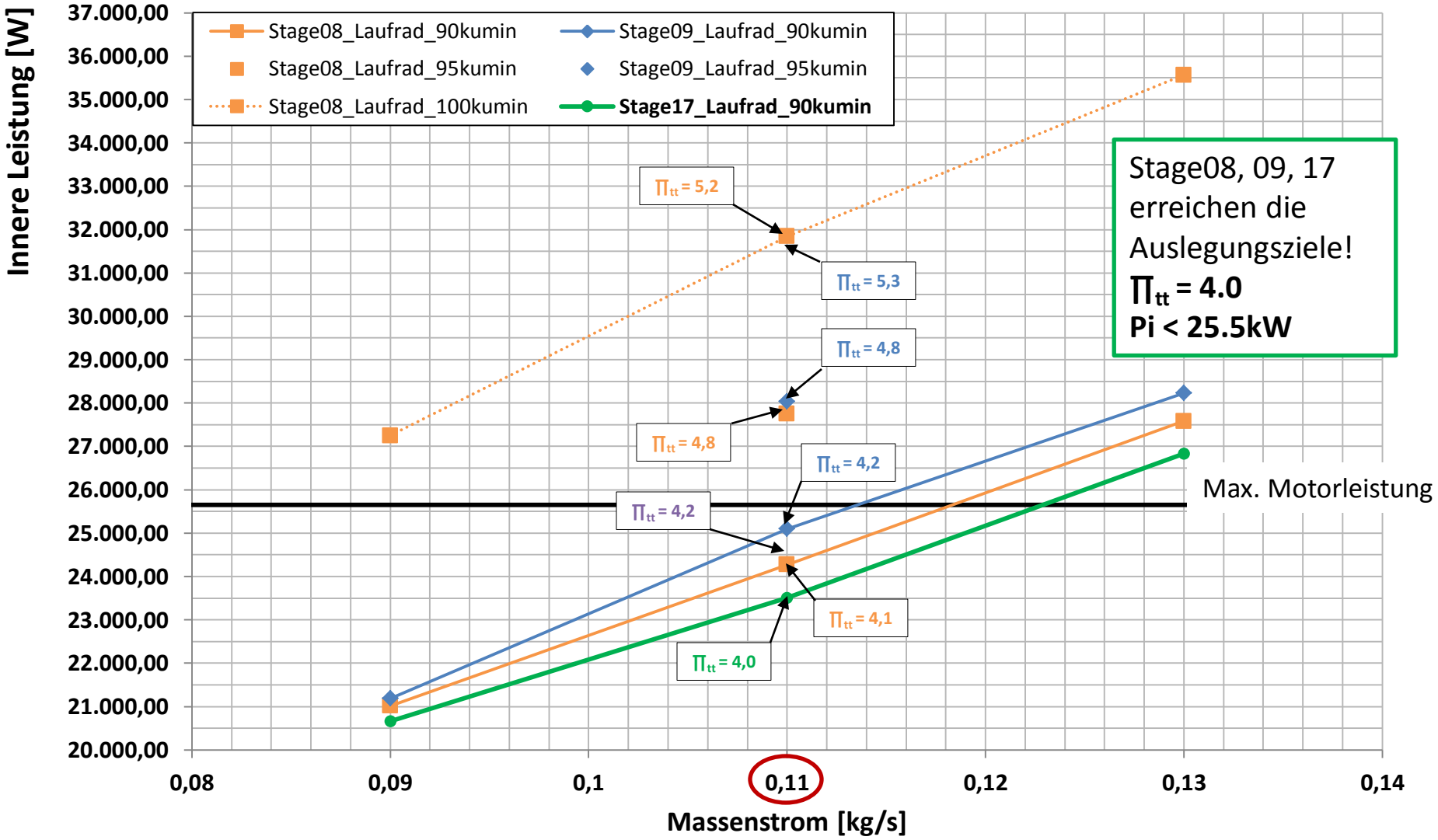
3. CFD-Simulation
Verdichterkennlinie, Verhältnis Totaldruck-Totaldruck



3. CFD-Simulation
Verdichterkennlinie, Wirkungsgrad



3. CFD-Simulation – Verdichterkennlinie, innere Leistung



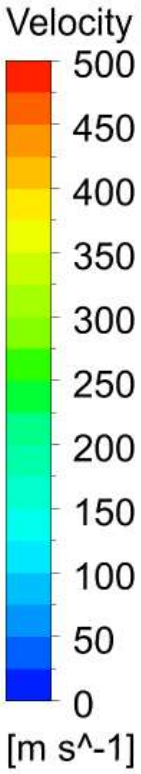
Stage08, 09, 17 erreichen die Auslegungsziele!

Π_{tt} = 4.0

Pi < 25.5kW

3. CFD-Simulation – Geschwindigkeit im Gesamtmodell

n = 90.000 u/min
Q = 0.11 kg/s

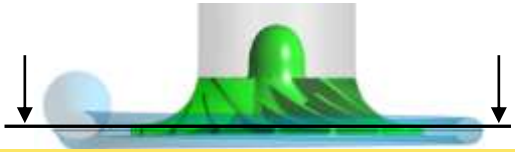


Stage08

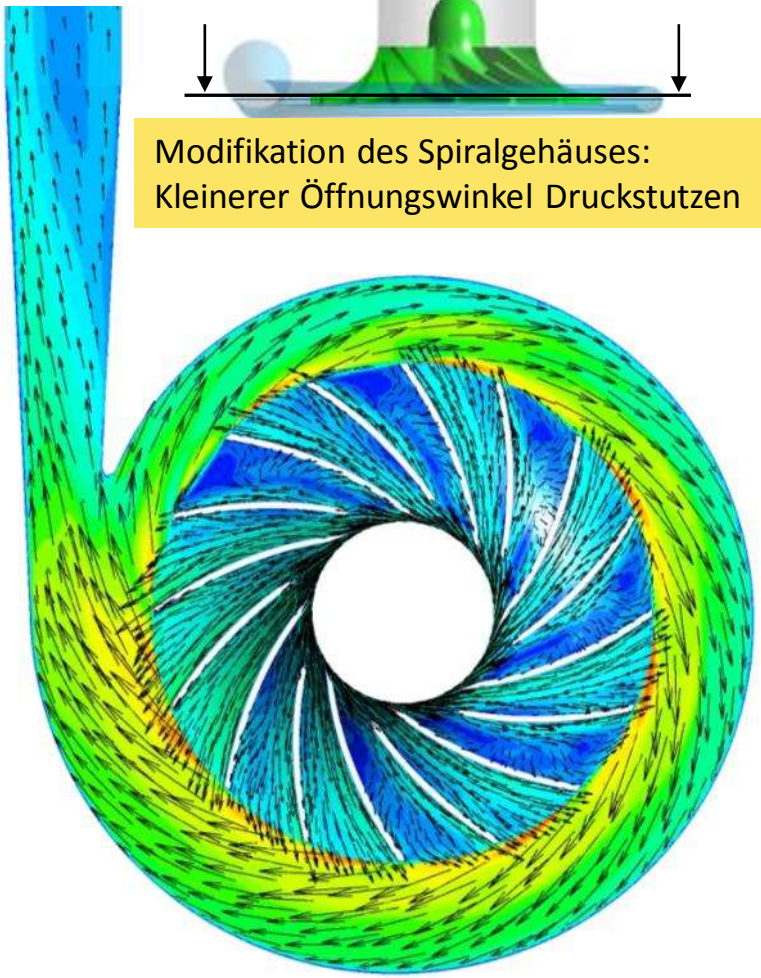
Starke Ablösungen im Druckstutzen

Verbesserung notwendig

Stage17



Modifikation des Spiralgehäuses:
Kleinerer Öffnungswinkel Druckstutzen

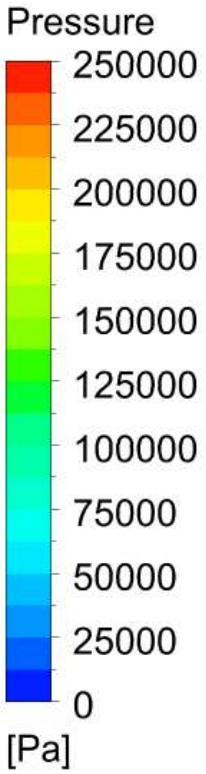


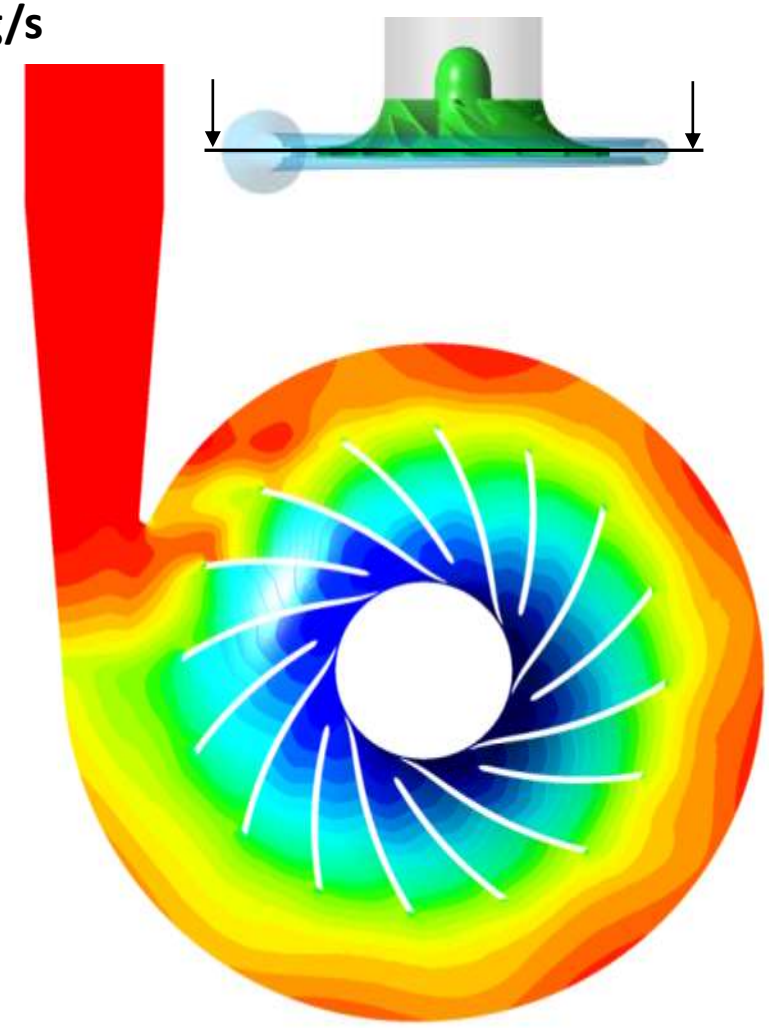
3. CFD-Simulation – Statischer Druck im Gesamtmodell

n = 90.000 u/min
Q = 0.11 kg/s

Stage08

Stage17

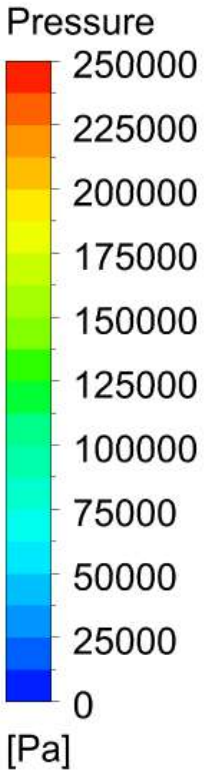


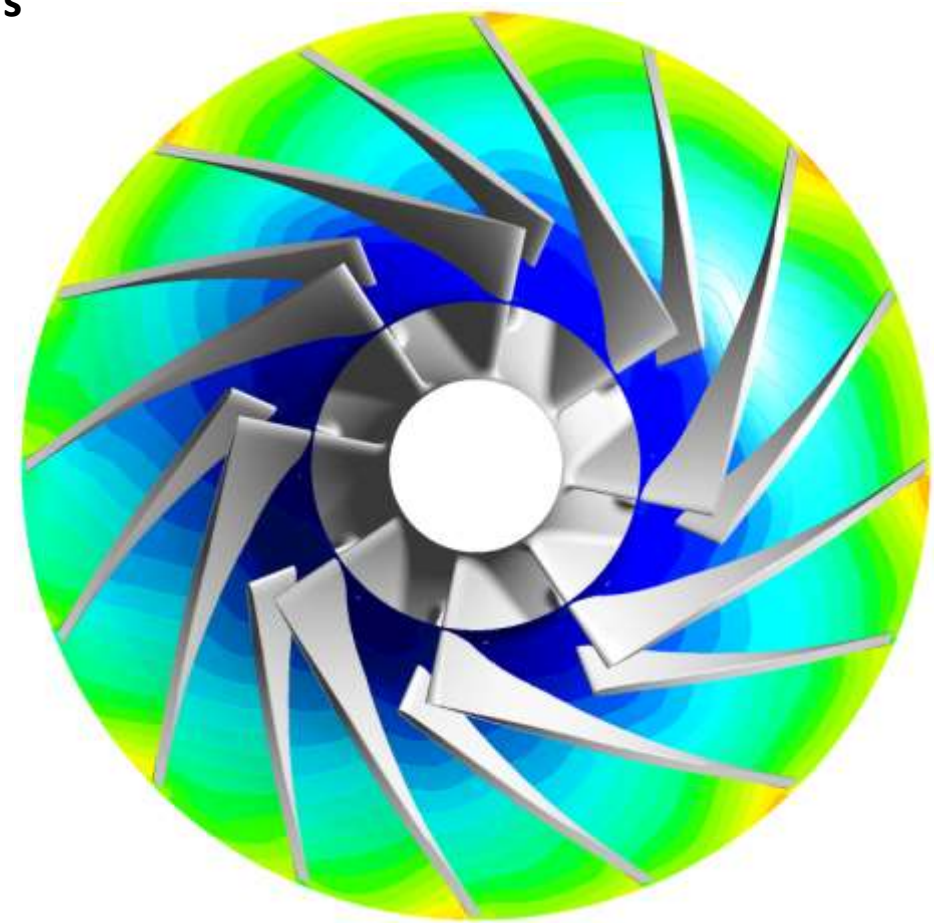


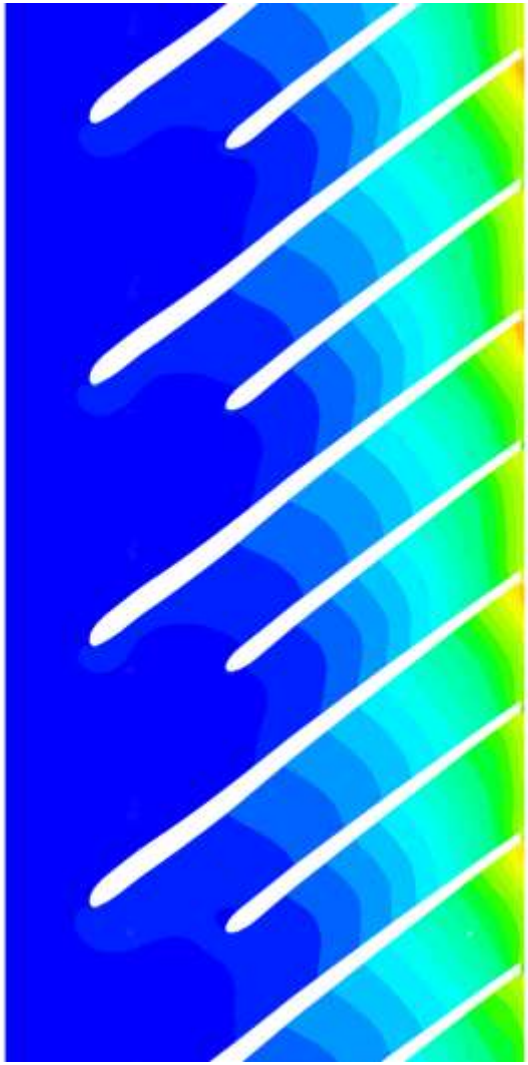
gleichmäßigerer Druckaufbau im Spiralgehäuse

3. CFD-Simulation – Statischer Druck, Blade-to-Blade View

Stage17
n = 90.000 u/min
Q = 0.11 kg/s
Span = 0.5





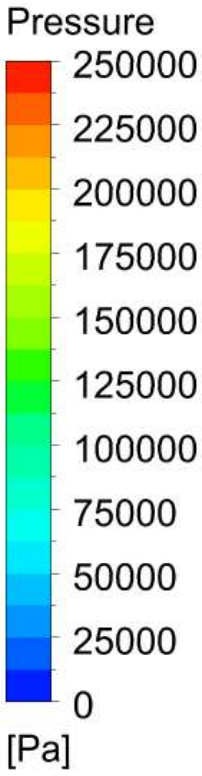


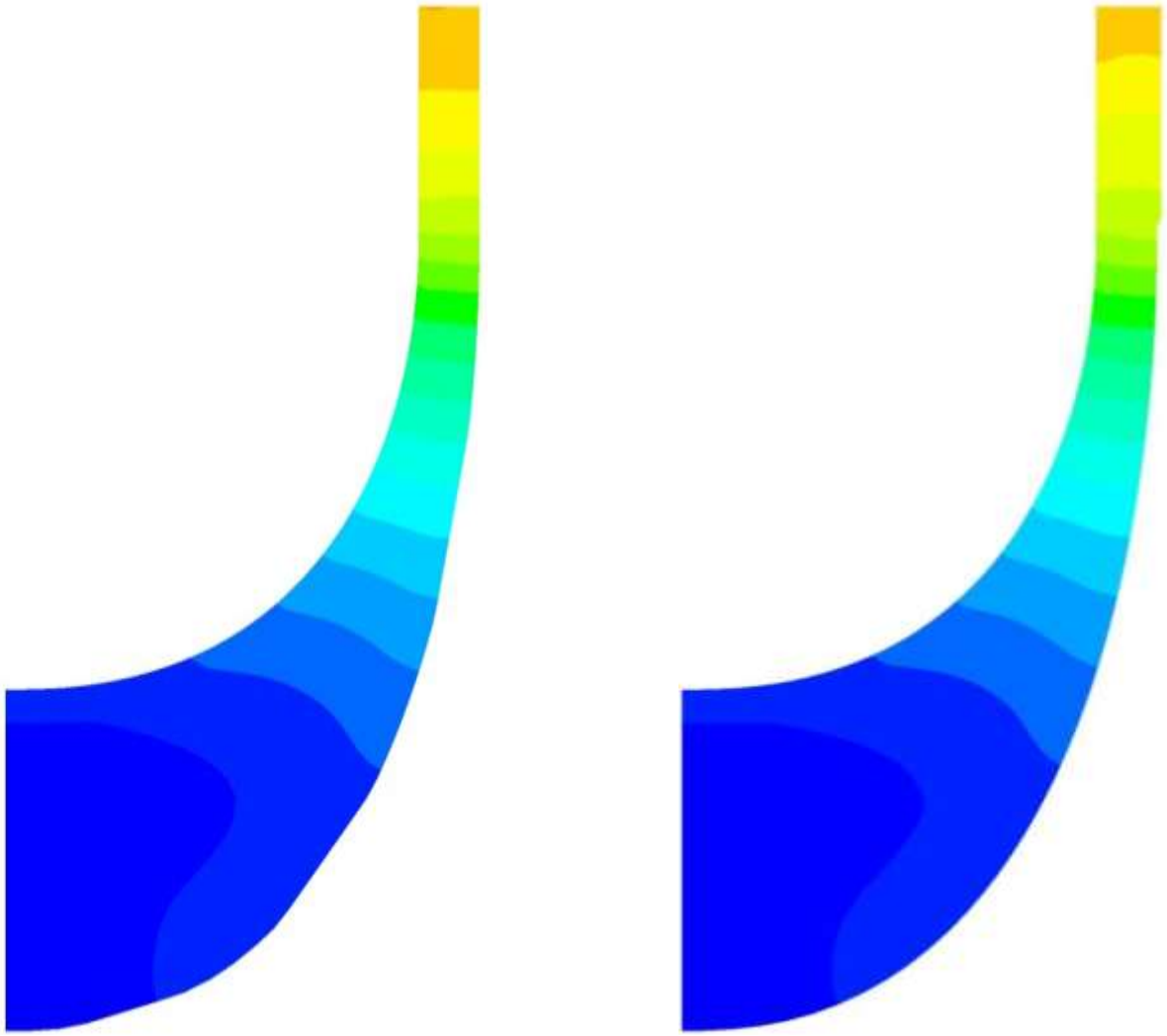
3. CFD-Simulation – Statischer Druck in Meridianebene

n = 90.000 u/min
Q = 0.11 kg/s

Stage08

Stage17



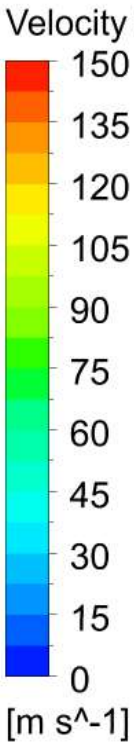


3. CFD-Simulation – Geschwindigkeit in Meridianebene

n = 90.000 u/min
Q = 0.11 kg/s

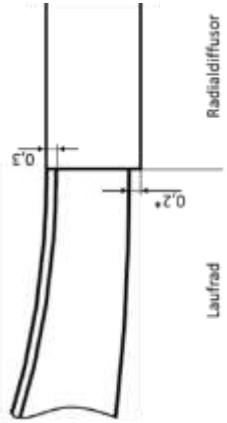
Stage08

Stage17

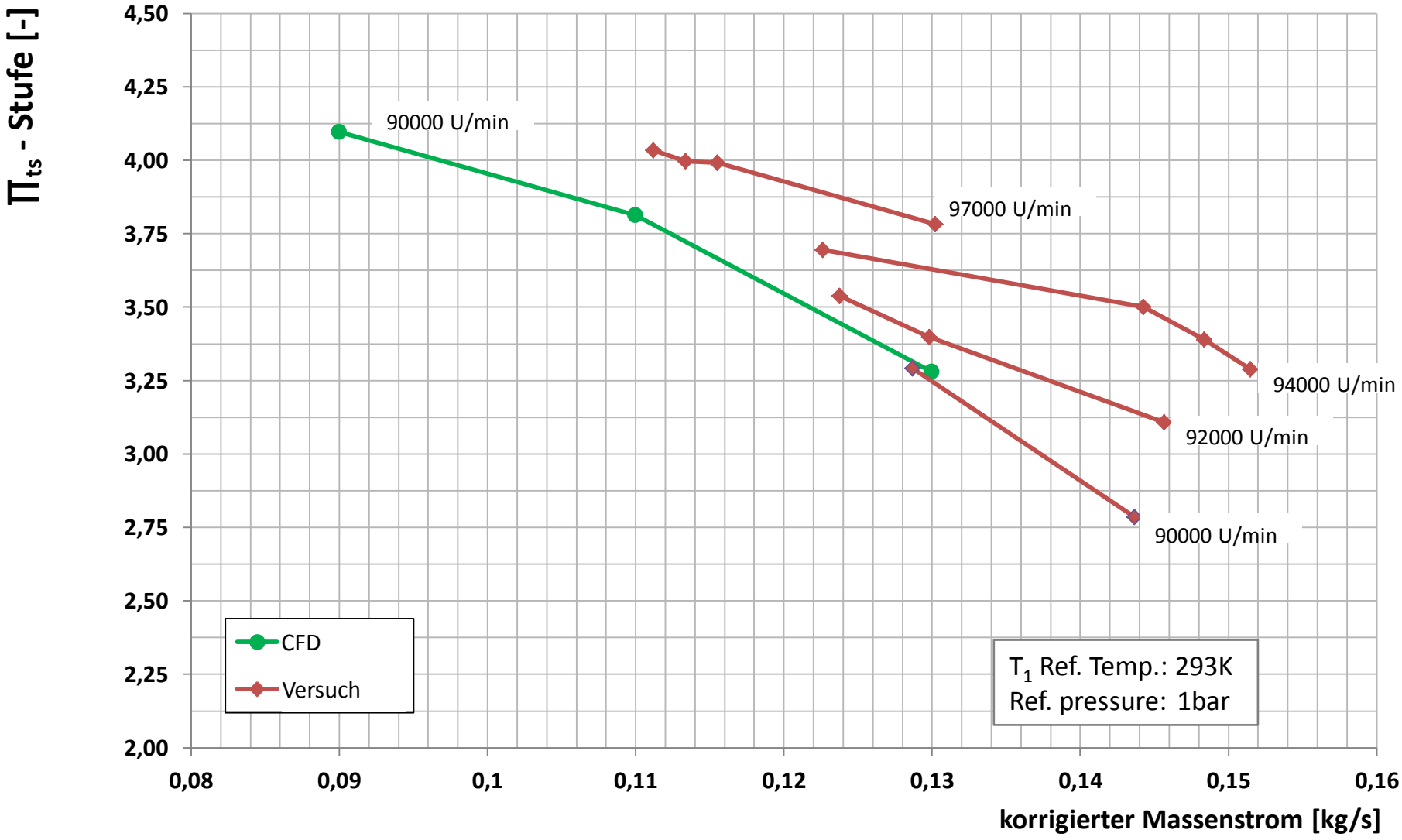


Stoßfreier Übergang Laufrad-Diffusor

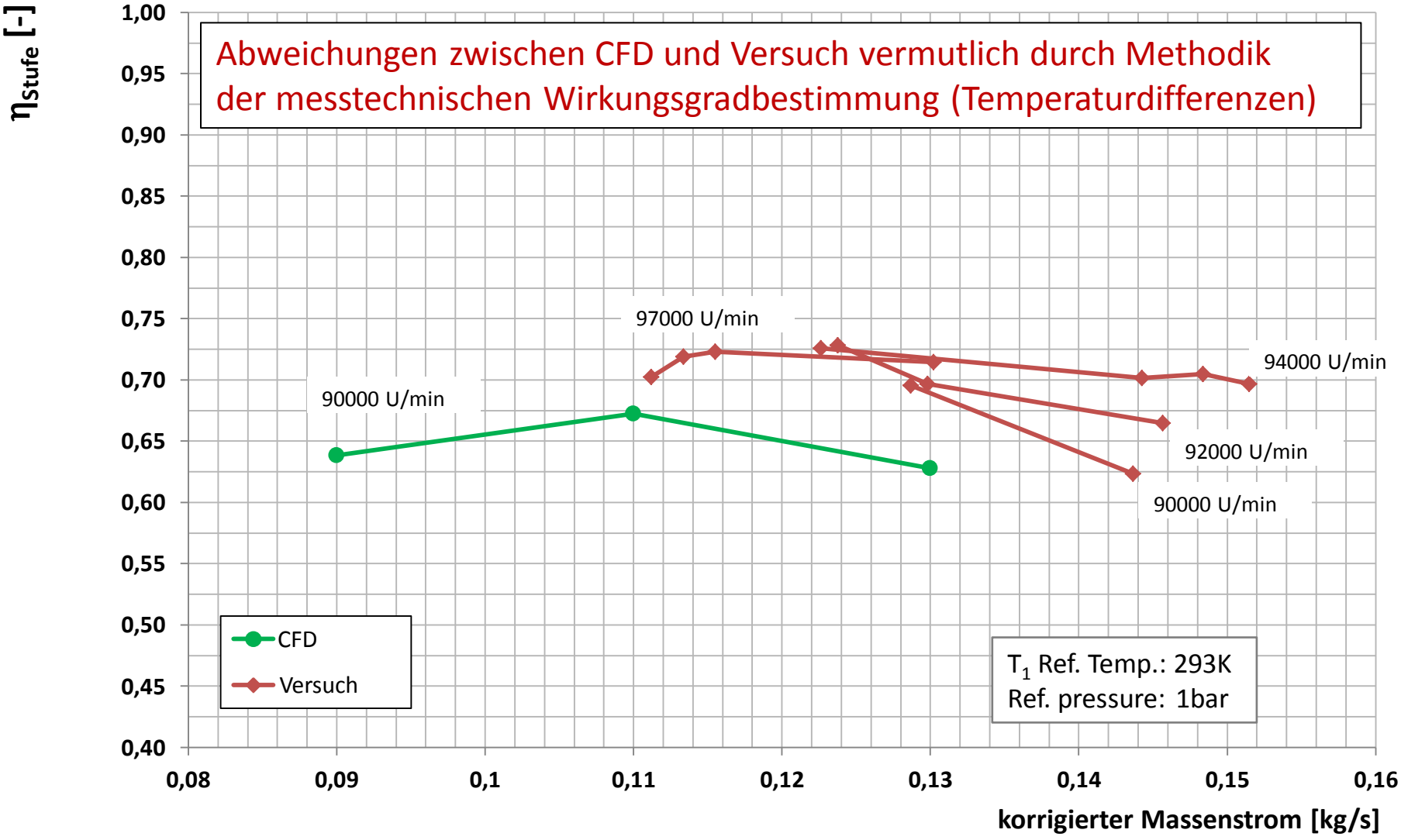
Ablösung aufgrund Fertigungstoleranz von 0.2mm



4. Vergleich CFD-Versuch

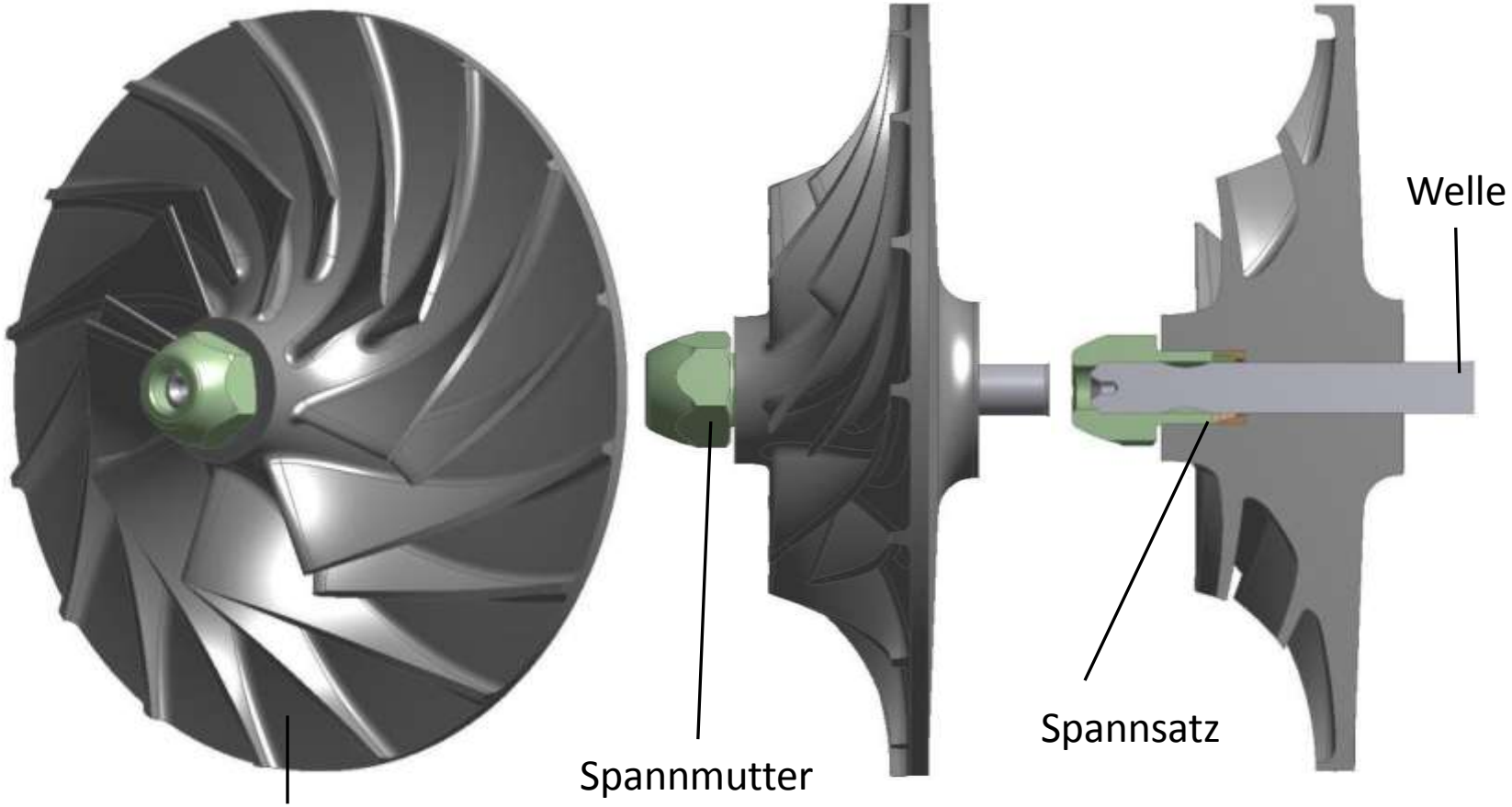


4. Vergleich CFD-Versuch



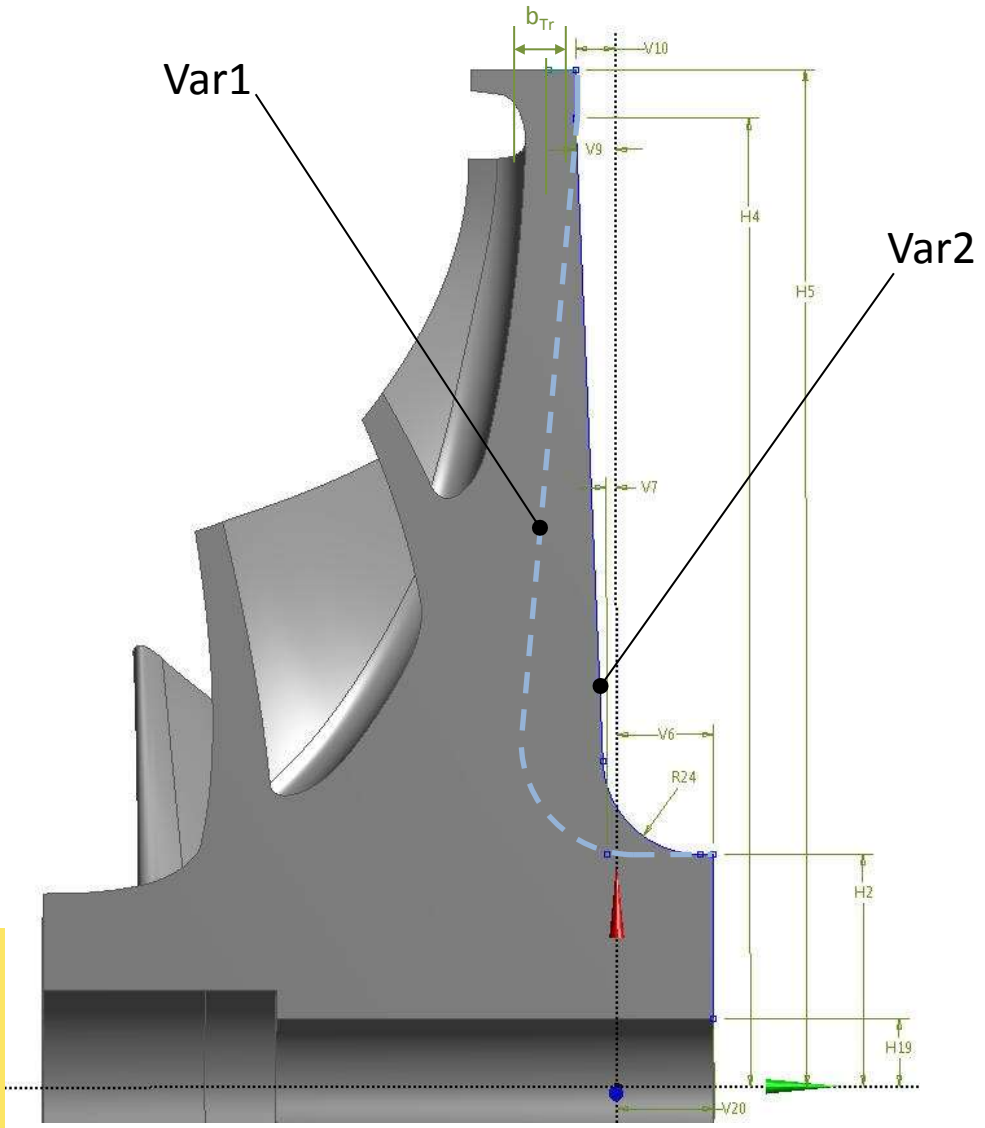
5. FEM-Simulation zum Festigkeitsnachweis

Spannsatz nicht betrachtet
Vereinfachung im FEM-Modell



5. FEM-Simulation – Parametrischer Aufbau der Tragscheibengeometrie

Maße Kontur		
	Tragscheibenvariante	
	Var1	Var2
Bezeichnung	Größe [mm]	Größe [mm]
b_{Tr}	2.5	2.5
H2	12.0	12.0
H4	50.0	50.0
H5	52.0	52.0
H19	3.5	3.5
V6	5.0	5.0
V7	5.0	0.5
V9	2.05	2.05
V10	2.05	2.05
V20	5.0	5.0
R24	4.0	5.0



Gestaltung der Tragscheibengeometrie hinsichtlich kleiner Vergleichsspannungen und Verschiebungen. Der parametrischer Aufbau erlaubt prinzipiell einen automatisierten Simulationsprozess.

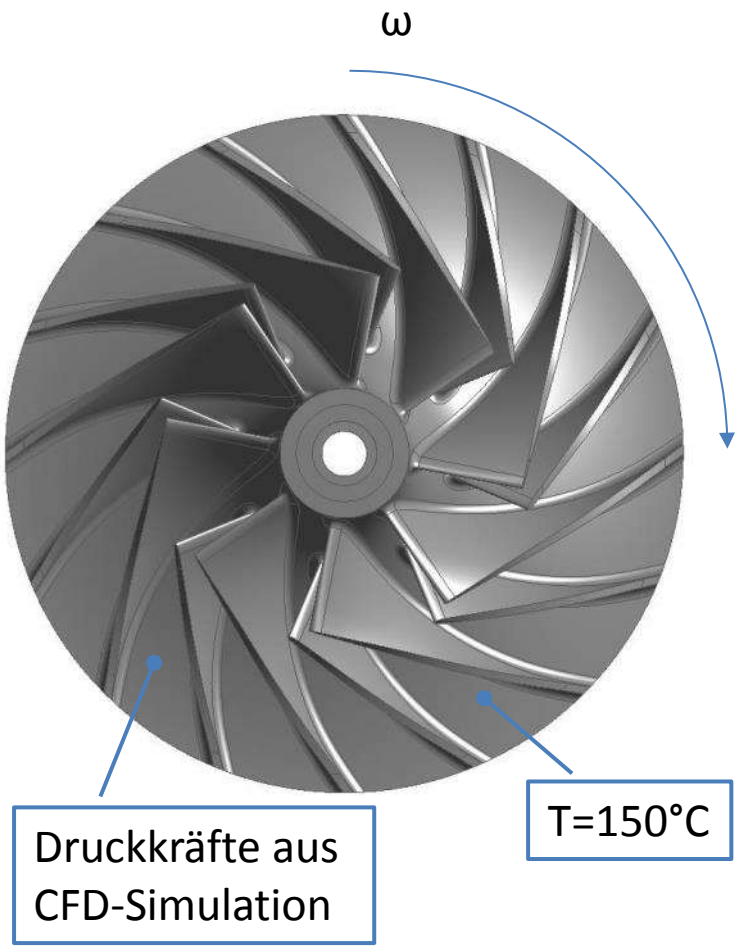
5. FEM-Simulation – Randbedingungen / Simulationssetup

Belastung des Laufrads durch:

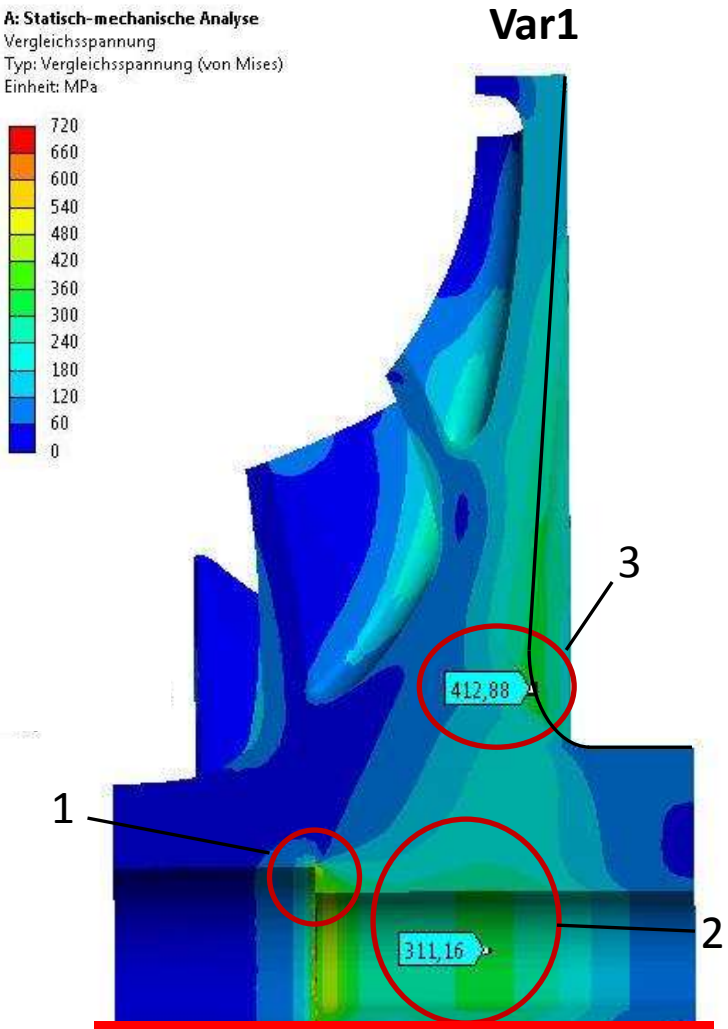
- Trägheitslasten
- Temperatur
- Druckkräfte

Bei Ermittlung der Tragscheibengeometrie ausschließliche Betrachtung der Trägheitslasten und Temperatur.

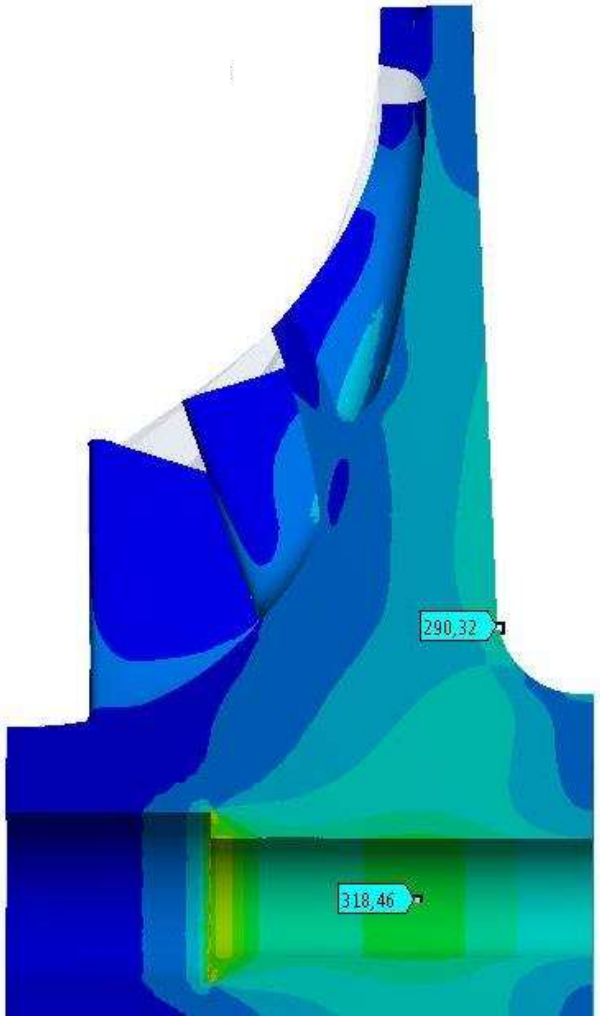
Einfluss der Druckkräfte vernachlässigbar.



5. FEM-Simulation –Vergleichsspannungen (von Mises)



Var1



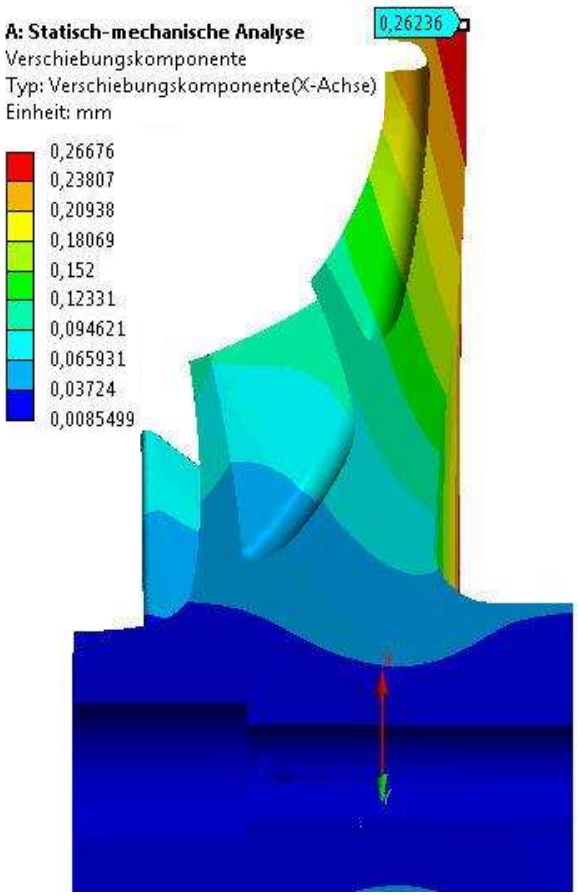
Var2

Hohe Spannungen im Bereich 1 nicht aussagekräftig, da Vereinfachungen im Simulationsmodell.

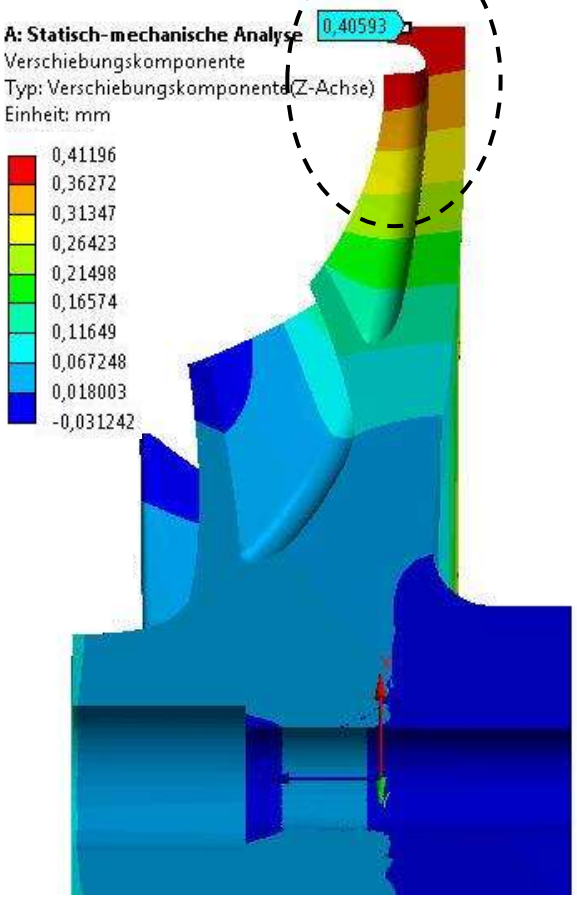
5. FEM-Simulation – Ergebnisse, Verschiebungen

Ergebnisse – Var1

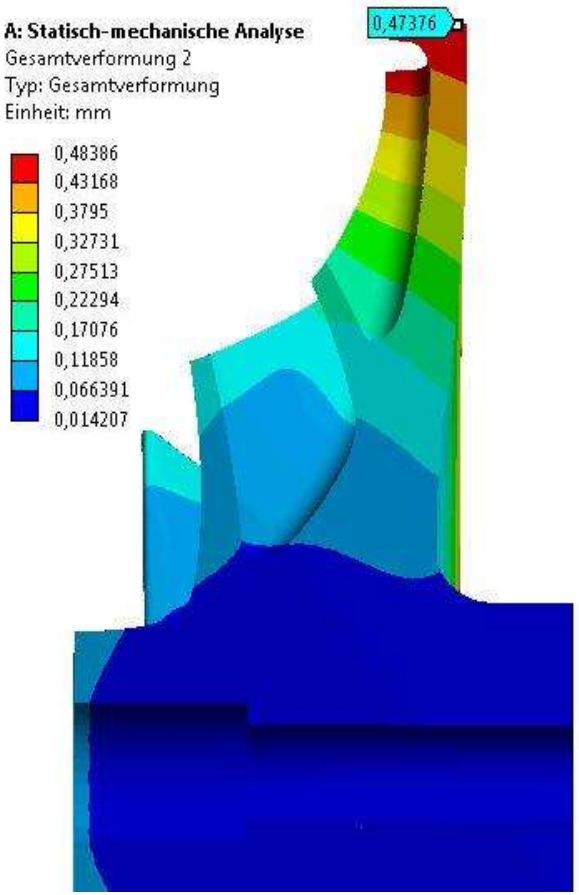
Verschiebung in axialer Richtung > 0.3mm
Kontakt zwischen Laufrad – Gehäuse!



Verschiebungen in radialer Richtung



Verschiebungen in axialer Richtung

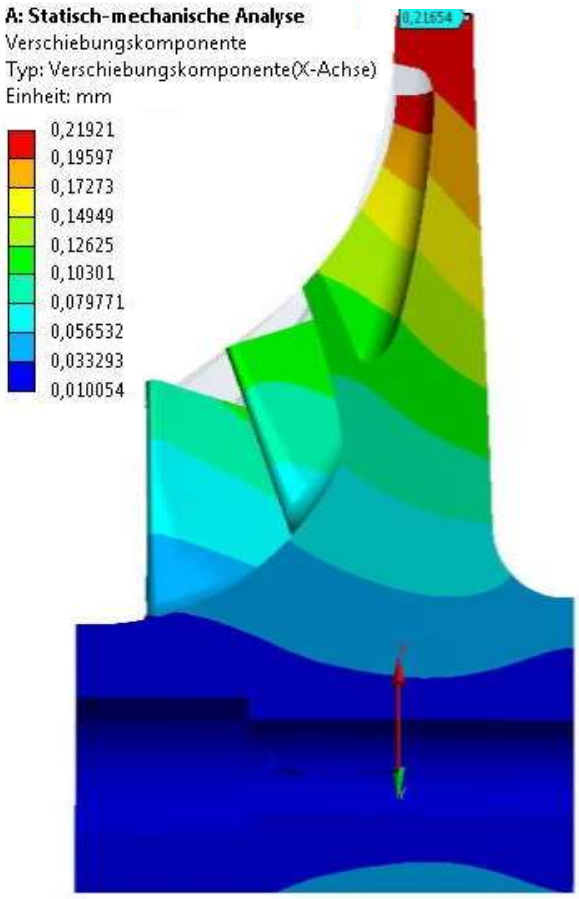


Gesamtverschiebung

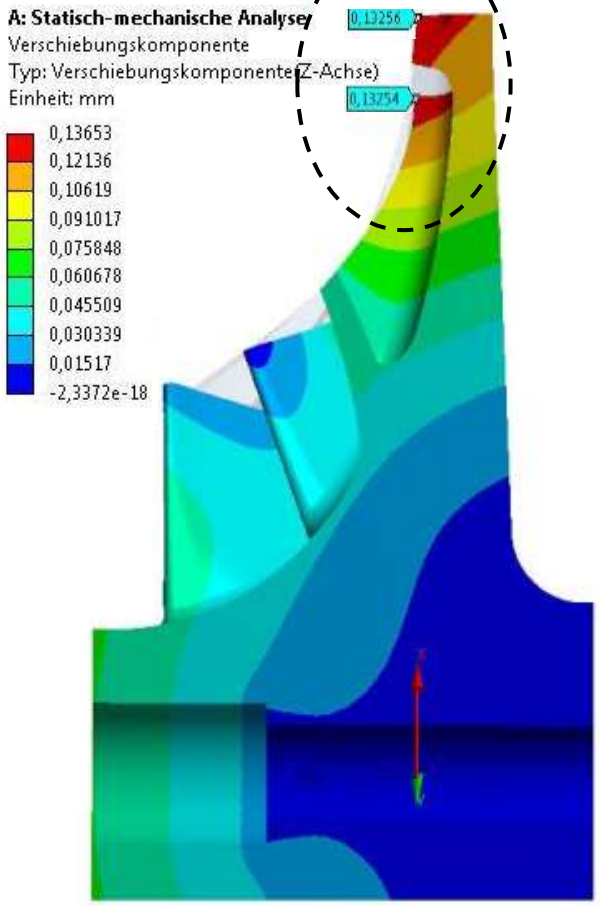
5. FEM-Simulation – Ergebnisse, Verschiebungen

Ergebnisse – Var2

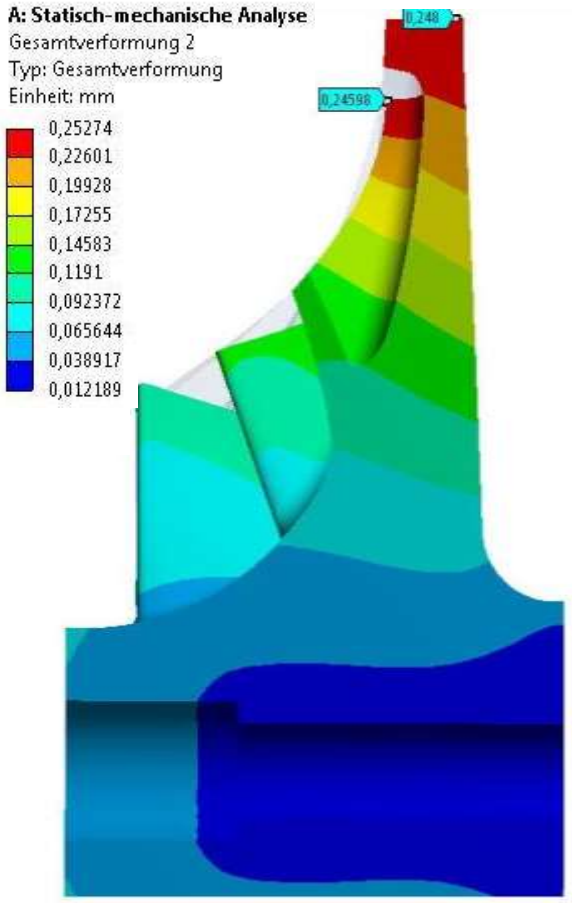
Verschiebungen kleiner 0.3mm!



Verschiebungen in radialer Richtung



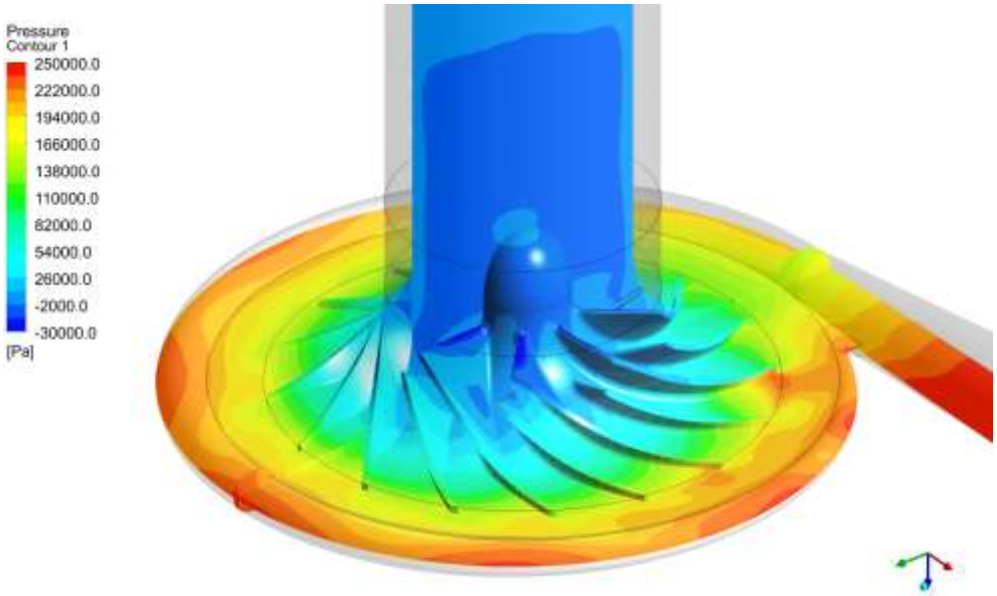
Verschiebungen in axialer Richtung



Gesamtverschiebung

6. Zusammenfassung

- Komfortables Entwurfsverfahren für komplette Radialverdichterstufen
- Auslegung, Entwurf, CFD&FEM-Simulation und „interaktive Optimierung“ innerhalb von ca. 4 Wochen → effektive, kostengünstige Projektbearbeitung mit begrenzten Ressourcen
- Ausblick – Optimierung über mathematische Verfahren, transiente Simulationen, Rapid Prototyping



CFturbo®