



DISPUTATIONSVORTRAG

Simultane Optimierung von Impeller, beschaufeltem Diffusor und Volute hinsichtlich des Wirkungsgrads und des Pumpgrenzabstands

Agenda

- 1** Motivation & Einleitung
- 2** Zielsetzung & Fragestellung
- 3** Optimierungsprozess
- 4** Ergebnisse
- 5** Fazit & Ausblick





1 Motivation & Einleitung

1 Motivation & Einleitung

Motivation & Einleitung → Problemstellung & Zielsetzung → Optimierungsprozess → Ergebnisse → Fazit & Ausblick



Containerschiff



Quelle: [1]

Fähre



Quelle: [2]

Bau- / Industrie



Quelle: [3]

Stromaggregat



Quelle: [5]

Zug (ohne Oberleitung)



Quelle: [4]

LKW



Quelle: [6]

1 Motivation & Einleitung

Motivation & Einleitung → Problemstellung & Zielsetzung → Optimierungsprozess → Ergebnisse → Fazit & Ausblick



Containerschiff



Quelle: [1]

Fähre



Quelle: [2]

Bau- / Industrie



Quelle: [3]

**Vollständige Elektrifizierung
schwer möglich**

Stromaggregat



Quelle: [5]

Zug
(ohne Oberleitung)



Quelle: [4]

LKW



Quelle: [6]

1 Motivation & Einleitung

Motivation & Einleitung → Problemstellung & Zielsetzung → Optimierungsprozess → Ergebnisse → Fazit & Ausblick

Containerschiff
Quelle: [1]

Fähre
Quelle: [2]

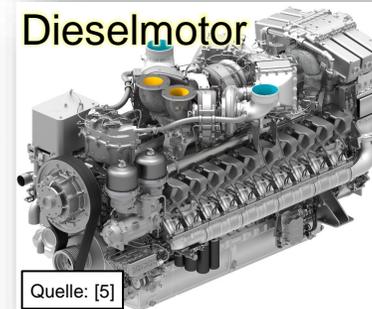
Bau- / Industrie

**Vollständige Elektrifizierung
schwer möglich**

Stromaggregat
Quelle: [5]

Zug
(ohne Oberleitung)
Quelle: [4]

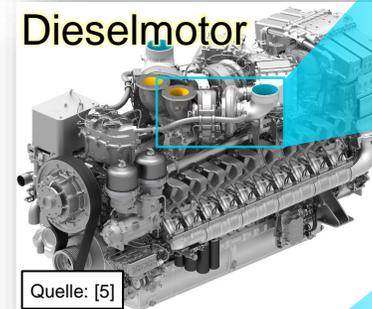
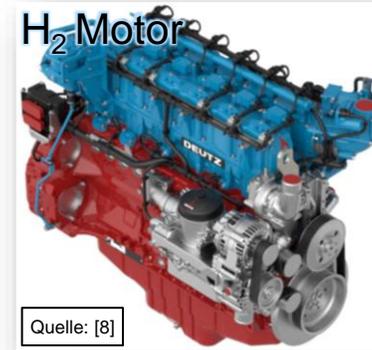
Quelle: [6]



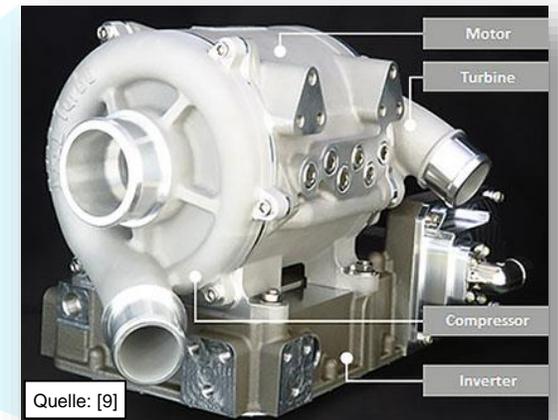
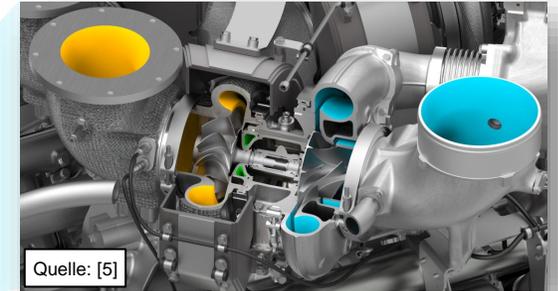
Wasserstoff, Ammoniak,
Gas, Diesel, Benzin,
Synthetische Kraftstoffe

1 Motivation & Einleitung

Motivation & Einleitung → Problemstellung & Zielsetzung → Optimierungsprozess → Ergebnisse → Fazit & Ausblick

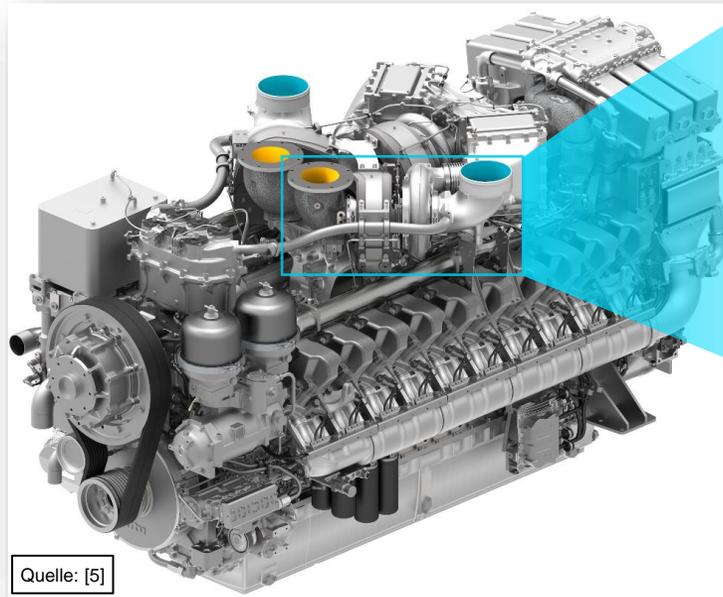


Wasserstoff, Ammoniak,
Gas, Diesel, Benzin,
Synthetische Kraftstoffe

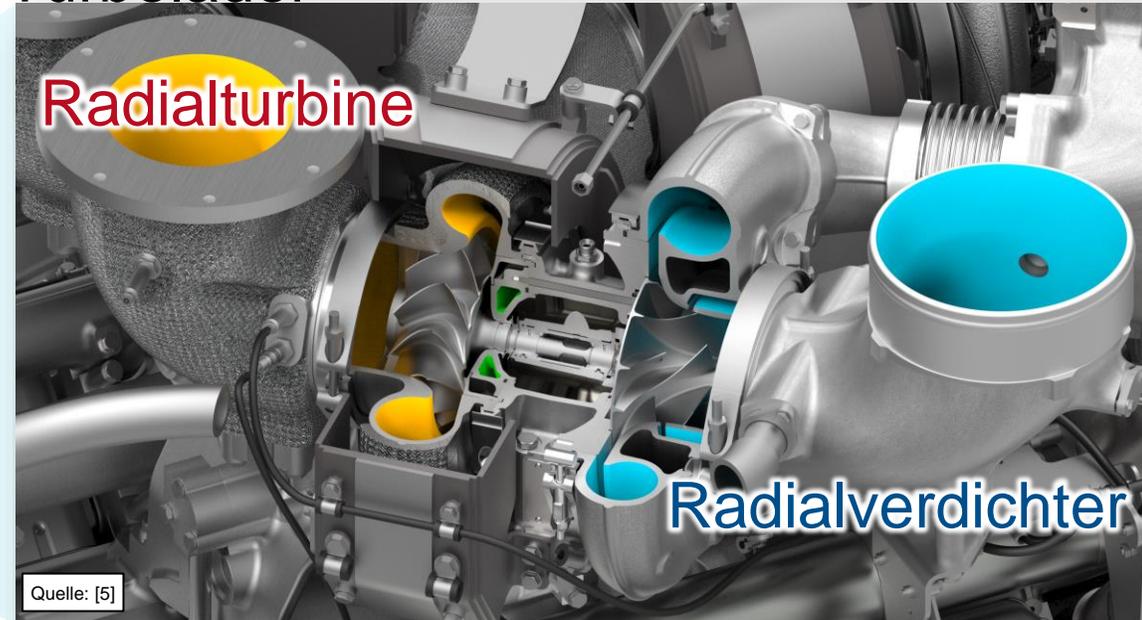


1 Motivation & Einleitung

Motivation & Einleitung → Problemstellung & Zielsetzung → Optimierungsprozess → Ergebnisse → Fazit & Ausblick



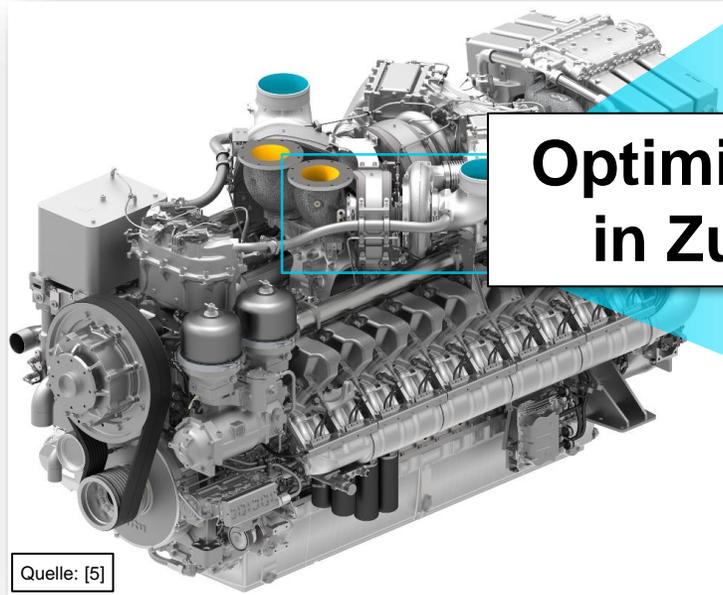
Turbolader



- Steigerung der spezifischen Leistung
 - Steigerung des Wirkungsgrads
- ⇒ Reduktion des Kraftstoffverbrauchs (CO₂), des Gewichts und der Baugröße

1 Motivation & Einleitung

Motivation & Einleitung → Problemstellung & Zielsetzung → Optimierungsprozess → Ergebnisse → Fazit & Ausblick



Quelle: [5]

Turbolader



Radialturbine

Radialverdichter

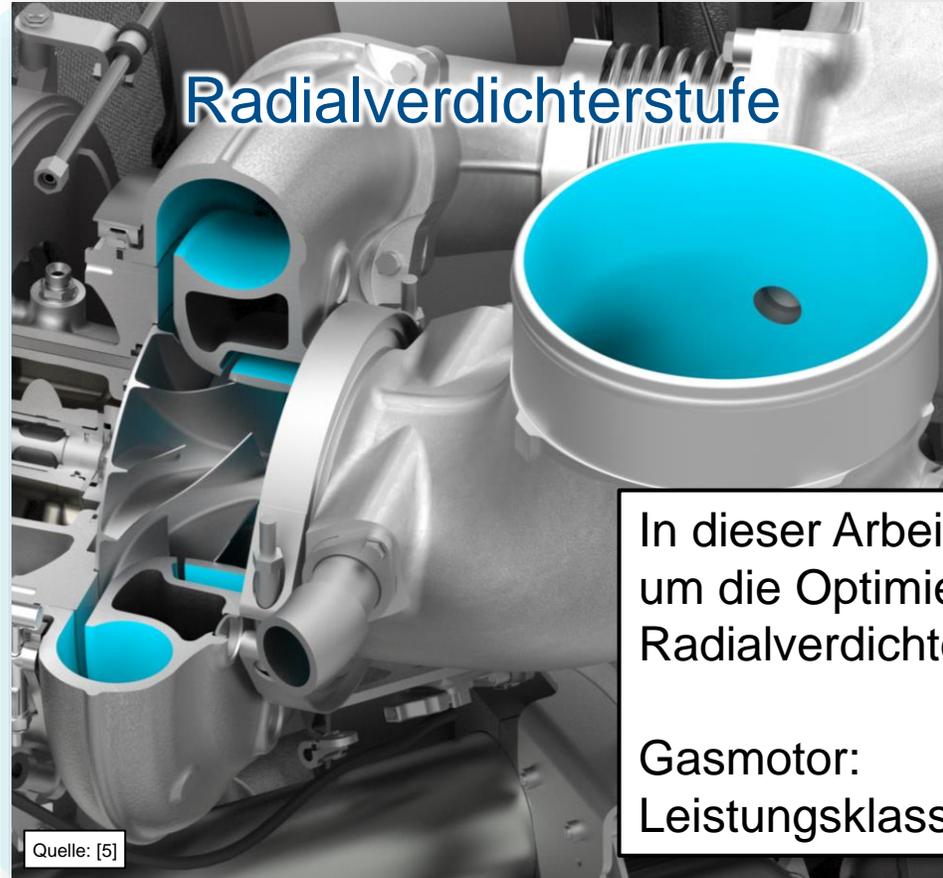
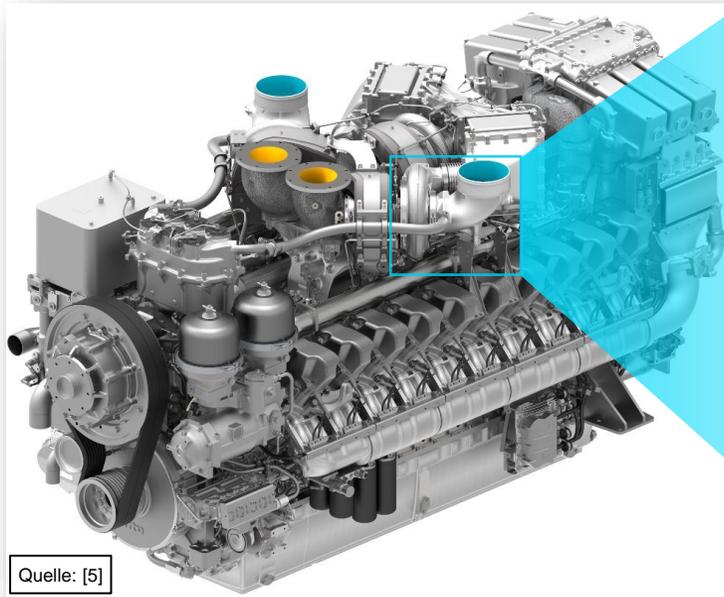
Quelle: [5]

**Optimierung von Turboladern ist auch
in Zukunft von großer Bedeutung!**

- Steigerung der spezifischen Leistung
 - Steigerung des Wirkungsgrads
- ⇒ Reduktion des Kraftstoffverbrauchs (CO₂), des Gewichts und der Baugröße

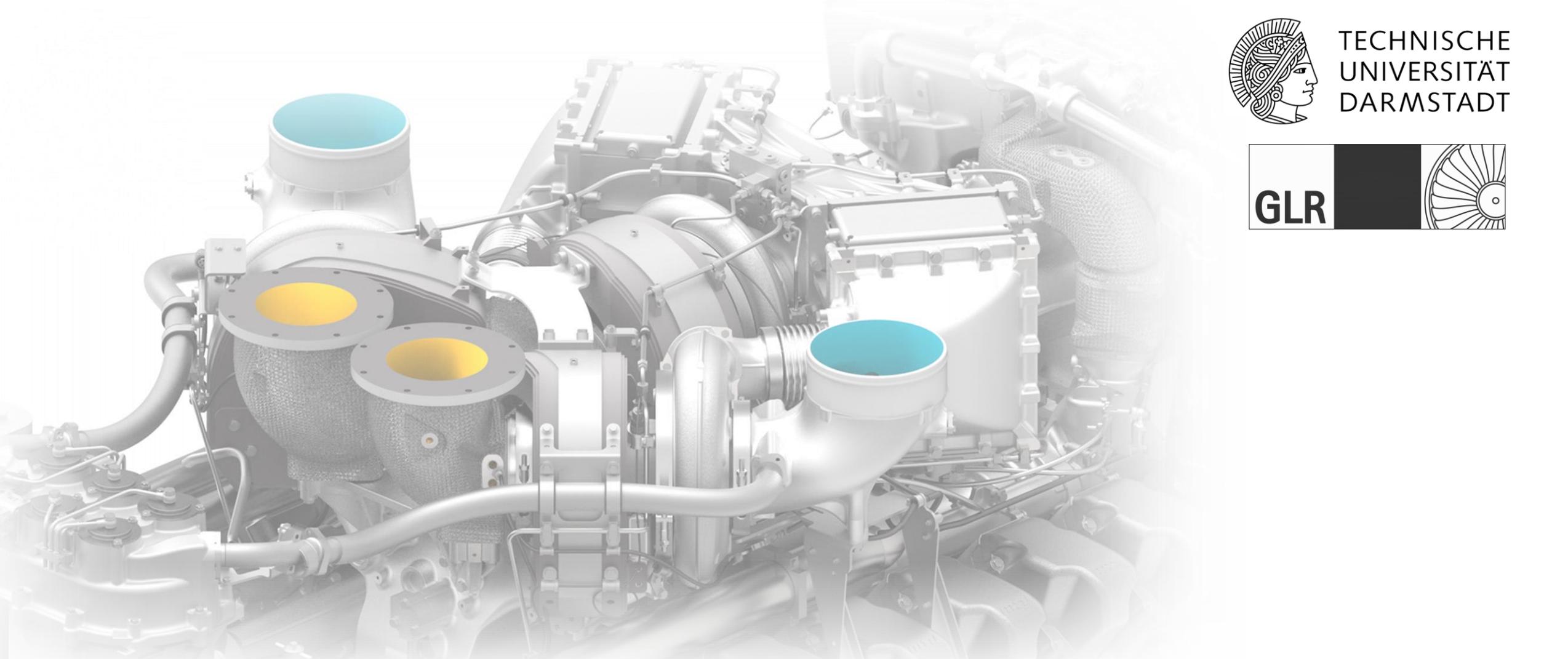
1 Motivation & Einleitung

Motivation & Einleitung → Problemstellung & Zielsetzung → Optimierungsprozess → Ergebnisse → Fazit & Ausblick



In dieser Arbeit geht es um die Optimierung der Radialverdichterstufe.

Gasmotor:
Leistungsklasse 1 – 3 MW

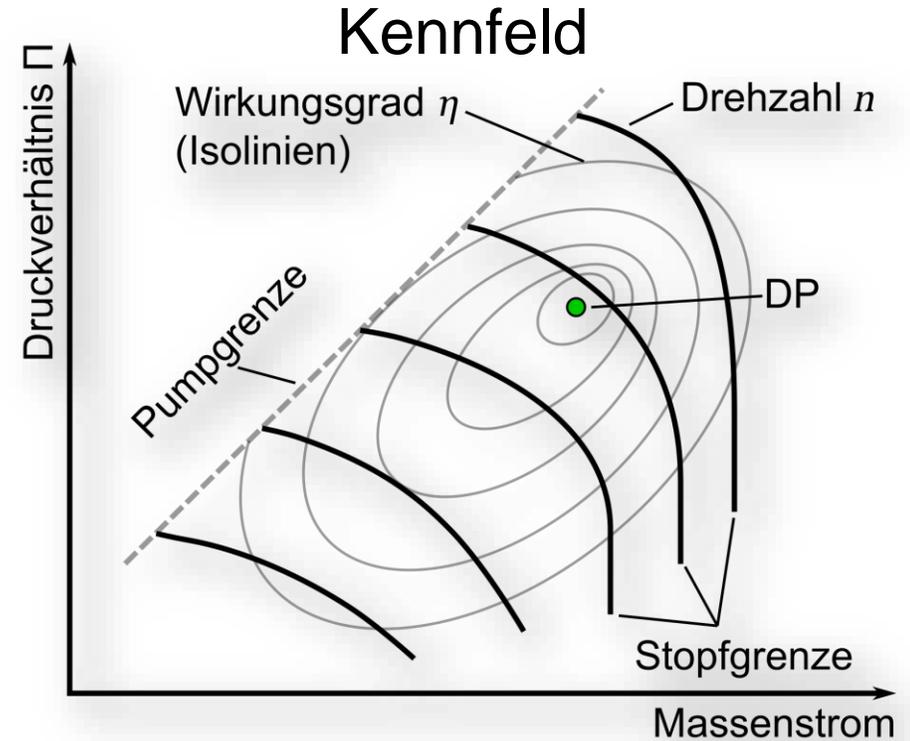
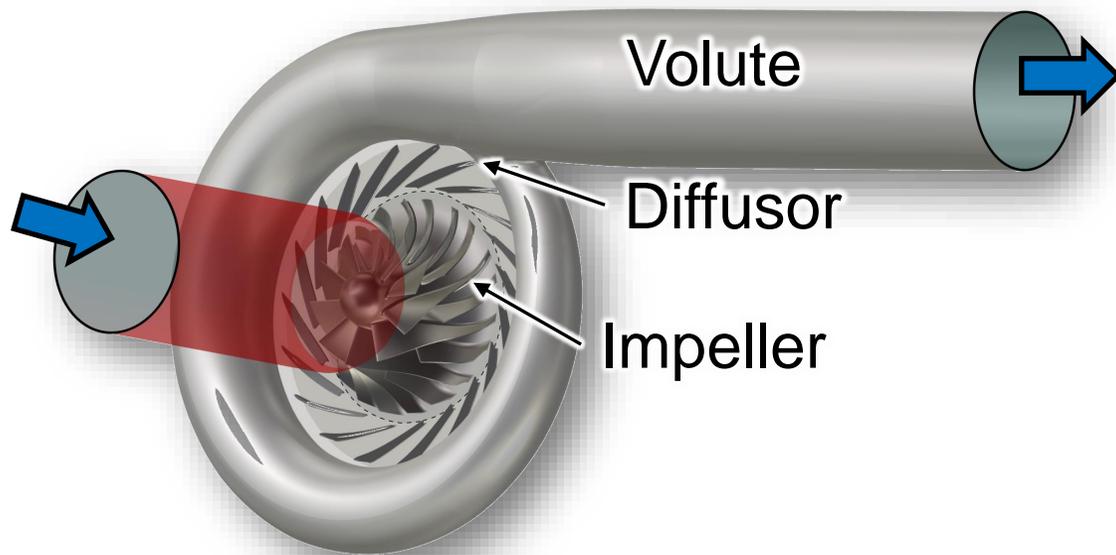


2 Zielsetzung & Fragestellung

2 Zielsetzung & Fragestellung

Motivation & Einleitung → Zielsetzung & Fragestellung → Optimierungsprozess → Ergebnisse → Fazit & Ausblick

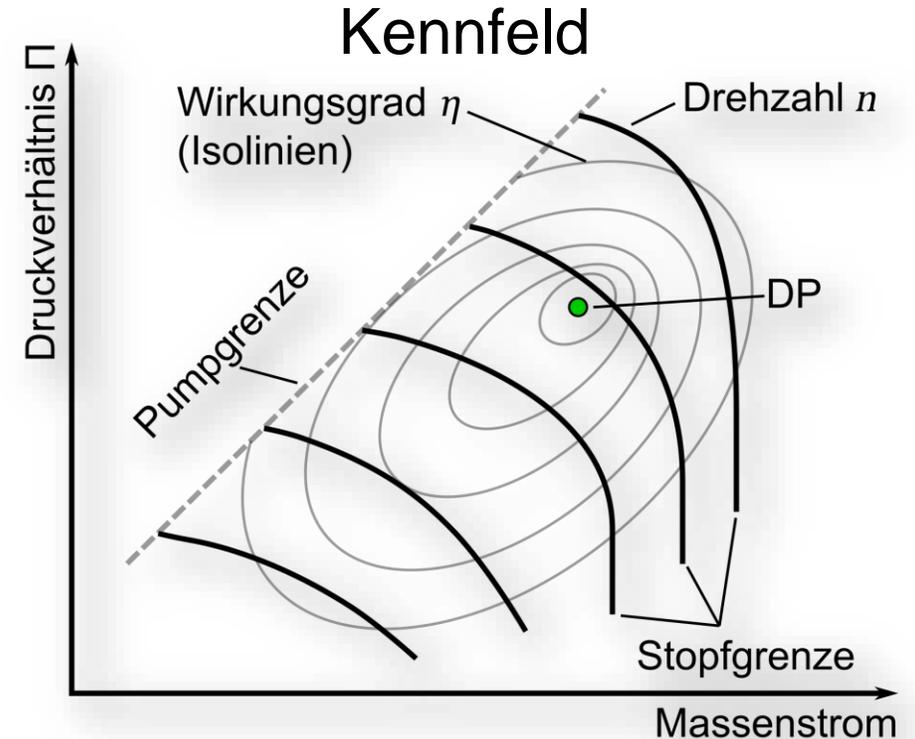
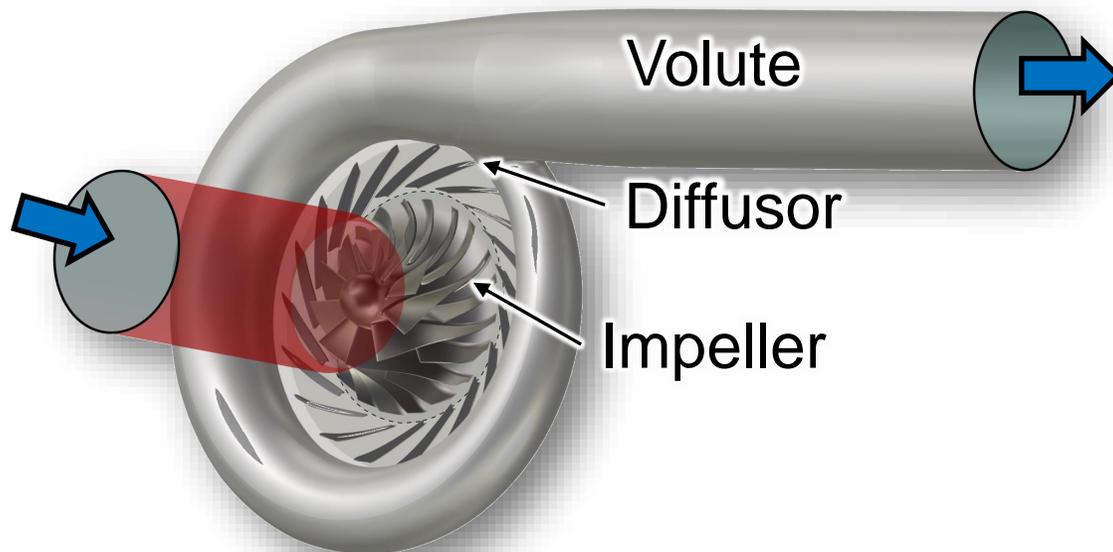
Radialverdichterstufe



2 Zielsetzung & Fragestellung

Motivation & Einleitung → Zielsetzung & Fragestellung → Optimierungsprozess → Ergebnisse → Fazit & Ausblick

Radialverdichterstufe



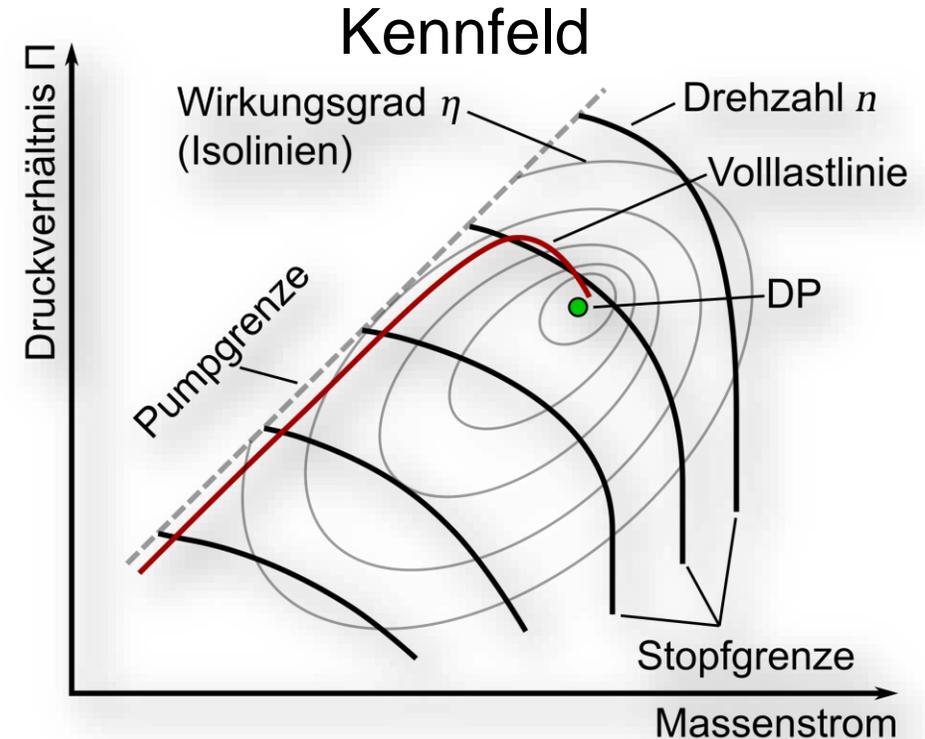
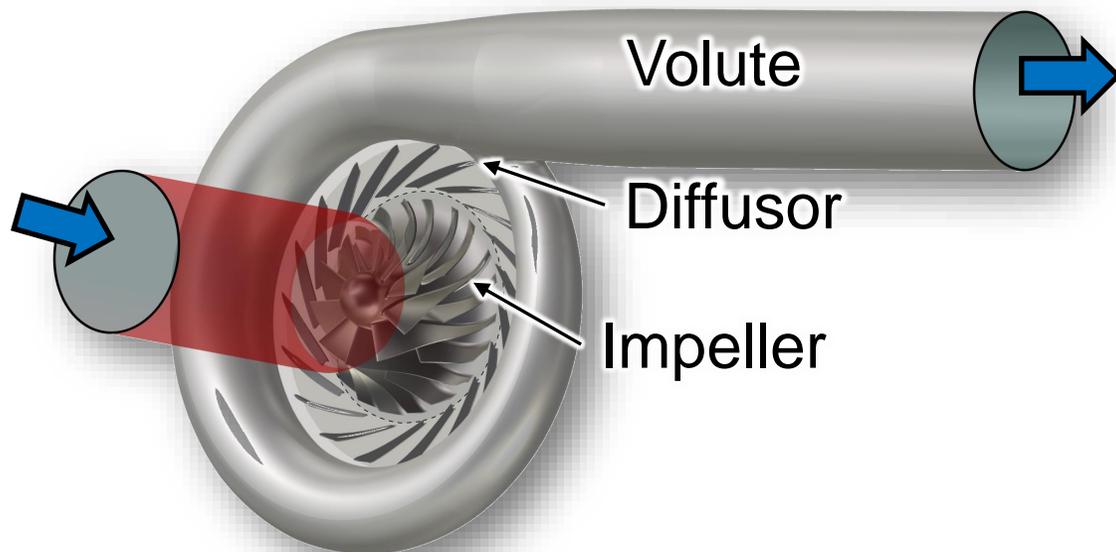
Auswirkung auf den Motor

- ↑ Spezifische Leistung = $f(\text{Wirkungsgrad, Druckverhältnis})$
- ↓ Spezifischer Kraftstoffverbrauch (CO_2) = $f(\text{Wirkungsgrad, Druckverhältnis})$
- ↑ Dynamik = $f(\text{Pumpgrenzeabstand, Wirkungsgrad, Druckverhältnis})$
- ↑ Lebensdauer / Sicherheit = $f(\text{Bauteilspannungen, Eigenfrequenzen})$

2 Zielsetzung & Fragestellung

Motivation & Einleitung → Zielsetzung & Fragestellung → Optimierungsprozess → Ergebnisse → Fazit & Ausblick

Radialverdichterstufe



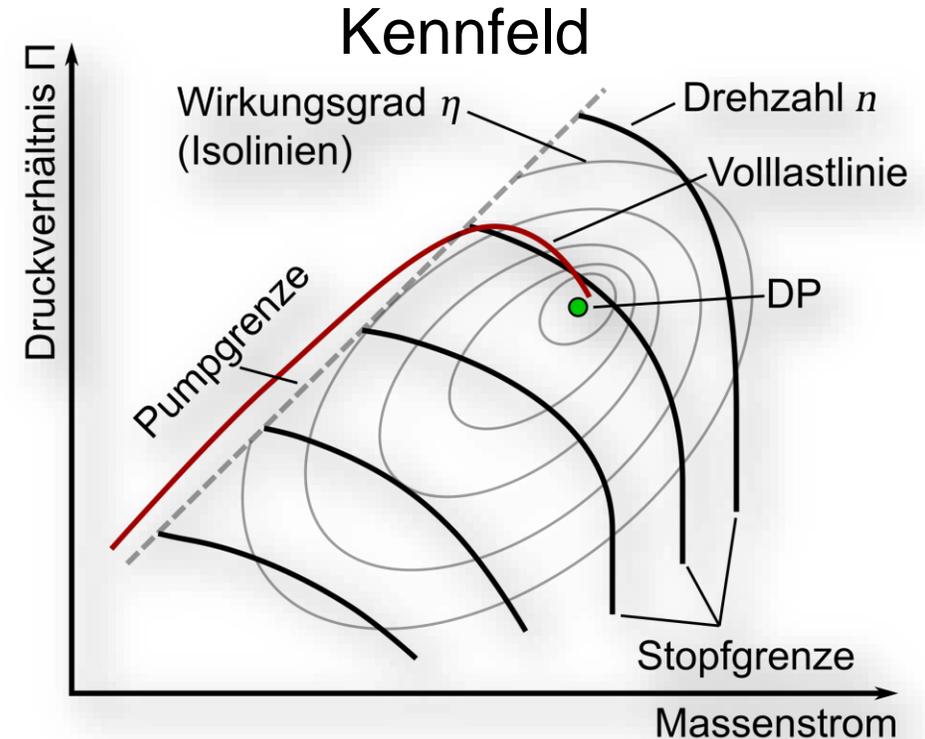
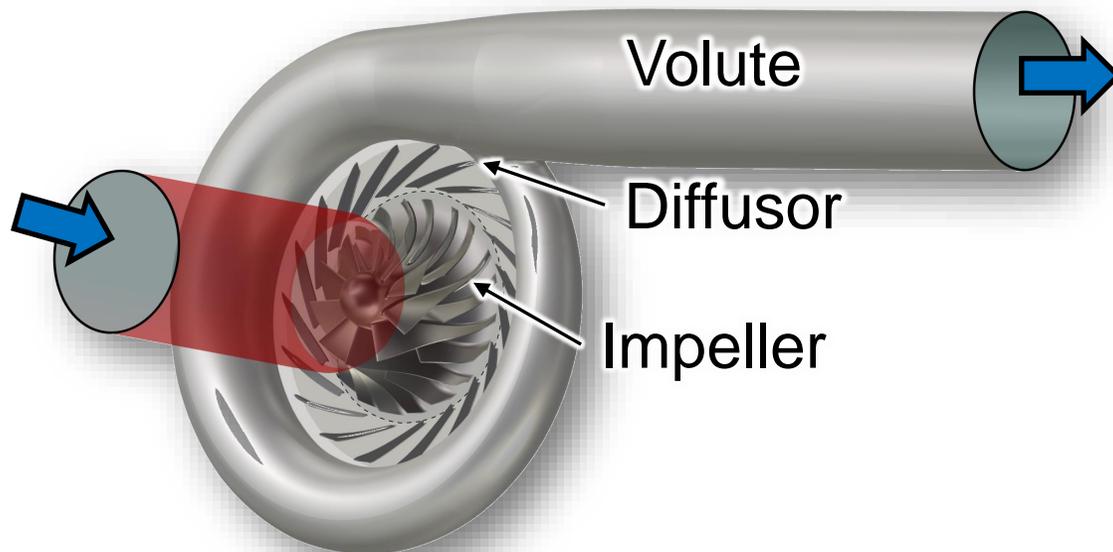
Auswirkung auf den Motor

- ↑ Spezifische Leistung = $f(\text{Wirkungsgrad, Druckverhältnis})$
- ↓ Spezifischer Kraftstoffverbrauch (CO_2) = $f(\text{Wirkungsgrad, Druckverhältnis})$
- ↑ **Dynamik** = $f(\text{Pumpgrenzabstand, Wirkungsgrad, Druckverhältnis})$
- ↑ Lebensdauer / Sicherheit = $f(\text{Bauteilspannungen, Eigenfrequenzen})$

2 Zielsetzung & Fragestellung

Motivation & Einleitung → Zielsetzung & Fragestellung → Optimierungsprozess → Ergebnisse → Fazit & Ausblick

Radialverdichterstufe



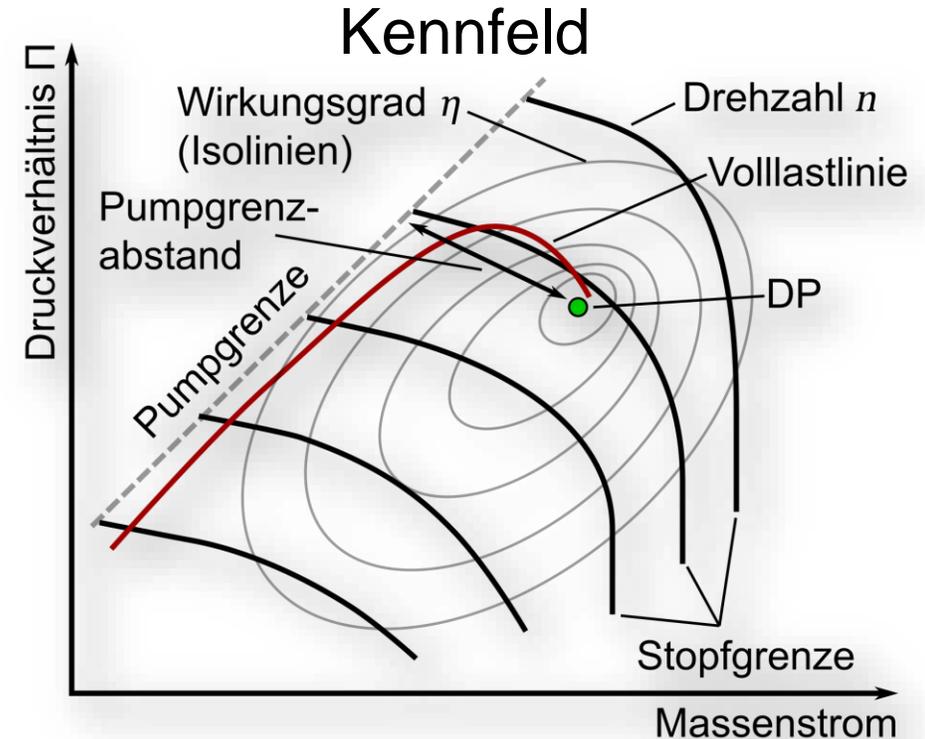
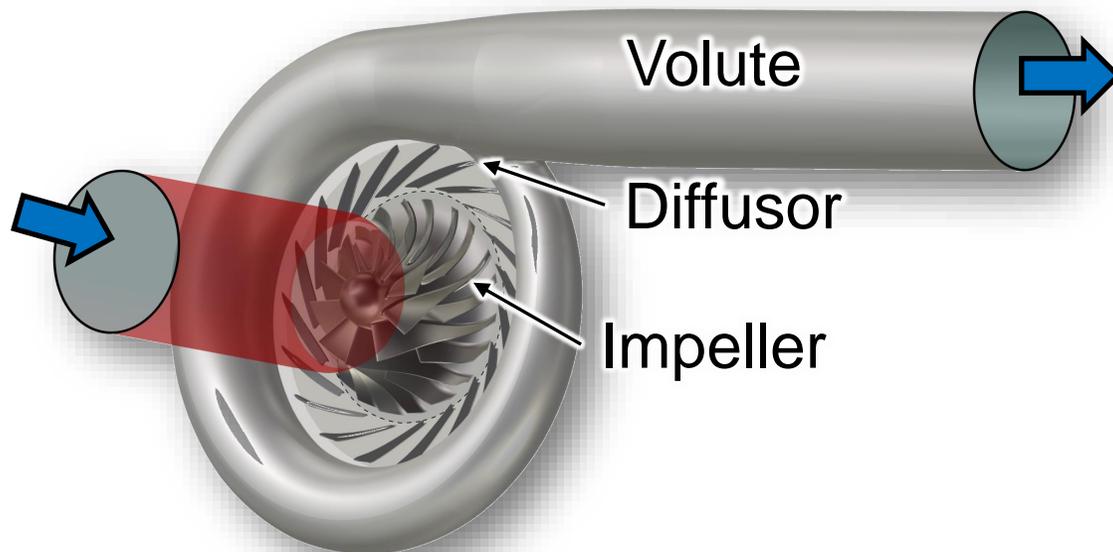
Auswirkung auf den Motor

- ↑ Spezifische Leistung = $f(\text{Wirkungsgrad, Druckverhältnis})$
- ↓ Spezifischer Kraftstoffverbrauch (CO_2) = $f(\text{Wirkungsgrad, Druckverhältnis})$
- ↑ **Dynamik** = $f(\text{Pumpgrenzabstand, Wirkungsgrad, Druckverhältnis})$
- ↑ Lebensdauer / Sicherheit = $f(\text{Bauteilspannungen, Eigenfrequenzen})$

2 Zielsetzung & Fragestellung

Motivation & Einleitung → Zielsetzung & Fragestellung → Optimierungsprozess → Ergebnisse → Fazit & Ausblick

Radialverdichterstufe



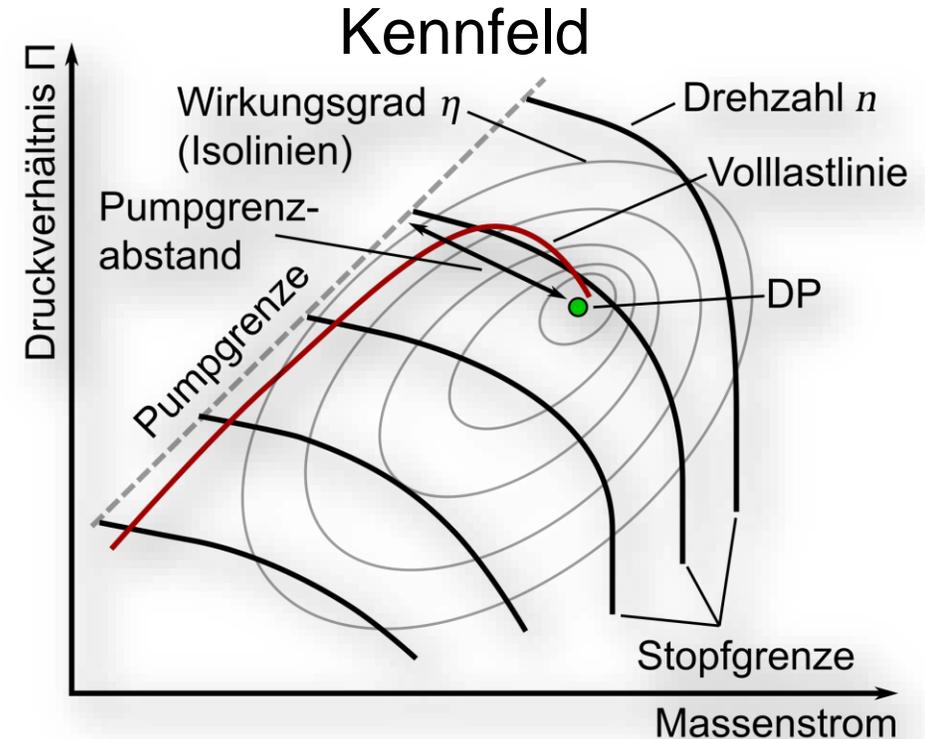
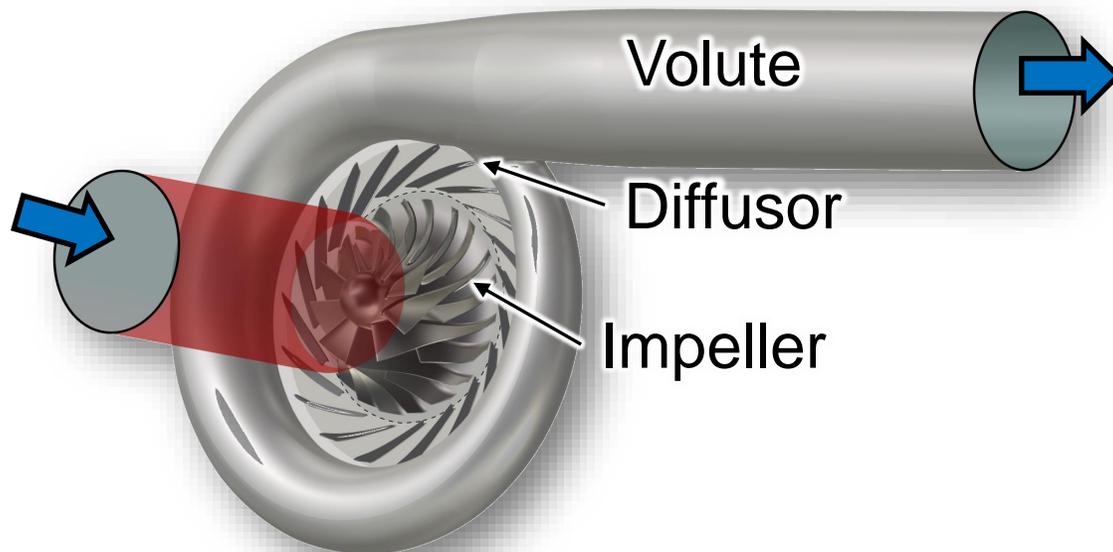
Auswirkung auf den Motor

- ↑ Spezifische Leistung = $f(\text{Wirkungsgrad, Druckverhältnis})$
- ↓ Spezifischer Kraftstoffverbrauch (CO_2) = $f(\text{Wirkungsgrad, Druckverhältnis})$
- ↑ **Dynamik** = $f(\text{Pumpgrenzabstand, Wirkungsgrad, Druckverhältnis})$
- ↑ Lebensdauer / Sicherheit = $f(\text{Bauteilspannungen, Eigenfrequenzen})$

2 Zielsetzung & Fragestellung

Motivation & Einleitung → Zielsetzung & Fragestellung → Optimierungsprozess → Ergebnisse → Fazit & Ausblick

Radialverdichterstufe



Auswirkung auf den Motor

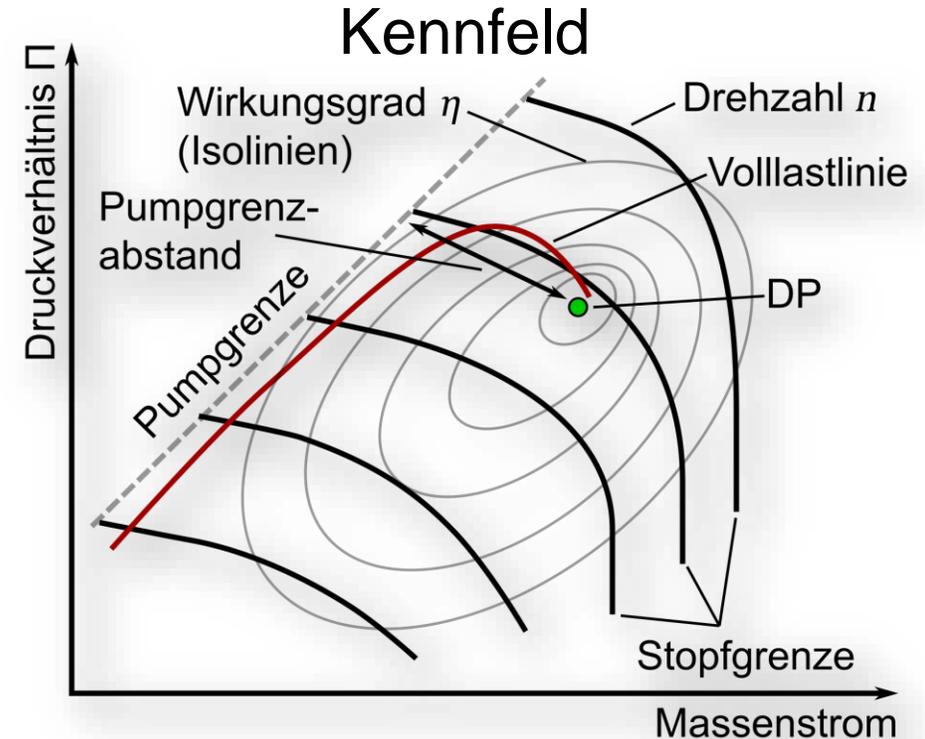
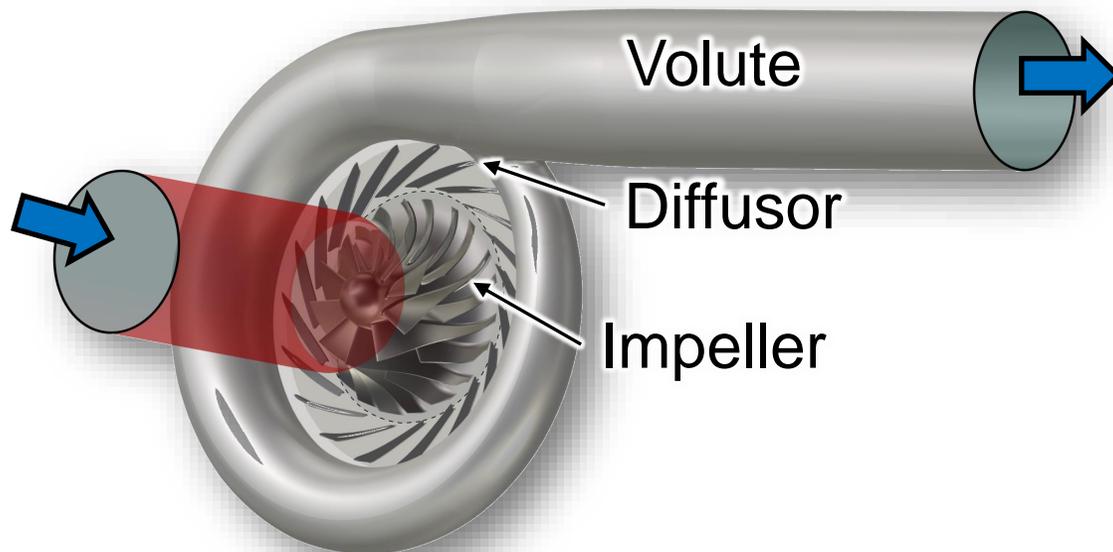
- ↑ Spezifische Leistung = $f(\text{Wirkungsgrad, Druckverhältnis})$
- ↓ Spezifischer Kraftstoffverbrauch (CO_2) = $f(\text{Wirkungsgrad, Druckverhältnis})$
- ↑ Dynamik = $f(\text{Pumpgrenzabstand, Wirkungsgrad, Druckverhältnis})$
- ↑ **Lebensdauer / Sicherheit** = $f(\text{Bauteilspannungen, Eigenfrequenzen})$

2 Zielsetzung & Fragestellung

Motivation & Einleitung → Zielsetzung & Fragestellung → Optimierungsprozess → Ergebnisse → Fazit & Ausblick



Radialverdichterstufe



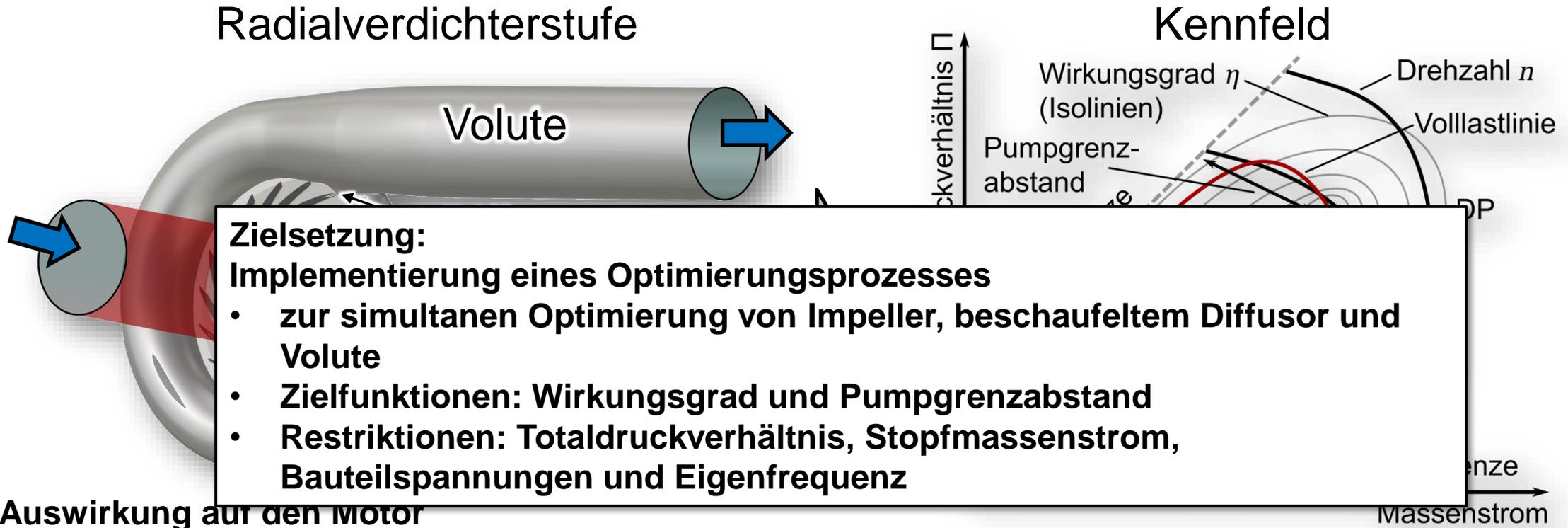
Auswirkung auf den Motor

- ↑ Spezifische Leistung = $f(\text{Wirkungsgrad, Druckverhältnis})$
- ↓ Spezifischer Kraftstoffverbrauch (CO_2) = $f(\text{Wirkungsgrad, Druckverhältnis})$
- ↑ Dynamik = $f(\text{Pumpgrenzabstand, Wirkungsgrad, Druckverhältnis})$
- ↑ Lebensdauer / Sicherheit = $f(\text{Bauteilspannungen, Eigenfrequenzen})$

Optimierung /
Erfüllung der Anforderungen

2 Zielsetzung & Fragestellung

Motivation & Einleitung → Zielsetzung & Fragestellung → Optimierungsprozess → Ergebnisse → Fazit & Ausblick



Zielsetzung:

Implementierung eines Optimierungsprozesses

- zur simultanen Optimierung von Impeller, beschaufeltem Diffusor und Volute
- Zielfunktionen: Wirkungsgrad und Pumpgrenzabstand
- Restriktionen: Totaldruckverhältnis, Stopfmassenstrom, Bauteilspannungen und Eigenfrequenz

Auswirkung auf den Motor

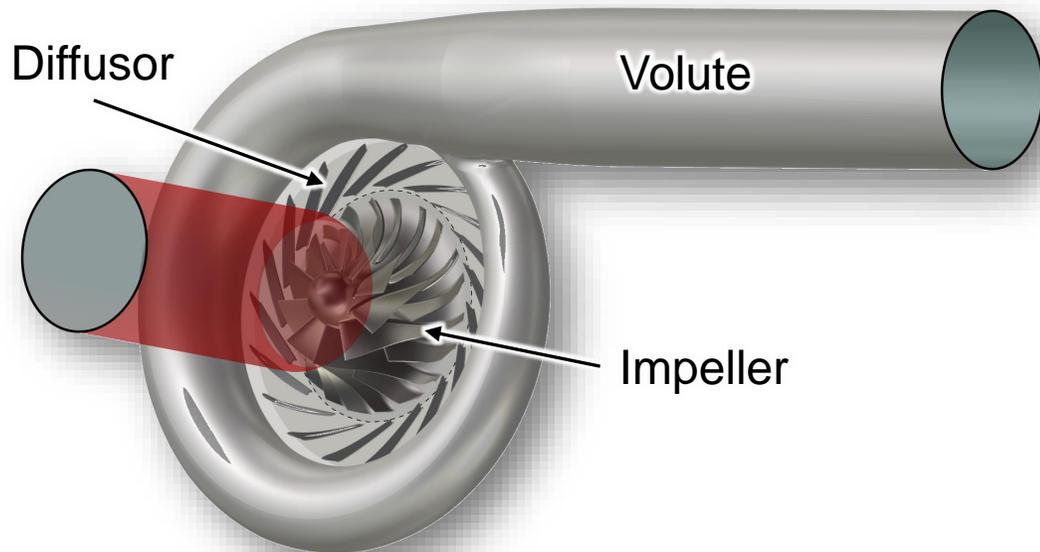
- ↑ Spezifische Leistung = $f(\text{Wirkungsgrad, Druckverhältnis})$
- ↓ Spezifischer Kraftstoffverbrauch (CO_2) = $f(\text{Wirkungsgrad, Druckverhältnis})$
- ↑ Dynamik = $f(\text{Pumpgrenzabstand, Wirkungsgrad, Druckverhältnis})$
- ↑ Lebensdauer / Sicherheit = $f(\text{Bauteilspannungen, Eigenfrequenzen})$

Optimierung /
Erfüllung der Anforderungen

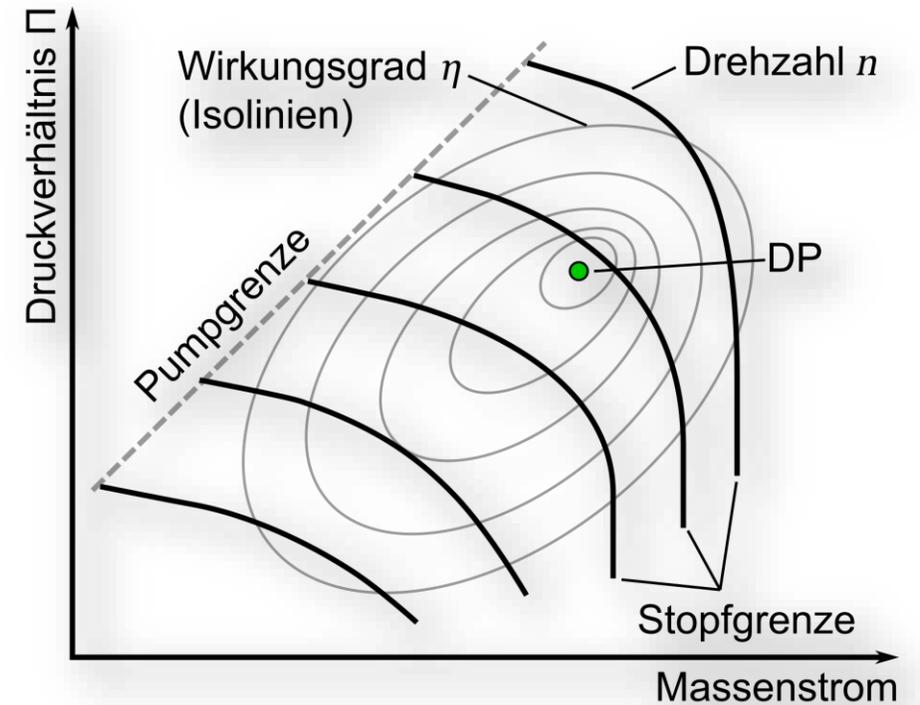
2 Zielsetzung & Fragestellung

Motivation & Einleitung → Zielsetzung & Fragestellung → Optimierungsprozess → Ergebnisse → Fazit & Ausblick

Parametrisierung



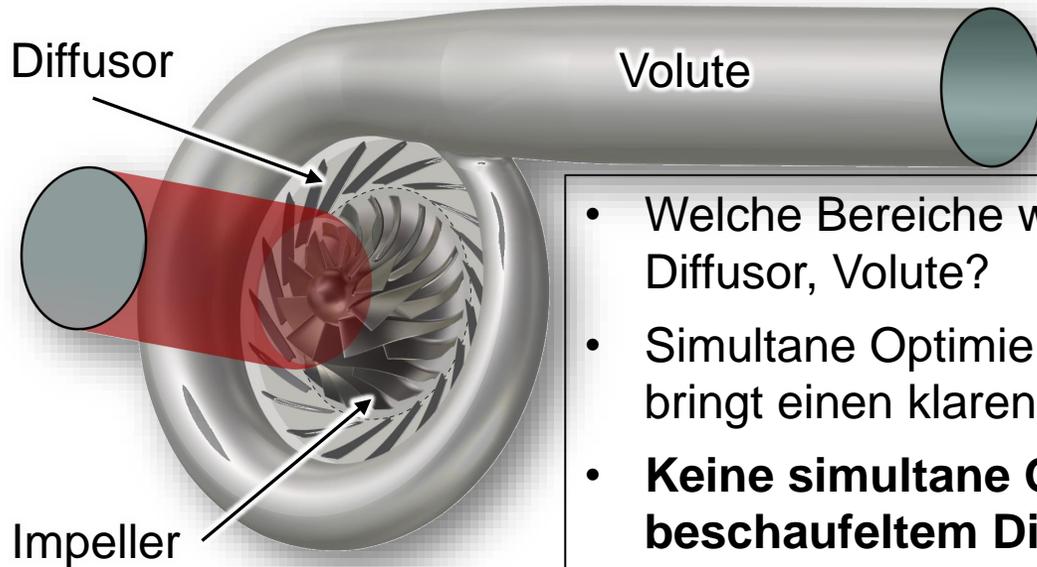
Zielfunktion Wirkungsgrad



2 Zielsetzung & Fragestellung

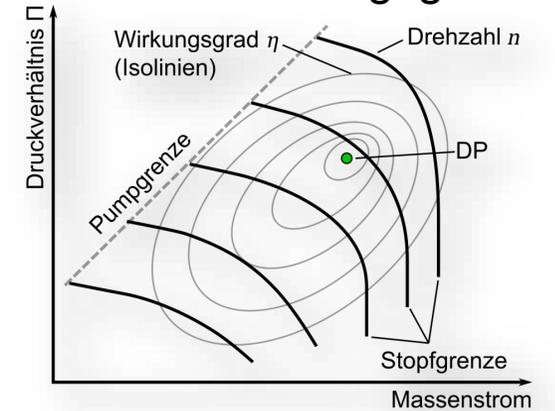
Motivation & Einleitung → Zielsetzung & Fragestellung → Optimierungsprozess → Ergebnisse → Fazit & Ausblick

Parametrisierung



- Welche Bereiche werden betrachtet. Impeller, Diffusor, Volute?
- Simultane Optimierung von Impeller und Diffusor bringt einen klaren Vorteil!
- **Keine simultane Optimierung von Impeller, beschaufeltem Diffusor und Volute bekannt.**
- Simultane Optimierung der Volute
 - verkompliziert den Optimierungsprozess
 - erhöht die Simulationszeit (~ Faktor 5)
 - erhöht die Optimierungszeit (Fluch der Dimensionalität)

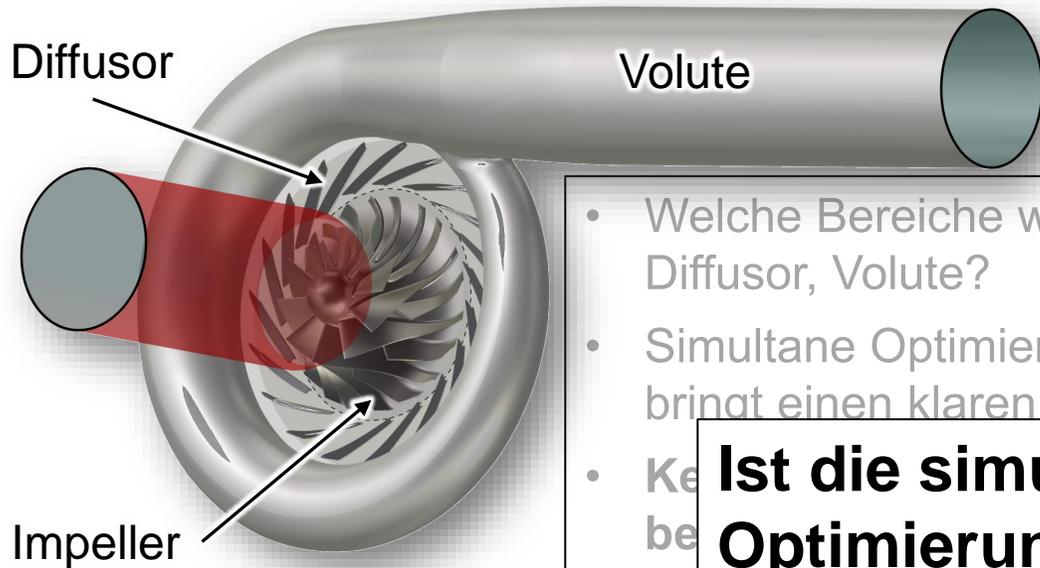
Zielfunktion Wirkungsgrad



2 Zielsetzung & Fragestellung

Motivation & Einleitung → Zielsetzung & Fragestellung → Optimierungsprozess → Ergebnisse → Fazit & Ausblick

Parametrisierung

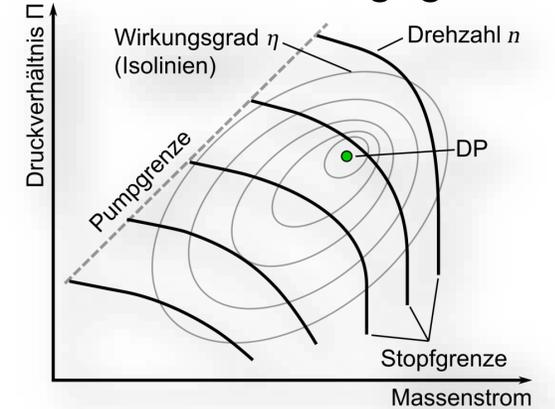


- Welche Bereiche werden betrachtet. Impeller, Diffusor, Volute?
- Simultane Optimierung von Impeller und Diffusor bringt einen klaren Vorteil!

- **Ist die simultane Optimierung der Volute notwendig?**

- verkompliziert den Optimierungsprozess
- erhöht die Simulationszeit (~ Faktor 5)
- erhöht die Optimierungszeit (Fluch der Dimensionalität)

Zielfunktion Wirkungsgrad

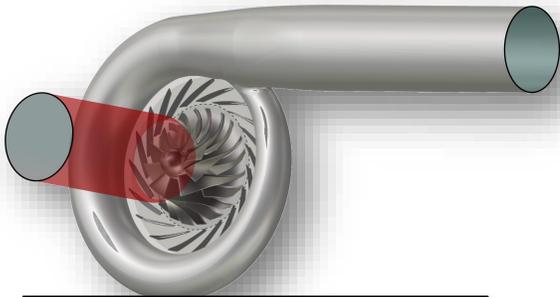


2 Zielsetzung & Fragestellung

Motivation & Einleitung → Zielsetzung & Fragestellung → Optimierungsprozess → Ergebnisse → Fazit & Ausblick



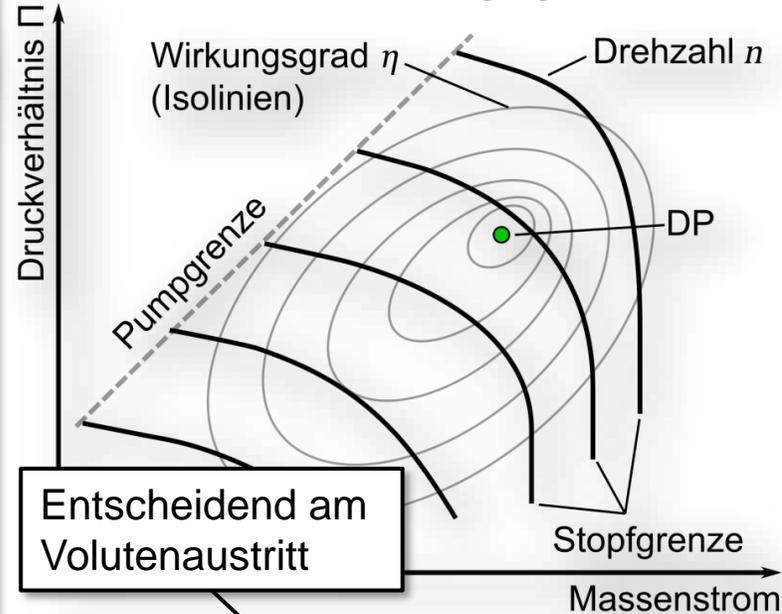
Parametrisierung



Ist die simultane Optimierung der Volute notwendig?

- Vorteil!
- Keine simultane Optimierung von Impeller, beschauelftem Diffusor und Volute bekannt.
- Simultane Optimierung der Volute
 - verkompliziert den Optimierungsprozess
 - erhöht die Simulationszeit (~ Faktor 5)
 - erhöht die Optimierungszeit (Fluch der Dimensionalität)

Zielfunktion Wirkungsgrad



Entscheidend am Volutenaustritt

$$p_{\text{total}} = p_{\text{statisch}} + p_{\text{dynamisch}}$$

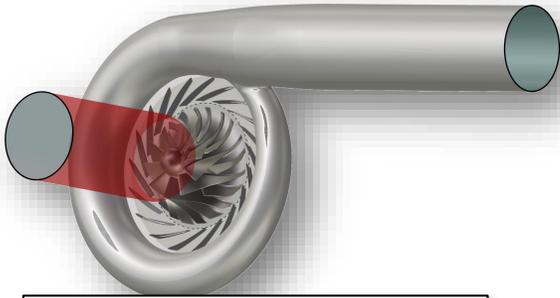
$$\Pi_{\text{total-total}} = \Pi_{\text{tt}} = \frac{p_{\text{t,Auslass}}}{p_{\text{t,Einlass}}}$$

$$\Pi_{\text{total-statisch}} = \Pi_{\text{ts}} = \frac{p_{\text{s,Auslass}}}{p_{\text{t,Einlass}}}$$

2 Zielsetzung & Fragestellung

Motivation & Einleitung → Zielsetzung & Fragestellung → Optimierungsprozess → Ergebnisse → Fazit & Ausblick

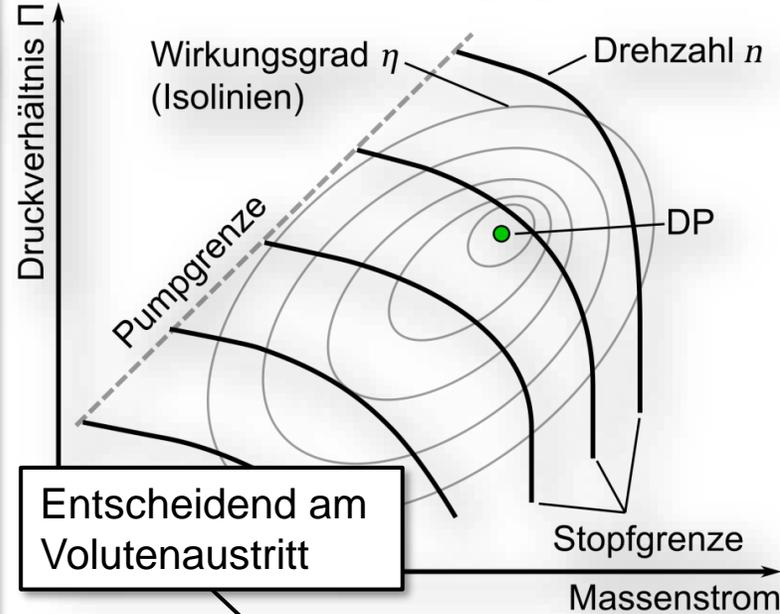
Parametrisierung



Ist die simultane Optimierung der Volute notwendig?

- Vorteil!
- Keine simultane Optimierung von Impeller, beschaufeltem Diffusor und Volute bekannt.
- Simultane Optimierung der Volute
 - verkompliziert den Optimierungsprozess
 - erhöht die Simulationszeit (~ Faktor 5)
 - erhöht die Optimierungszeit (Fluch der Dimensionalität)

Zielfunktion Wirkungsgrad



$$p_{\text{total}} = p_{\text{statisch}} + p_{\text{dynamisch}}$$

$$\Pi_{\text{total-total}} = \Pi_{\text{tt}} = \frac{p_{\text{t,Austritt}}}{p_{\text{t,Einlass}}}$$

$$\Pi_{\text{total-statisch}} = \Pi_{\text{ts}} = \frac{p_{\text{s,Austritt}}}{p_{\text{t,Einlass}}}$$

$$\eta = \frac{\text{Nutzenergie}}{\text{Zugeführte Energie}} = \frac{\text{Druckaufbau}}{\text{Energie Turbine}}$$

$$= \frac{\Pi^{\left(\frac{\kappa-1}{\kappa}\right)} - 1}{\Theta - 1} \quad \begin{array}{l} \Pi = \text{Druckverhältnis} \\ \Theta = \text{Temperaturverhältnis} \end{array}$$

$$\eta_{\text{total-total}} = \eta_{\text{tt}} = f(\Pi_{\text{tt}}) \text{ (Belohnt Totaldruckaufbau)}$$

$$\eta_{\text{total-statisch}} = \eta_{\text{ts}} = f(\Pi_{\text{ts}}) \text{ (Belohnt statischen Druckaufbau)}$$

Welche Definition des isentropen Wirkungsgrads sollte als Zielfunktion verwendet werden?

Optimierung:

- ohne Volute (Auswertung Diffusoraustritt)
- mit Volute

2 Zielsetzung & Fragestellung

Motivation & Einleitung → Zielsetzung & Fragestellung → Optimierungsprozess → Ergebnisse → Fazit & Ausblick

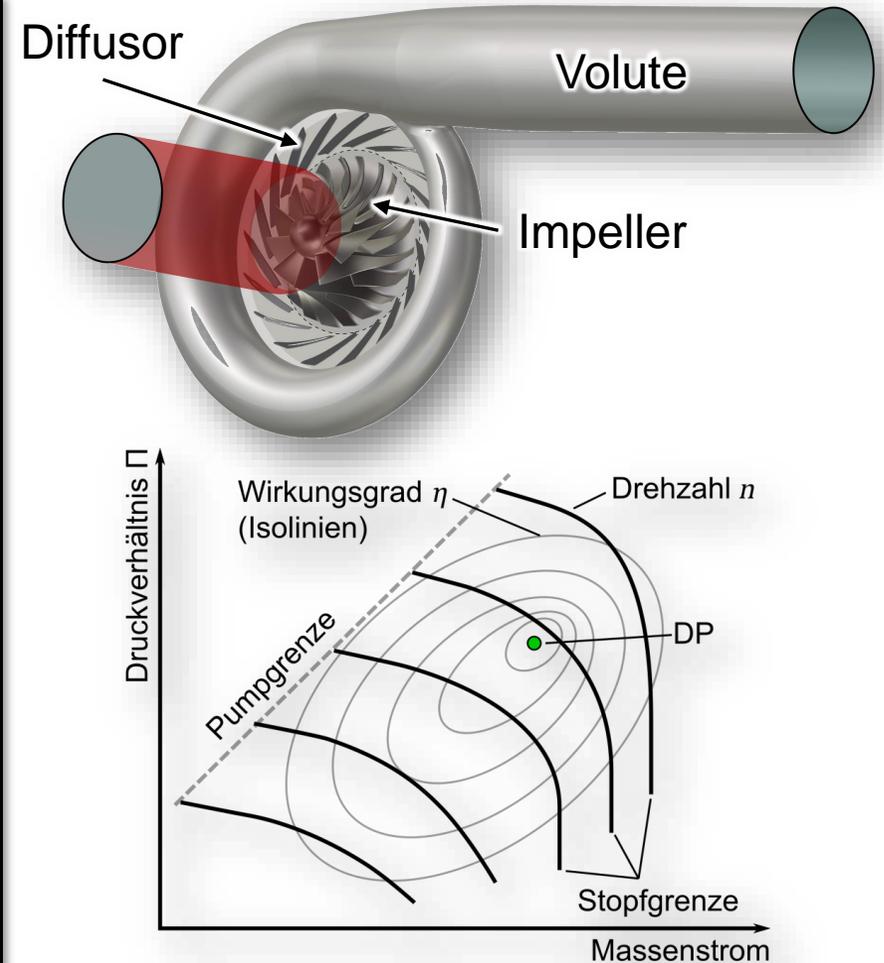
Zielsetzung:

Implementierung eines Optimierungsprozess

- zur simultanen Optimierung von Impeller, beschaufeltem Diffusor und Volute
- hinsichtlich des Wirkungsgrads und des Pumpgrenzabstands (Zielfunktionen)
- unter Beachtung der Bauteilspannungen, der Eigenfrequenz, des Totaldruckverhältnisses und des Stopfmassenstroms (Restriktionen)

Fragestellungen:

1. Welche Definition des isentropen Wirkungsgrads sollte als Zielfunktion verwendet werden?
2. Ist die simultane Betrachtung der Volute in einer solchen Optimierung notwendig?

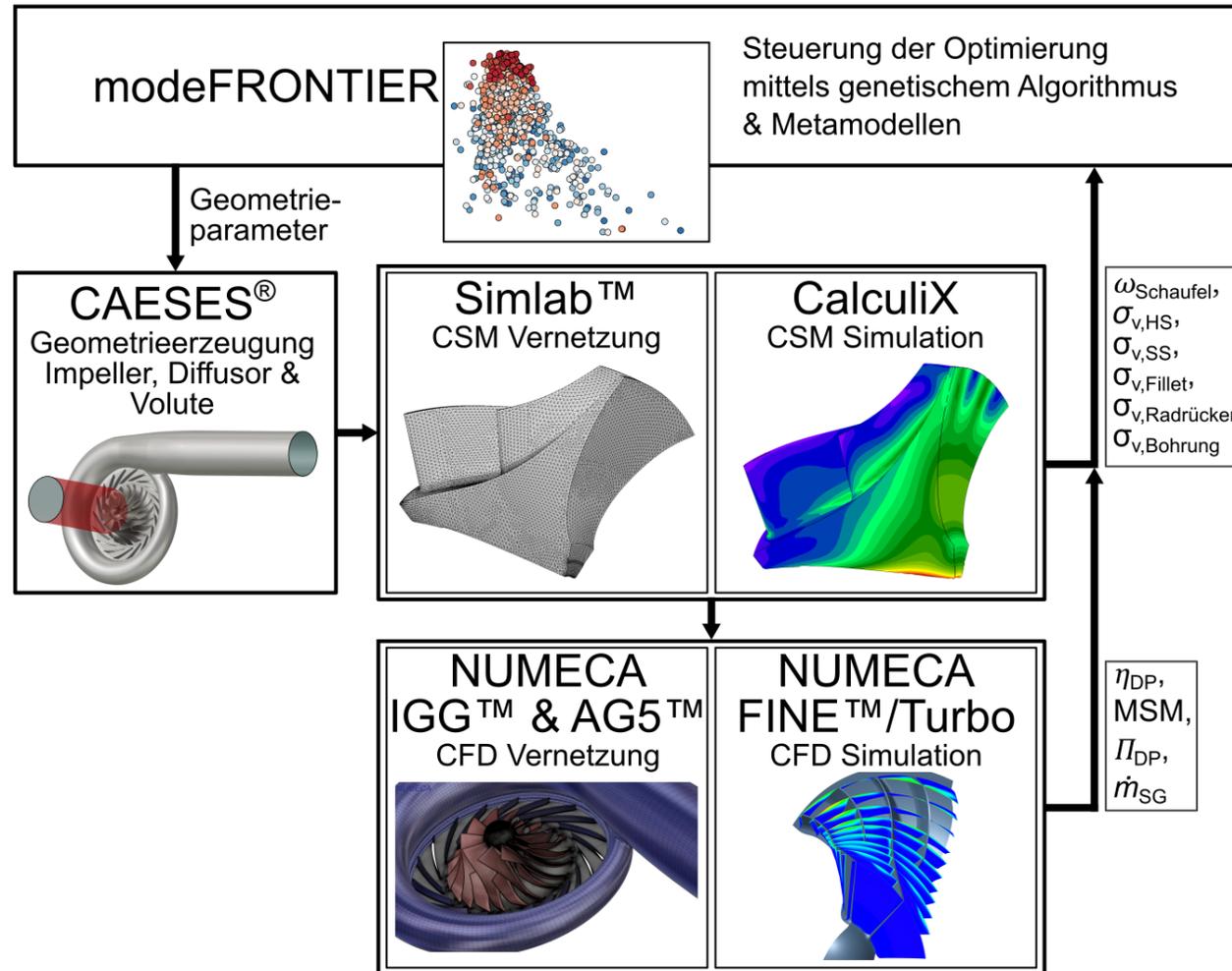




3 Optimierungsprozess

3 Optimierungsprozess

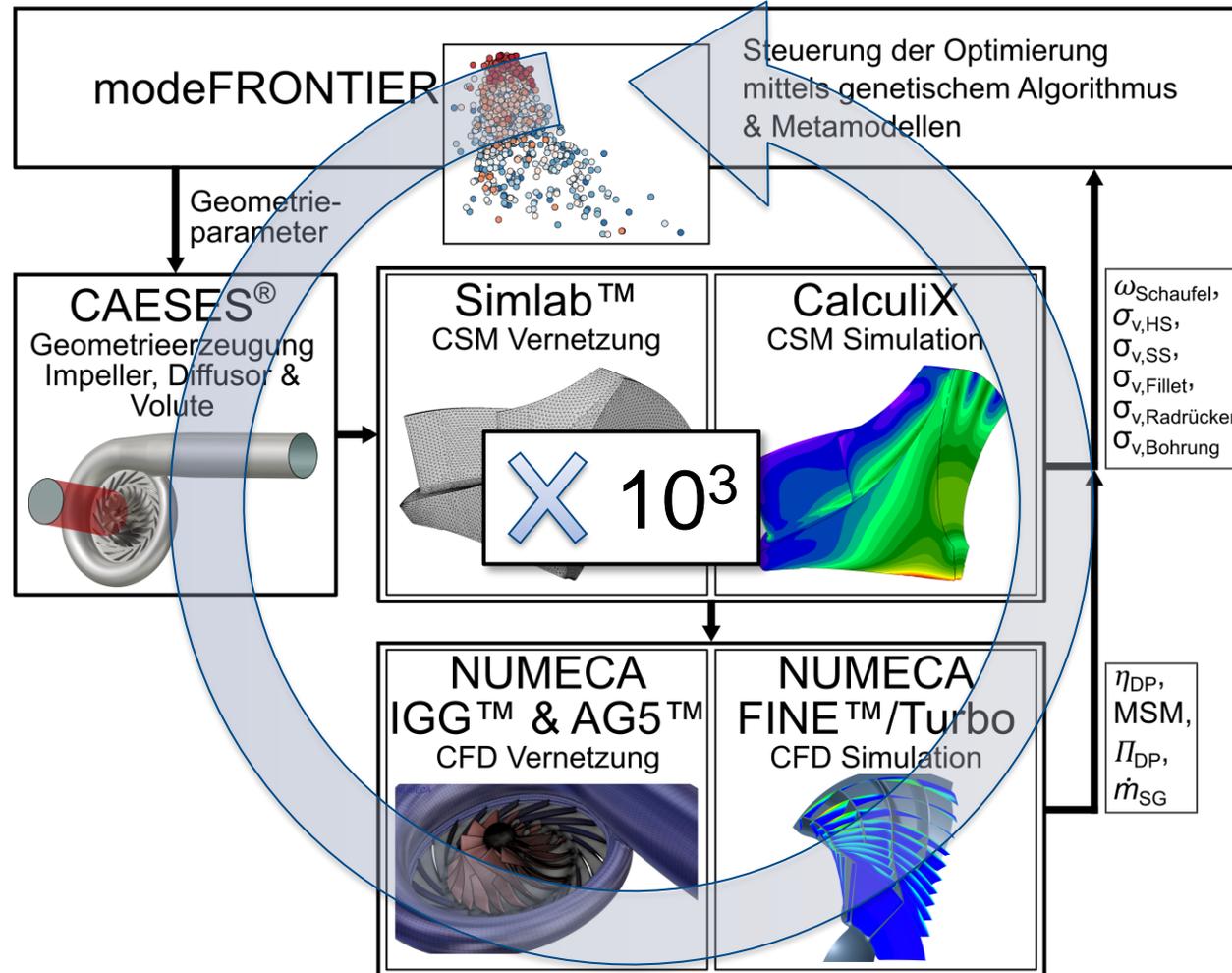
Motivation & Einleitung → Problemstellung & Zielsetzung → **Optimierungsprozess** → Ergebnisse → Fazit & Ausblick



Schematische Darstellung des Optimierungsprozesses

3 Optimierungsprozess

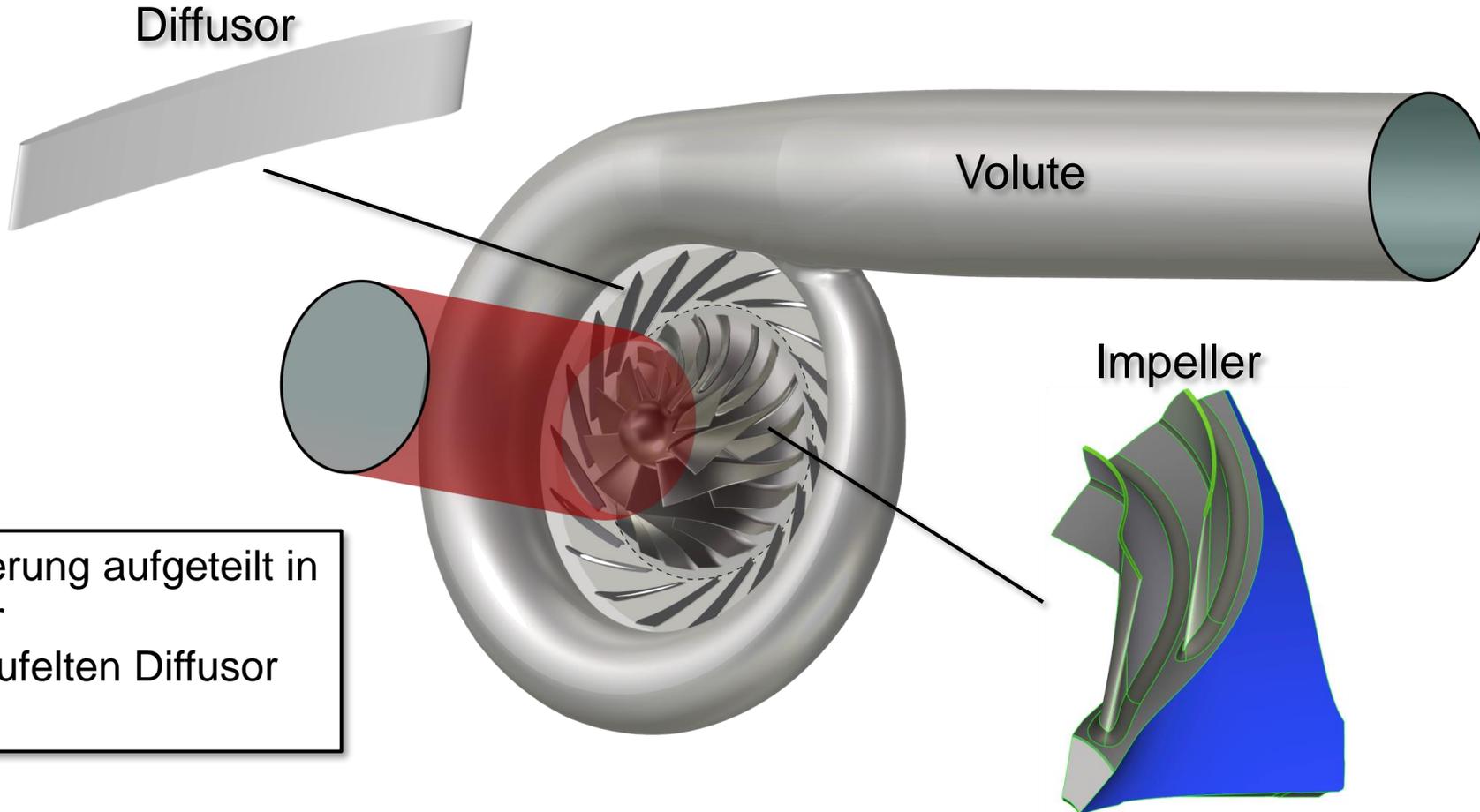
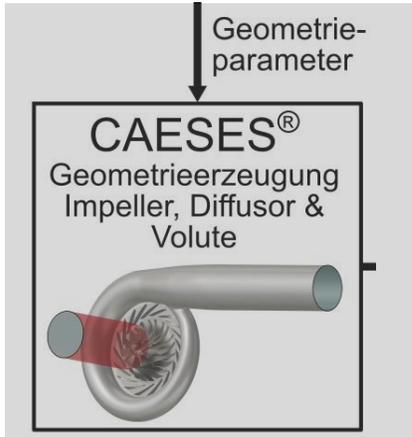
Motivation & Einleitung → Problemstellung & Zielsetzung → **Optimierungsprozess** → Ergebnisse → Fazit & Ausblick



Schematische
Darstellung des
Optimierungs-
prozesses

3 Optimierungsprozess

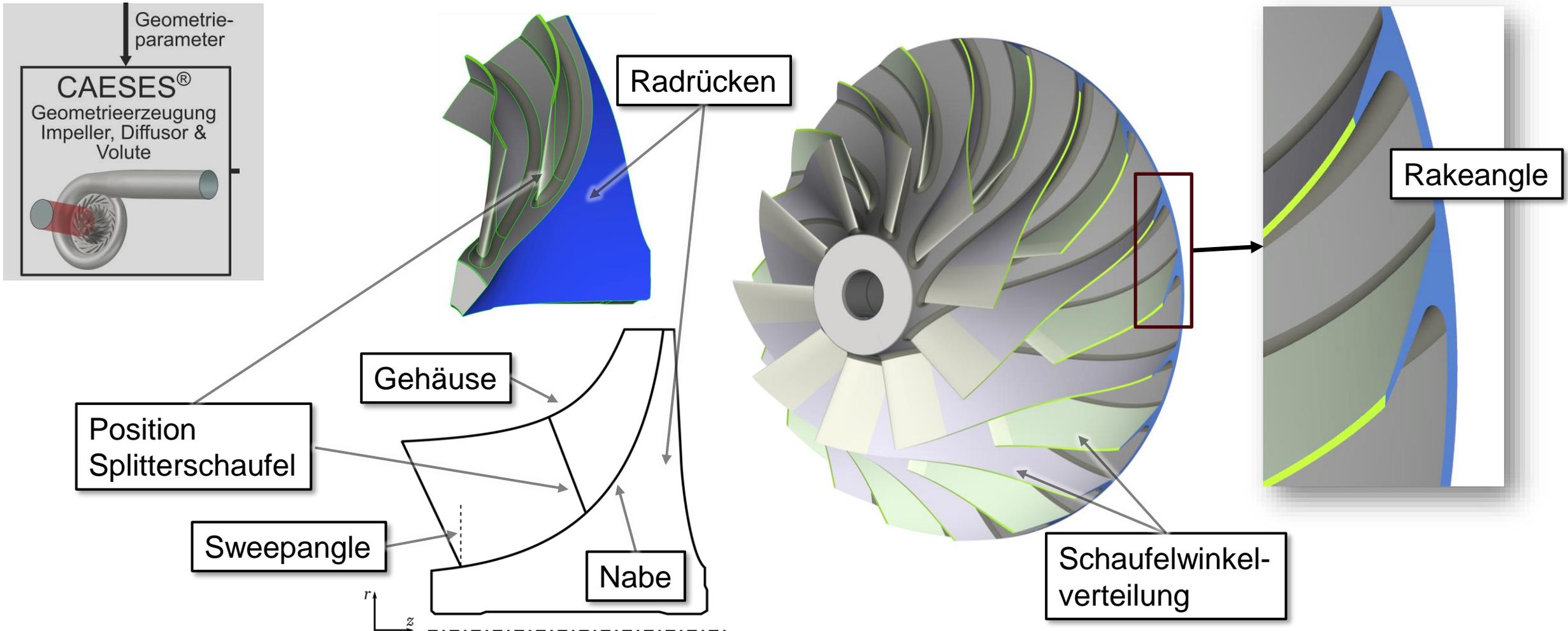
Motivation & Einleitung → Problemstellung & Zielsetzung → **Optimierungsprozess** → Ergebnisse → Fazit & Ausblick



- Parametrisierung aufgeteilt in
- Impeller
 - Beschaukelten Diffusor
 - Volute

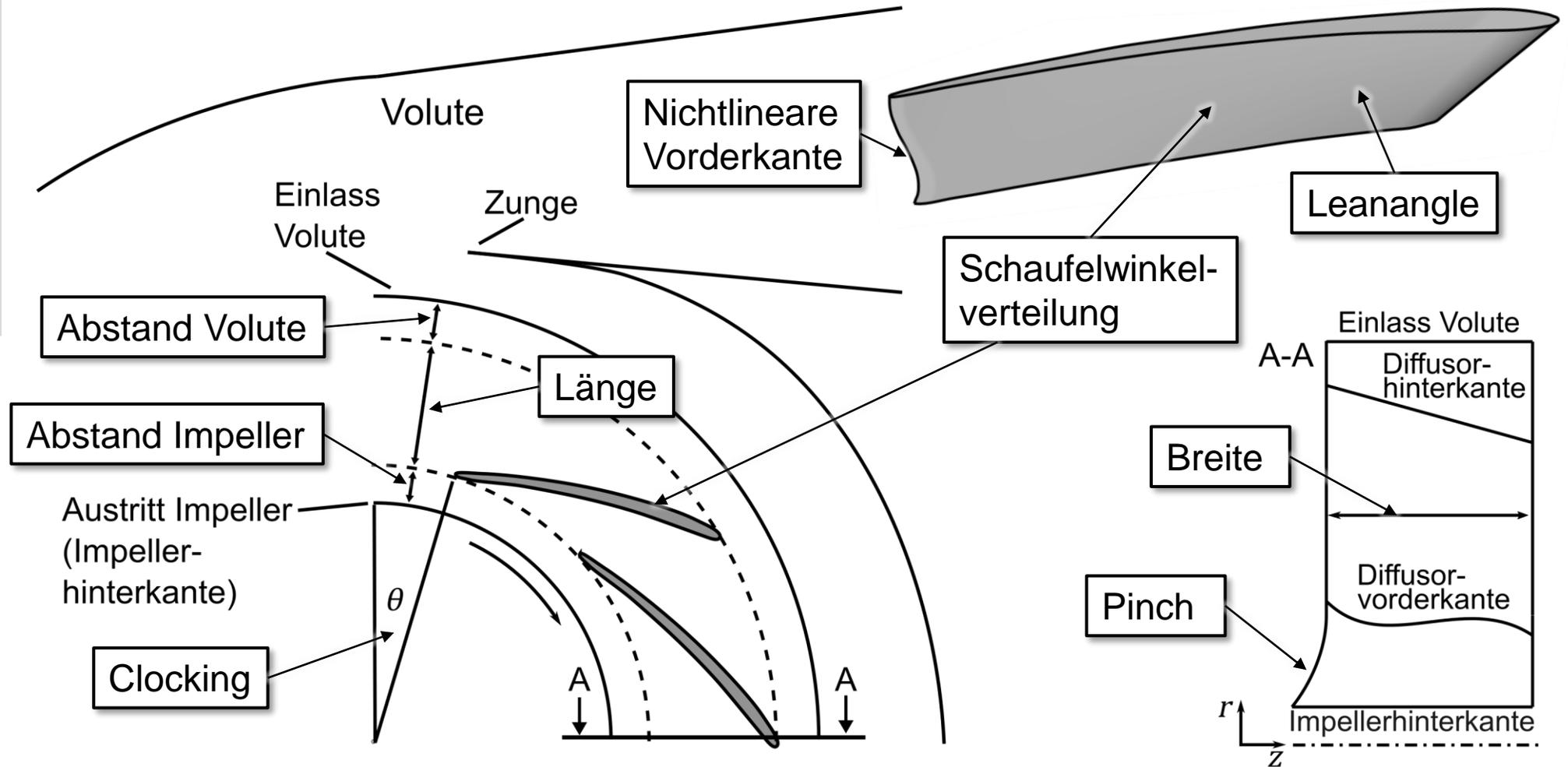
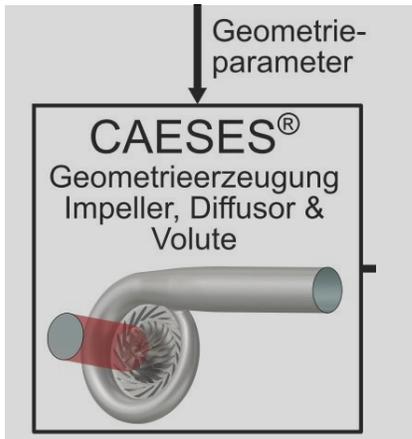
3 Optimierungsprozess

Motivation & Einleitung → Problemstellung & Zielsetzung → **Optimierungsprozess** → Ergebnisse → Fazit & Ausblick



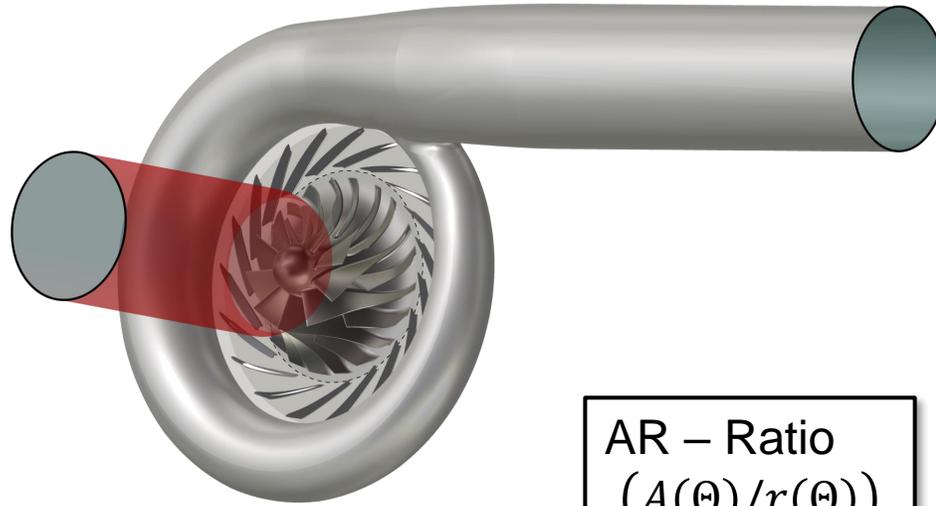
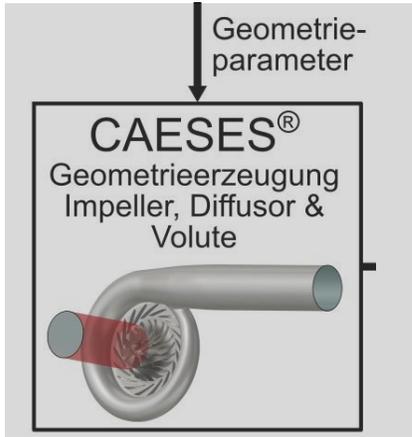
3 Optimierungsprozess

Motivation & Einleitung → Problemstellung & Zielsetzung → **Optimierungsprozess** → Ergebnisse → Fazit & Ausblick

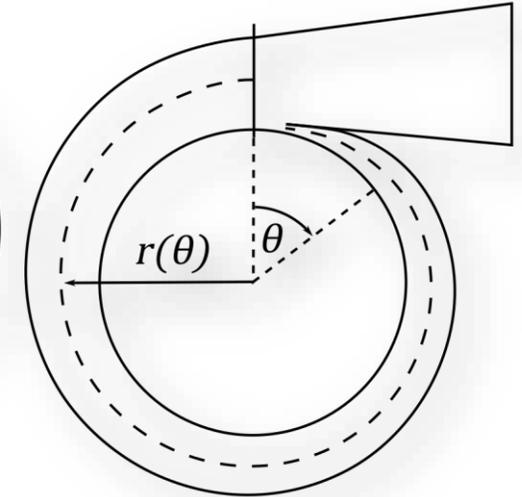
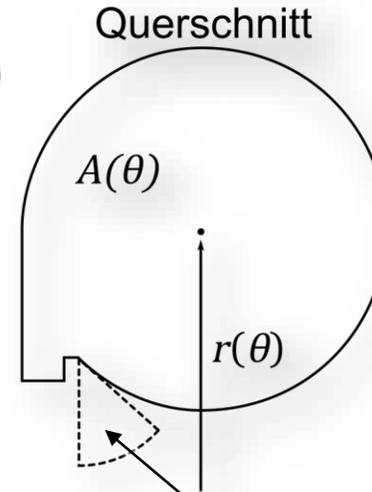


3 Optimierungsprozess

Motivation & Einleitung → Problemstellung & Zielsetzung → **Optimierungsprozess** → Ergebnisse → Fazit & Ausblick



AR – Ratio
 $(A(\theta)/r(\theta))$

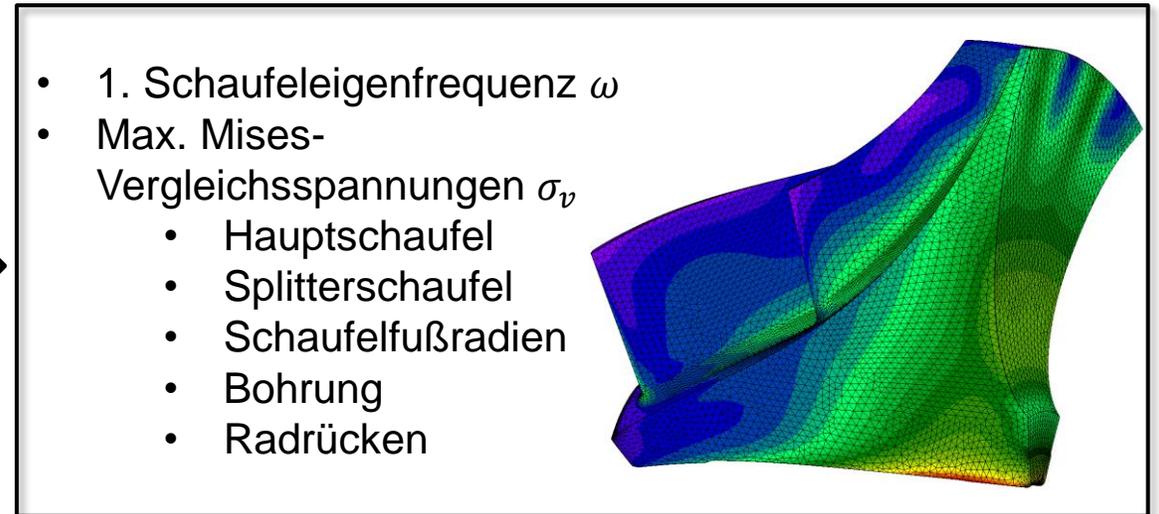
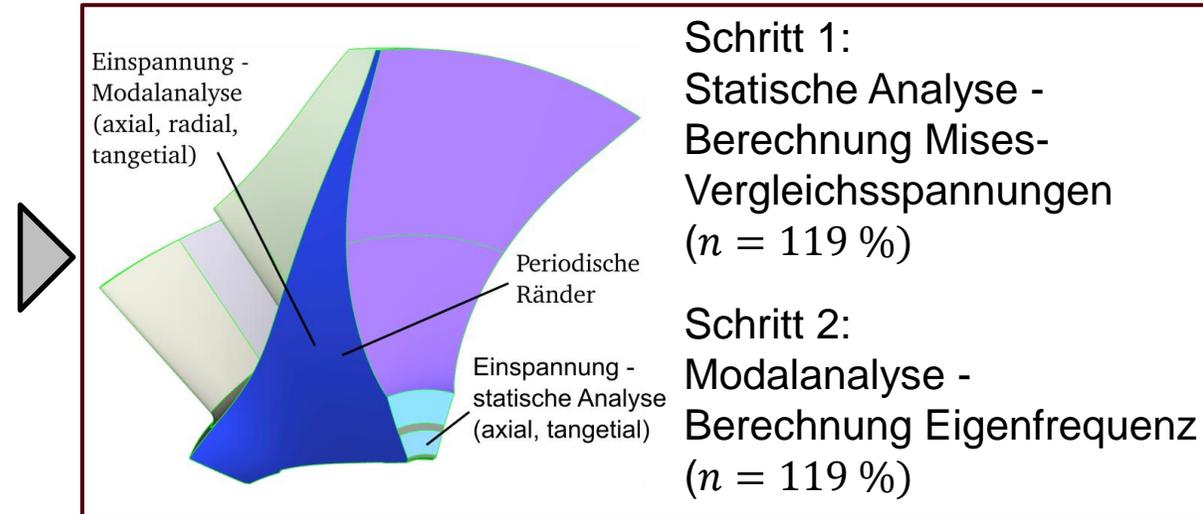
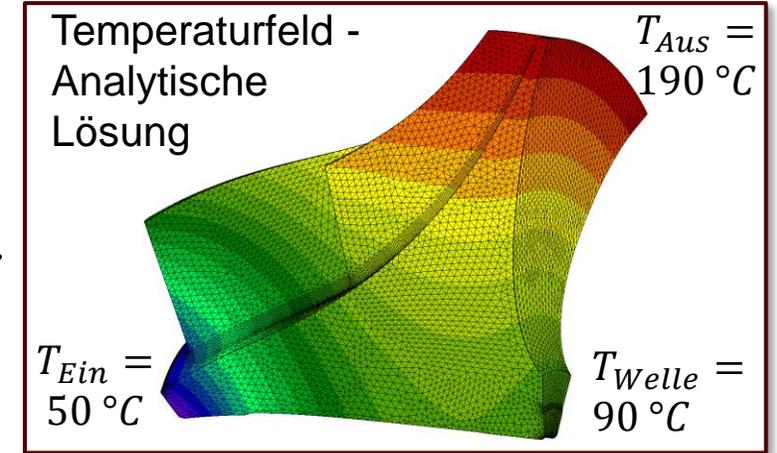
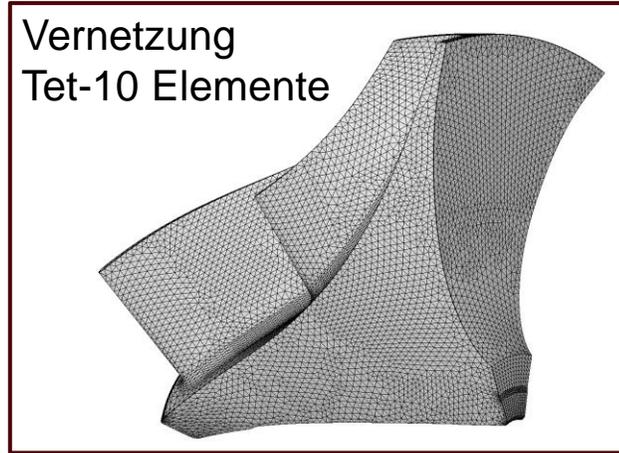
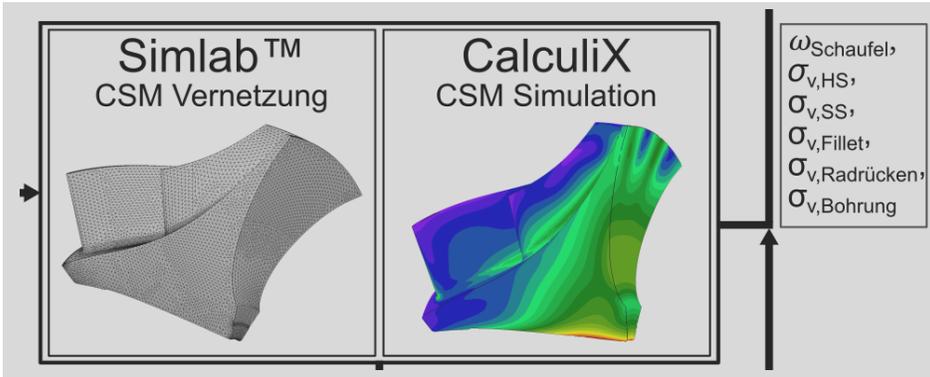


Hangwinkel

Anzahl Parameter (Impeller + Diffusor + Volute): 59

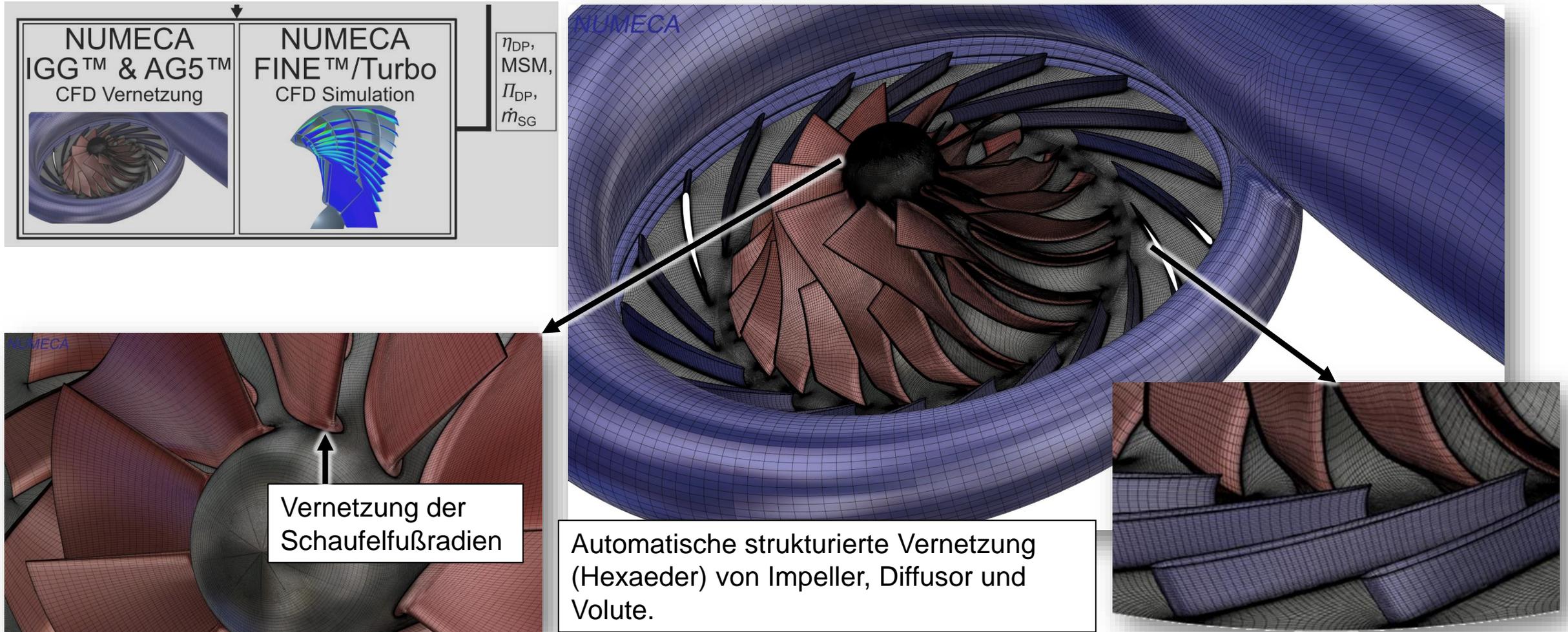
3 Optimierungsprozess

Motivation & Einleitung → Problemstellung & Zielsetzung → **Optimierungsprozess** → Ergebnisse → Fazit & Ausblick



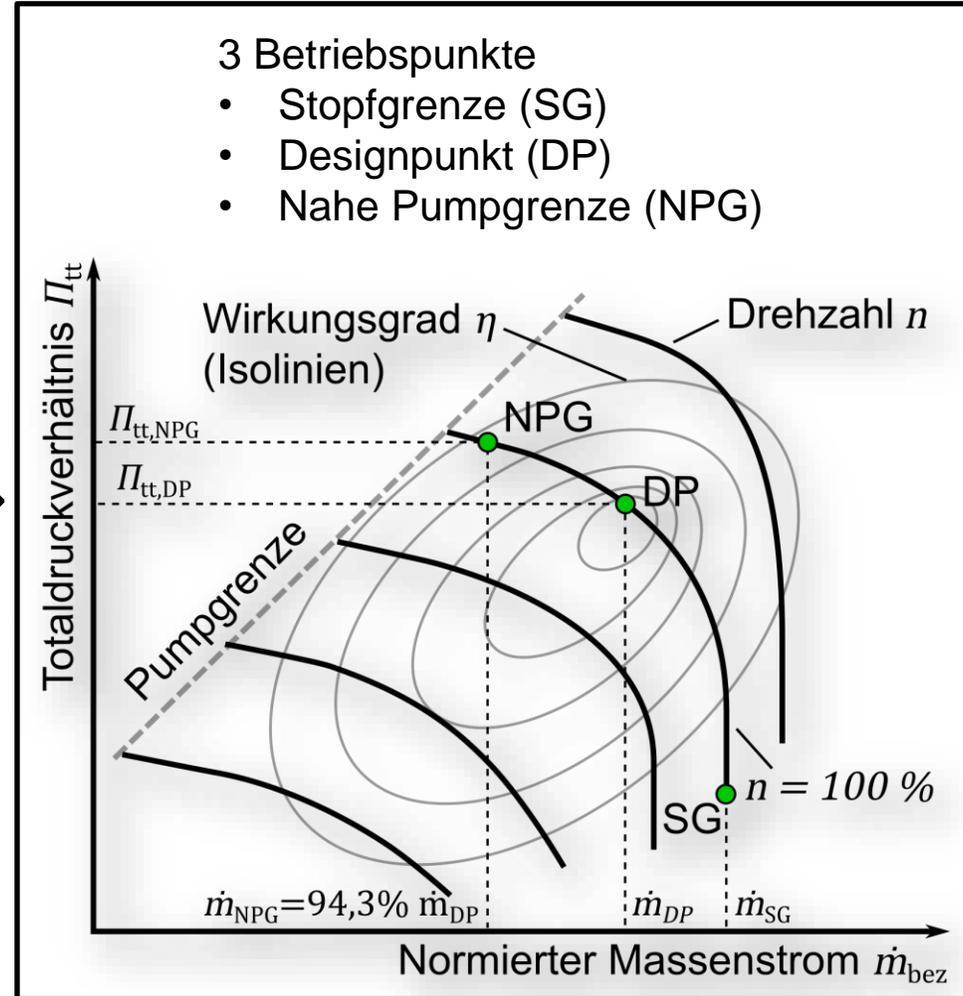
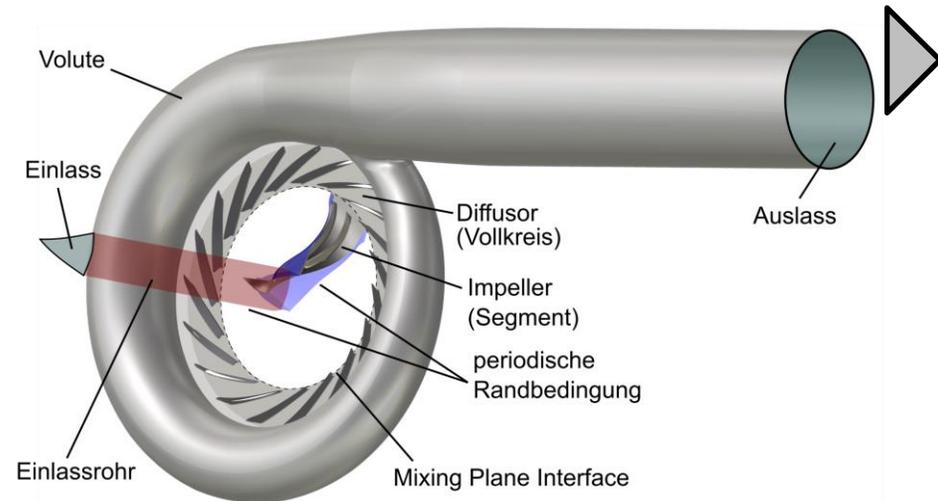
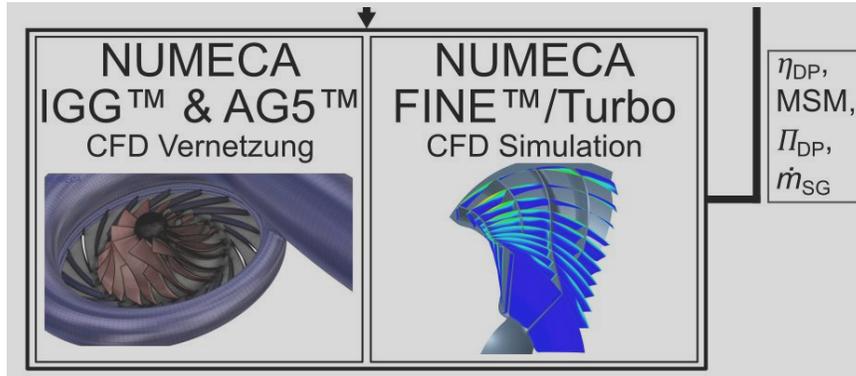
3 Optimierungsprozess

Motivation & Einleitung → Problemstellung & Zielsetzung → **Optimierungsprozess** → Ergebnisse → Fazit & Ausblick



3 Optimierungsprozess

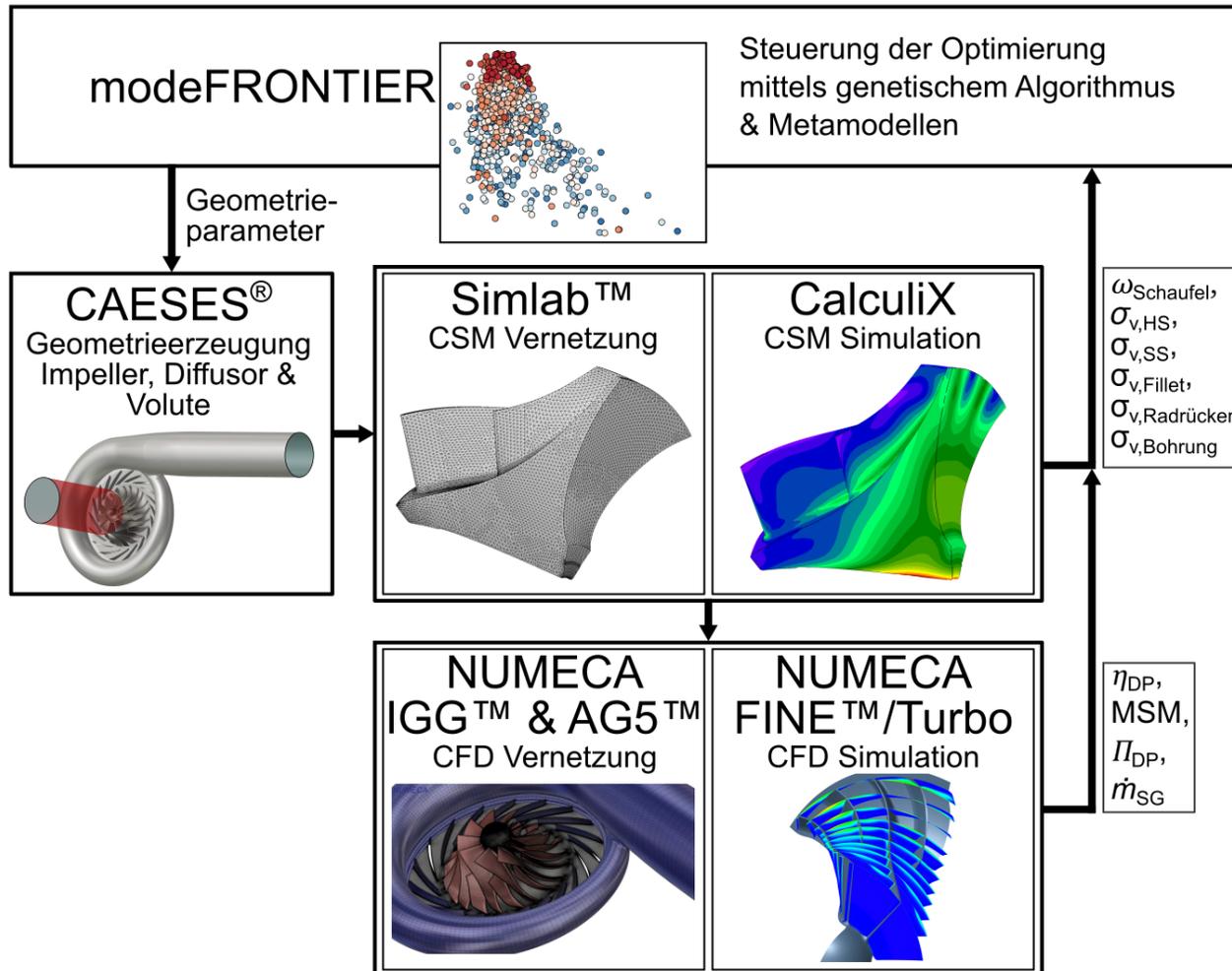
Motivation & Einleitung → Problemstellung & Zielsetzung → **Optimierungsprozess** → Ergebnisse → Fazit & Ausblick



1. $\eta_{tt,DP,0-7} = \frac{\pi_{tt}^{\left(\frac{\kappa-1}{\kappa}\right)} - 1}{\theta_{tt} - 1}$
2. $MSM = \frac{\pi_{NPG}}{\pi_{DP}}$
(Pumpgrenzabstand)
3. $\Pi_{tt,DP,0-7}$
4. \dot{m}_{SG}

3 Optimierungsprozess

Motivation & Einleitung → Problemstellung & Zielsetzung → **Optimierungsprozess** → Ergebnisse → Fazit & Ausblick



Zielfunktionen:

1. Stufenwirkungsgrad ($\eta_{tt,DP,0-7}$)
2. Modifizierten Pumpgrenzabstand ($MSM = \frac{\pi_{PG}}{\pi_{DP}}$)

Restriktionen:

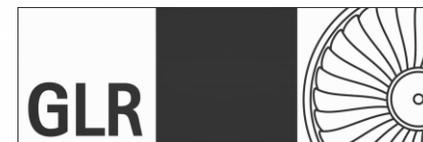
1. Totaldruckverhältnis ($\Pi_{tt,DP,0-7}$)
2. Stopfmassenstrom (\dot{m}_{SG})
3. 1. Schaufeleigenfrequenz (ω_{Schaufel})
4. Max. Mises-Vergleichsspannungen (σ_v) (Hauptschaufel, Splitterschaufel, Schaufelfußradien, Bohrung, Radrücken)

Optimierung:

Initialdatenbank (DOE): Uniform Latin Hypercube

Optimierungsalgorithmus:

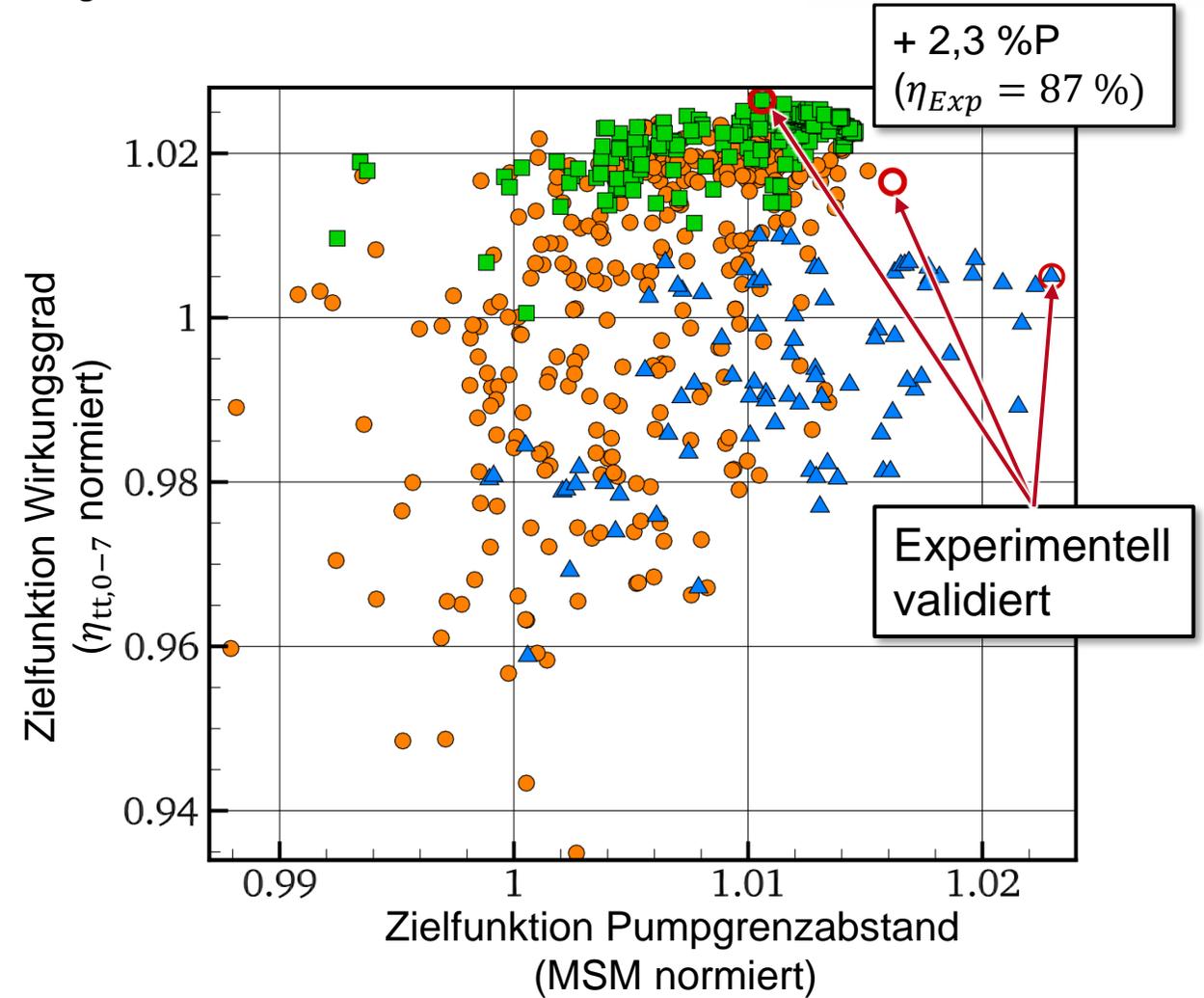
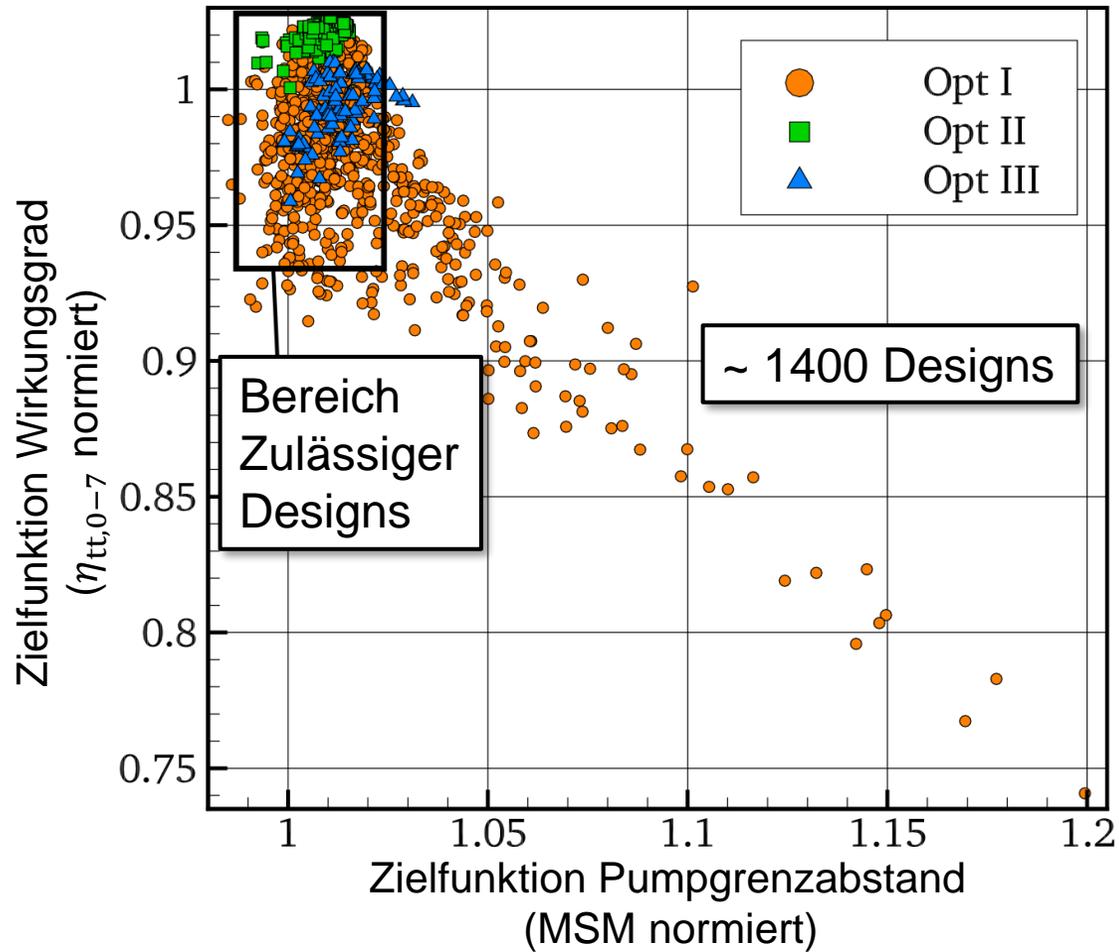
- Fast – MOGA II (Genetischer Algorithmus)
- pilOPT (Kombination Evolutionärer Algorithmus und Gradientenverfahren)
- Metamodelle: RBF, PSVD, Kriging



4 Ergebnisse

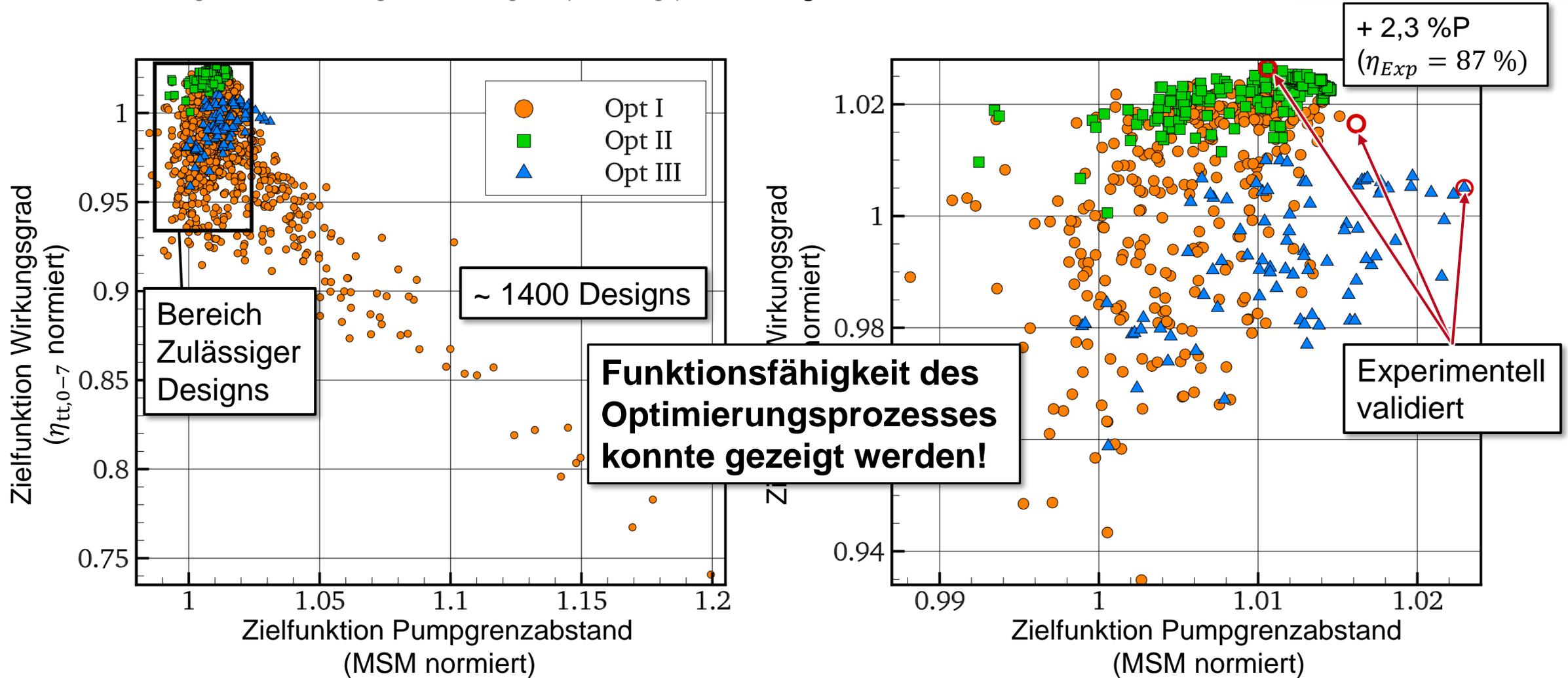
4 Ergebnisse

Motivation & Einleitung → Problemstellung & Zielsetzung → Optimierungsprozess → **Ergebnisse** → Fazit & Ausblick



4 Ergebnisse

Motivation & Einleitung → Problemstellung & Zielsetzung → Optimierungsprozess → **Ergebnisse** → Fazit & Ausblick



4 Ergebnisse

Motivation & Einleitung → Problemstellung & Zielsetzung → Optimierungsprozess → **Ergebnisse** → Fazit & Ausblick



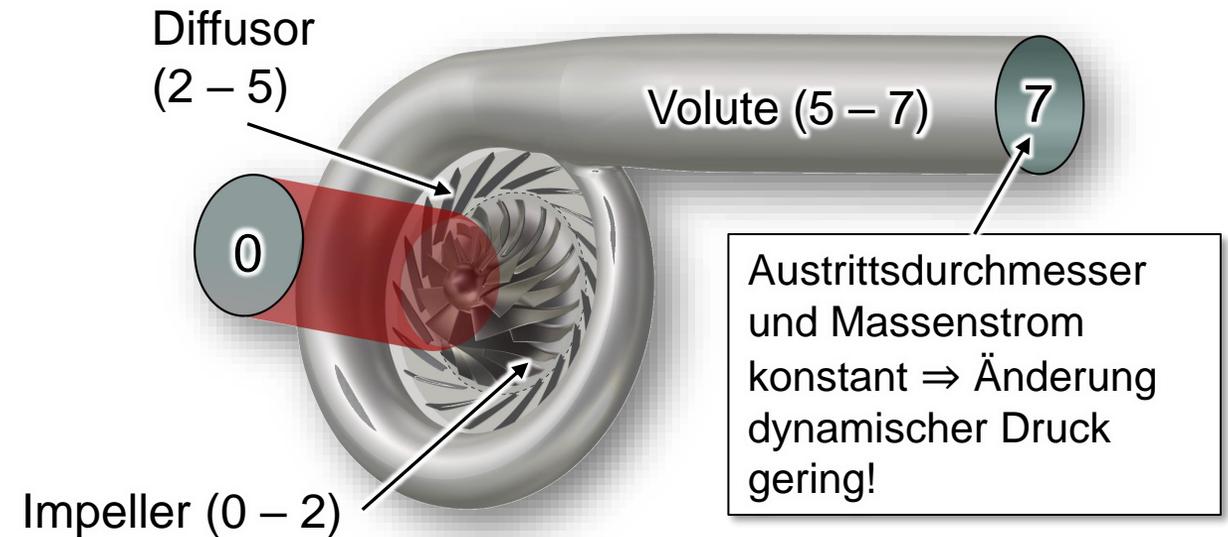
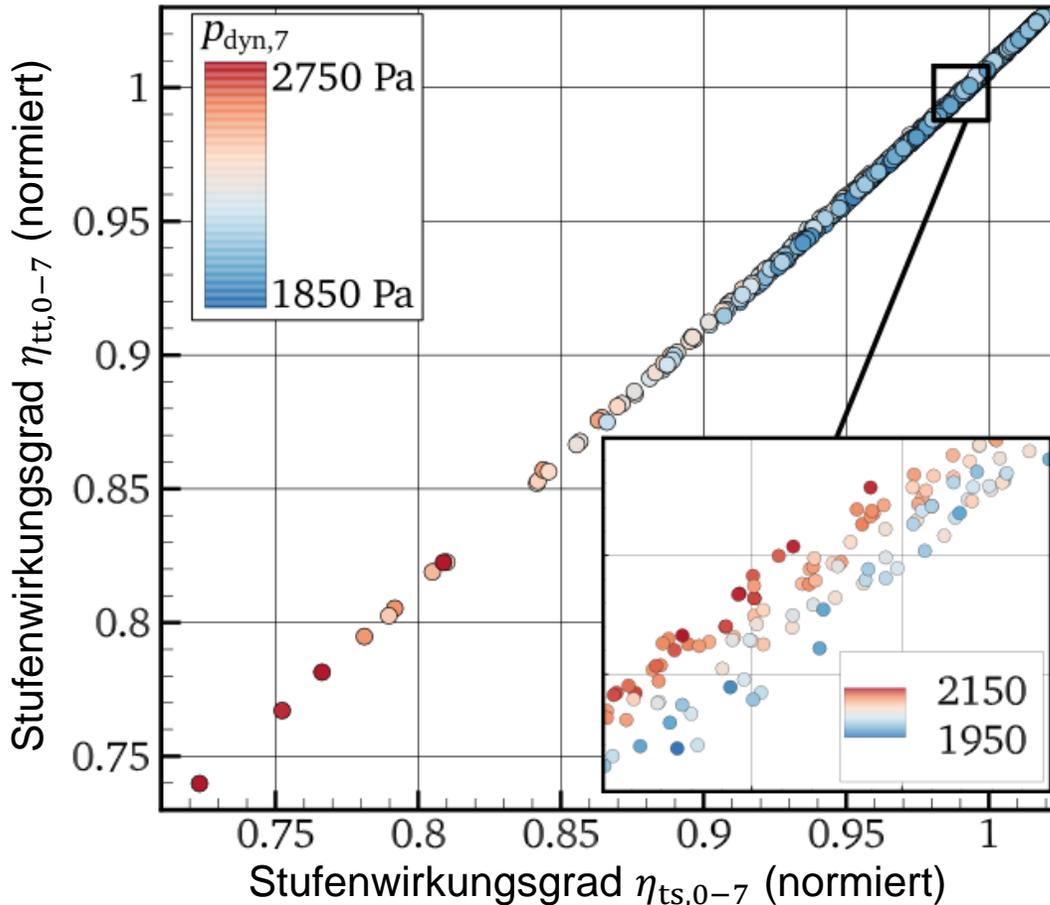
Fragestellung

1. Welche Definition des isentropen Wirkungsgrads (total-total oder total-statisch) sollte als Zielfunktion verwendet werden?
2. Ist die simultane Betrachtung der Volute in einer solchen Optimierung notwendig?

4 Ergebnisse

Motivation & Einleitung → Problemstellung & Zielsetzung → Optimierungsprozess → **Ergebnisse** → Fazit & Ausblick

Wirkungsgradbetrachtung am Volutenaustritt

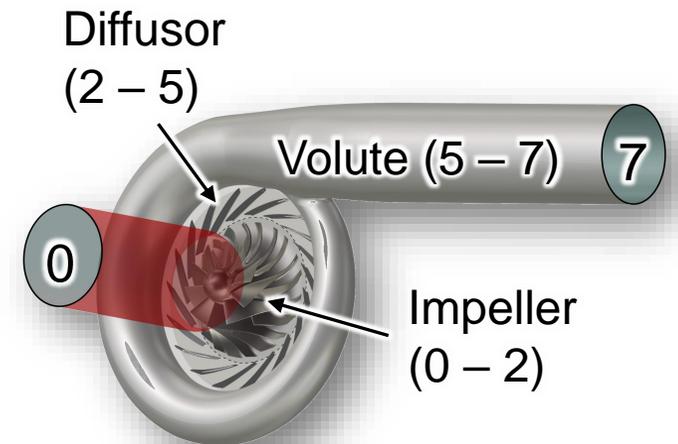
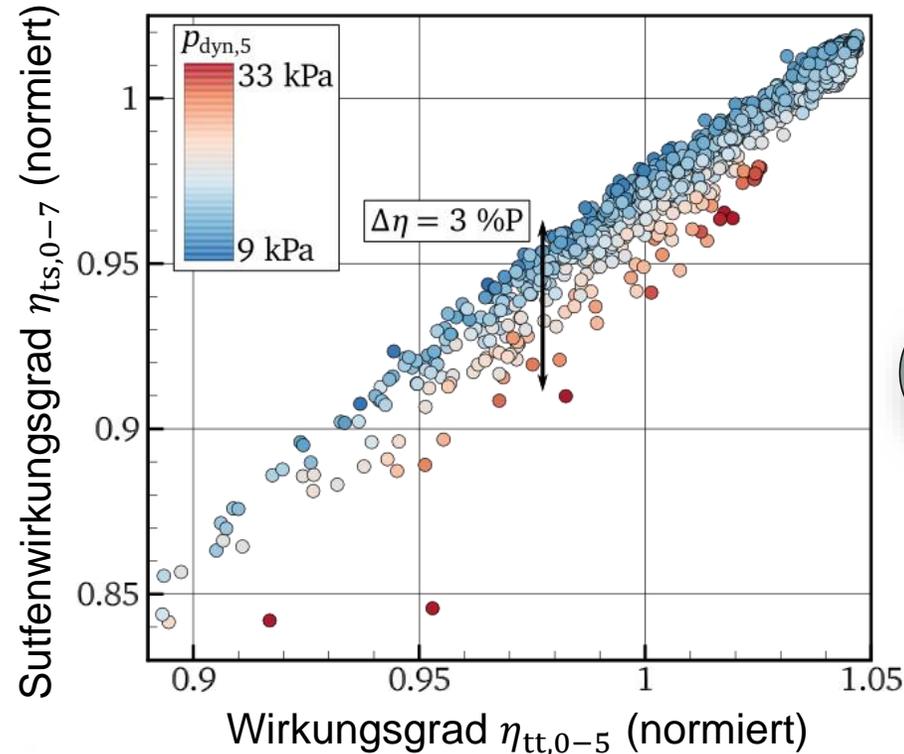
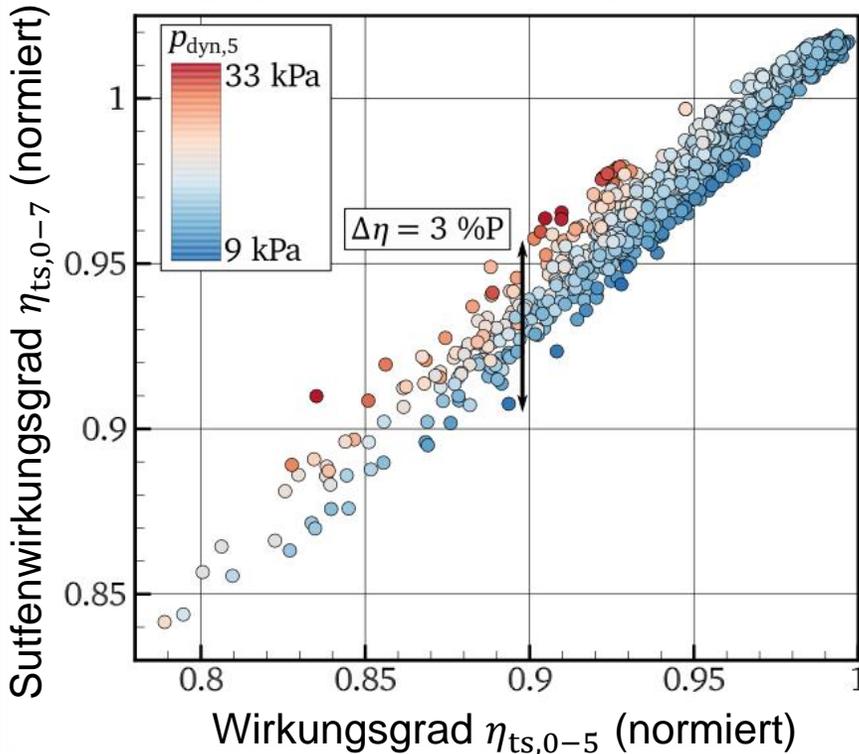


$\eta_{tt,0-7}$ und $\eta_{ts,0-7}$ gleichwertig als Zielfunktion verwendbar

4 Ergebnisse

Motivation & Einleitung → Problemstellung & Zielsetzung → Optimierungsprozess → **Ergebnisse** → Fazit & Ausblick

Wirkungsgradbetrachtung am Diffusoraustritt

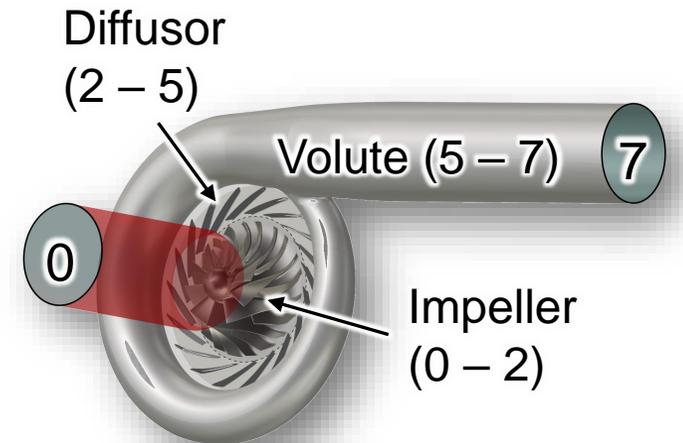
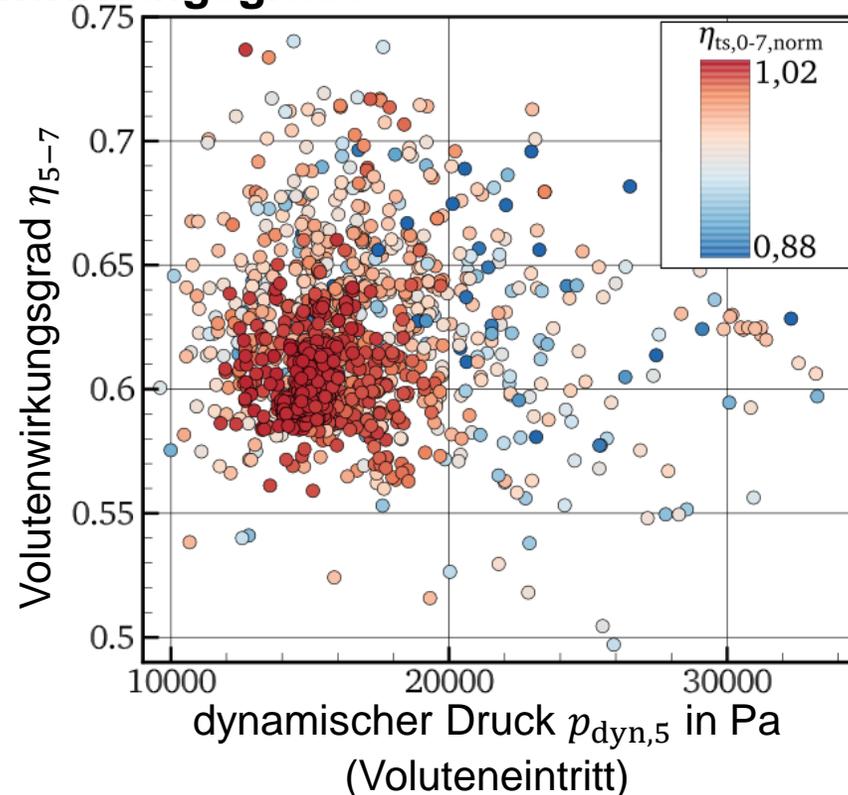
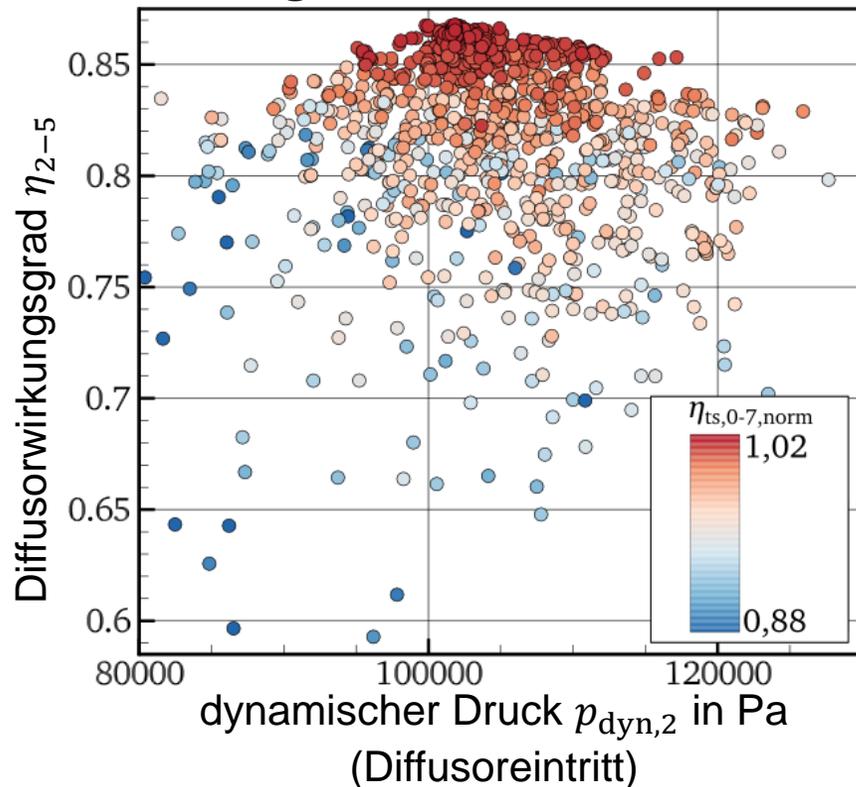


Alleinige Verwendung von $\eta_{ts,0-5}$ oder $\eta_{tt,0-5}$ als Zielfunktion ungeeignet!

4 Ergebnisse

Motivation & Einleitung → Problemstellung & Zielsetzung → Optimierungsprozess → **Ergebnisse** → Fazit & Ausblick

Auswertung des Diffusor- und Volutenwirkungsgrads

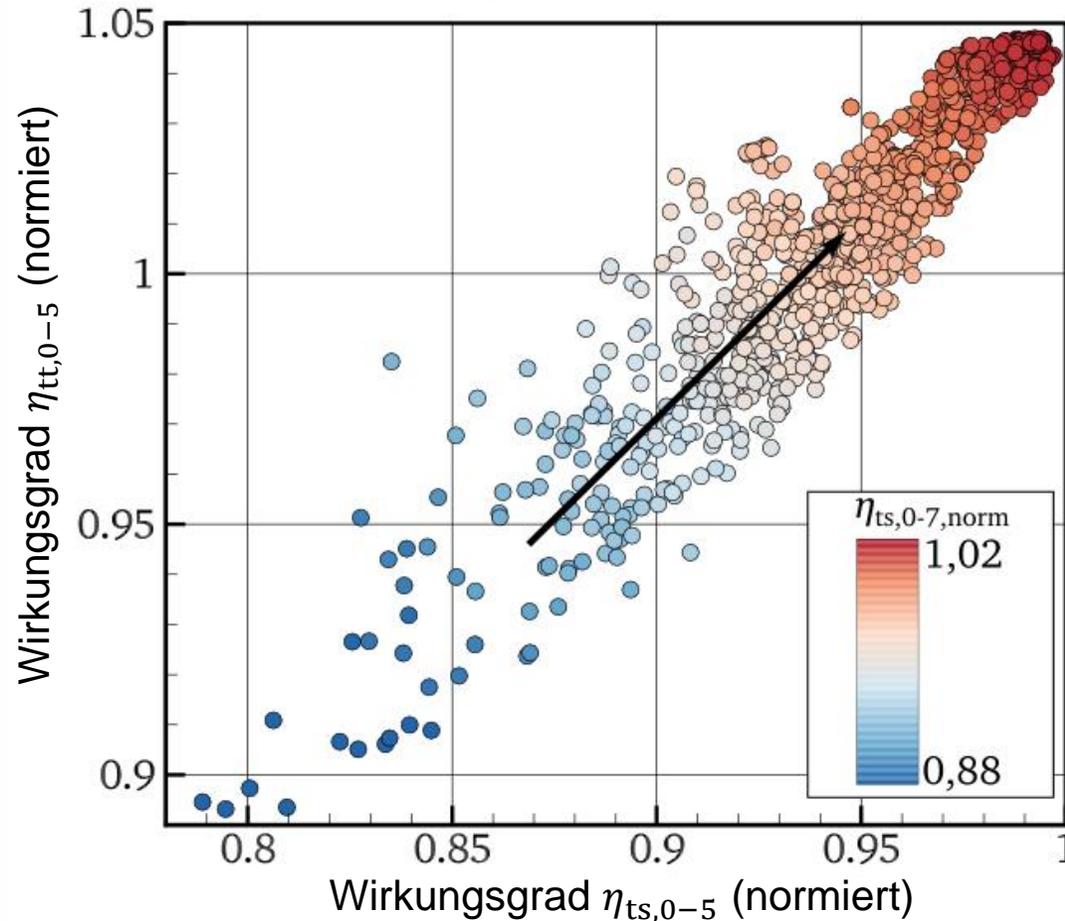


- **Statischer Druckaufbau im Diffusor effizienter**
- **Wirkungsgrad der Volute spielt untergeordnete Rolle.**

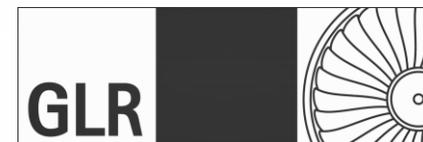
4 Ergebnisse

Motivation & Einleitung → Problemstellung & Zielsetzung → Optimierungsprozess → **Ergebnisse** → Fazit & Ausblick

Wirkungsgradbetrachtung am Diffusoraustritt



- **Simultane Verwendung von $\eta_{ts,0-5}$ und $\eta_{tt,0-5}$ als Zielfunktion notwendig.**
- **Die Volute muss nicht simultan in der Optimierung betrachtet werden.**



5 Fazit & Ausblick

7 Fazit & Ausblick

Motivation & Einleitung → Problemstellung & Zielsetzung → Optimierungsprozess → Ergebnisse → **Fazit & Ausblick**



Fazit

- Optimierung Turbolader / Radialverdichter in Zukunft von großer Bedeutung
- Implementierung eines Optimierungsprozesses zur simultanen Optimierung von Impeller, beschaufeltem Diffusor und Volute hinsichtlich des Wirkungsgrads und des Pumpgrenzabstands unter Berücksichtigung strukturmechanischer Restriktionen
- Erfolgreiche Optimierung einer Radialverdichterstufe
2,3 Prozentpunkte Wirkungsgradsteigerung ($\eta_{Exp} = 87 \%$)
- Wirkungsgradoptimierung:
 - Simultane Optimierung der Volute nicht nötig
 - Simultane Verwendung von $\eta_{ts,0-5}$ und $\eta_{tt,0-5}$ (Diffusoraustritt) als Zielfunktion notwendig

Ausblick

- Notwendigkeit der simultanen Optimierung der Volute hinsichtlich des Pumpgrenzabstands

Danke für Ihre Aufmerksamkeit!



Der Autor bedankt sich für die finanzielle Unterstützung durch das Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi) am Projekt GAMMA (Projektnummer 03ET1469).

Supported by:



on the basis of a decision
by the German Bundestag

Ein herzlicher Dank gilt ebenso seinen
Projektpartnern:



Quellen



- [1] Bernhard Fuchs ([https://commons.wikimedia.org/wiki/File:NYK_Virgo_\(8154929586\).jpg](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:NYK_Virgo_(8154929586).jpg)), „NYK Virgo (8154929586)“, <https://creativecommons.org/licenses/by/2.0/legalcode>
- [2] News Oresund ([https://commons.wikimedia.org/wiki/File:20170710_Molslinjen_Aarhus_10_\(36005662232\).jpg](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:20170710_Molslinjen_Aarhus_10_(36005662232).jpg)), „20170710 Molslinjen Aarhus 10 (36005662232)“, <https://creativecommons.org/licenses/by/2.0/legalcode>
- [3] F.Andrey (https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Dump_truck_in_Russia_gets_load.jpg), „Dump truck in Russia gets load“, <https://creativecommons.org/licenses/by/2.0/legalcode>
- [4] P. Nisiewicz (https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Kostrzyn;_Dwa_SA139_na_górnych_peronach_dworca_Kostrzyn.JPG), <https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/legalcode>
- [5] Rolls-Royce Solutions GmbH
- [6] <https://www.klimafonds.gv.at/dossier/wasserstoff-dossier/projekte/hytruck/>
- [7] <https://www.avl.com/en/engineering/e-mobility-engineering/fuel-cell-development/pem-system-development>
- [8] <https://www.deutz.com/produkte/produkt-highlights/deutz-tcg-78-h2>
- [9] https://www.ihl.co.jp/turbocharger/en/products/electric_turbocharger/index.html



TECHNISCHE
UNIVERSITÄT
DARMSTADT



DISPUTATIONSVORTRAG

BACKUP

2 Zielsetzung & Fragestellung

Motivation & Einleitung → Zielsetzung & Fragestellung → Methodik → Ergebnisse → Fazit & Ausblick

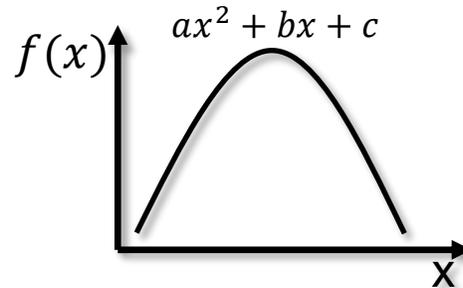


Was bedeutet optimieren?

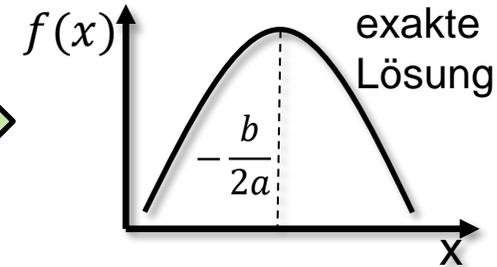
Minimierungs- /
Maximierungs-
problem



Parameter s



Analytische
Lösung:
 $x = -\frac{b}{2a}$



2 Zielsetzung & Fragestellung

Motivation & Einleitung → Zielsetzung & Fragestellung → Methodik → Ergebnisse → Fazit & Ausblick

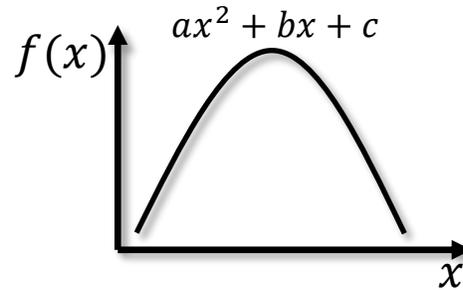


Was bedeutet optimieren?

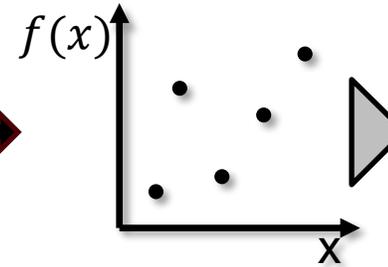
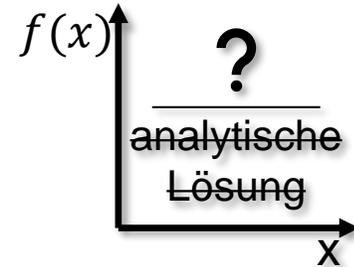
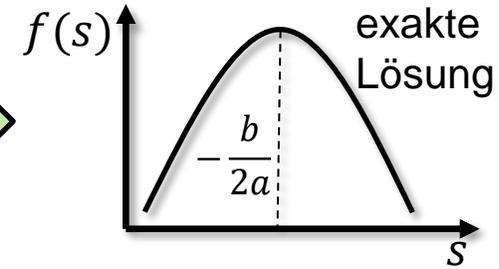
Minimierungs- /
Maximierungs-
problem



Parameter s



Analytische
Lösung:
 $x = -\frac{b}{2a}$



gradientenbasierte
oder
stochastische
Methoden



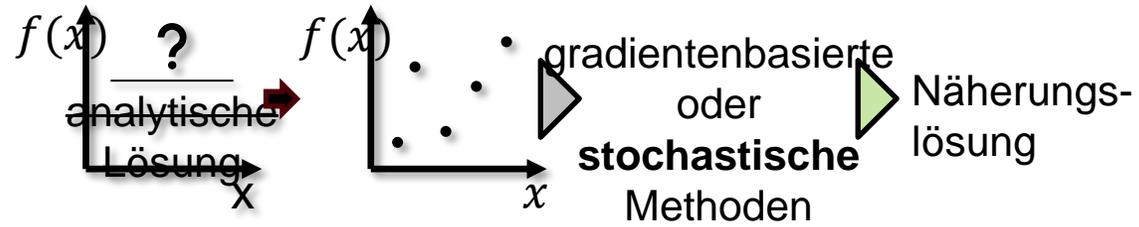
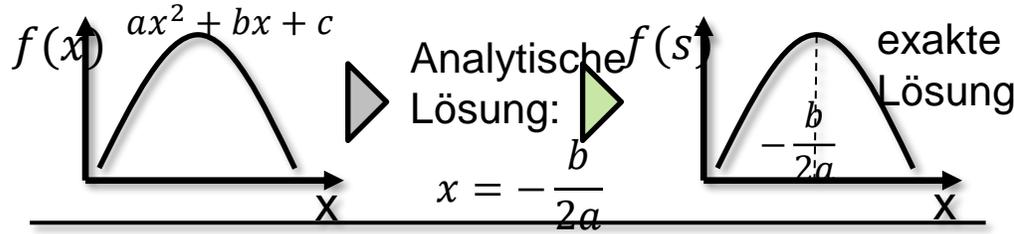
Näherungs-
lösung

2 Zielsetzung & Fragestellung

Motivation & Einleitung → Zielsetzung & Fragestellung → Methodik → Ergebnisse → Fazit & Ausblick

Was bedeutet optimieren?

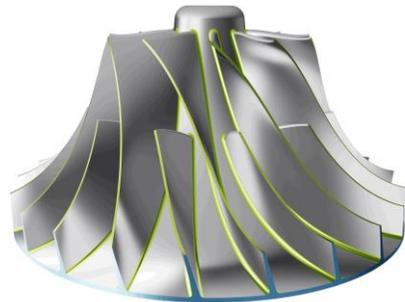
Minimierungs- /
Maximierungs-
problem



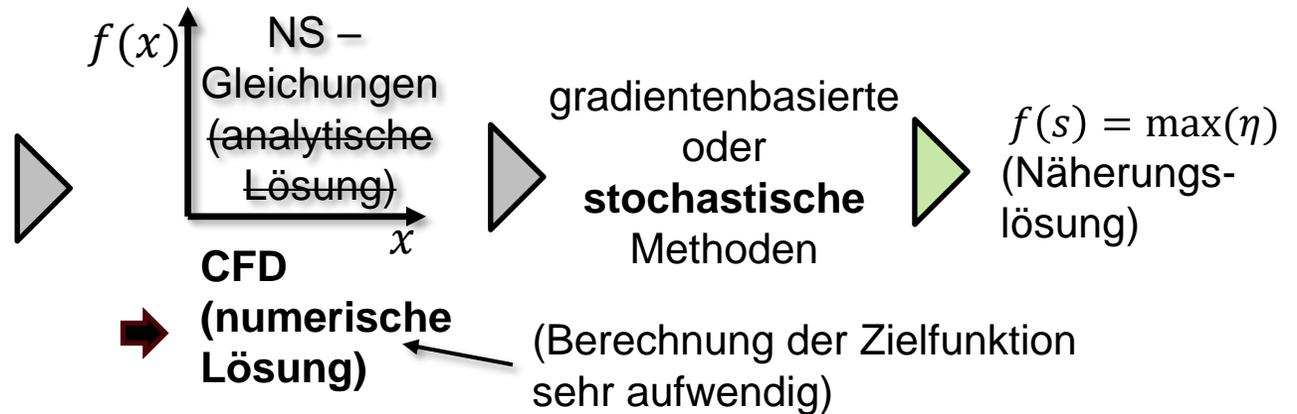
Radialverdichteroptimierung

z.B.: Maximierung
des Wirkungsgrads
(η)
(Zielfunktion)

Geometrieparameter s

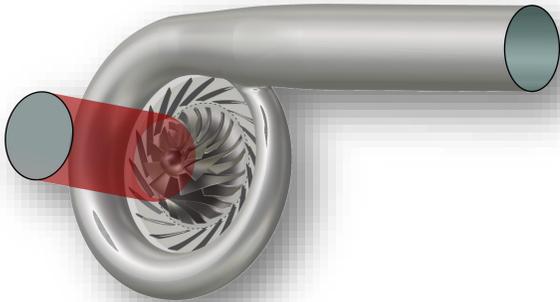


Quelle: Friendship Systems



2 Problemstellung & Zielsetzung

Parametrisierung

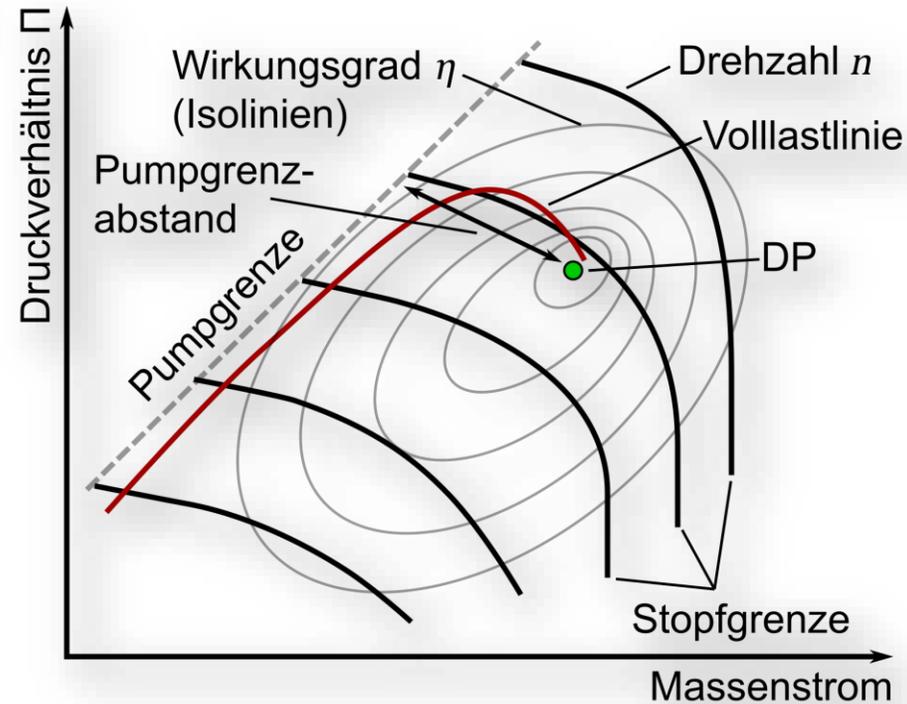


Lohnt die simultane Optimierung der Volute?

Vorteil!

- Keine simultane Optimierung von Impeller, beschaueltem Diffusor und Volute bekannt.
- Simultane Optimierung der Volute
 - verkompliziert den Optimierungsprozess
 - erhöht die Simulationszeit (~ Faktor 5)
 - erhöht die Optimierungszeit (Fluch der Dimensionalität)

Zielfunktionen



Zielfunktion: Wirkungsgrad

$$\eta_{tt} = \frac{\pi_{tt}^{\left(\frac{\kappa-1}{\kappa}\right)} - 1}{\theta_{tt} - 1} \quad \eta_{ts} = \frac{\pi_{ts}^{\left(\frac{\kappa-1}{\kappa}\right)} - 1}{\theta_{tt} - 1}$$

Optimierung im Fall:

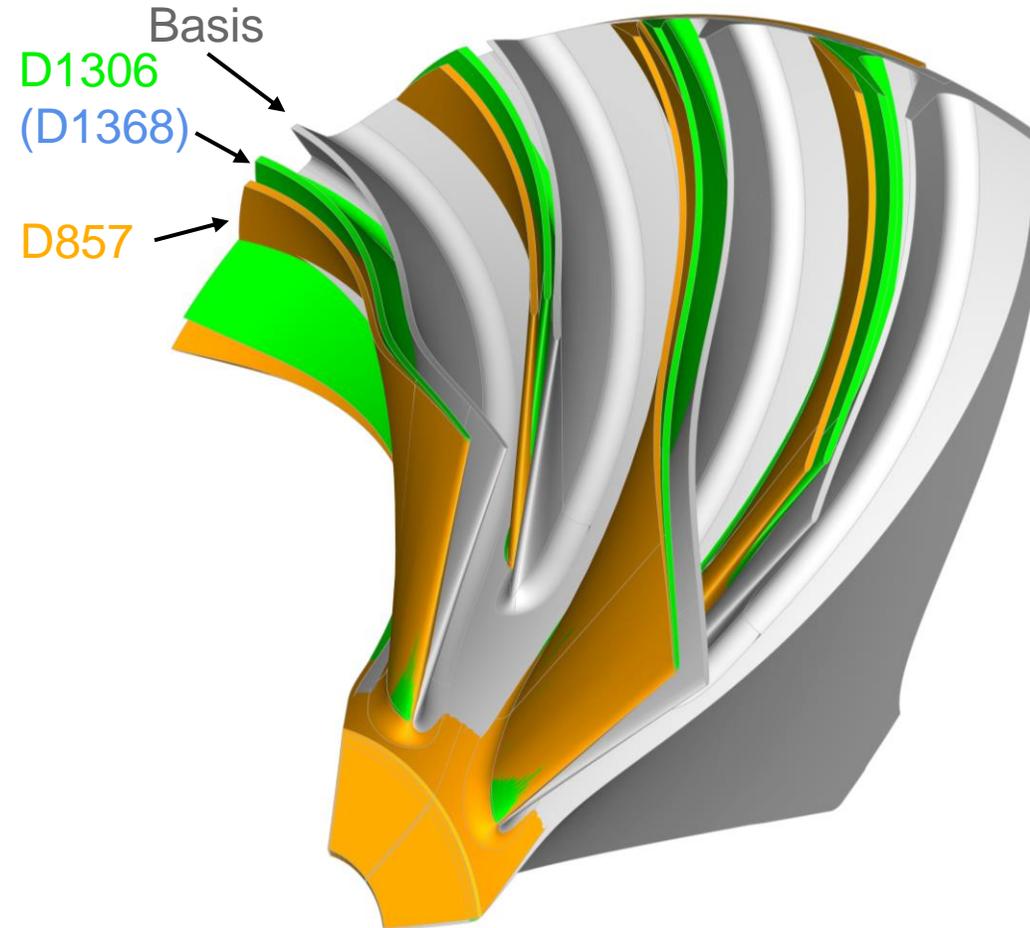
- ohne Volute (Auswertung Diffusoraustritt)
- mit Volute

Zielfunktion: Pumpgrenzabstand

$$SM = \frac{\pi_{PG} \dot{m}_{DP}}{\pi_{DP} \dot{m}_{PG}} \Big|_n - 1$$

- \dot{m}_{PG} unbekannt
- Strömung nahe der Pumpgrenze oftmals instationär. Stationäre CFD-Simulationen fehlerbehaftet.
- Ersatzfunktion notwendig.

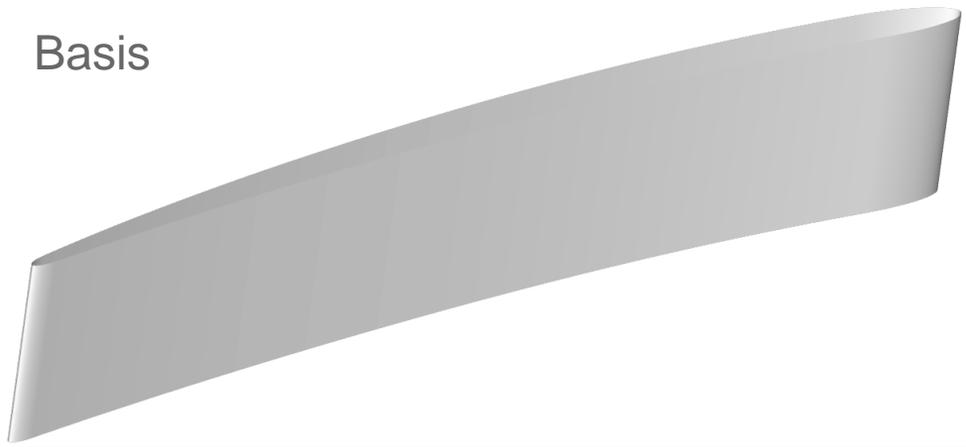
4 Radialverdichteroptimierung



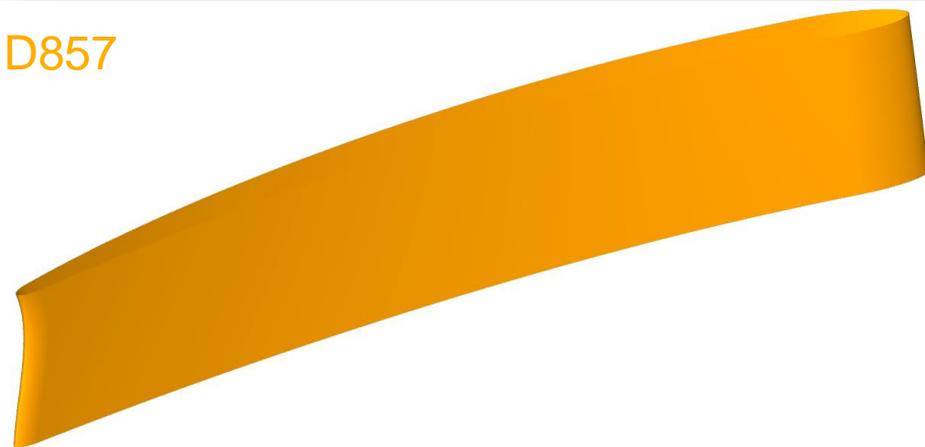
4 Radialverdichteroptimierung



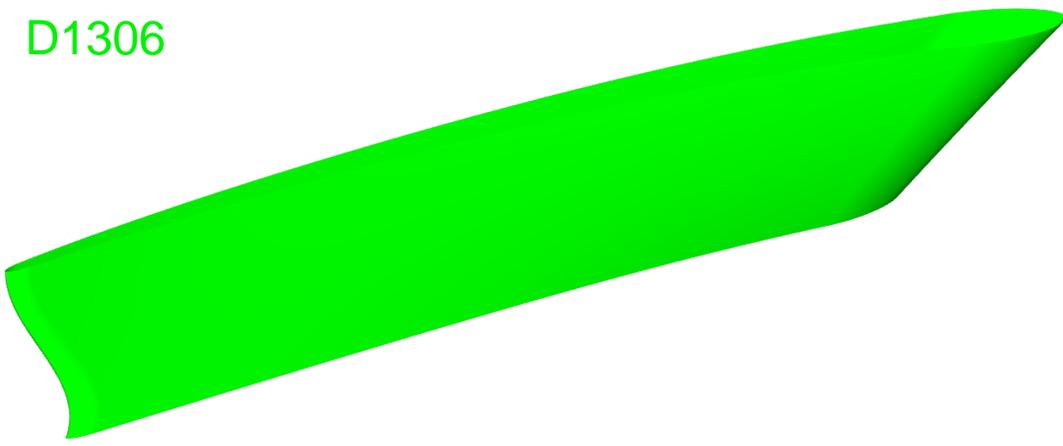
Basis



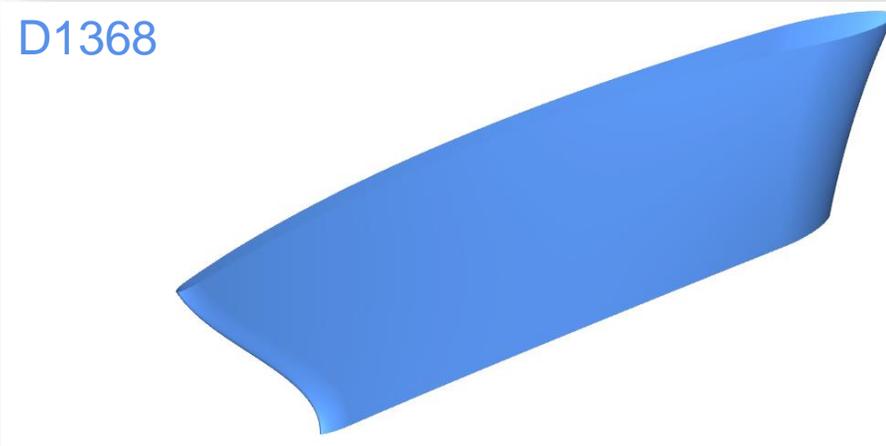
D857



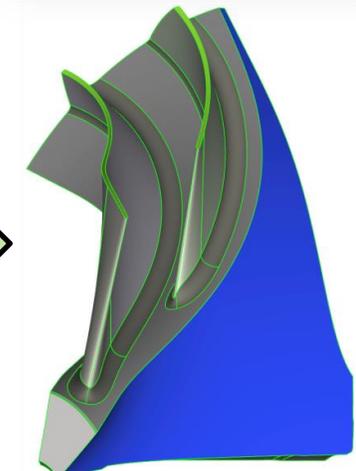
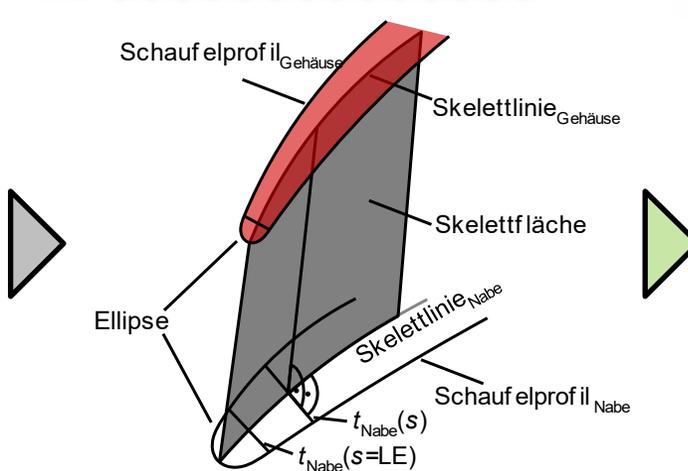
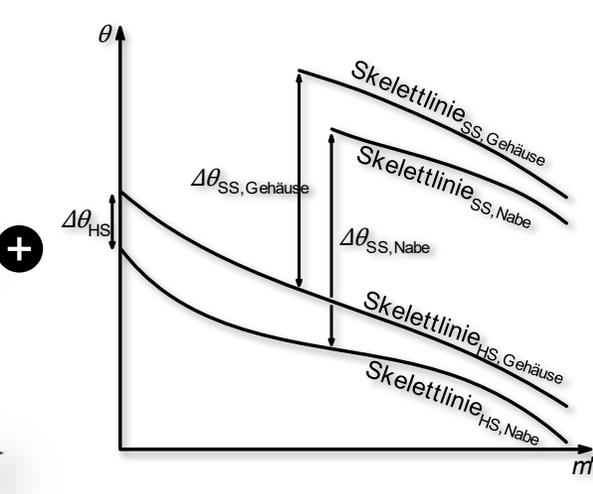
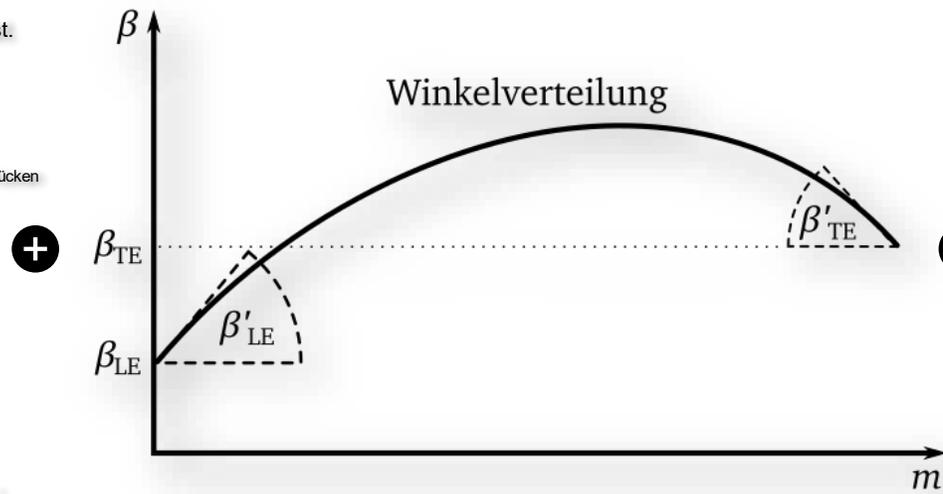
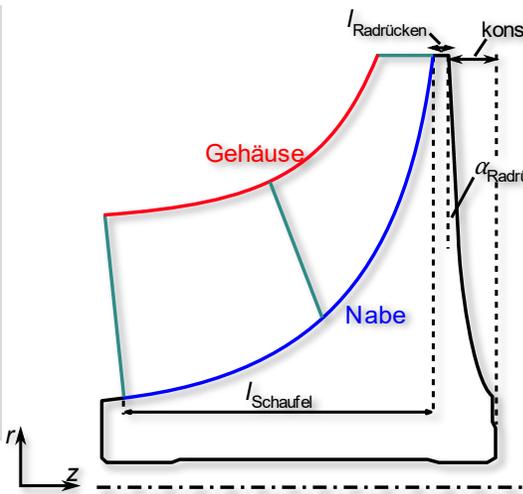
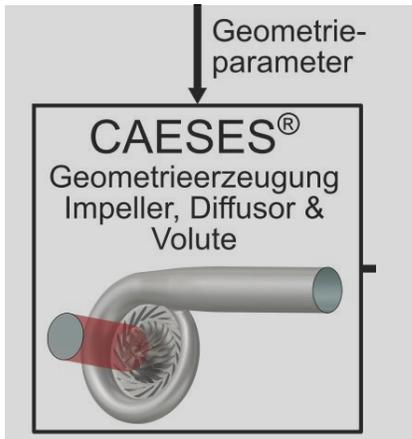
D1306



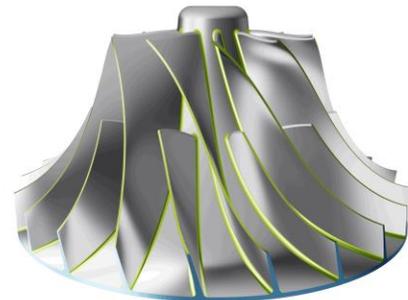
D1368



3 Methodik / Optimierungsprozess

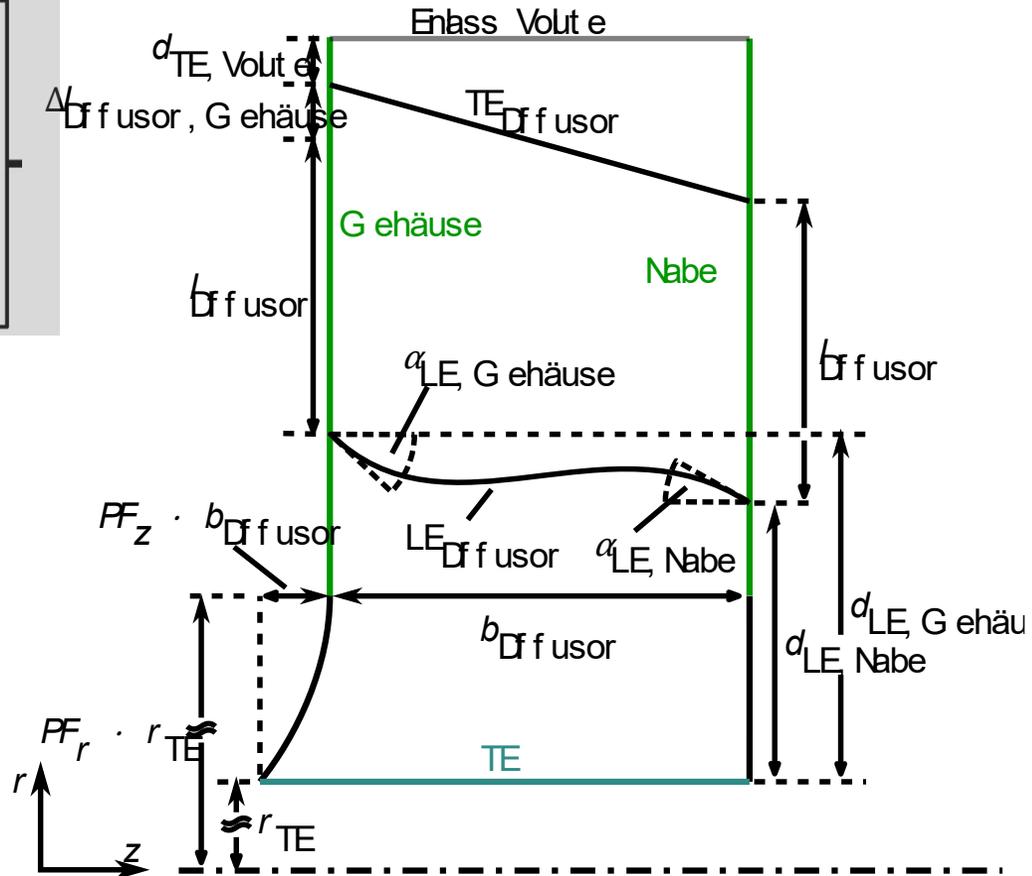
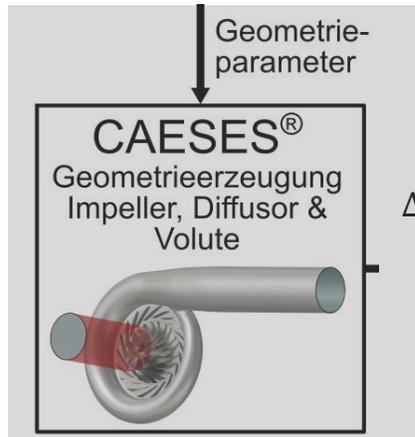


- Radrücken
- Nabe und Gehäuse
- Schaufelwinkelverteilung
- Position Splitterschaufel
- Lean / Rake
- Sweep

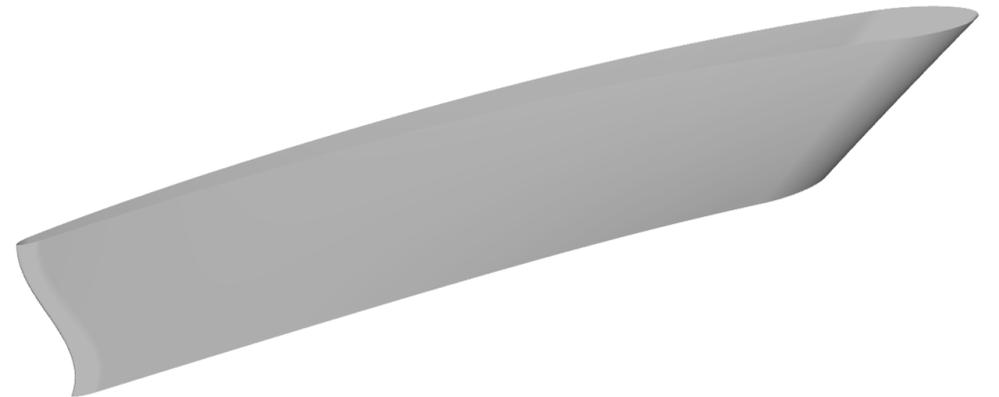


Quelle: Friendship Systems

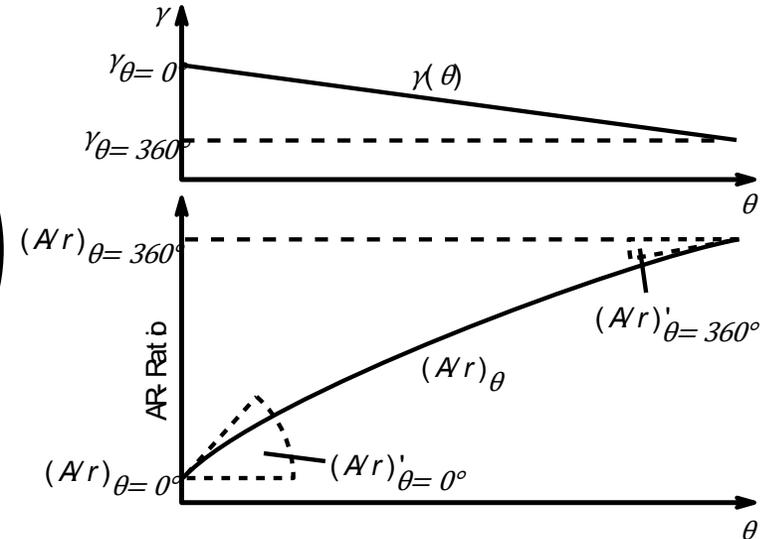
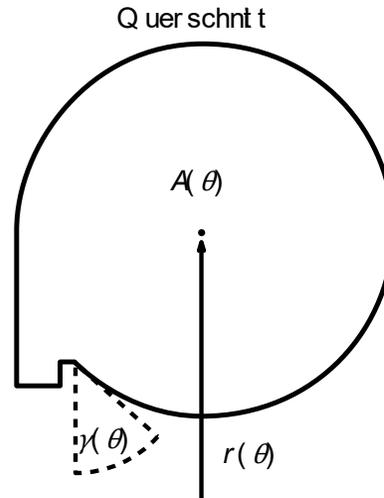
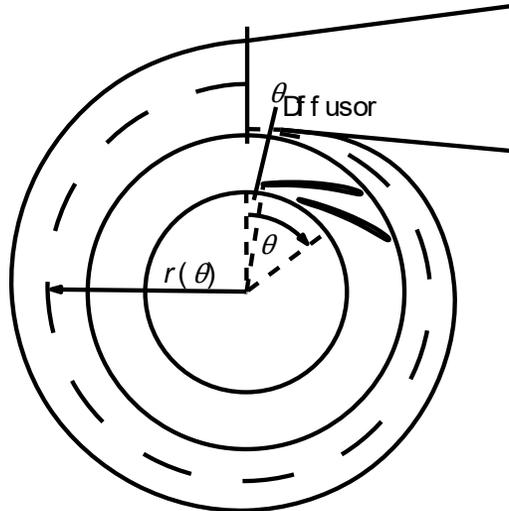
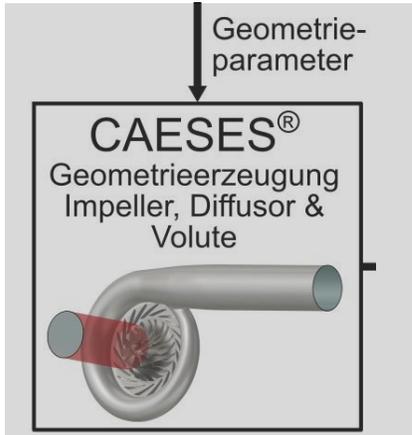
3 Methodik / Optimierungsprozess



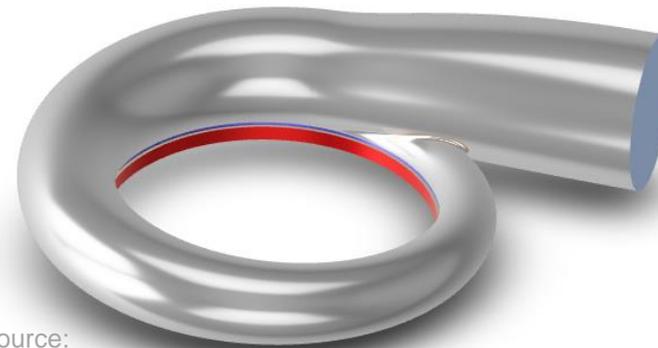
- Breite
- Länge
- Abstand Impellerhinterkante und Volute
- Schaufelwinkelverteilung
- Clocking
- Lean
- Nichtlineare Vorderkante



3 Methodik / Optimierungsprozess



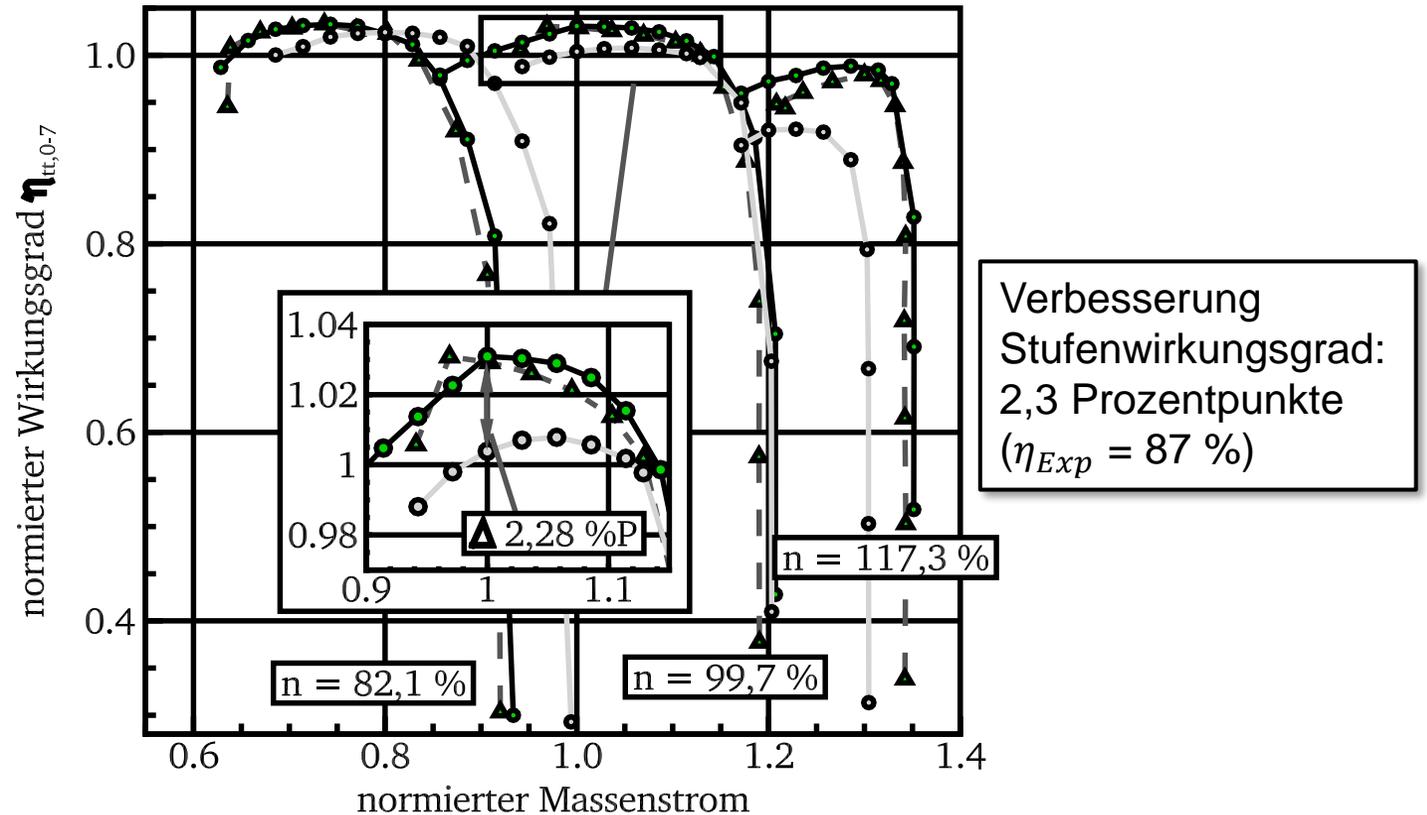
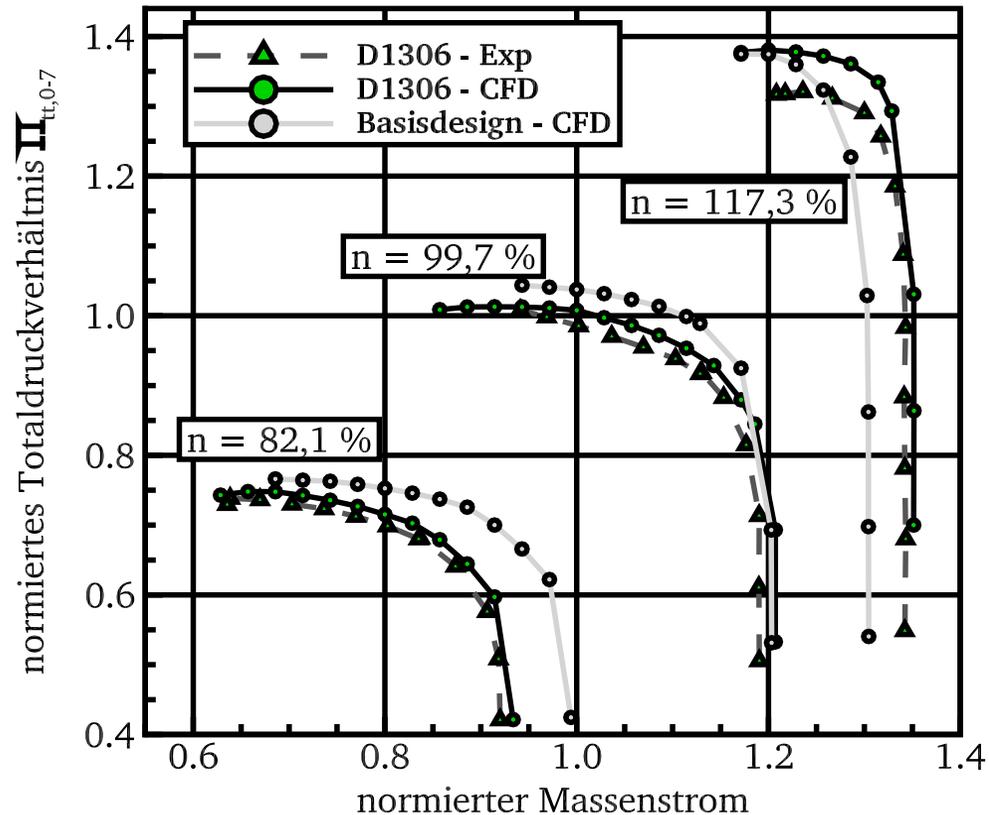
- AR – Ratio
(Nichtlineare Funktion)
- Hangwinkel



Source:
Friendship Systems

4 Ergebnisse

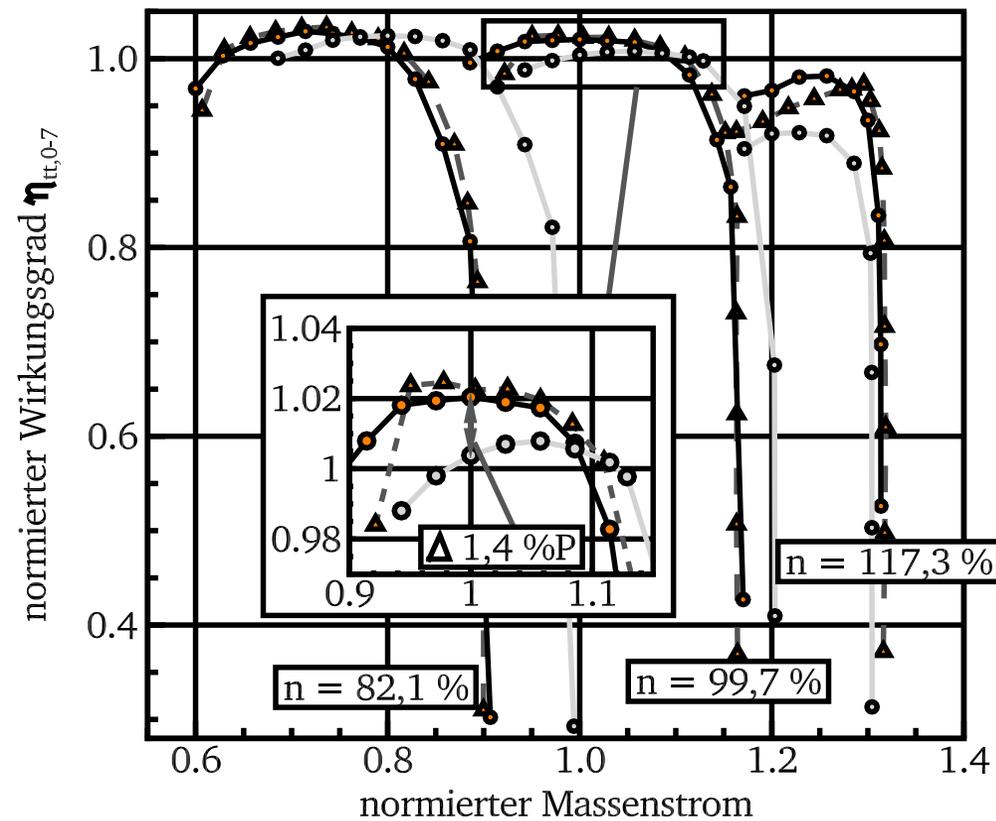
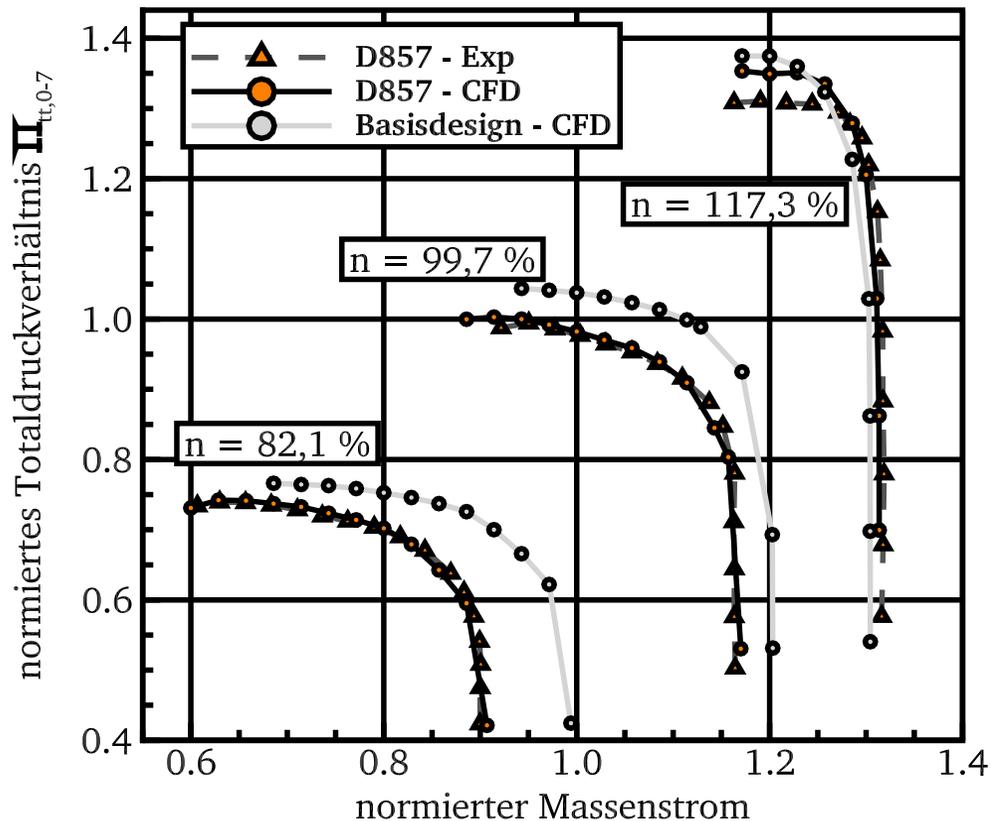
Motivation & Einleitung → Problemstellung & Zielsetzung → Optimierungsprozess → **Ergebnisse** → Fazit & Ausblick



- Wirkungsgrad, Totaldruckverhältnis & Stopfgrenze: Gute Übereinstimmung CFD – Experiment
- Pumpgrenze: Vorhersage problematisch

4 Ergebnisse

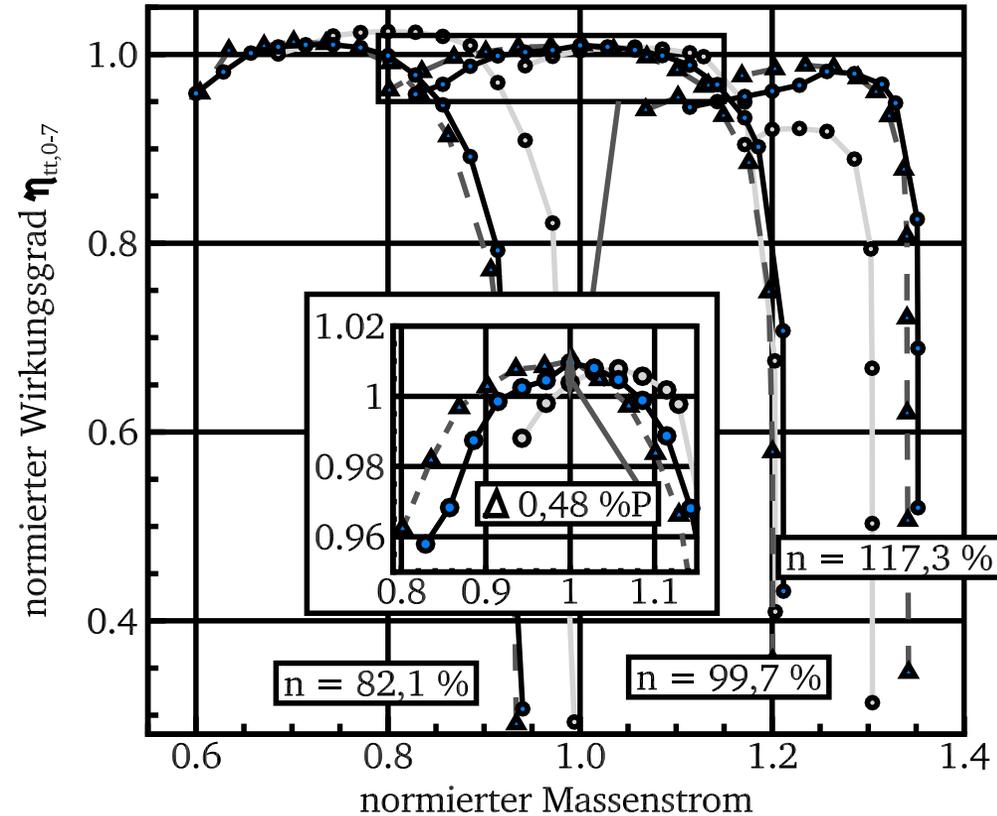
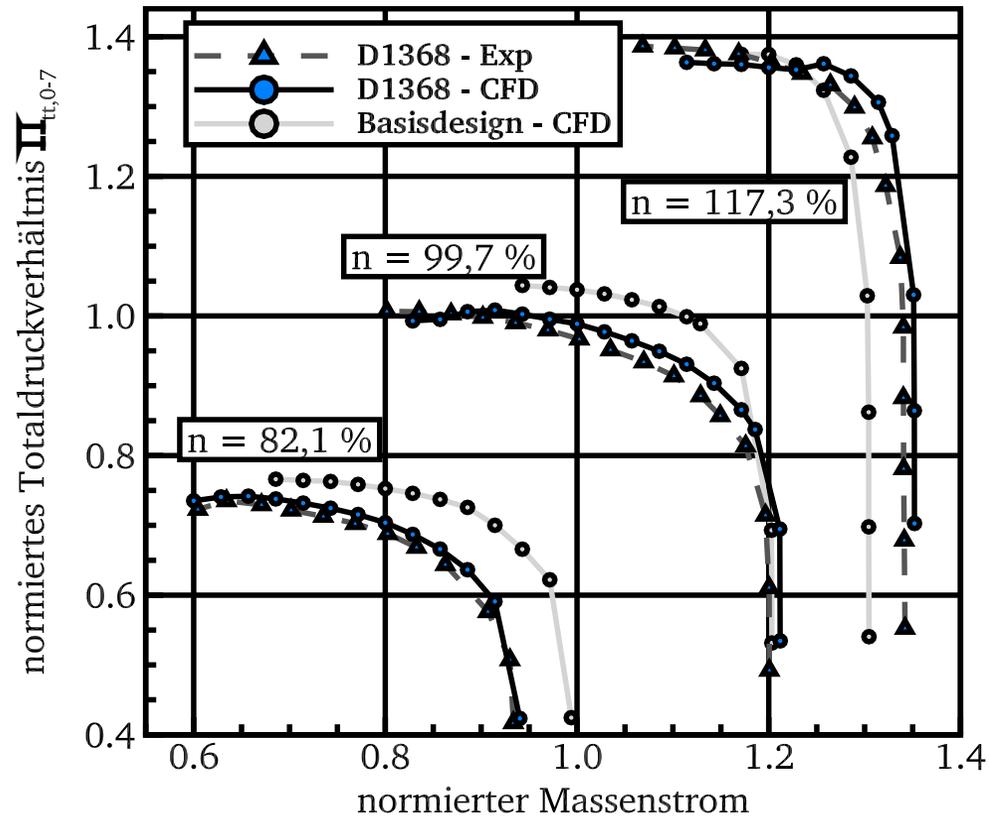
Motivation & Einleitung → Problemstellung & Zielsetzung → Optimierungsprozess → **Ergebnisse** → Fazit & Ausblick



- Wirkungsgrad, Totaldruckverhältnis & Stopfgrenze: Gute Übereinstimmung CFD – Experiment
- Pumpgrenze: Vorhersage problematisch

4 Ergebnisse

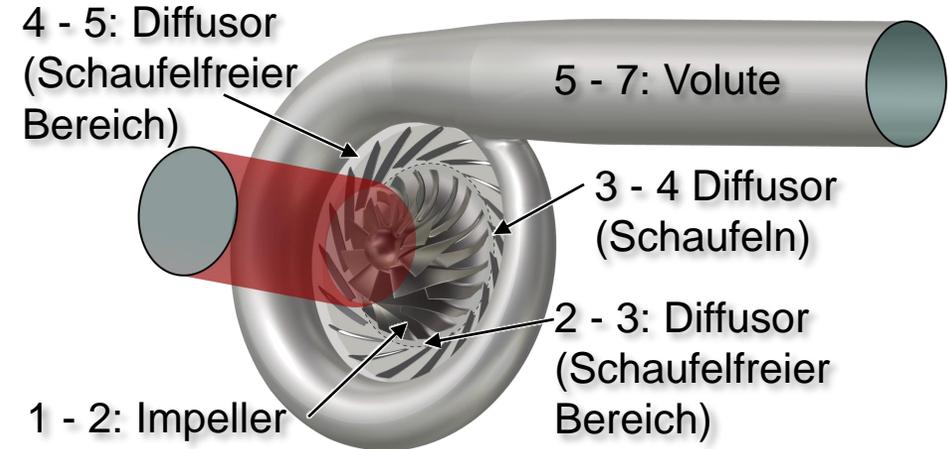
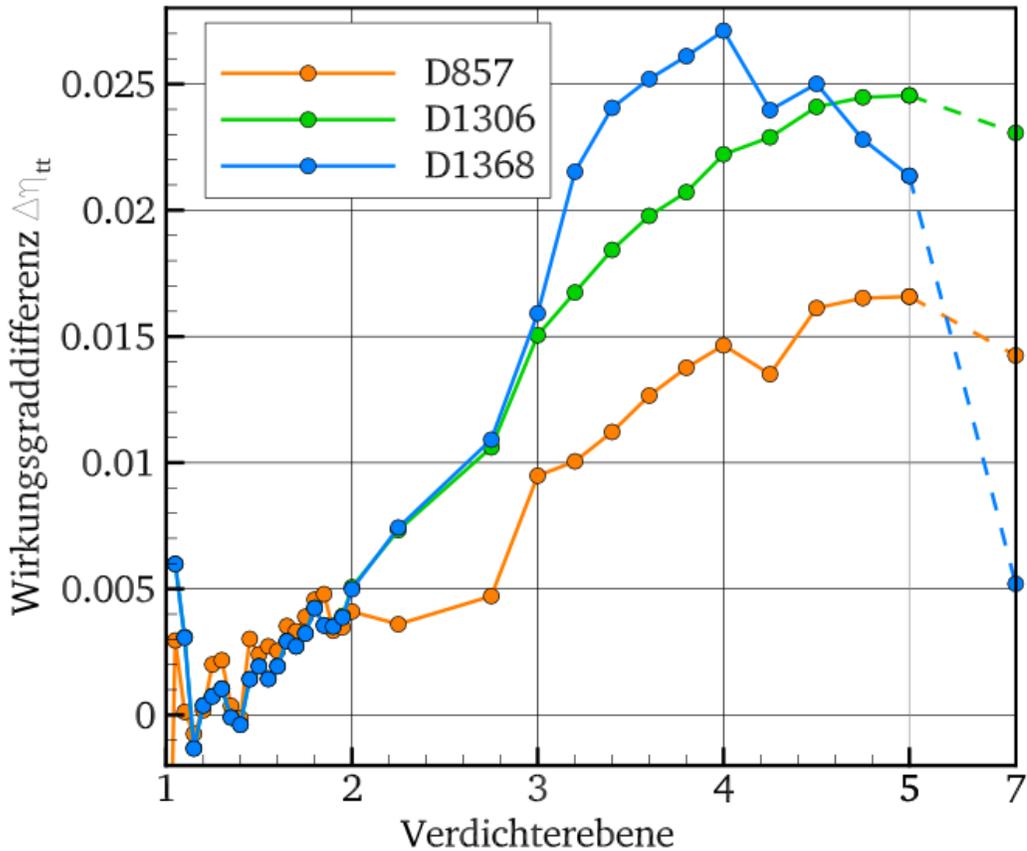
Motivation & Einleitung → Problemstellung & Zielsetzung → Optimierungsprozess → **Ergebnisse** → Fazit & Ausblick



- Wirkungsgrad, Totaldruckverhältnis & Stopfgrenze: Gute Übereinstimmung CFD – Experiment
- Pumpgrenze: Vorhersage problematisch

5 Betrachtung des Wirkungsgrads

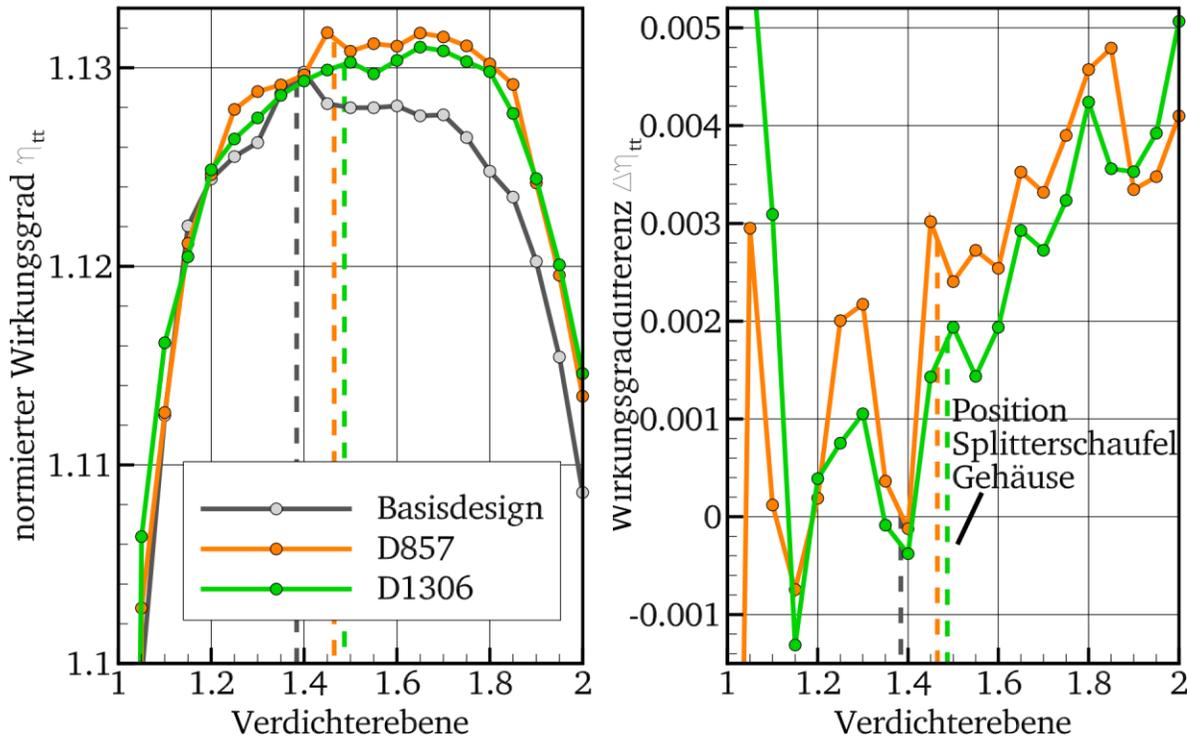
Ursachen der Wirkungsgradsteigerung?



- Impeller: + 0,5 Prozentpunkte
- Diffusor: + 1,2 – 2 Prozentpunkte
- Volute:
 - Standarddiffusor: geringer Einfluss
 - Low Solidity Diffusor: - 1,6 Prozentpunkte
- Alle Komponenten beeinflussen den Wirkungsgrad
- Impeller und Diffusor haben den größten Einfluss

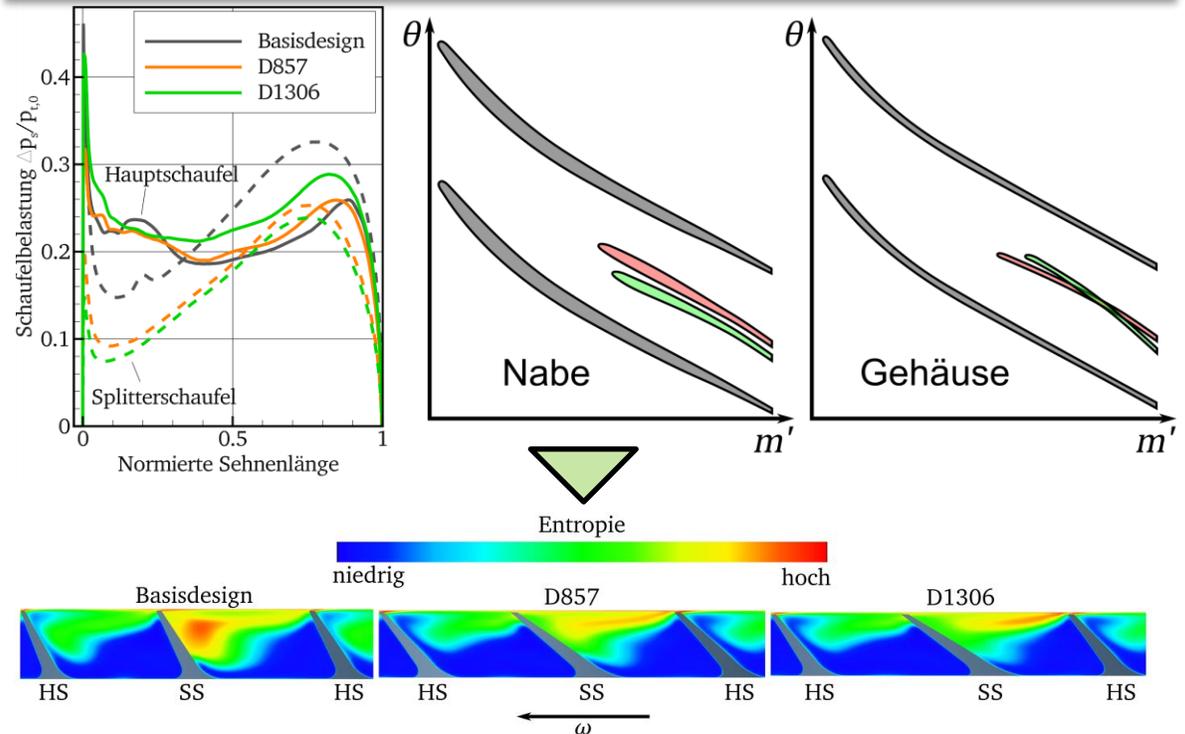
5 Betrachtung des Wirkungsgrads

Ursachen der Wirkungsgradsteigerung – Impeller



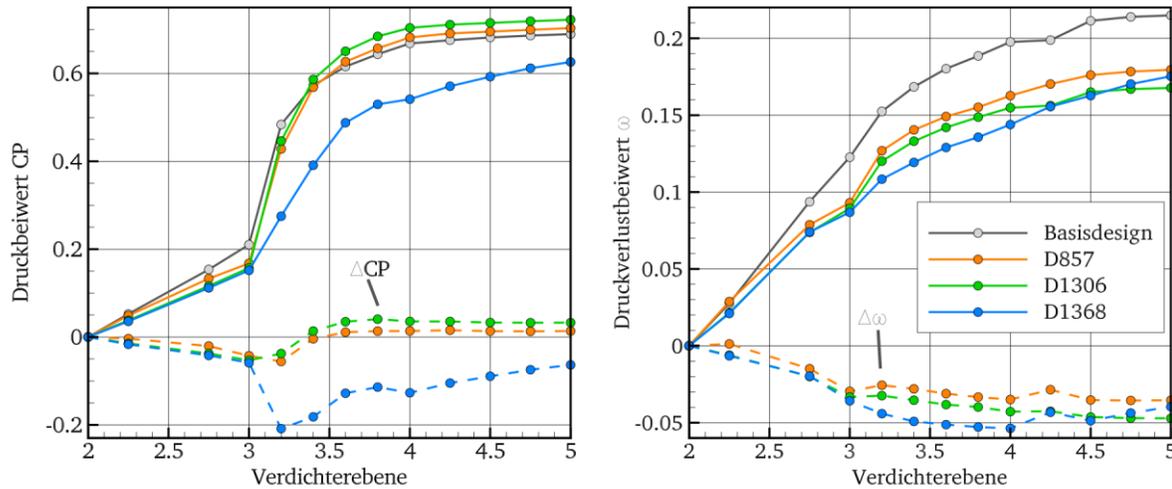
- Wirkungsgraddifferenz beginnt mit Splitterschaufel (Gehäuse)
- und wird im Exducer weiter ausgebaut

- Splitterschaufelvorderkante weiter stromab
- Splitterschaufel Nahe Nabe in Richtung Hauptschaufel verschoben
- Schaufelwinkelverteilung mit geringerer und langsamerer Verzögerung nahe dem Gehäuse



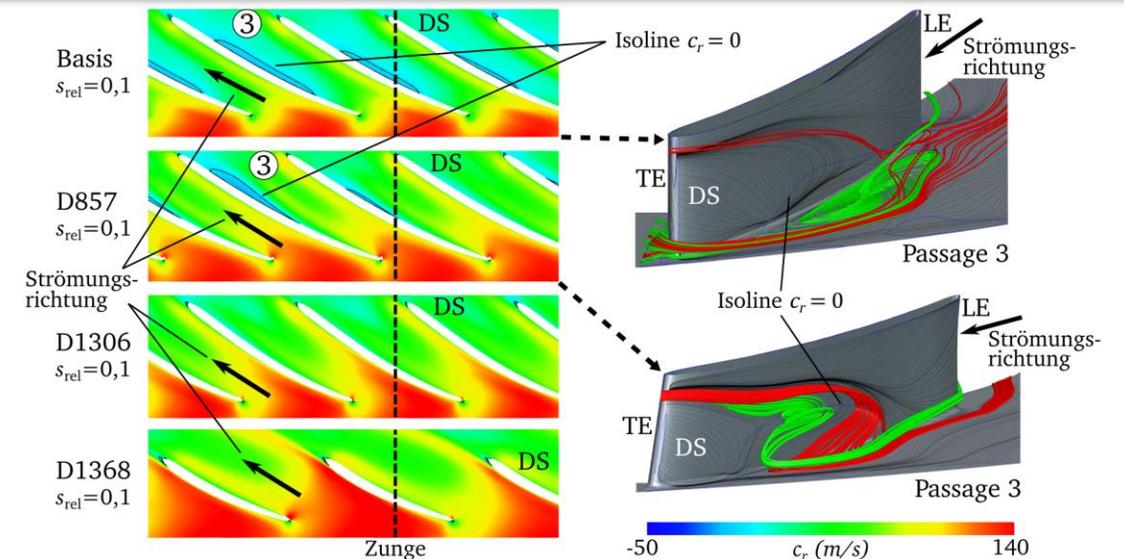
5 Betrachtung des Wirkungsgrads

Ursachen der Wirkungsgradsteigerung – Diffusor



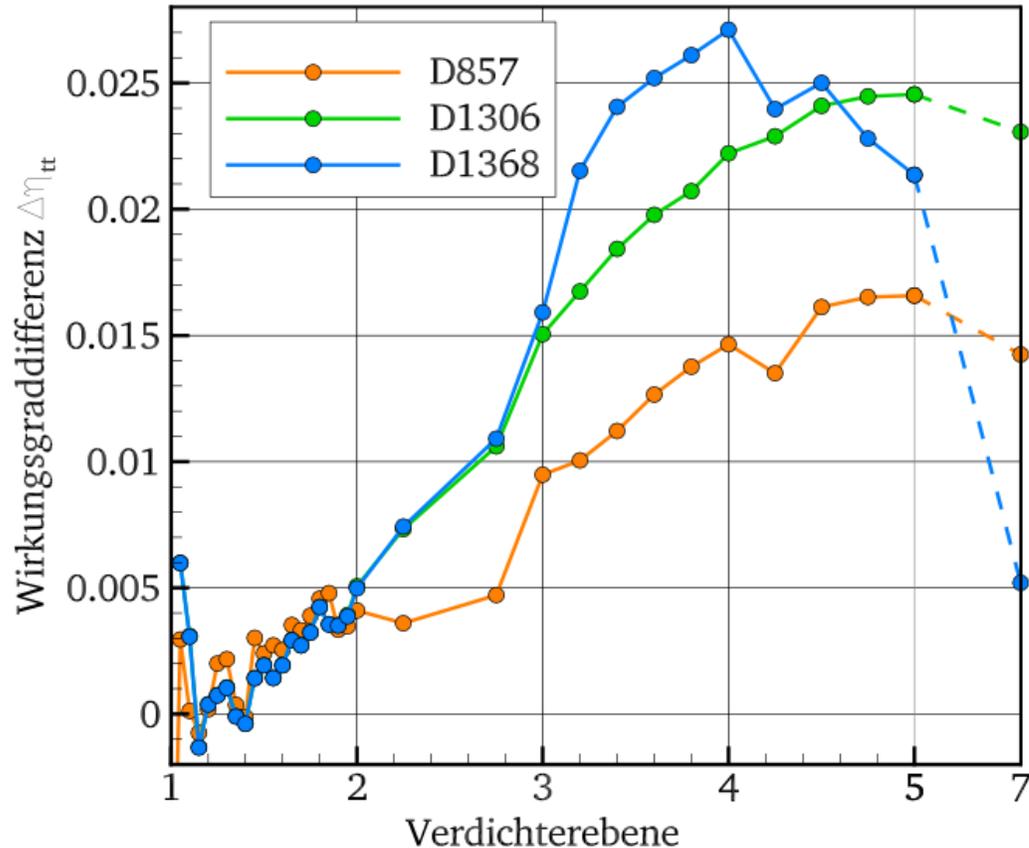
- Schaufelfreier Bereich (2 – 3):
Geringer statischer Druckaufbau bei großen Verlusten
- Schaufeln (3 – 4):
Großer statischer Druckaufbau bei moderaten Verlusten
- Schaufelfreier Bereich (4 – 5):
Lediglich D1306 weist in diesem Bereich größere Änderungen auf.

- Schaufelfreier Bereich (2 – 3):
Kürzere Lauflänge und geringere Diffusorbreite
- Schaufeln (3 – 4):
Große Umlenkung durch Schaufeln & Unterdrückung der Ablösung
- Schaufelfreier Bereich (4 – 5):
Low Solidity Design (D1368) führt zu weiterer Zunahme des Druckaufbaus und der Verluste

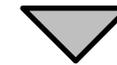


5 Betrachtung des Wirkungsgrads

Ursachen der Wirkungsgradsteigerung – Volute



- D857 & D1306: Geringer Einfluss auf Wirkungsgrad
- D1368: Geringer statischer Druckaufbau im Diffusor führt zu großem verlustbehaftetem statischen Druckaufbau in der Volute



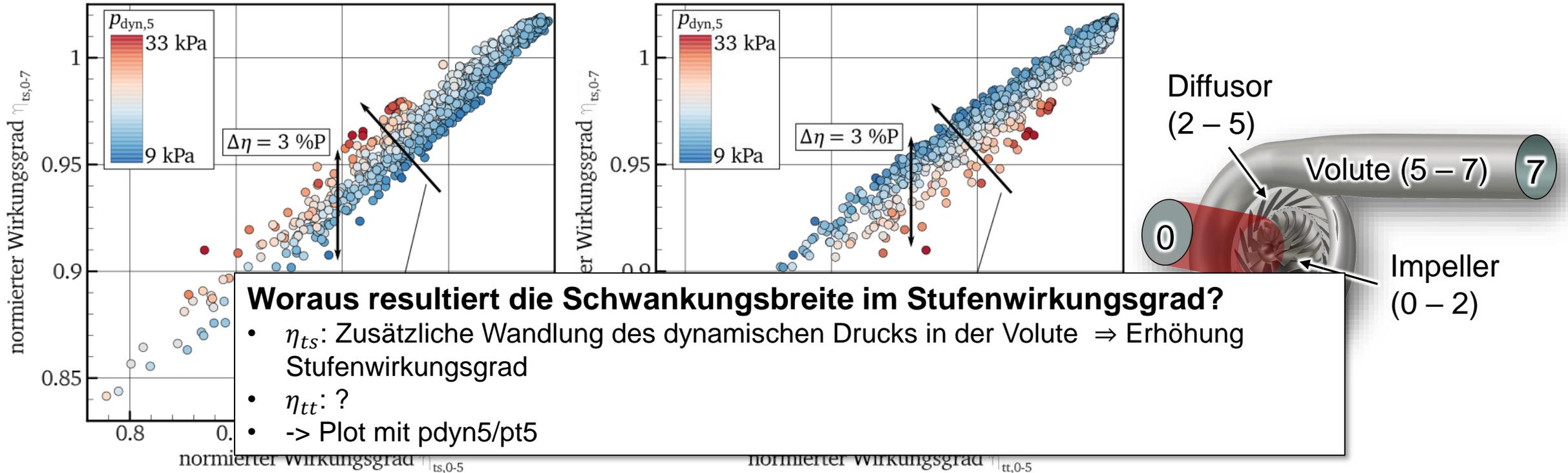
Fragestellung

- Ist die simultane Betrachtung der Volute in einer solchen Optimierung sinnvoll?
- Welche Definition des isentropen Wirkungsgrads (total-total oder total-statisch) sollte als Zielfunktion verwendet werden?

4 Ergebnisse

Motivation & Einleitung → Problemstellung & Zielsetzung → Methodik → **Ergebnisse** → Fazit & Ausblick

Wirkungsgradbetrachtung am Diffusoraustritt

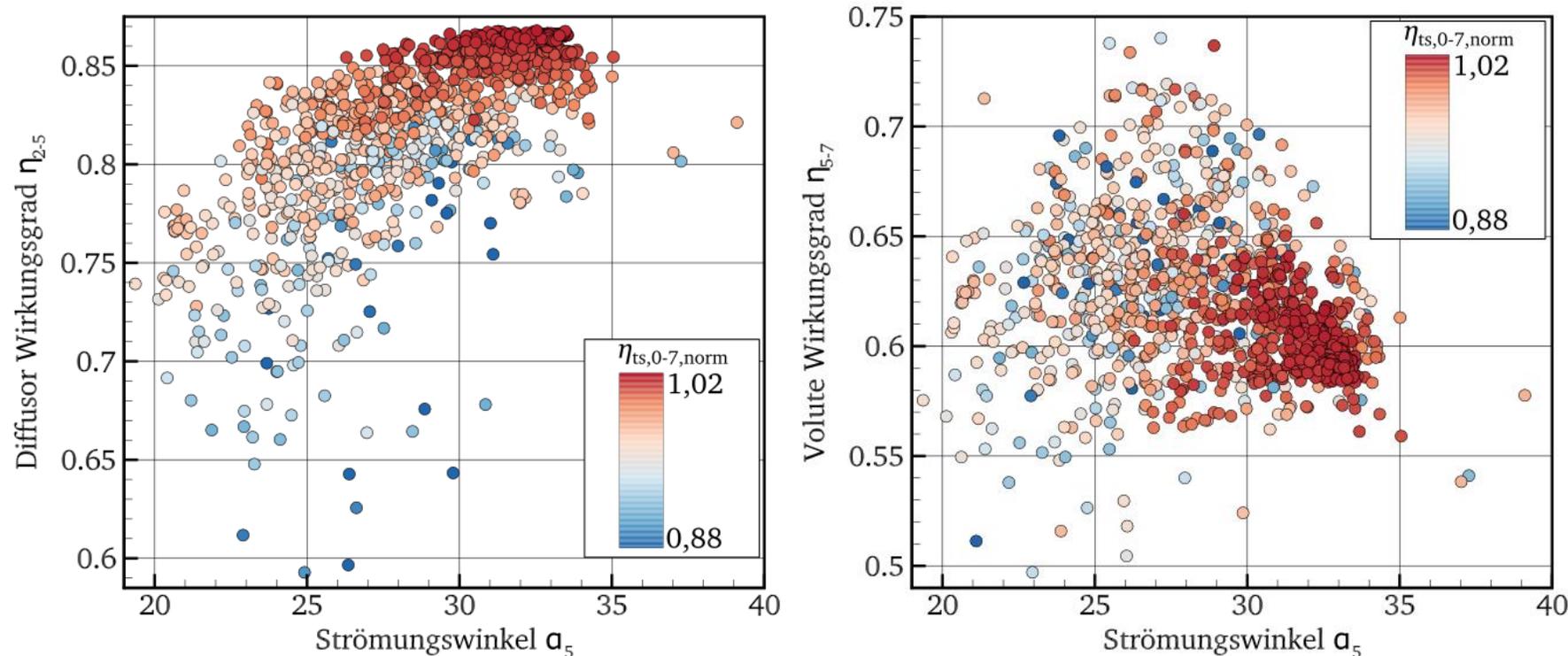


Alleinige Verwendung von $\eta_{ts,0-5}$ oder $\eta_{tt,0-5}$ als Zielfunktion ungeeignet!

4 Ergebnisse

Motivation & Einleitung → Problemstellung & Zielsetzung → Methodik → **Ergebnisse** → Fazit & Ausblick

Auswertung des Diffusor- und Volutenwirkungsgrads



Warum sind im Bereich maximaler Stufenwirkungsgrade lediglich moderate Volutenwirkungsgrade vorzufinden?

Optimaler Strömungswinkel α_5 unterschiedliche für Diffusor und Volute. Große α_5 führen zu schlechten Volutenwirkungsgraden.