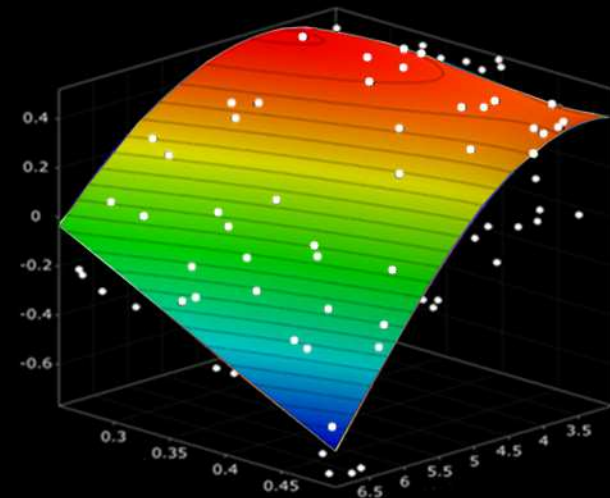
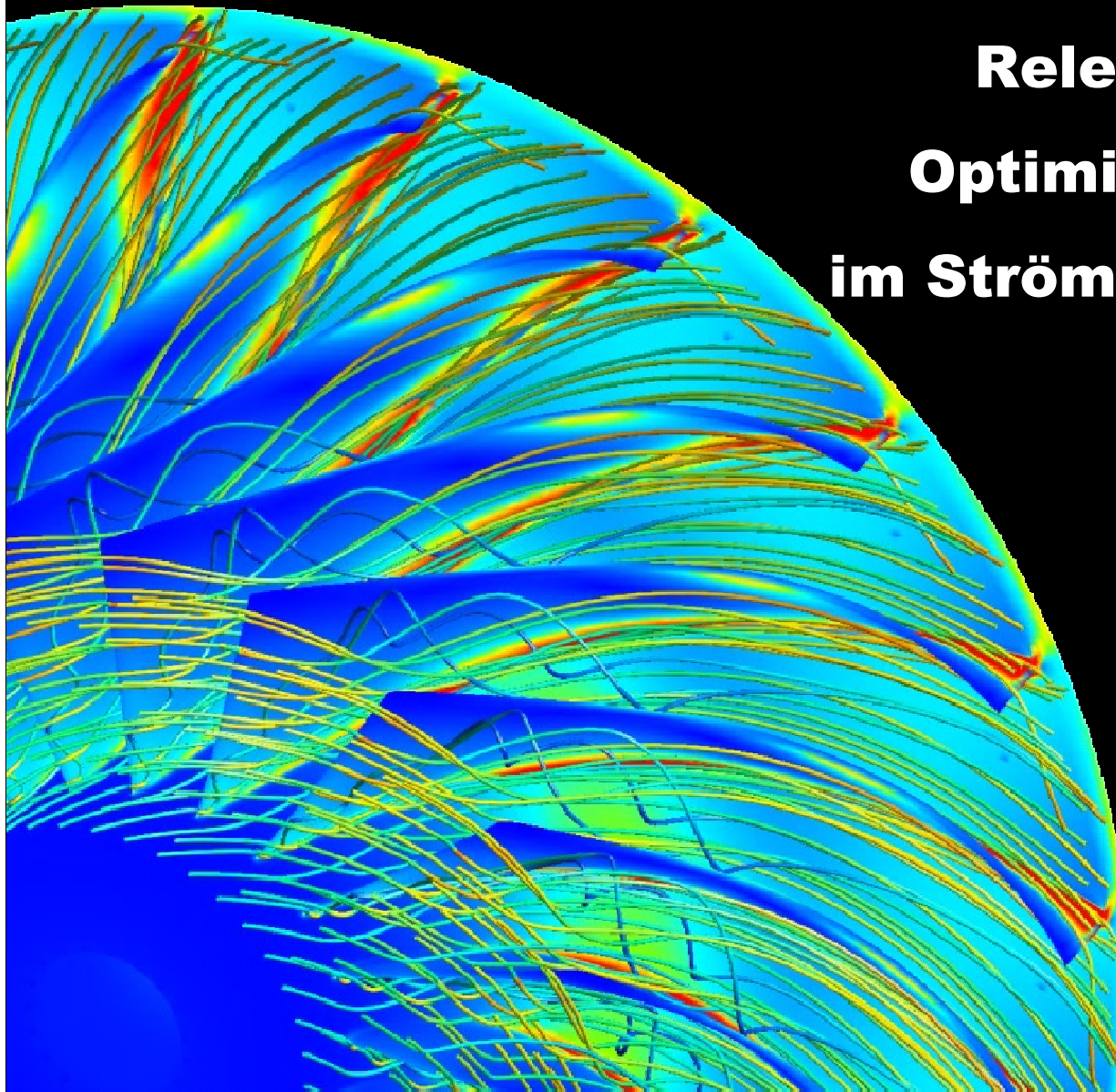
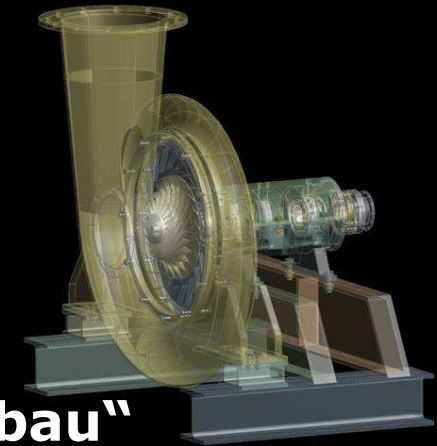


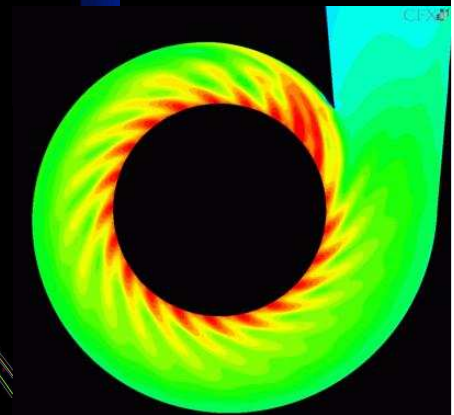
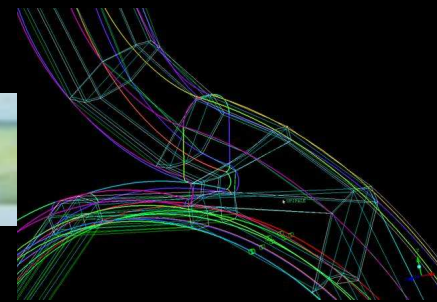
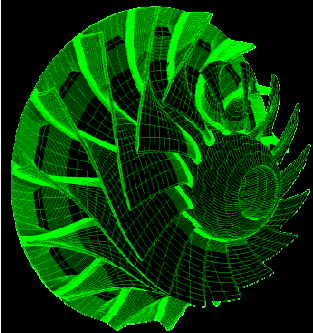
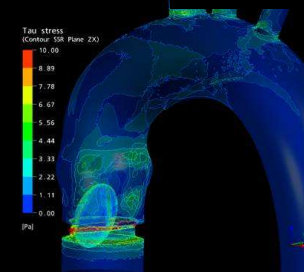
Relevanz moderner Optimierungsmethoden im Strömungsmaschinenbau



Vorgestellt vom Akkreditierten Forschungsschwerpunkt



„Computer Simulation im Maschinenbau“

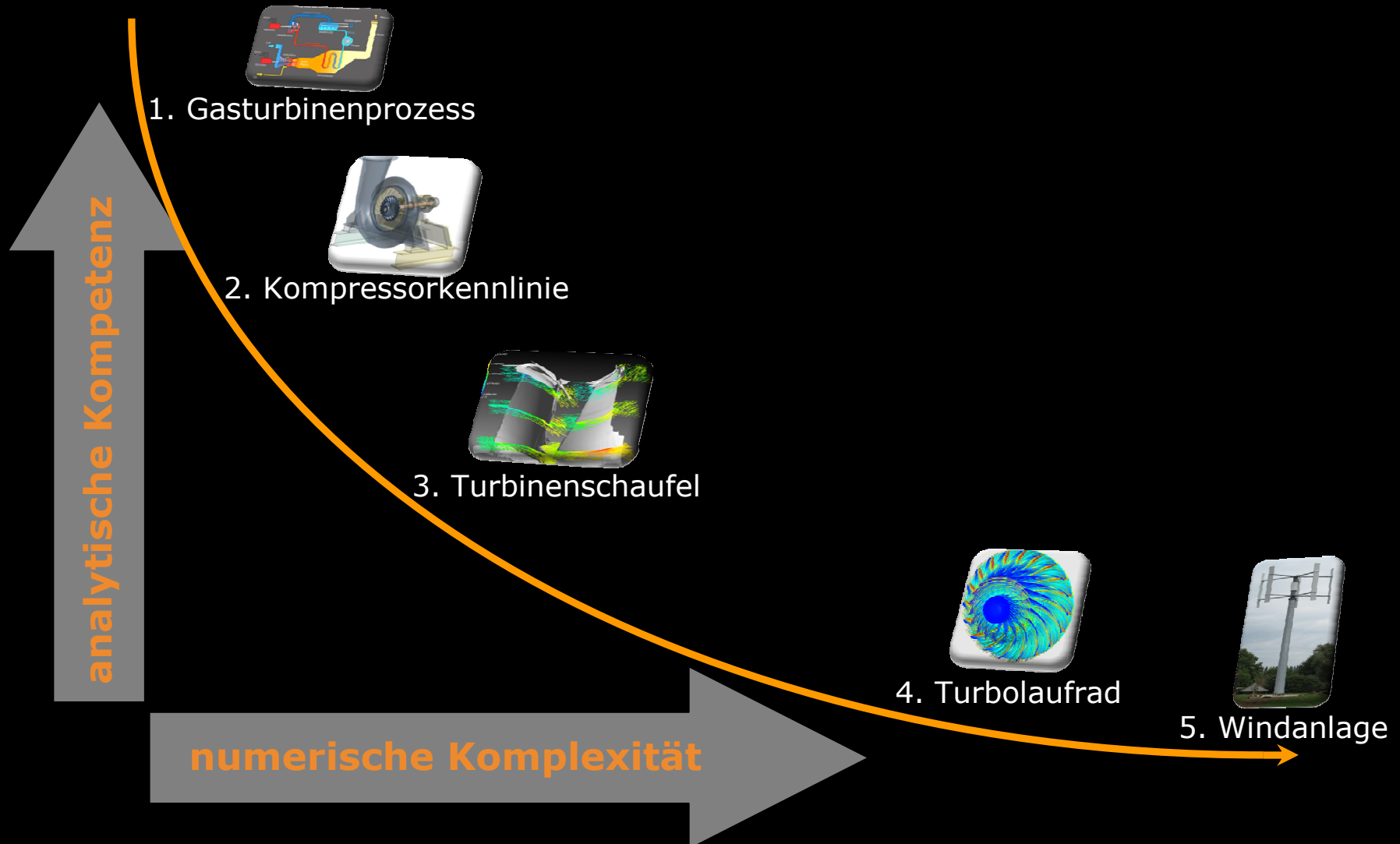


Motivation

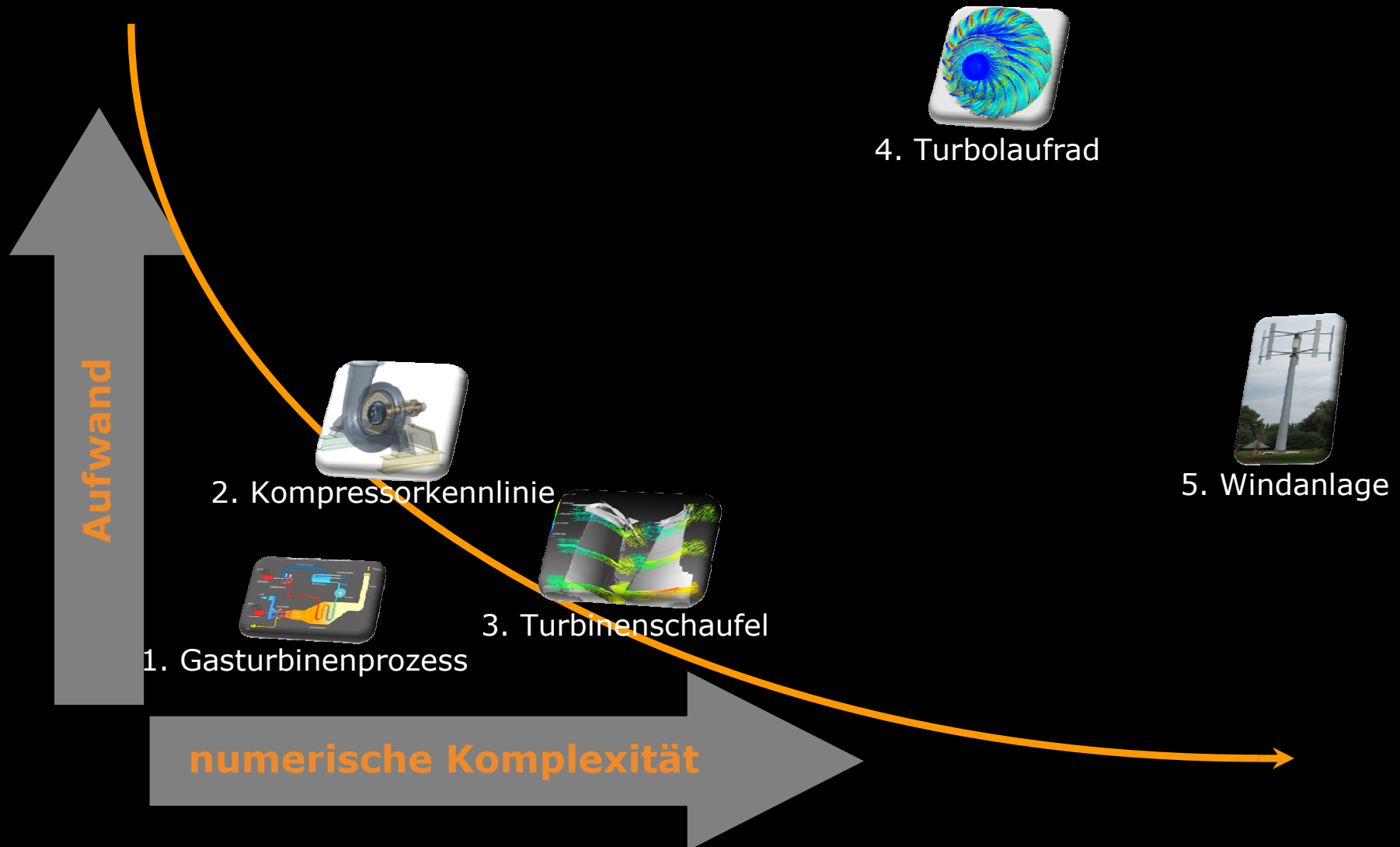
- Energieeffizienz
- Komplexe physikalische Zusammenhänge
- Hohe Kosten für Computersimulationen

→ **Effektive Optimierungsstrategien sind essentiell!**

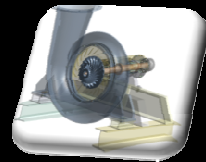
Unsere aktuellen 5 Projekte aus dem Turbomaschinenbau



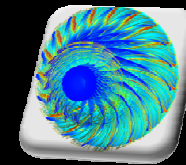
Der Entwicklungsaufwand für die 5 Beispiele



Nur 3 Beispiele werden vorgestellt



2. Kompressorkennlinie



4. Turbolaufrad

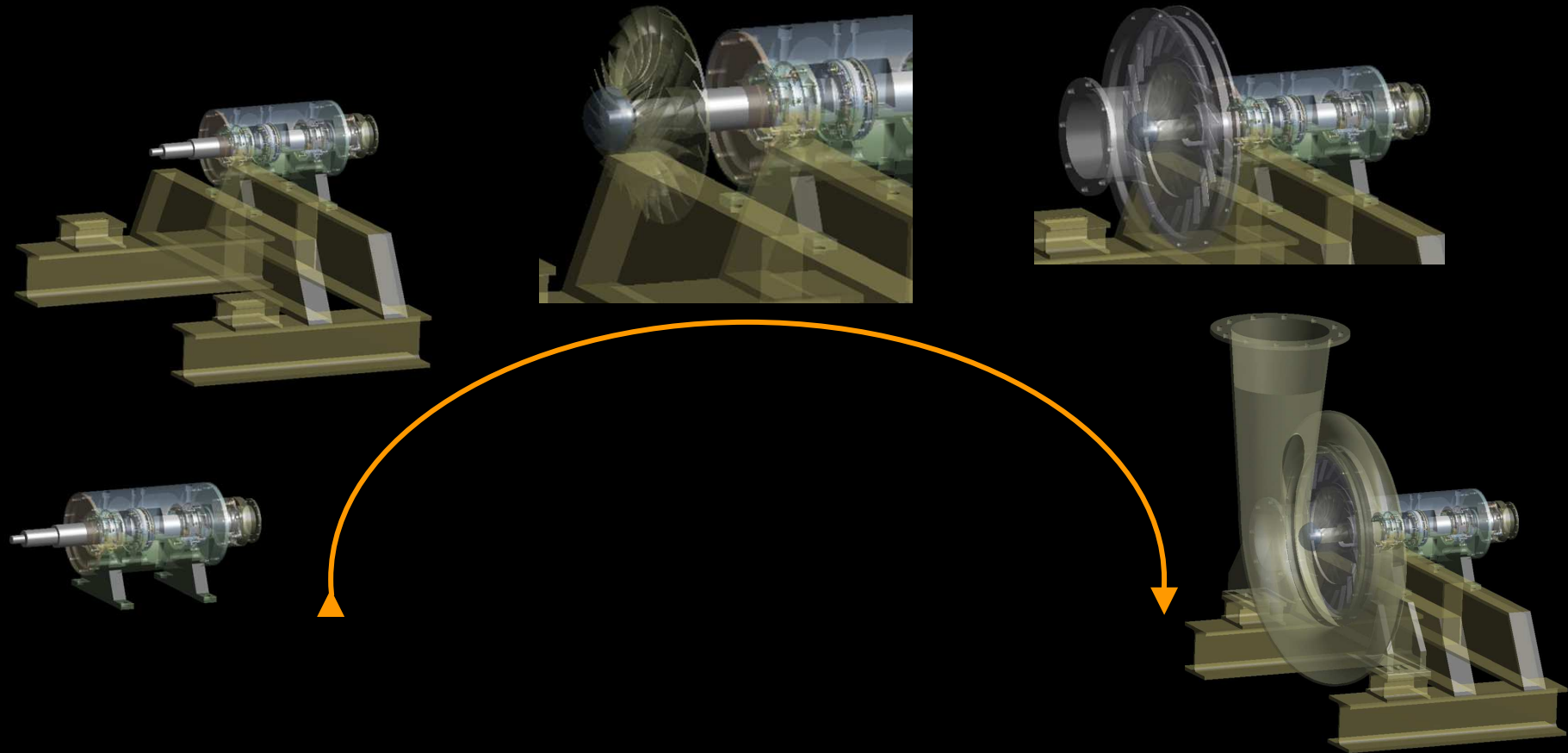


5. Windanlage

Beispiel 2

Designoptimierung eines Radialkompressors mit analytischen Verlustmodellen

Unser Kompressor



Das analytische Verlustmodell

1 Einlaufbereich mit Spinner

- Skin Friction Loss

2 Verdichterlaufrad

- Skin Friction Loss
- Blade Loading Loss (Blade-to-Blade Loss)
- Hub-to-Shroud Loss
- Supercritical Mach Number Loss
- Blockage Loss
- Incidence Loss
- Diffusion Loss
- Choking Loss
- Wake Mixing Loss
- Recirculation Loss
- Slip
- Eye Seal Leakage Loss
- Friction Loss due to the gap flow between Impeller and Housing

3 Ringraum I / unbeschaufter Plattendiffuser

- Skin Friction Loss
- Diffusion Loss
- Blockage Loss
- Curvature Loss

4 Beschaufter Plattendiffuser (Leitrad)

- Skin Friction Loss
- Blockage Loss
- Incidence Loss
- Choking Loss
- Wake Mixing Loss

5 Ringraum II

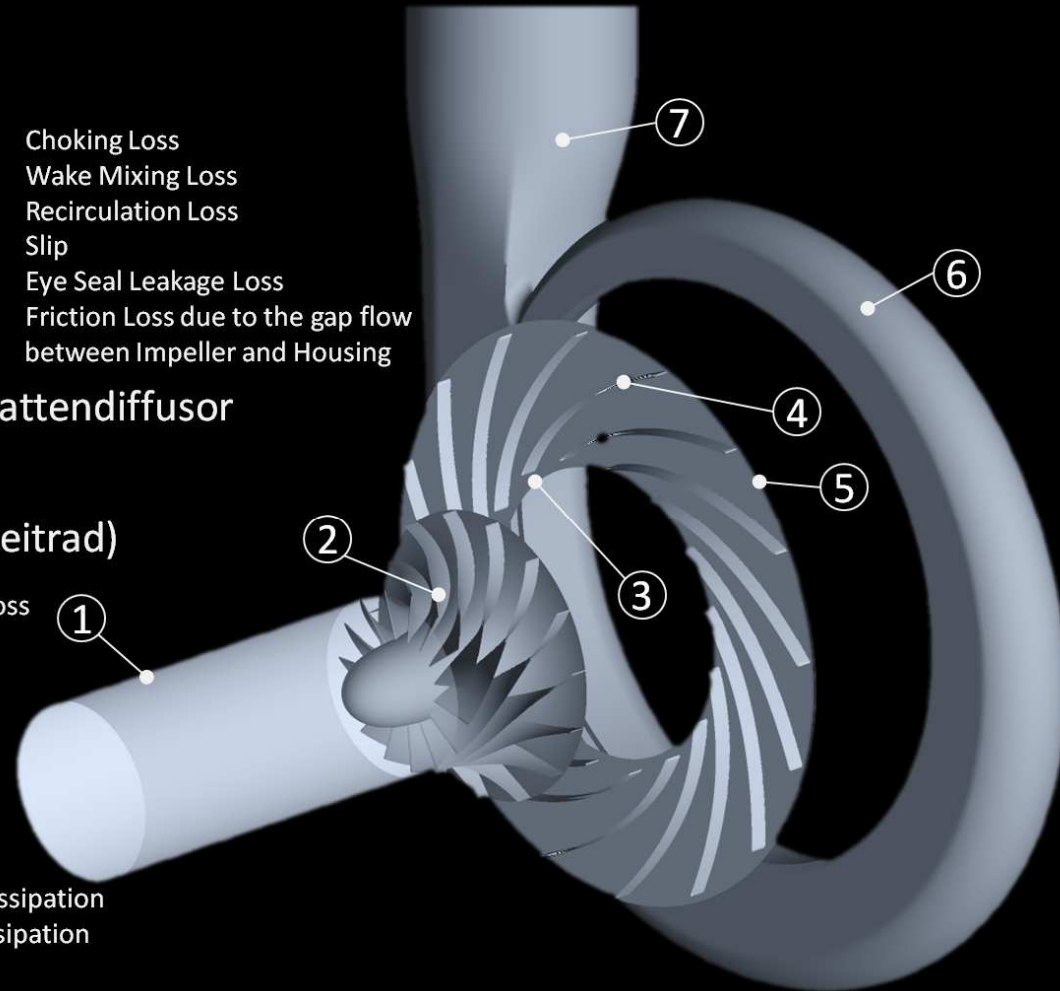
- Identisch zu Ringraum I

6 Spirale

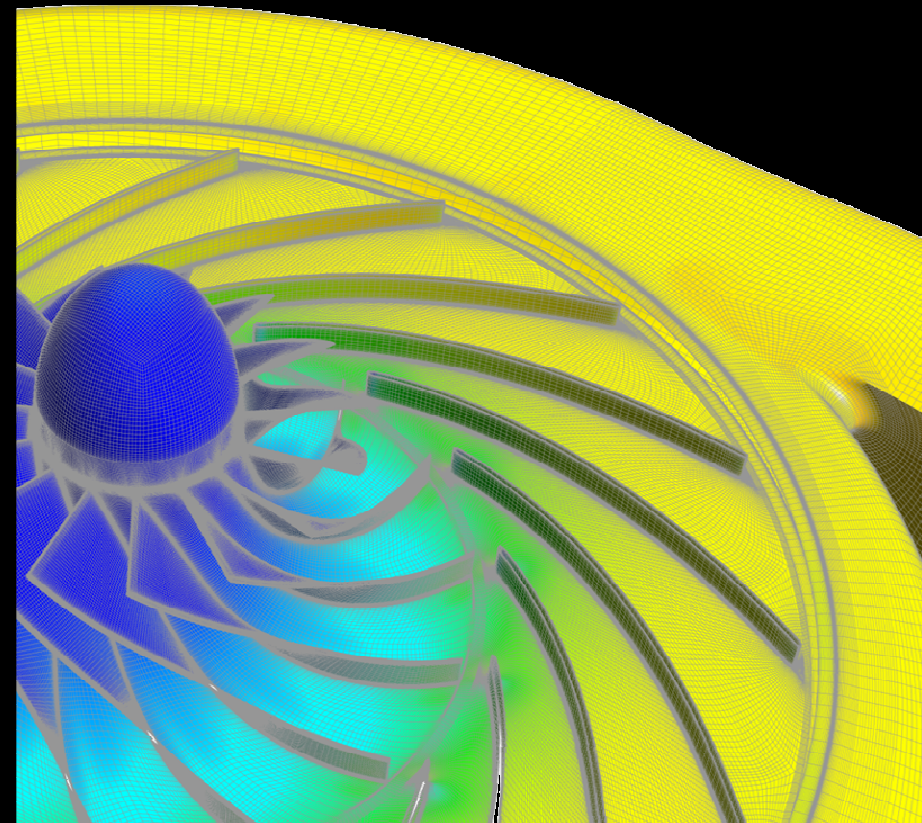
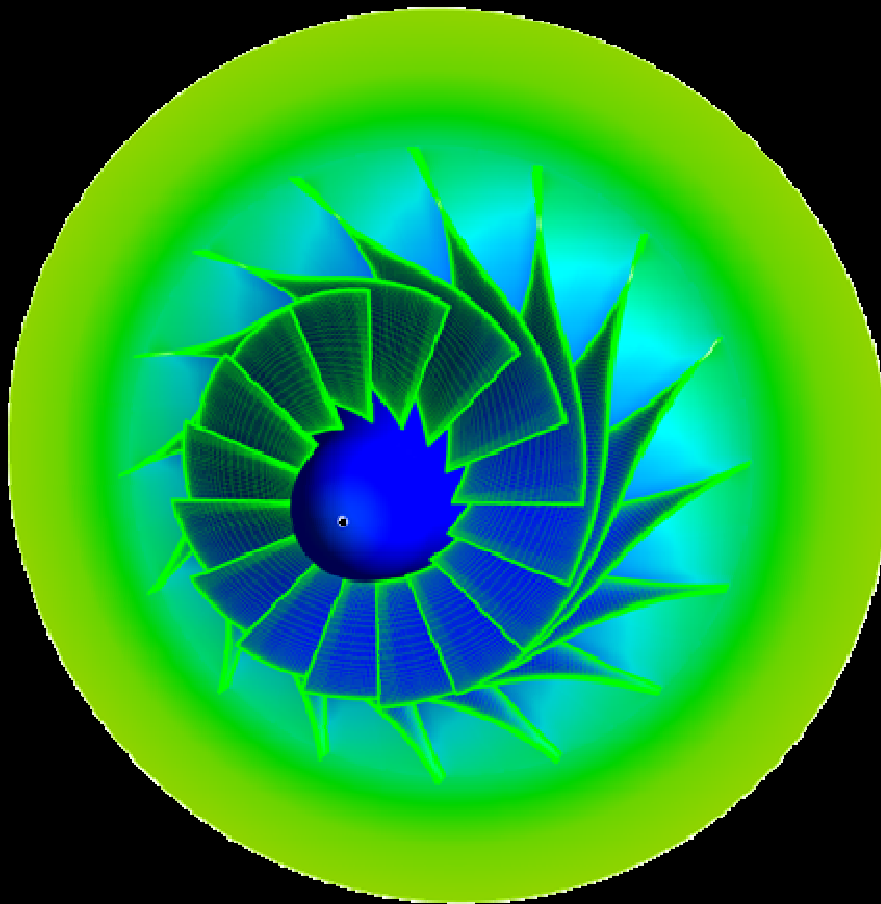
- Skin Friction Loss
- Loss due to the Meridional Velocity Head Dissipation
- Loss due to the Tangential Velocity Head Dissipation

7 Kegeldiffusor

- Exit Cone Loss

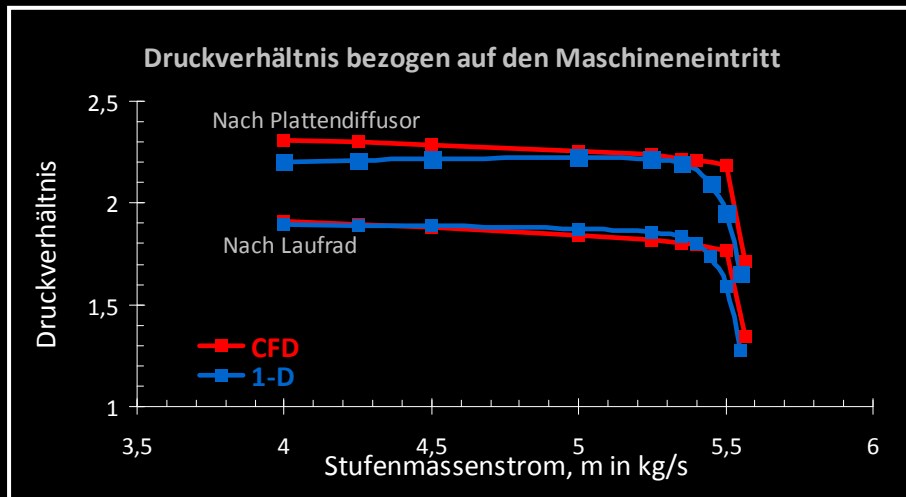


Validiert mit CFX: Das Netz



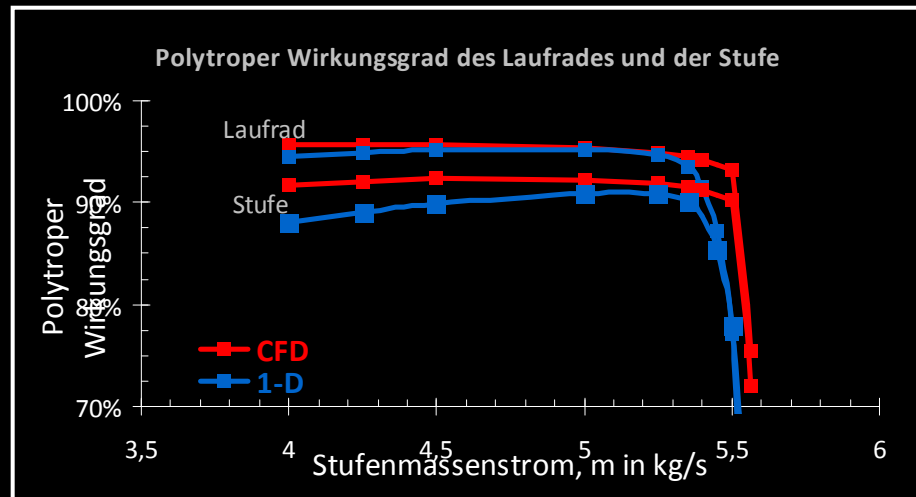
50 Mio. Knoten für die Maschine

Vergleich Analytik 1-D mit CFD



Der analytische
Ansatz liefert
erstaunlich
brauchbare
Resultate!

Sogar für die
Kennlinie!

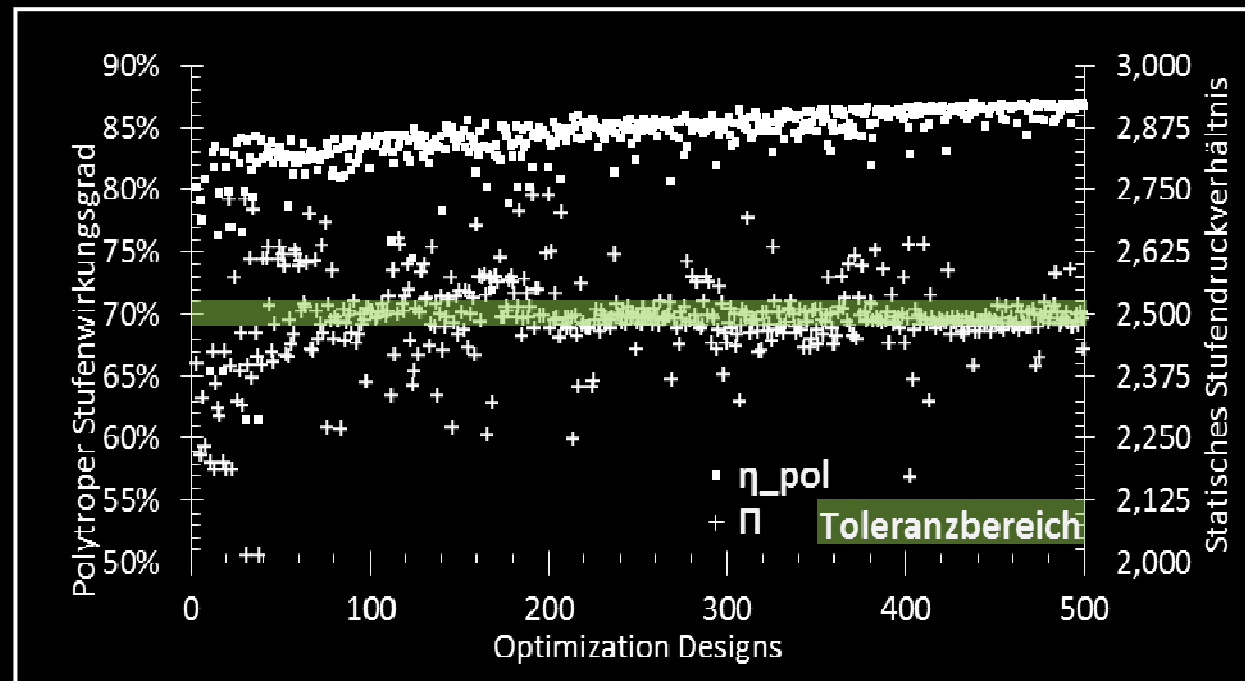


Die Optimierung

Ein Betriebspunkt
ist in wenigen
Sekunden
berechnet

Deshalb der
Entscheid:
Direkte
Optimierung als
Algorithmus

Evolutionärer
Algorithmus



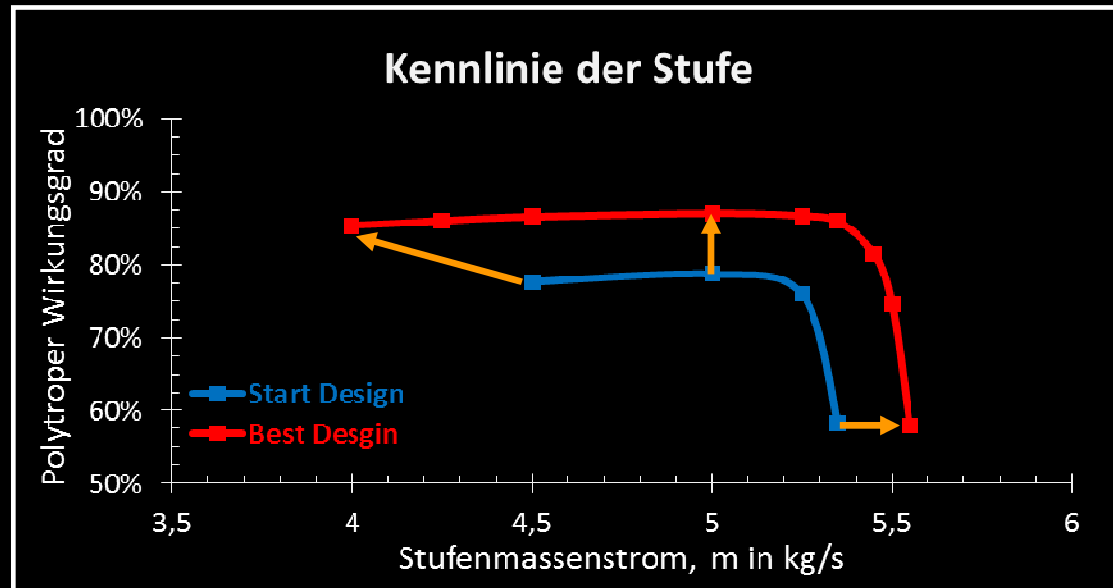
Das Resultat

Die Praxis verlangt nicht nur nach einem Optimaldesign für einen Betriebspunkt

Vielmehr ist der Betriebsbereich wichtig

Der Gewinn ist gewaltig:

Es wurden drei Ziele erreicht!



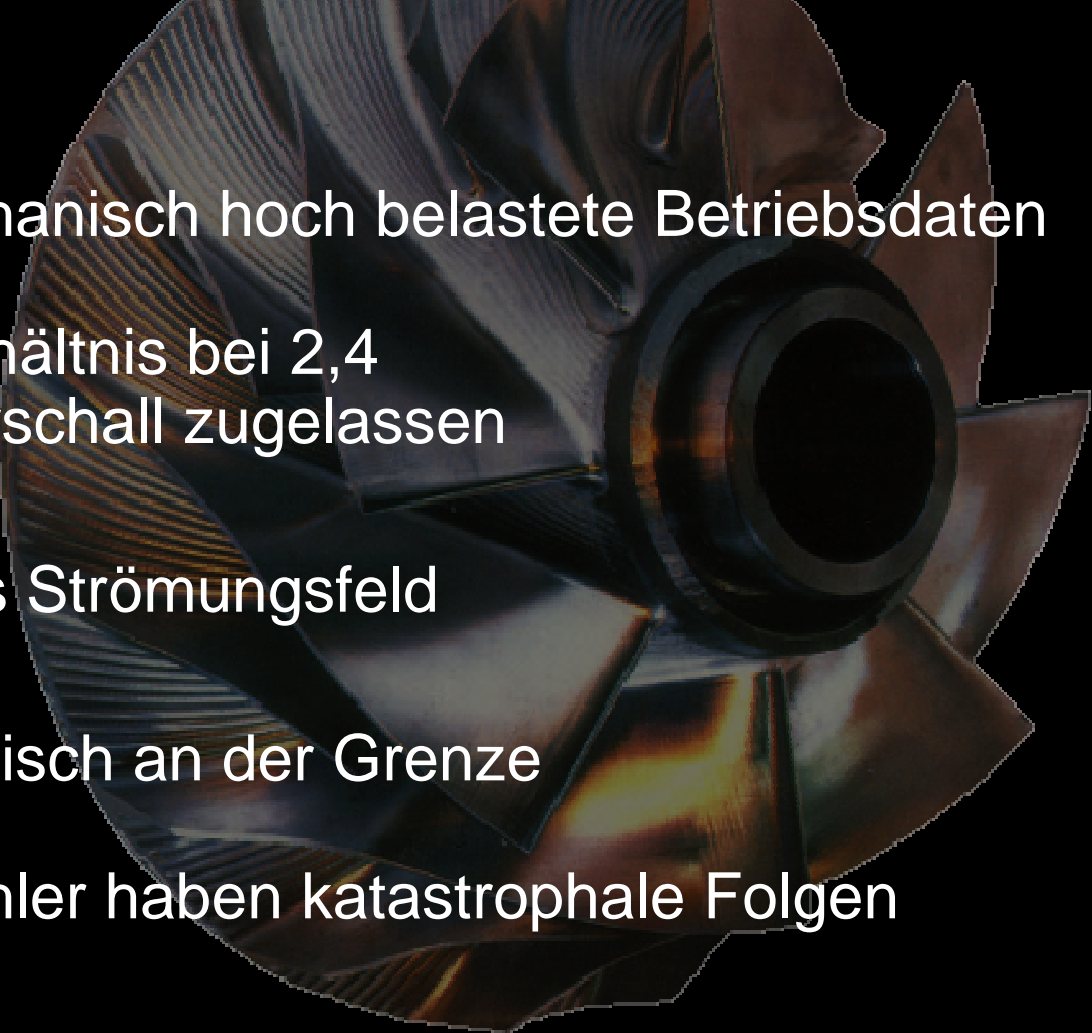
Leider: Es liegt nur das Design vor.

Die Detailgeometrie ist noch nicht definiert.

Beispiel 4

Geometrieoptimierung eines Radialverdichterlaufrades mit gekoppelter CFD und FEM Analyse

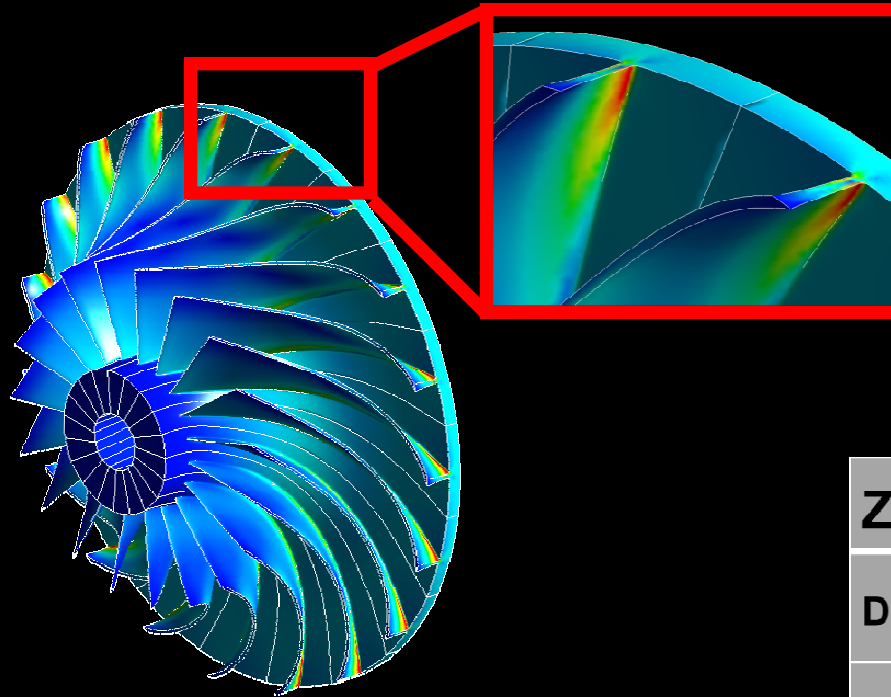
Die Herausforderungen

- Strömungsmechanisch hoch belastete Betriebsdaten
 - Druckverhältnis bei 2,4
 - kein Überschall zugelassen
 - Sehr komplexes Strömungsfeld
 - Strukturmechanisch an der Grenze
 - Designfehler haben katastrophale Folgen
- 

Beispiele für Laufradschäden



Die Optimierungssituation

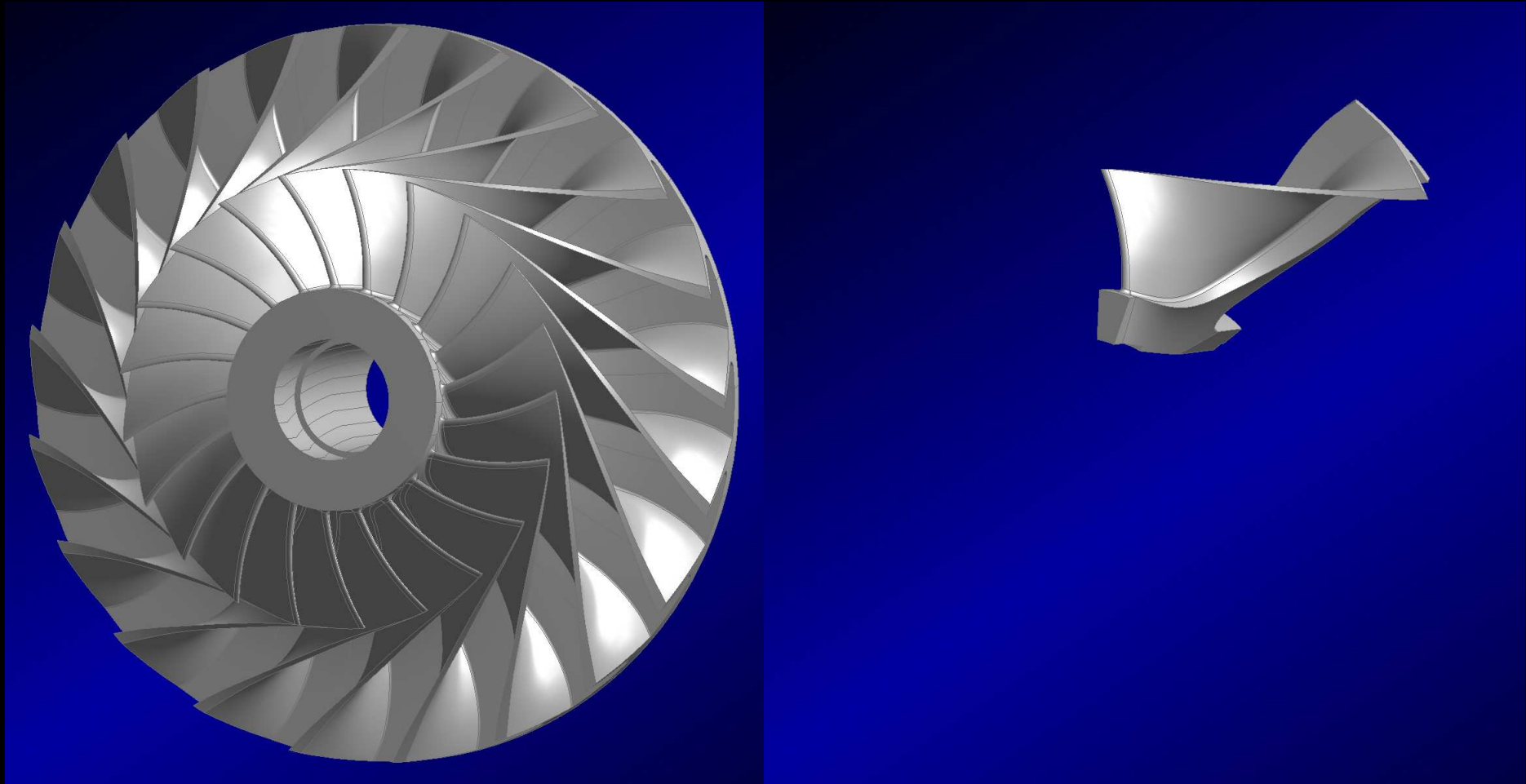


Das strömungsmechanisch gute Startdesign besitzt extrem hohe Spannungen

Optimierungsziel:
Spannungsreduktion bei Erhalt der guten aerodynamischen Eigenschaften

Zielgröße	Wert
Druckverhältnis	$\Pi = 2.4$
Wirkungsgrad	$\eta_{pol} = 87\%$!
Max. Machzahl	$Ma_{max} = 0,81 < 1$
Maximale Vergleichsspannung	$\sigma_V \gg \sigma_{zul}$

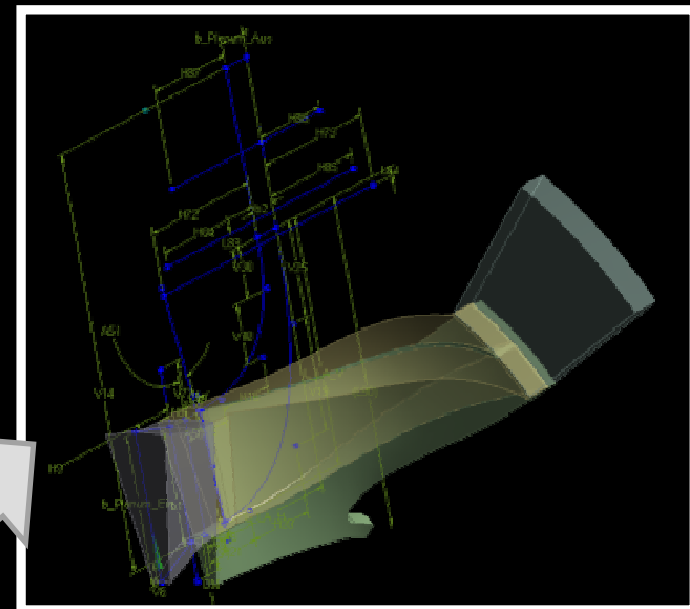
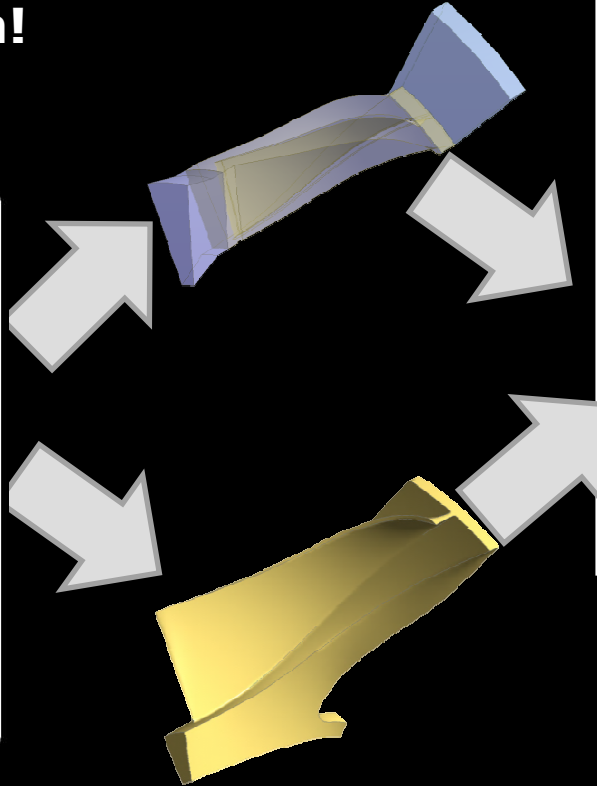
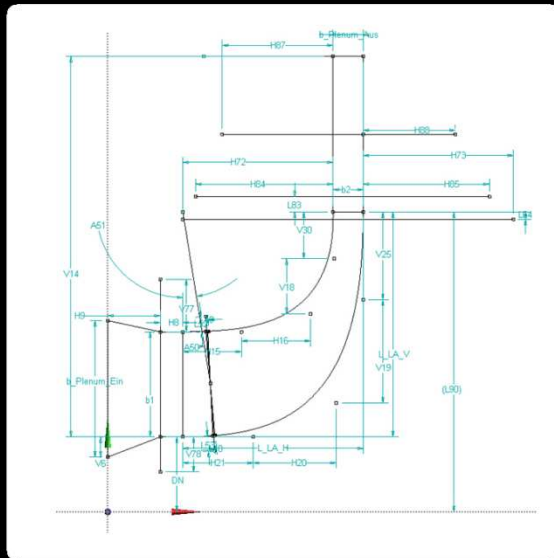
Zur Erklärung eines Sektors



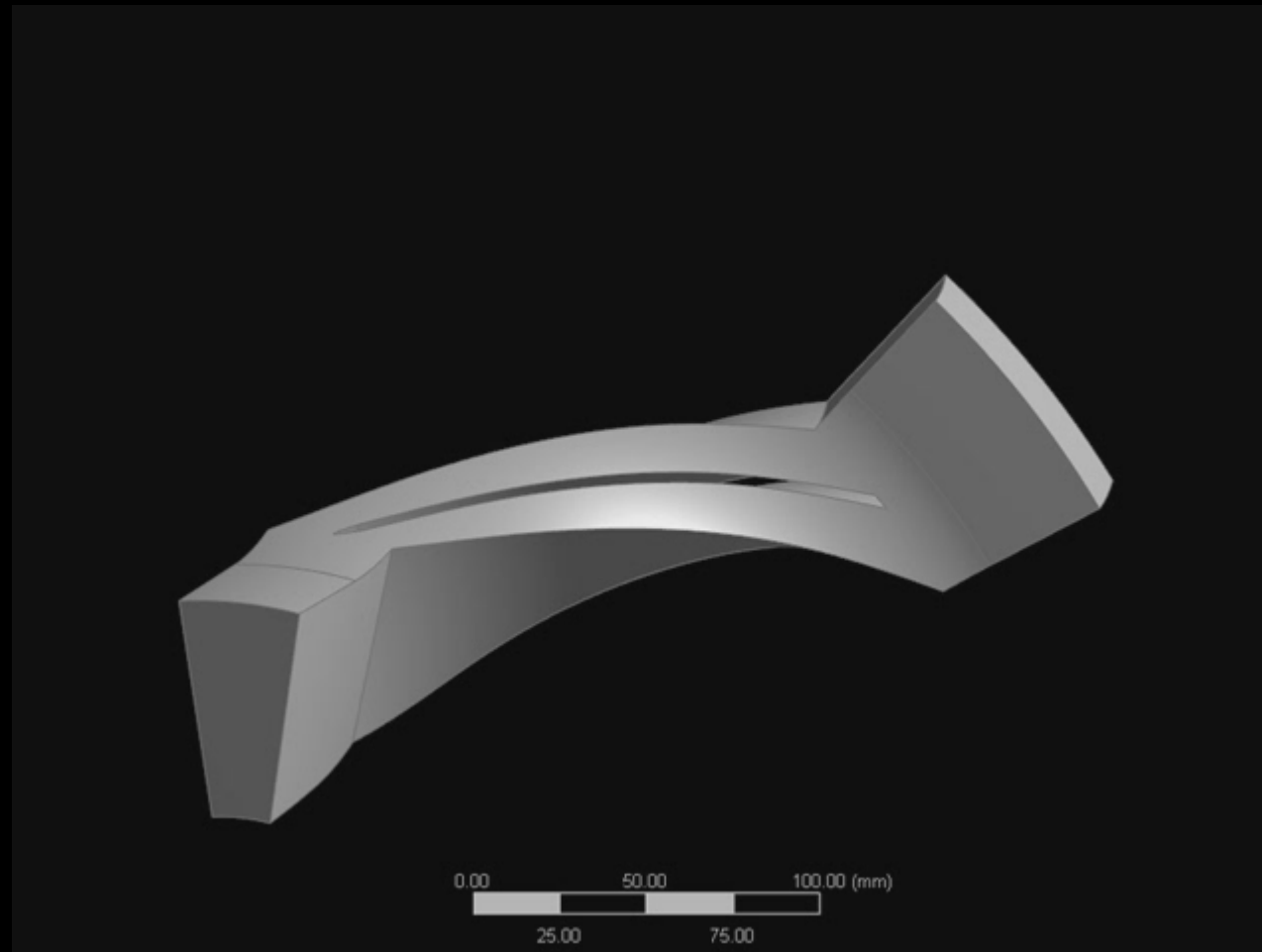
Die Modellbildung

29 Geometrieparameter

→ Jede beliebige Laufradform kann modelliert werden!



Die Geometrievarianten als Videoanimation



Der Prozess



optiSLang®



Geometriegenerierung und
Vernetzung
(noch keine Berechnung)

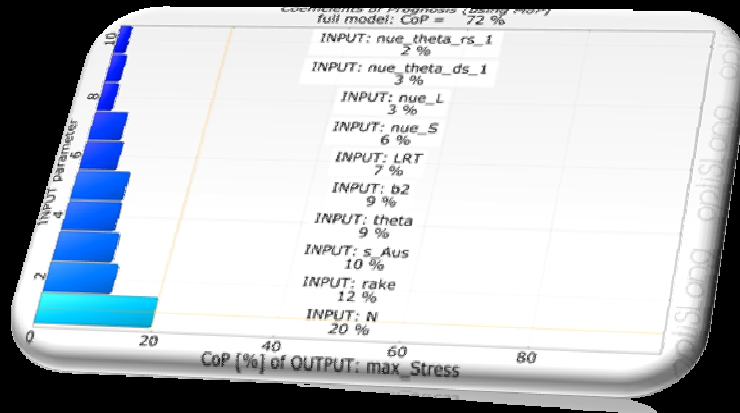
FEM Simulationen parallel
auf mehreren Workstations

CFD Berechnungen
parallelisiert auf LiDong Cluster
durchgeführt (1778 Cores)

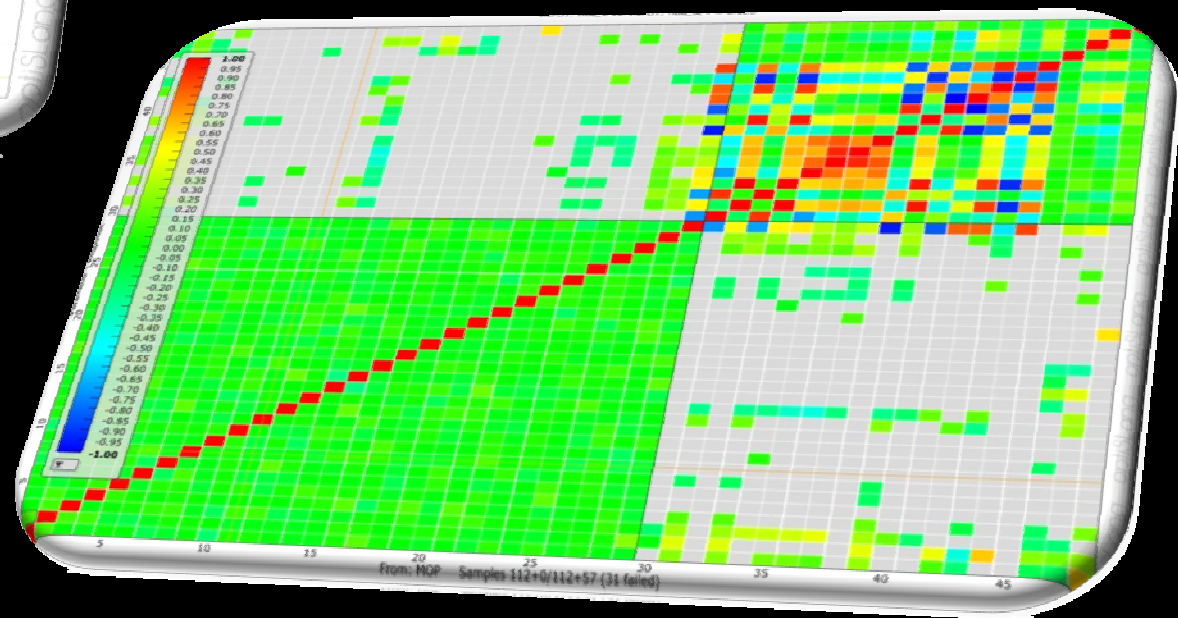


optiSLang®

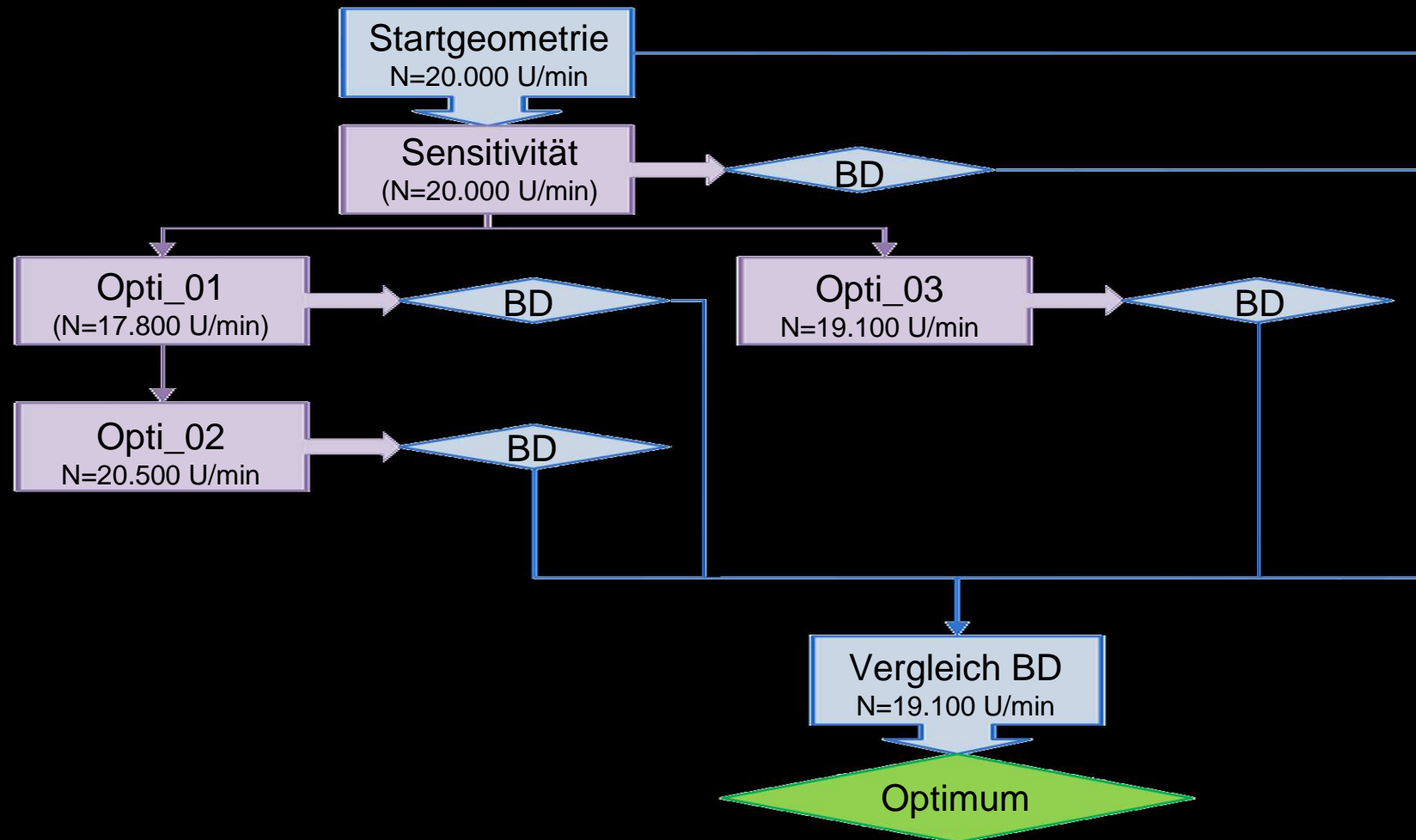
Sensitivitätsanalyse



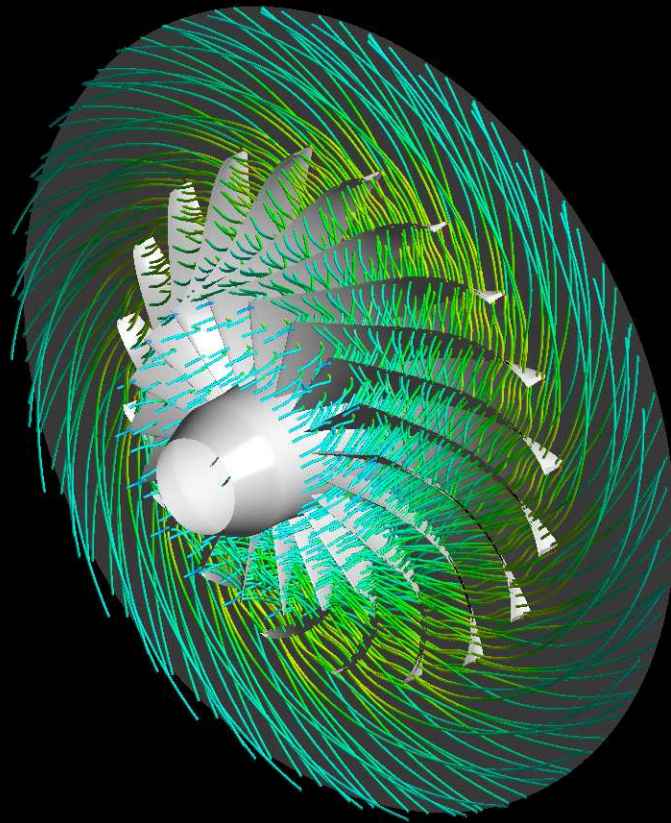
Reduktion der
relevanten Parameter
von 29 auf 14!



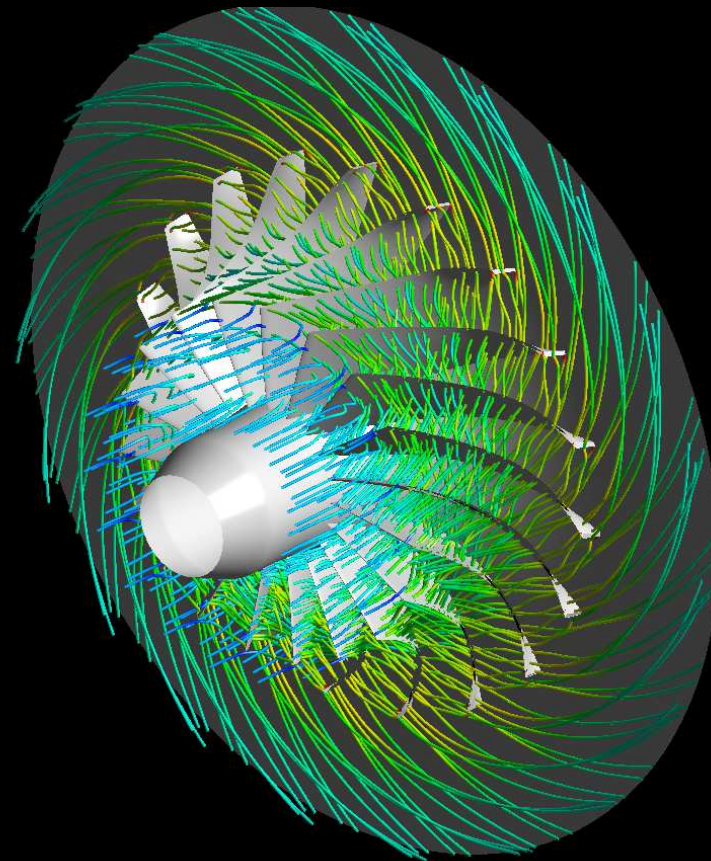
Die Optimierungsstrategie



Ergebnis: Strömung

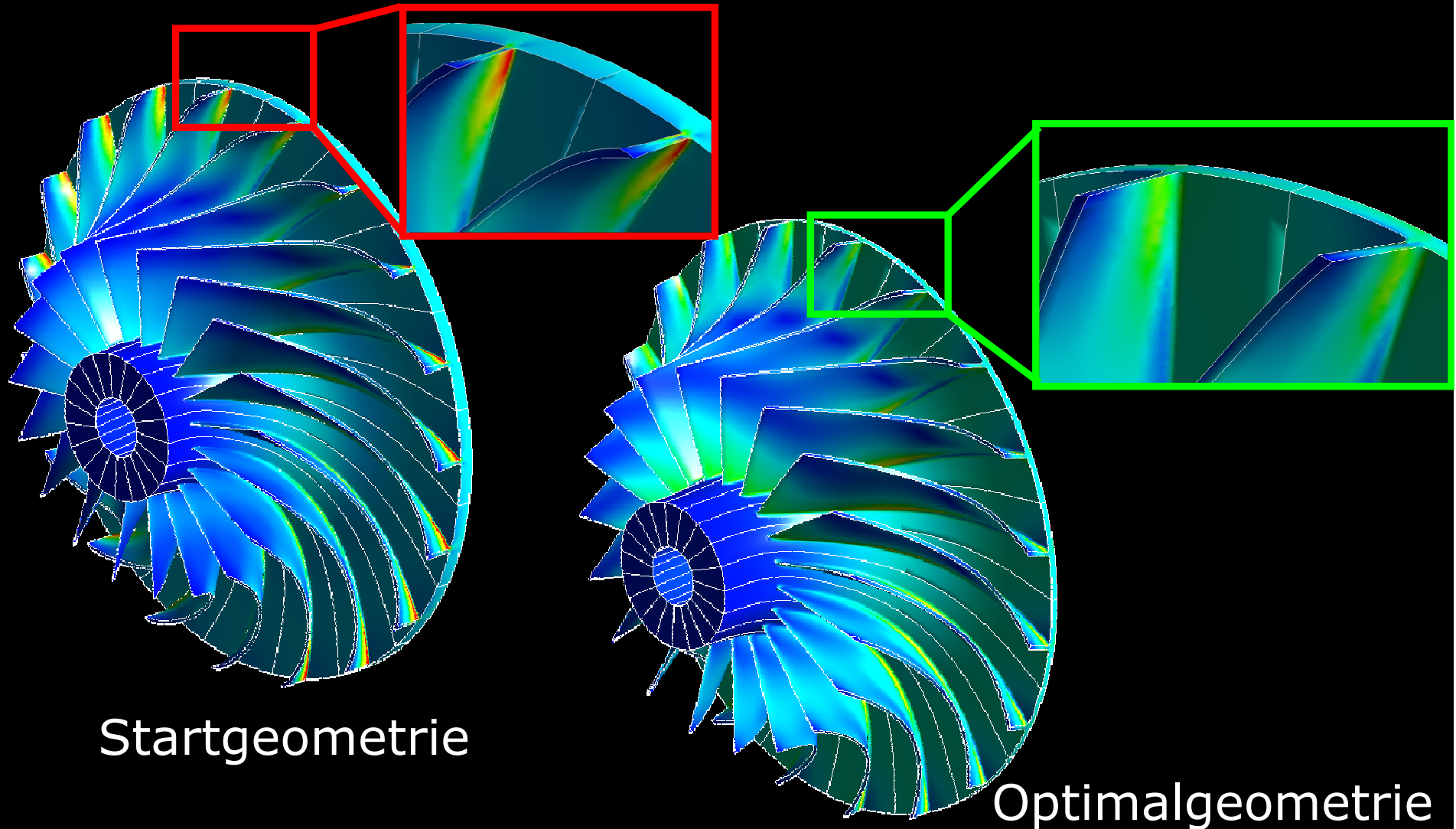


Startgeometrie



Optimalgeometrie

Ergebnis: Spannungen



Startgeometrie

Optimalgeometrie

Fazit

Das optimale Laufrad mit
insgesamt 560 Samples

Mach = 0,95



$\sigma = 416$ MPa



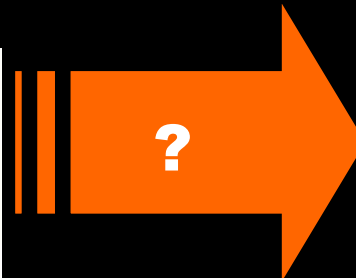
$\Pi = 2,4$



$\eta = 84$ %



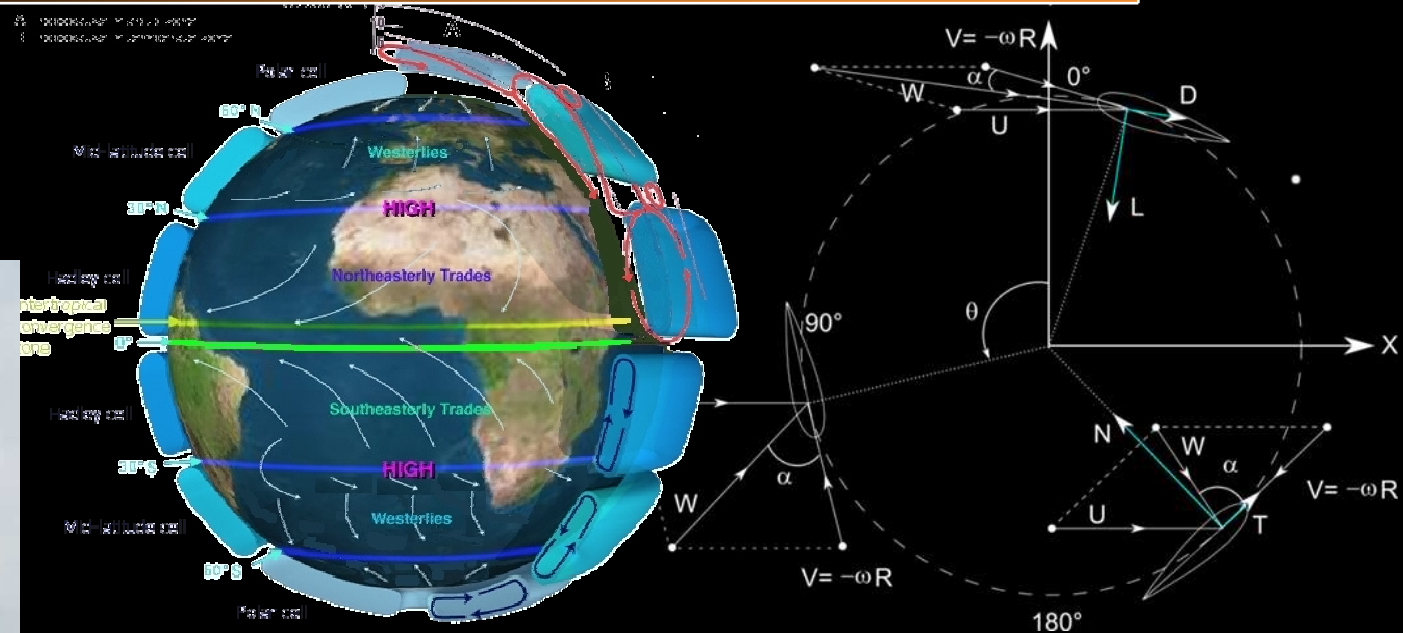
Quo Vadis?



Beispiel 5

Kennfeldvorhersage einer Windanlage mit vertikaler Achse

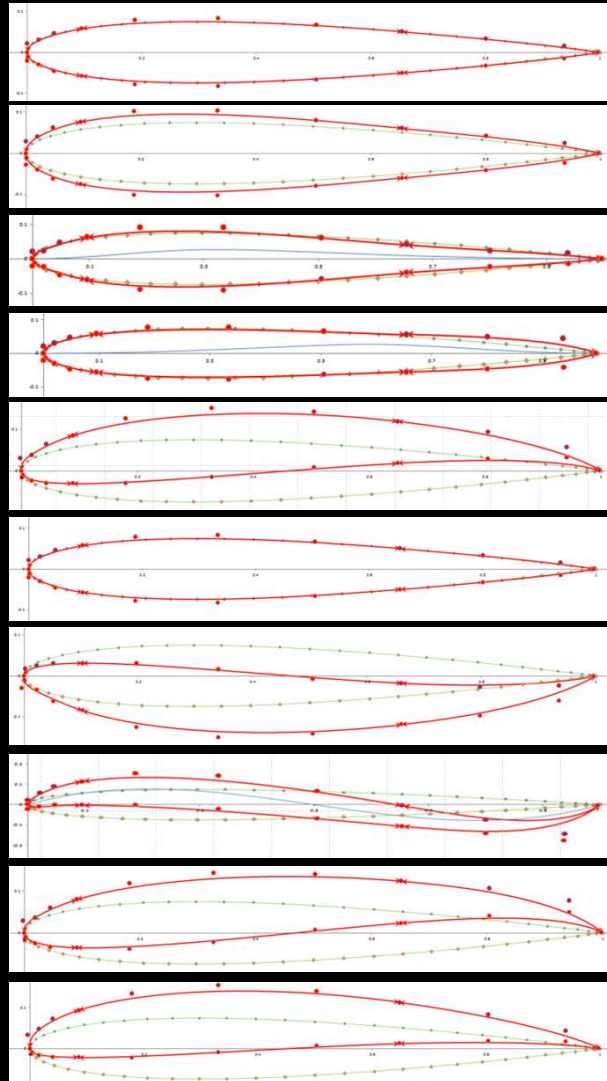
Die vertikale Windanlage



Vorteile von Vertikalachsenwindturbinen:

- Einfacheres Konstruktionsprinzip
- geringere Kosten
- Unabhängig von der Windrichtung
- Gute Effizienz bei niedrigen Windgeschwindigkeiten

Die Modellbildung



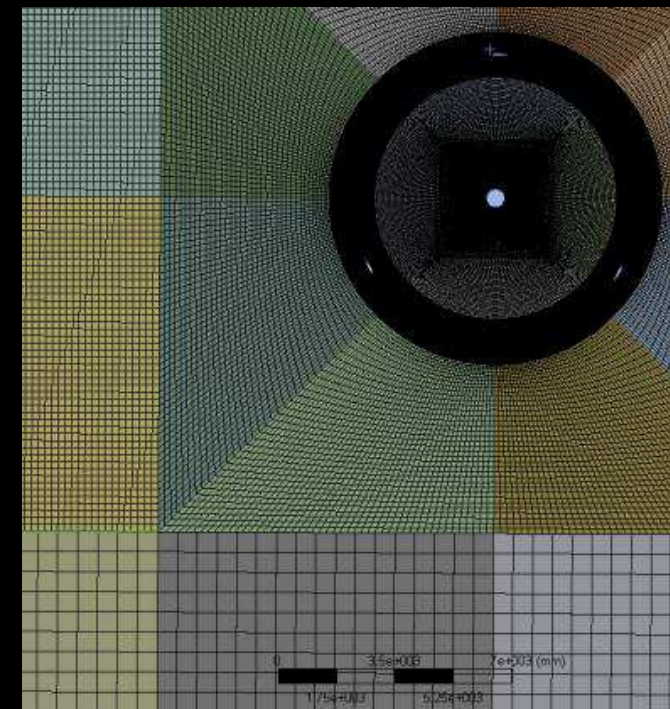
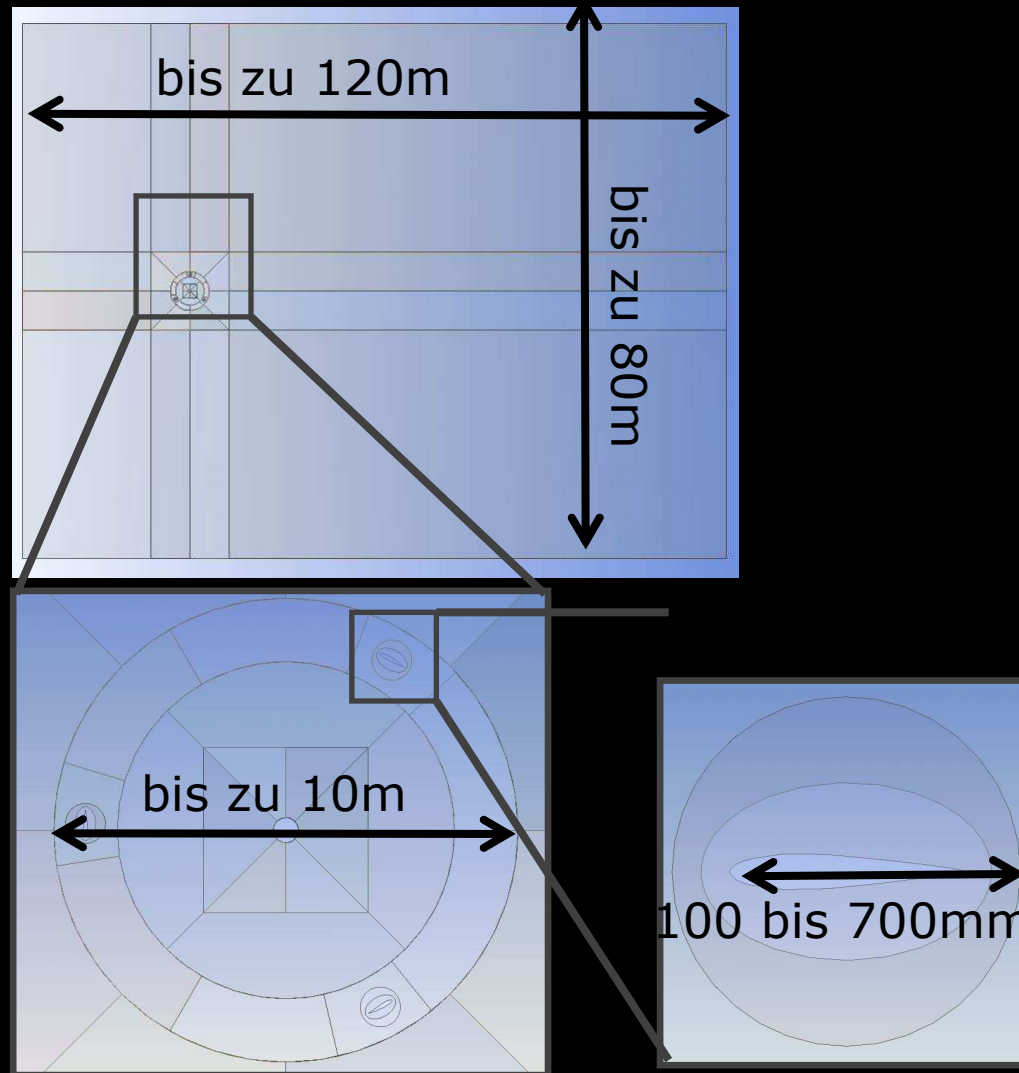
Parametrisierung nach klassischer Profiltheorie

- Dickenverhältnis $\frac{d}{l}$
- Wölbungsverhältnis $\frac{f}{l}$
- Relative Dickenrücklage $\frac{x_d}{l}$
- Relative Wölbungsrücklage $\frac{x_f}{l}$
- Relativer Nasenradius $\frac{r_n}{l}$
- Relativer Hinterkantenradius $\frac{r_h}{l}$

Weitere Parameter:

- Anlagendurchmesser
- Flächenfüllgrad
- Schnelllaufzahl

Die Vernetzung



**Stark unterschiedliche
Skalen müssen vom Netz
abgebildet werden**

- Hohe Knotenzahlen

Der Optimierungsprozess

Design Parameter



2D Profil Erstellung

Parameter	Value
...	...



optiSLang®

Ergebnisse



2D Profil

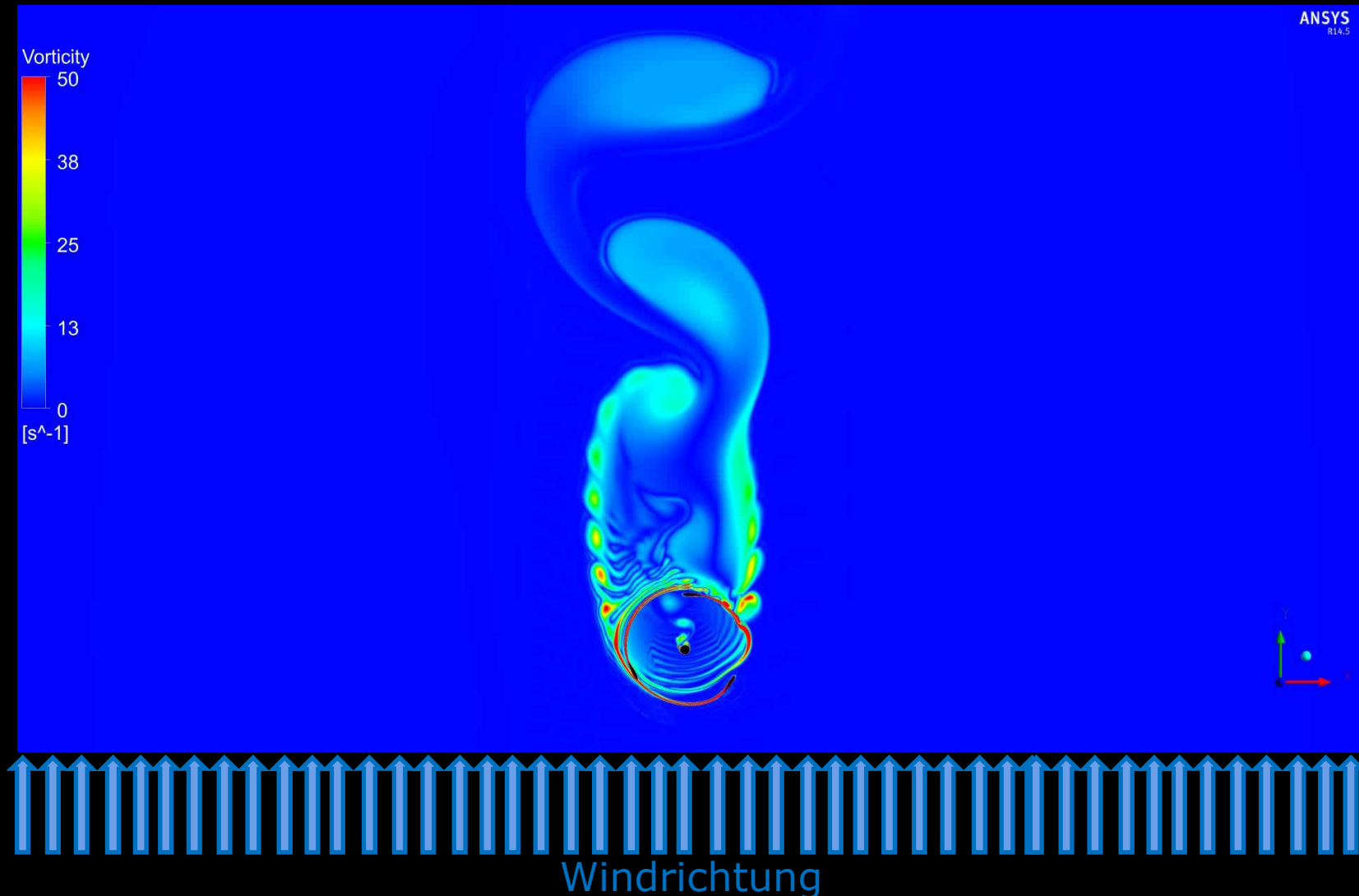
Geometrie und Netz Erstellung, CFD Berechnung

ANSYS®

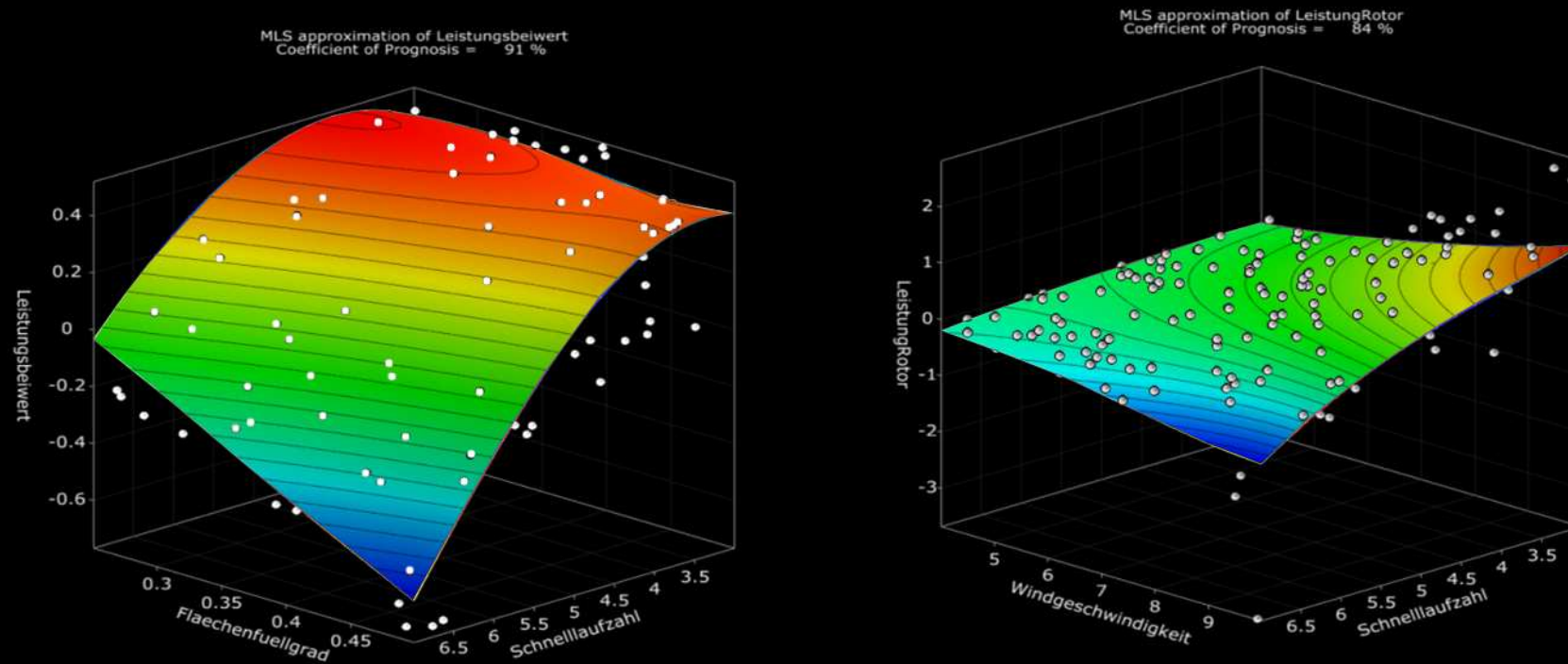
Zur Simulation

- Transiente Simulationen sind erforderlich!
- 5 Tage Rechenzeit für einen Design Punkt
- 200 Design Punkte
- 25 Workstations sind 3 Monate gelaufen

Das instationäre Strömungsfeld

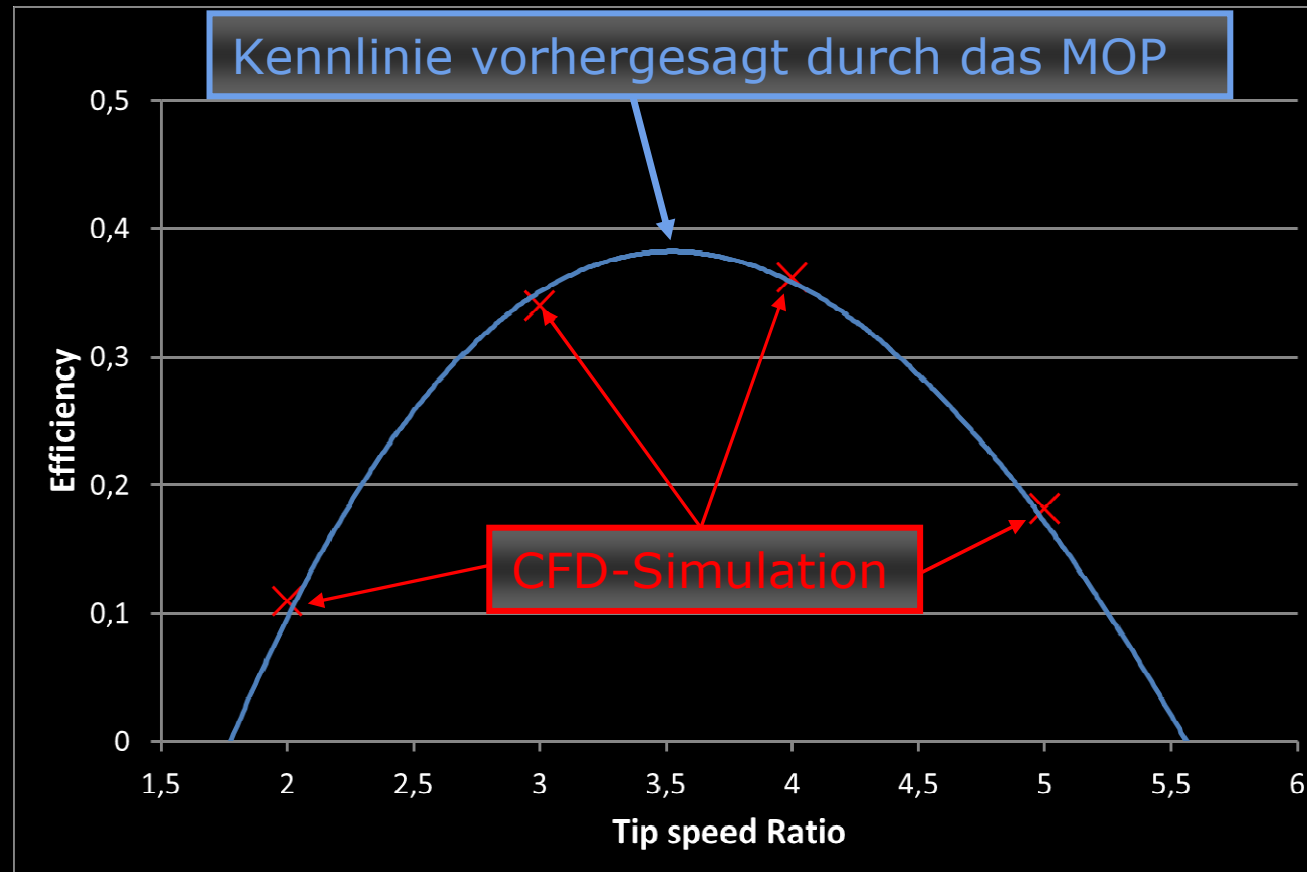


Moving Least Square Approximation basierend auf dem Meta Model of optimal Prognosis (MoP) von optiSlang

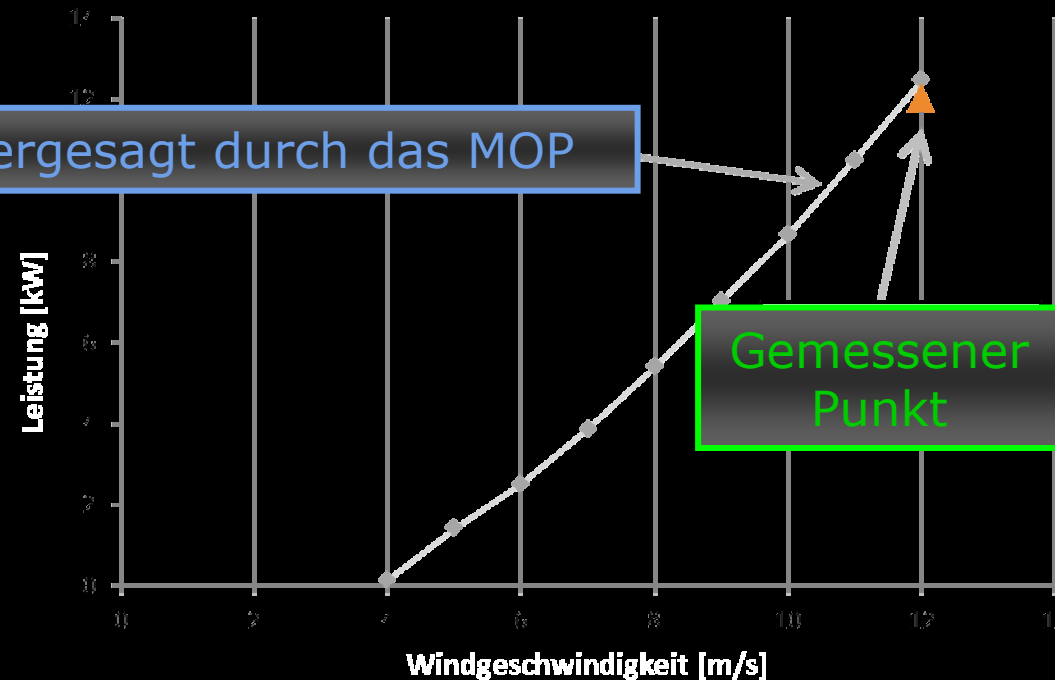


Extrem gute CoP
Für den Leistungsbewert ist der CoP = 91% !

Validierung des Metamodelles durch einzelne CFD-Simulationen



Validierung des Metamodells durch eine ausgeführte Anlage



Marsta-VAWT – University of Uppsala

Kennlinien beliebiger(!) Windanlagen können
nativ in optiSLang vorhergesagt werden

und dass ohne weitere CFD Simulationen!



Vielen Dank!