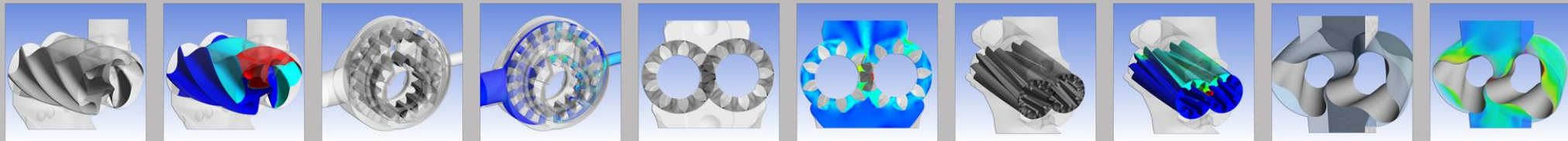
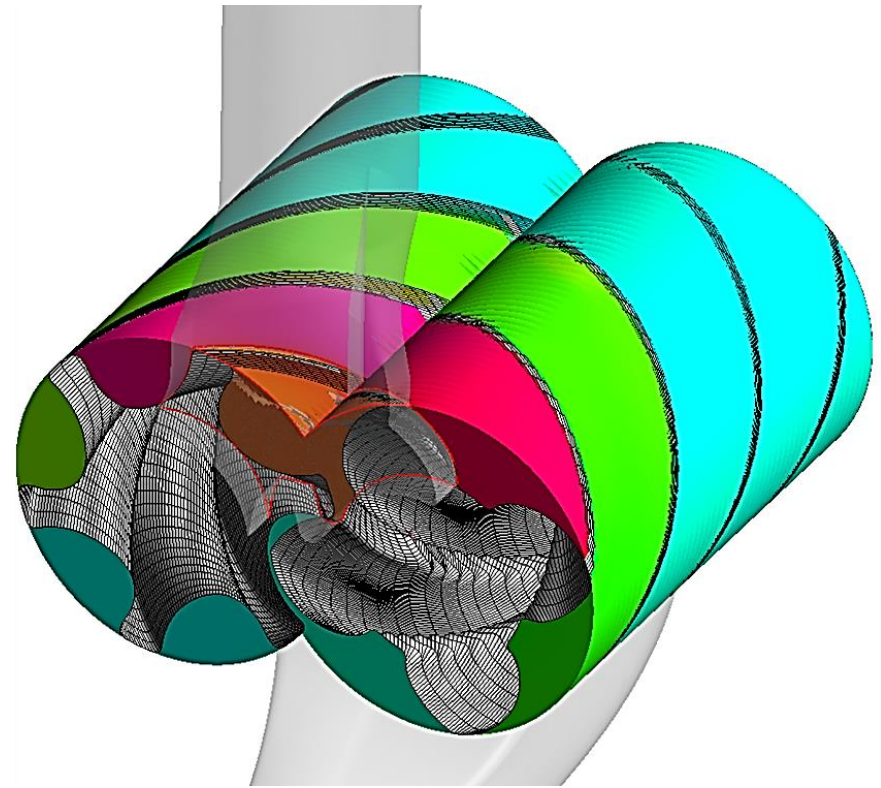


Konstruktion und numerische Berechnung eines trockenlaufenden Schraubenverdichters mit TwinMesh und ANSYS CFX

M.Sc. Ahmed El Shorbagy
Technische Universität Berlin

Dr. Andreas Spille-Kohoff
Dipl.-Ing. Jan Hesse
CFX Berlin Software GmbH



Masterarbeit bei der Firma CFX Berlin

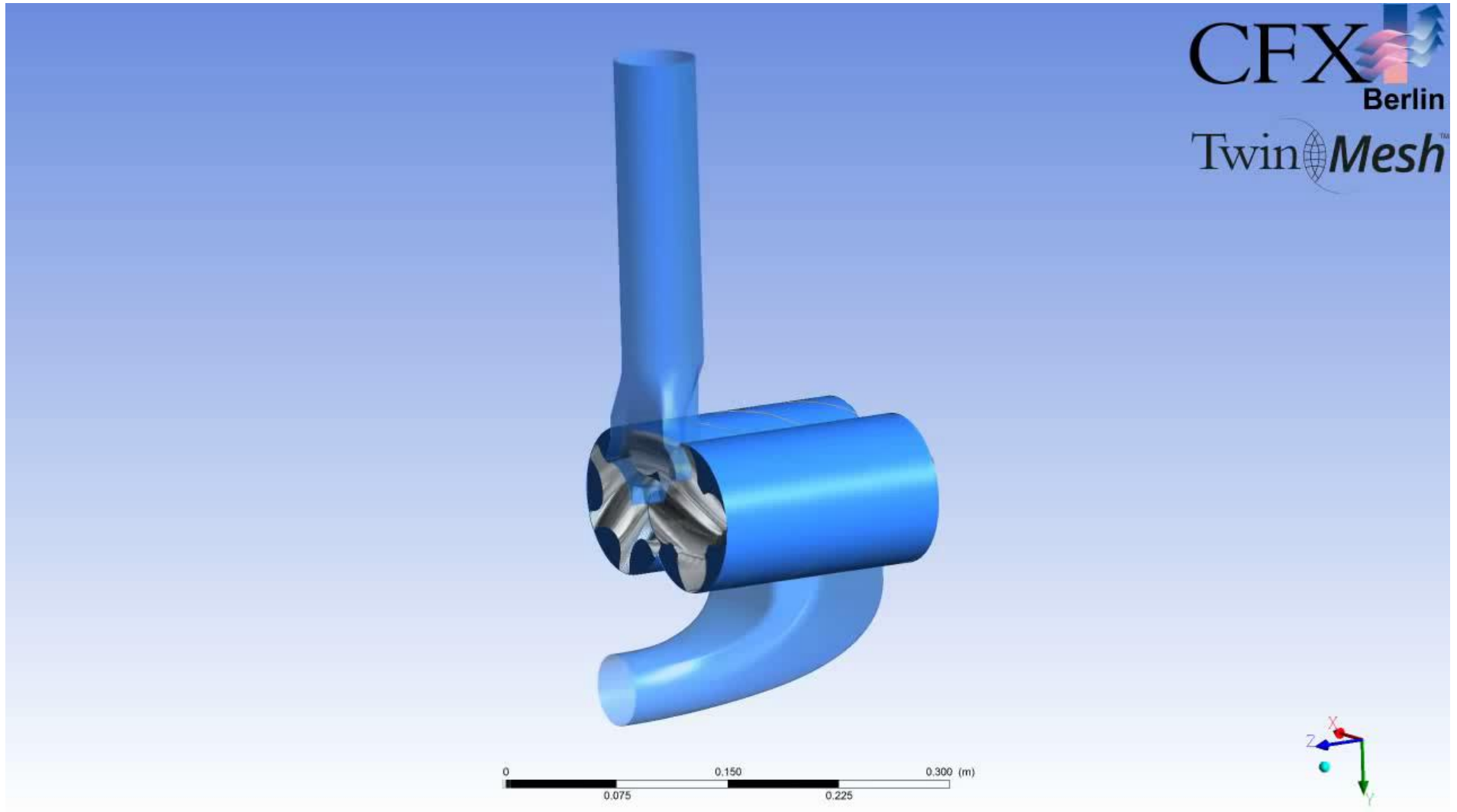
Ziel: Darstellung der Möglichkeiten zur Umsetzung der Simulationsaufgabe unter Verwendung von TwinMesh und ANSYS CFX

- Auslegung und Konstruktion eines trockenlaufenden Schraubenverdichters
- Durchführung numerischer Berechnung der Strömung in dem trockenlaufenden Schraubenverdichter
- Bewertung der Simulationsergebnisse
- Untersuchung des Steuerkanteneinflusses

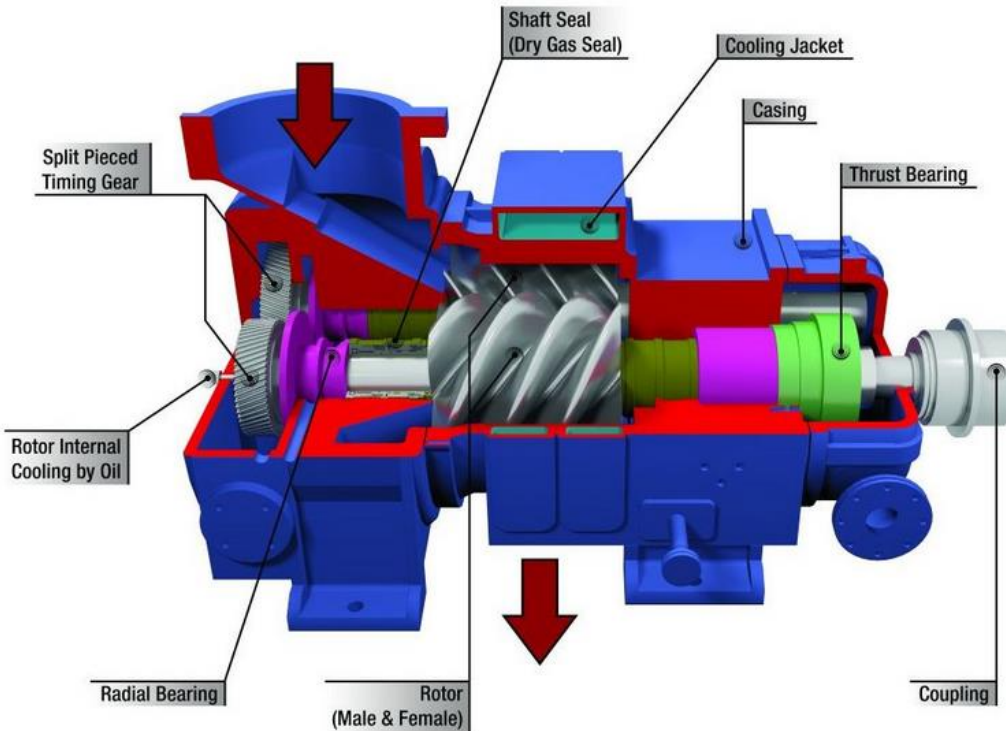
- Überblick
- Konstruktion
 - Rotorgeometrie
 - Gehäusegeometrie
- Numerische Simulation
 - Vernetzung
 - Randbedingungen
 - Lösereinstellungen
- Ergebnisse
- Untersuchung des Steuerkanteneinflusses

Überblick

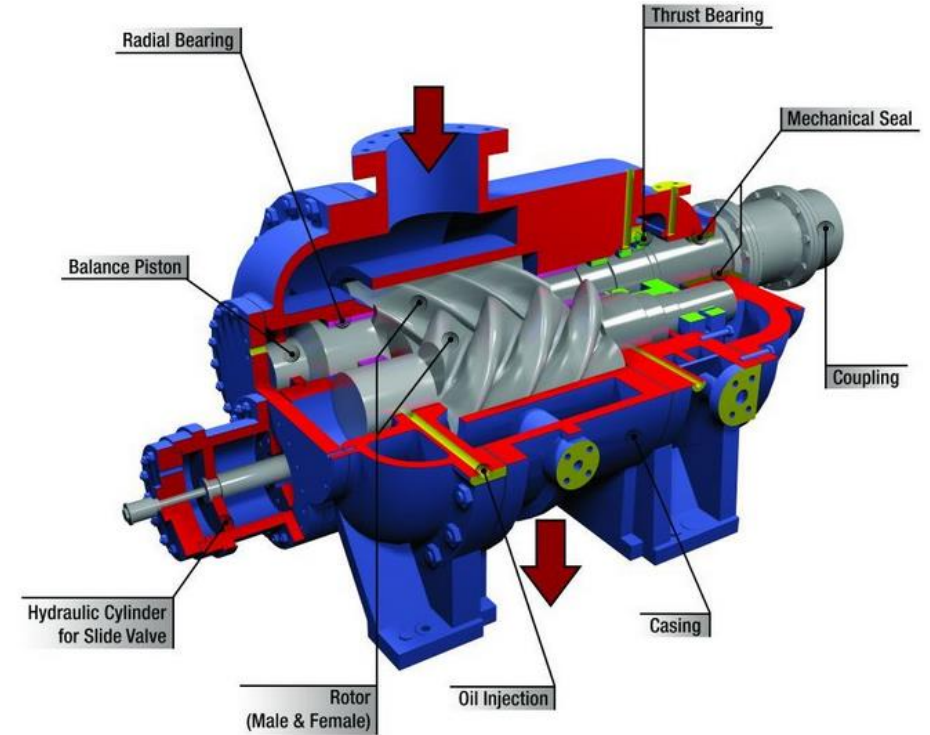
Schraubenverdichter [Allgemein]



Ölfrei (Trockenlaufend)



Öleingespritzt (Nasslaufend)



Quelle: http://kobelcocompressors.com/index.php/screw_compressors_design_and_construction/

Druckverhältnis zwischen 3 und 5

Druckverhältnis bis 16

Überblick

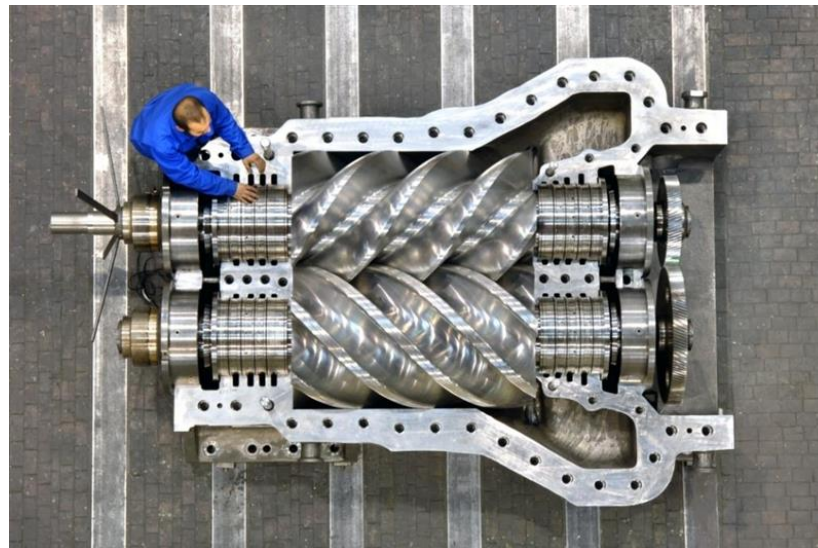
Schraubenverdichter [Baugröße]



<http://www.thehindubusinessline.com/2003/04/08/images/2003040802300201.jpg>



http://www.newtems.co.kr/products/img/img1_4.gif

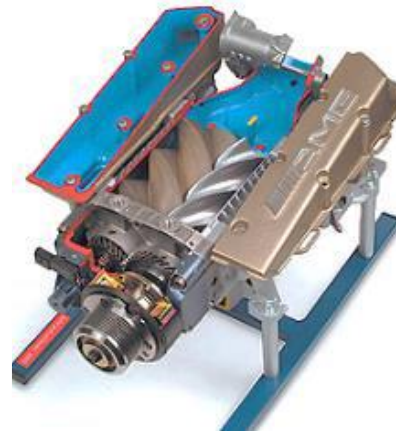


http://www.queenslandgasconference.com.au/_novaimages/223924?v=63478214953060000

- Textilindustrie, Chemieindustrie, Lebensmittelindustrie Pharmazeutische Industrie: Zur Bereitstellung von ölfreien Prozessgase
- Stahl- und Ölindustrie: zur Bereitstellung von Druckluft für pneumatische Systeme
- Kälte- und Klimatechnik: Zur Komprimierung des Kühlgases
- Automobilindustrie: Zur Aufladung von Verbrennungsmotoren



http://202.67.224.132/pdimage/40/3750640_fotorentaljackhammer.jpg



<http://www.technolab.org/img/products/hako/Hako1298.jpg>

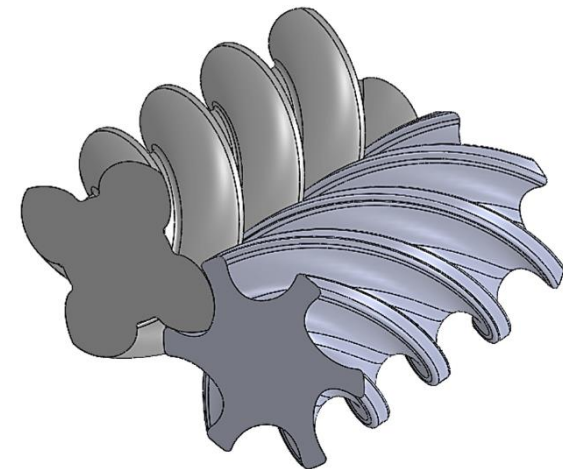


http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/7/73/1968_AMX_blown_and_tubbed_e.jpg

- Auswahl eines Betriebspunktes

Betriebspunkt		
Eintrittsdruck	p_1	1 bar
Austrittsdruck	p_2	3 bar
Druckverhältnis	π	3
Eintrittstemperatur	T_1	25° C
Geschätzter volumetrischer Wirkungsgrad	λ_v	0,9
Stoffwert (Ideales Gas)		
Isentropenexponent	κ	1.4
Spezifische Gaskonstante	R	287 J kg/K

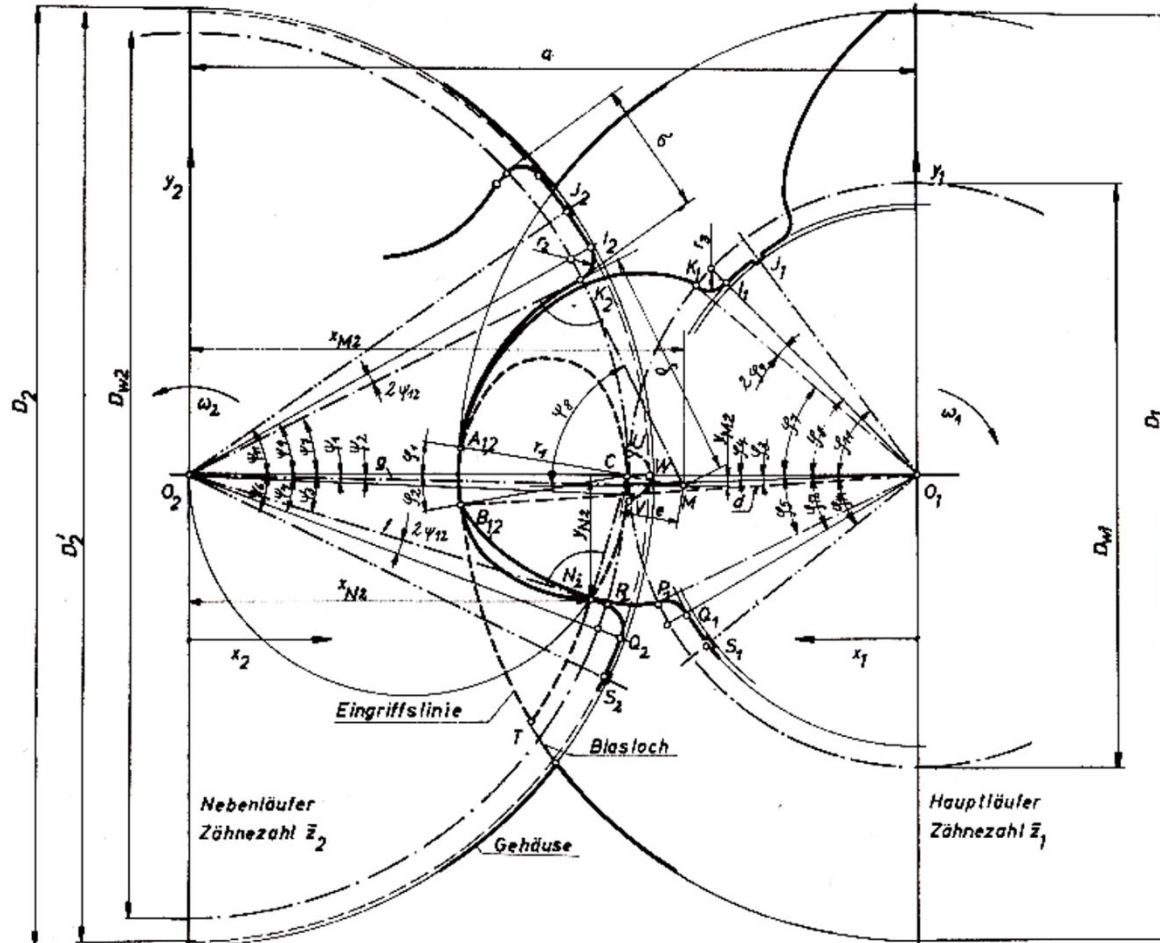
- Auswahl des Rotorprofils
 - SRM asymmetrische Rotoren
 - Zähnezahl-Kombination 4+6
 - Analytisch bestimmbar
 - Berechnung der Rotoren erfolgte nach Laurenz Rinder



- Technische Daten der Rotoren

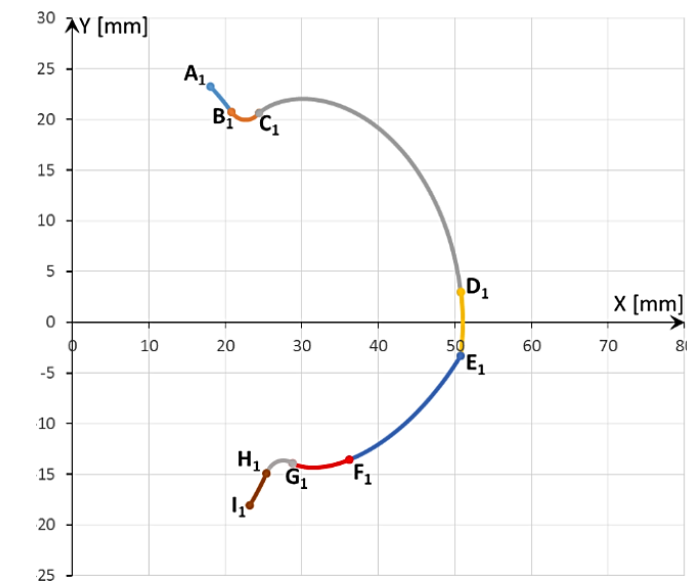
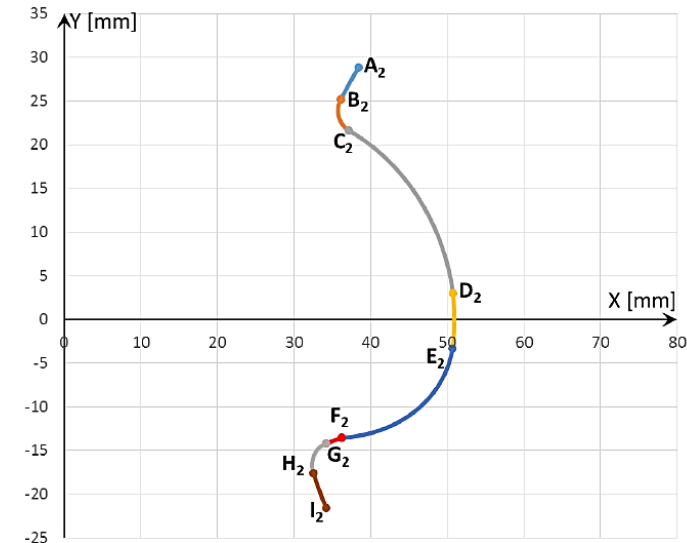
SRM-Rotordaten			
Bezeichnung	Einheit	Hauptrotor	Nebenrotor
Zähnezahl	-	4	6
Kopfkreisdurchmesser	mm	102,00	101,20
Fußkreisdurchmesser	mm	58,80	58,00
Wälzkreisdurchmesser	mm	64,00	96,00
Rotordrehzahl	1/min	12333	8222
Umschlingungswinkel	°	300	200
Längen-Durchmesser-Verhältnis	-	1,65	-
Rotorlänge	mm	168,30	
Gehäusespalt	mm	0,05	
Profileingriffsspalt	mm	0,10	
Achsabstand	mm	80,00	
Druckverhältnis	-	3,0	

- Berechnung der Rotorprofilkoordinaten für eine Verzahnung nach L. Rinder

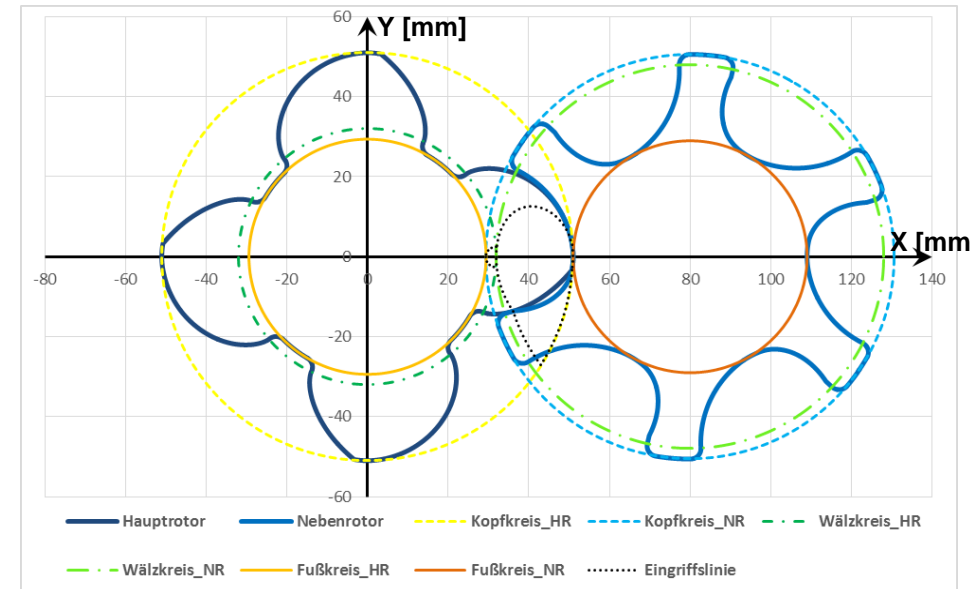


Quelle: L. Rinder, Schraubenverdichter, 1979

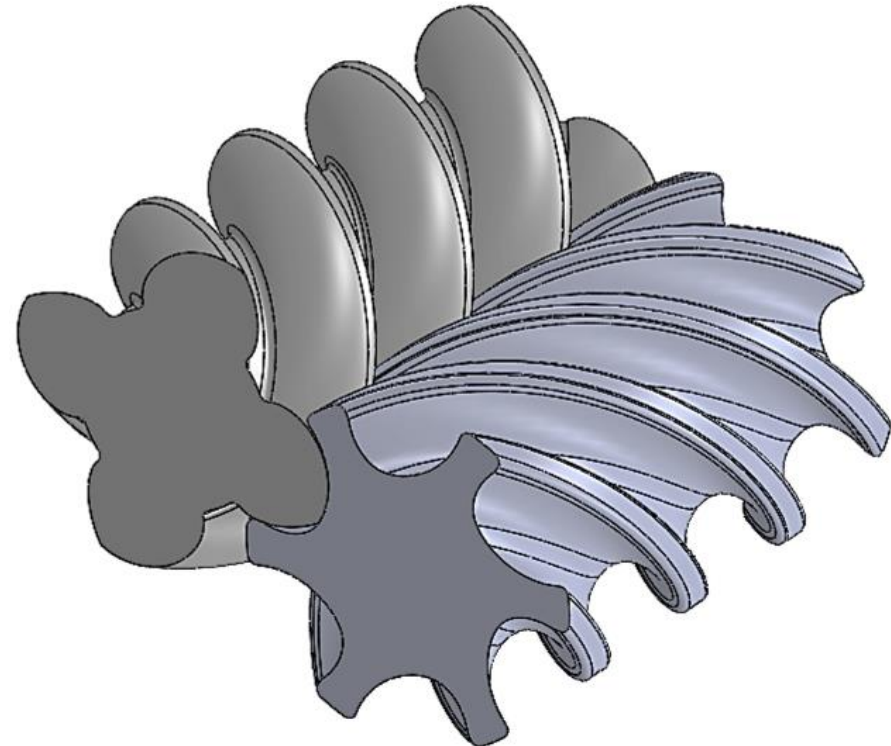
- Erstellung der Rotorprofile für eine einzige Verzahnung in Nullstellung (2D)
 - Eingabe der Gleichungen in Excel
- Erstellung der kompletten Rotorprofile durch Drehoperationen in Nullstellung (2D)
 - Drehoperationen um den jeweiligen Rotormittelpunkt des Haupt- und Nebenrotors
- Export der Rotorkoordinaten und Erstellung eines Flächenkörpers der Rotoren (3D)
 - Übernahme der Koordinaten der einzelnen Segmente in CAD



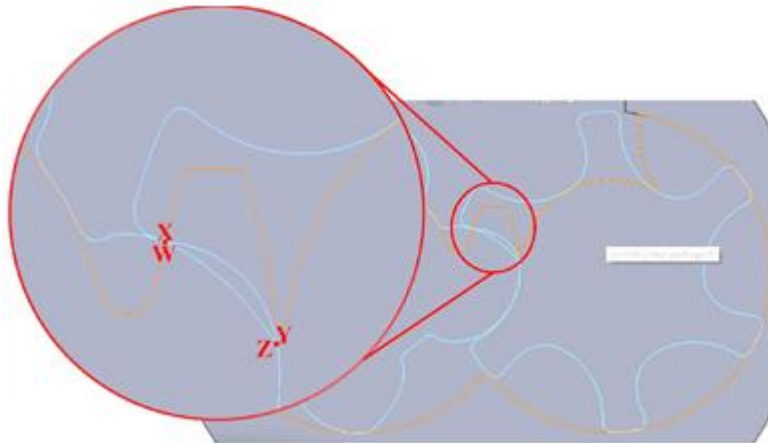
- Erstellung der Rotorprofile für eine einzige Verzahnung in Nullstellung (2D)
 - Eingabe der Gleichungen in Excel
- Erstellung der kompletten Rotorprofile durch Drehoperationen in Nullstellung (2D)
 - Drehoperationen um den jeweiligen Rotormittelpunkt des Haupt- und Nebenrotors
- Export der Rotorkoordinaten und Erstellung eines Flächenkörpers der Rotoren (3D)
 - Übernahme der Koordinaten der einzelnen Segmente in CAD



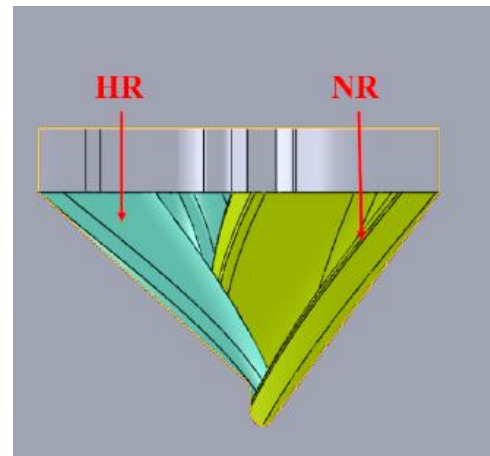
- Erstellung der Rotorprofile für eine einzige Verzahnung in Nullstellung (2D)
 - Eingabe der Gleichungen in Excel
- Erstellung der kompletten Rotorprofile durch Drehoperationen in Nullstellung (2D)
 - Drehoperationen um den jeweiligen Rotormittelpunkt des Haupt- und Nebenrotors
- Export der Rotorkoordinaten und Erstellung eines Flächenkörpers der Rotoren (3D)
 - Übernahme der Koordinaten der einzelnen Segmente in CAD



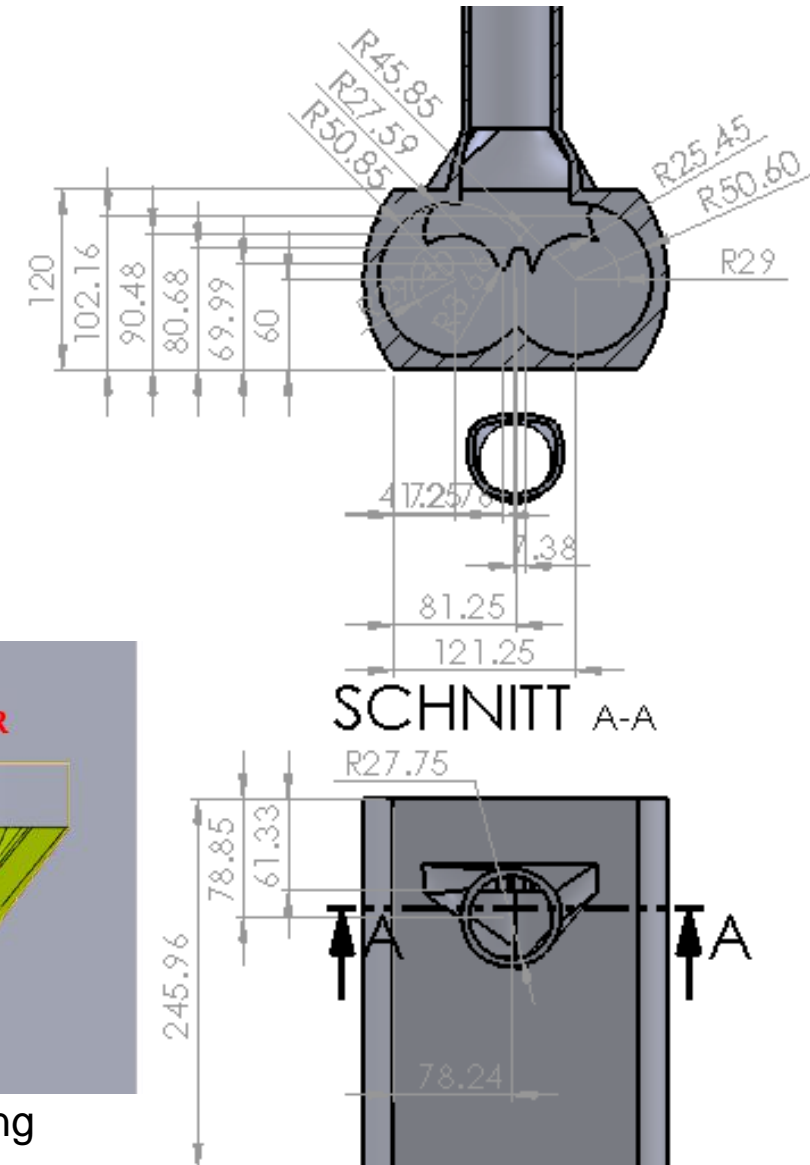
- Druckseite für Druckverhältnis von 3
 - Komplexe Konstruktion mit Steuerkanten
 - Die Druckseite besteht aus einer radialen und einer axialen Öffnung
 - Die Berechnung beider Öffnungen erfolgte mit Hilfe der Volumenkurve eines Zahnpaars
 - Das eingebaute Volumenverhältnis beträgt 2,2 bei einem Steuerkantenwinkel (bezogen auf den Hauptrotor) von -192°

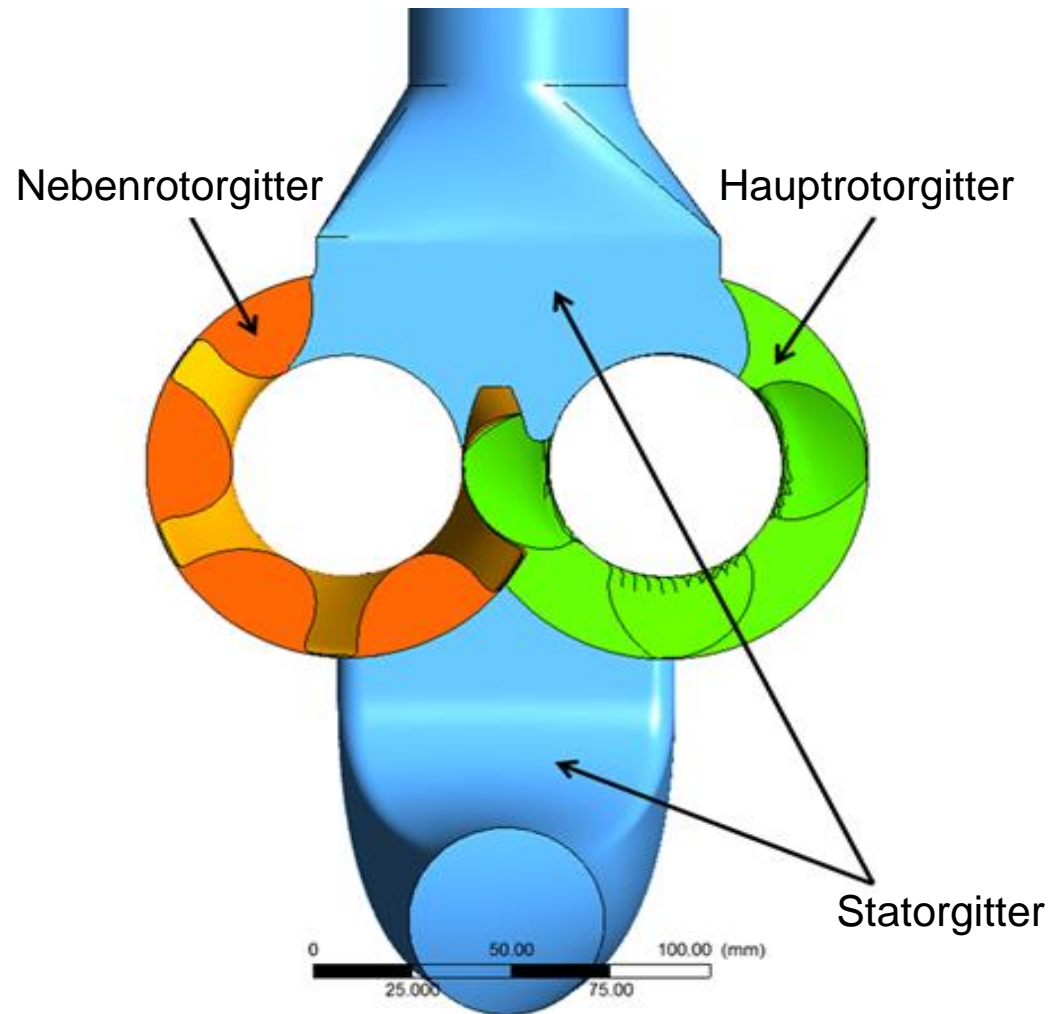


Axiale Öffnung




Radiale Öffnung



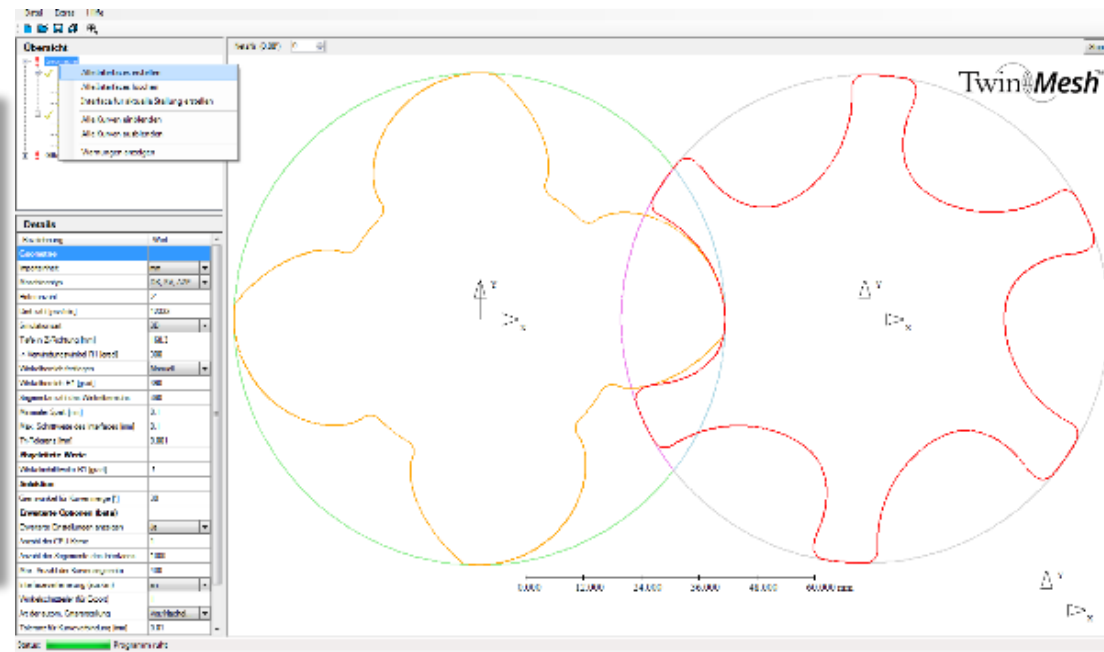


Vorgehensweise

CAD




1. Geometrie importieren
2. Randbedingungen
3. Interfaces erzeugen
4. Gittereigenschaften
5. Gitter erzeugen
6. Gitterqualität prüfen
7. Gitter exportieren

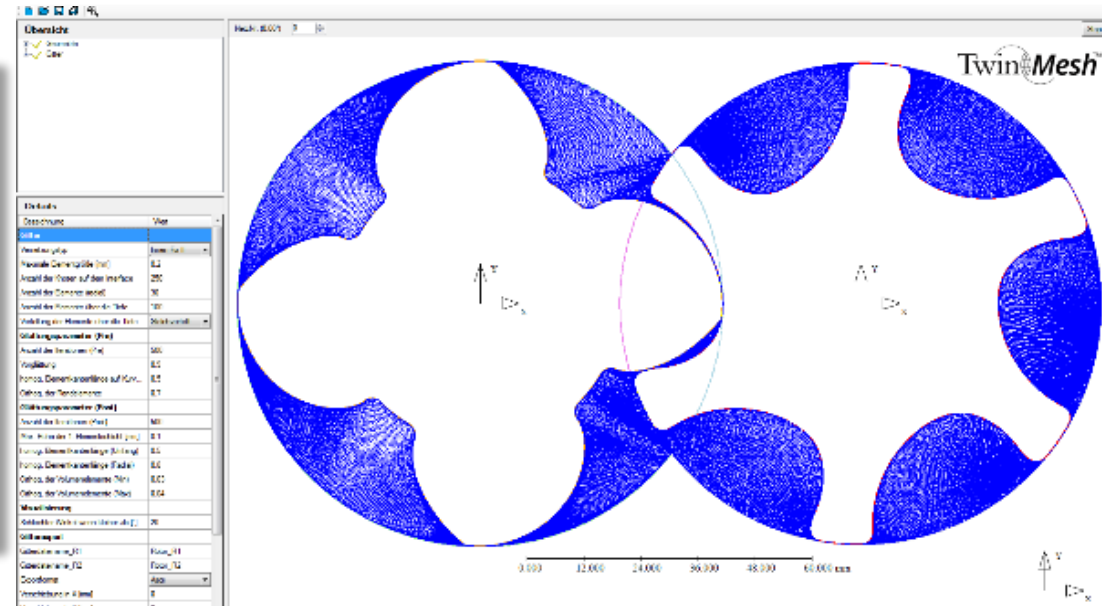


Vorgehensweise

CAD



1. Geometrie importieren
2. Randbedingungen
3. Interfaces erzeugen
4. Gittereigenschaften
5. Gitter erzeugen
6. Gitterqualität prüfen
7. Gitter exportieren

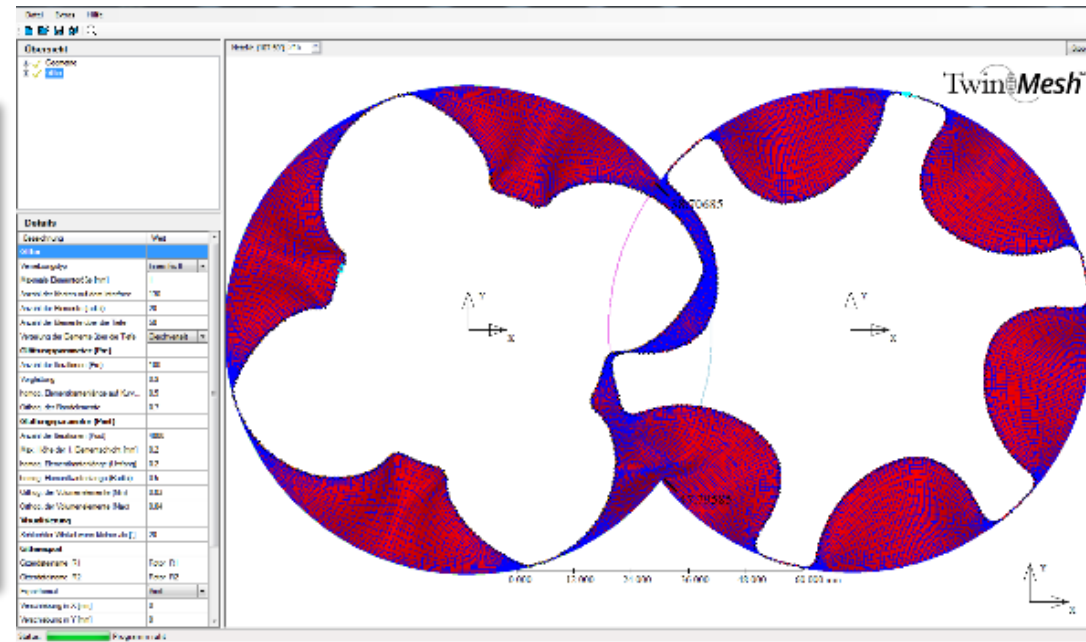


Vorgehensweise

CAD



1. Geometrie importieren
2. Randbedingungen
3. Interfaces erzeugen
4. Gittereigenschaften
5. Gitter erzeugen
6. Gitterqualität prüfen
7. Gitter exportieren



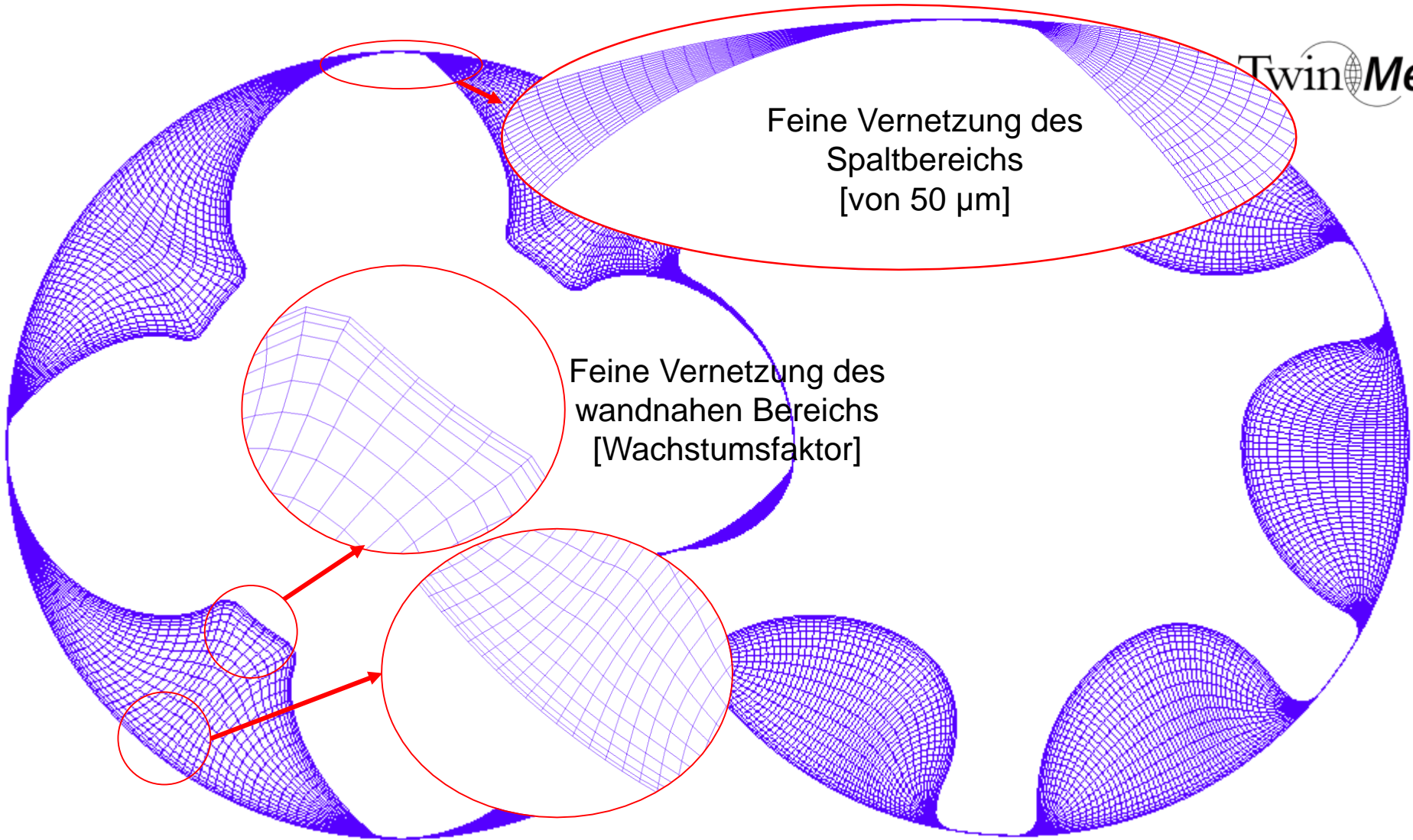
Vernetzung

Vernetzung der Rotoren mit TwinMesh

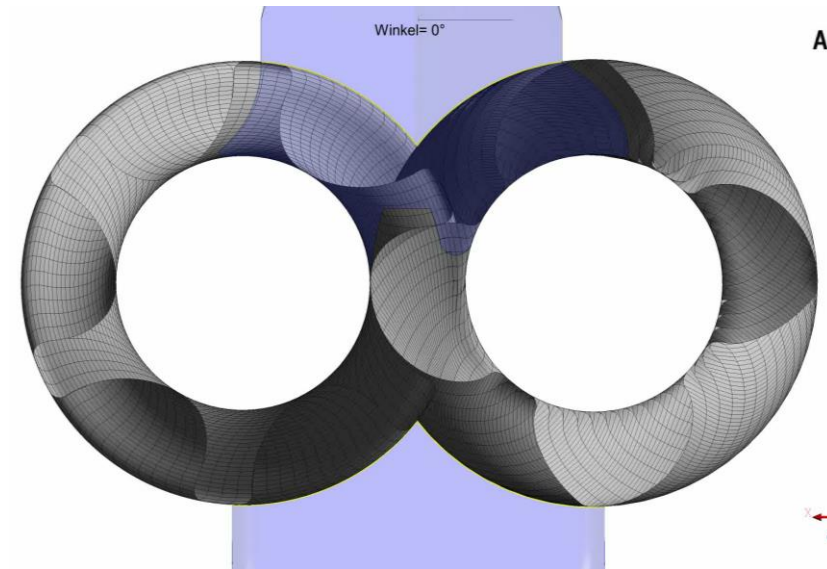
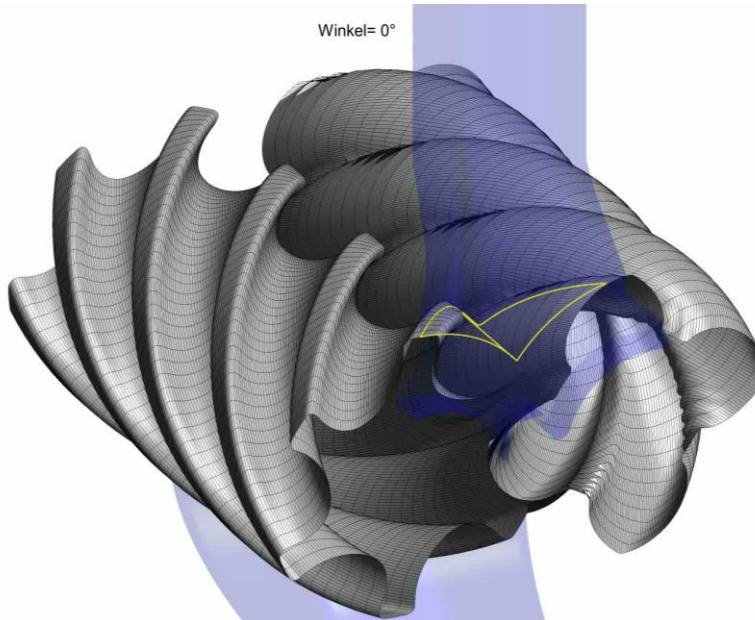
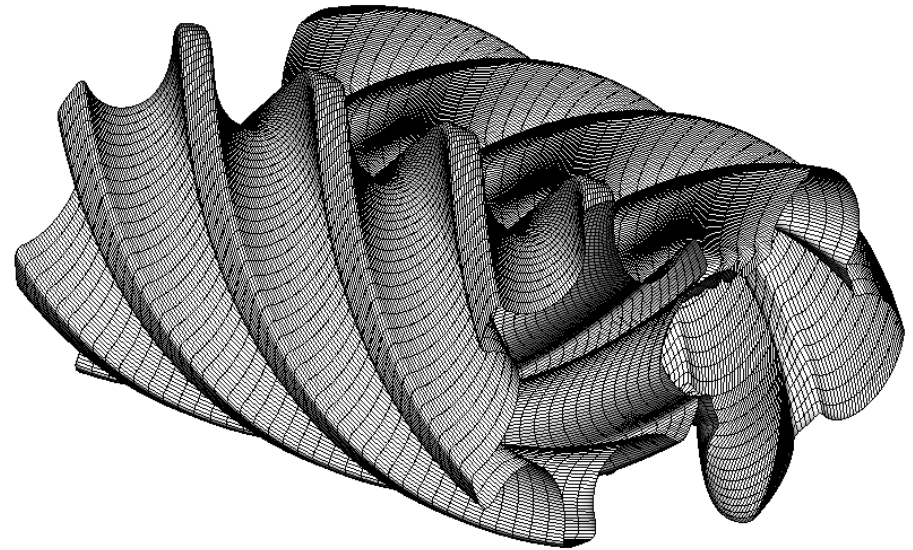
 TwinMesh™

Feine Vernetzung des
Spaltbereichs
[von 50 μm]

Feine Vernetzung des
wandnahen Bereichs
[Wachstumsfaktor]



- Elementstatistik
 - Strukturierte Vernetzung mit TwinMesh
 - Rotorgitter aus Hexaedern
 - Elementanzahl: 746.000



ANSYS
R15.0



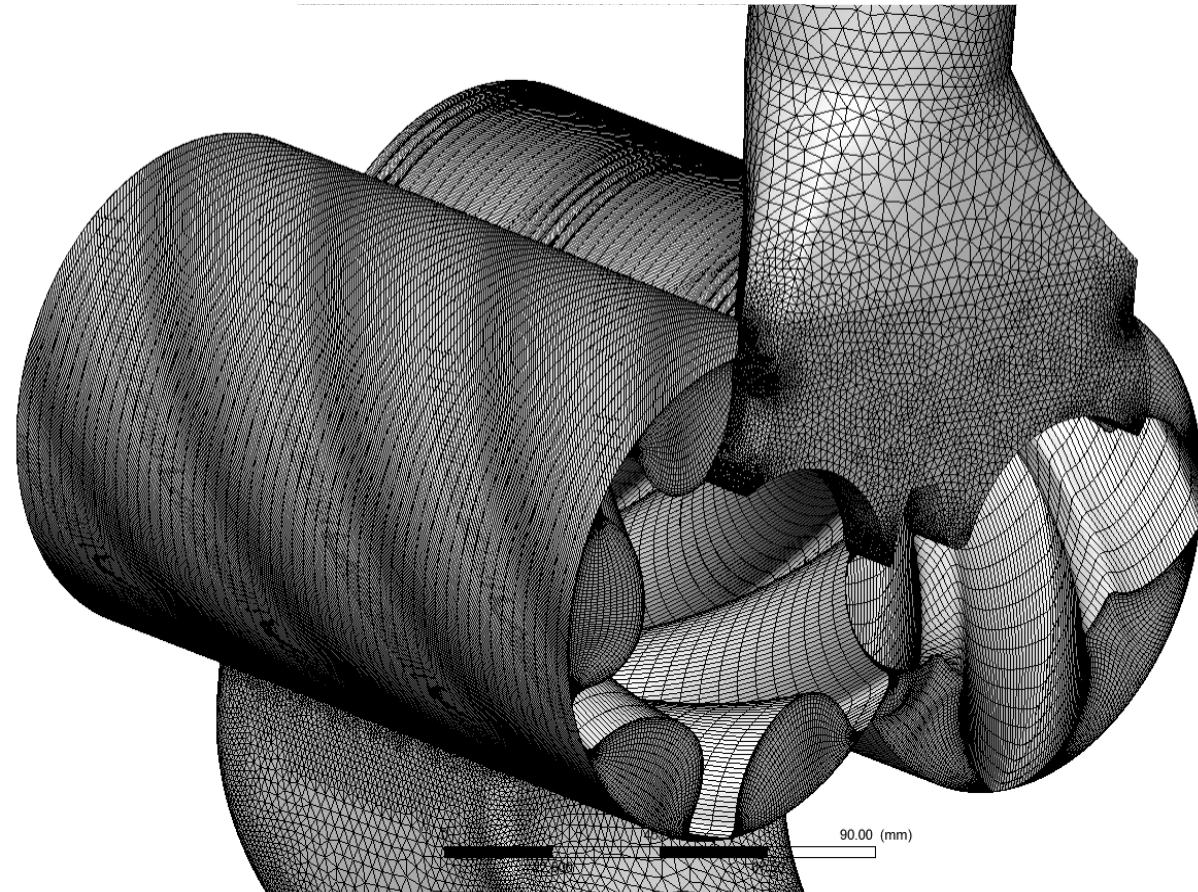
- Automatische Erstellung des Statorgitters mit ANSYS Meshing
 - Unstrukturiertes Gitter aus Tetraedern
 - Elementanzahl: 4.293.681



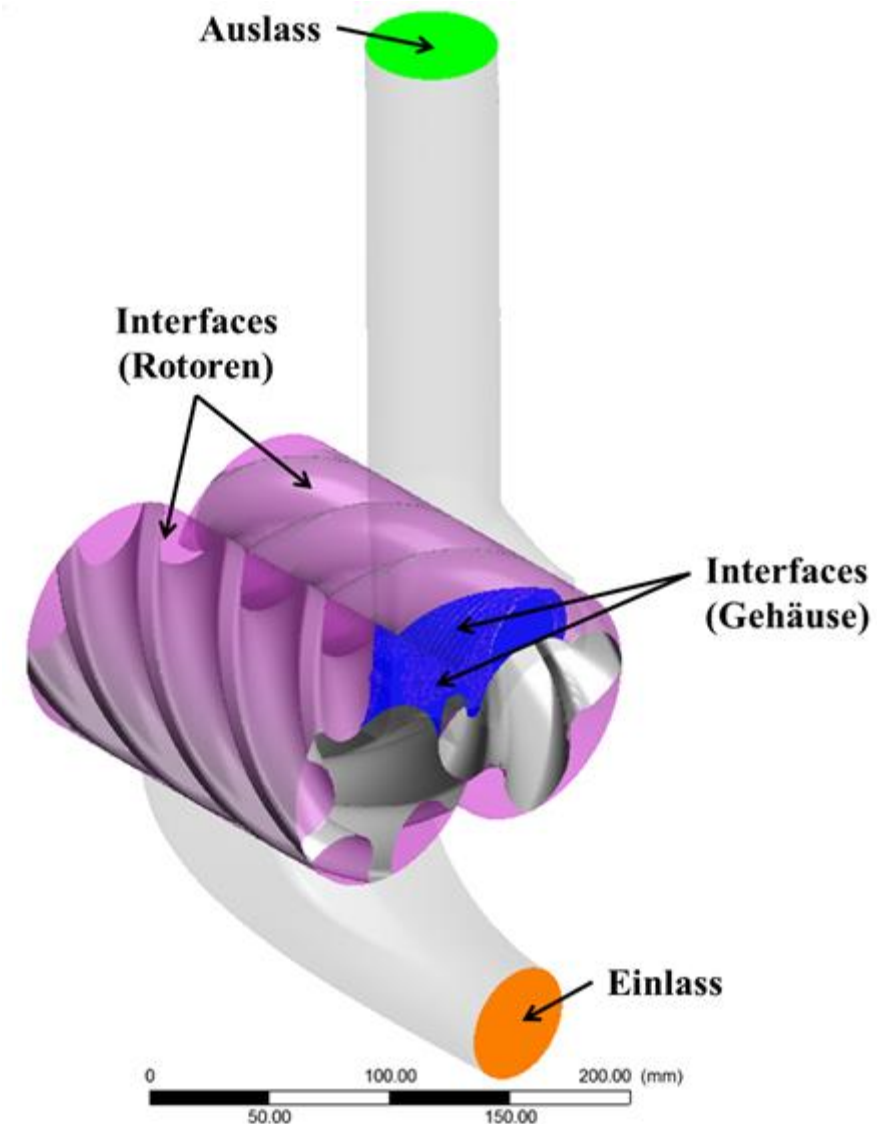
Feine Vernetzung der
Interface-Bereiche

- Elementstatistik des gesamten Strömungsvolumens

- Statorgitter
 - 4.293.681 Tetraeder
 - 779.919 Knoten
- Hauptrotorgitter
 - 335.000 Hexaeder
 - 358.785. Knoten
- Nebenrotorgitter
 - 411.000. Hexaeder
 - 440.181 Knoten
- Gesamtberechnungsmodel
 - ~ 5,0 Mio. Elemente
 - ~ 1,6 Mio. Knoten

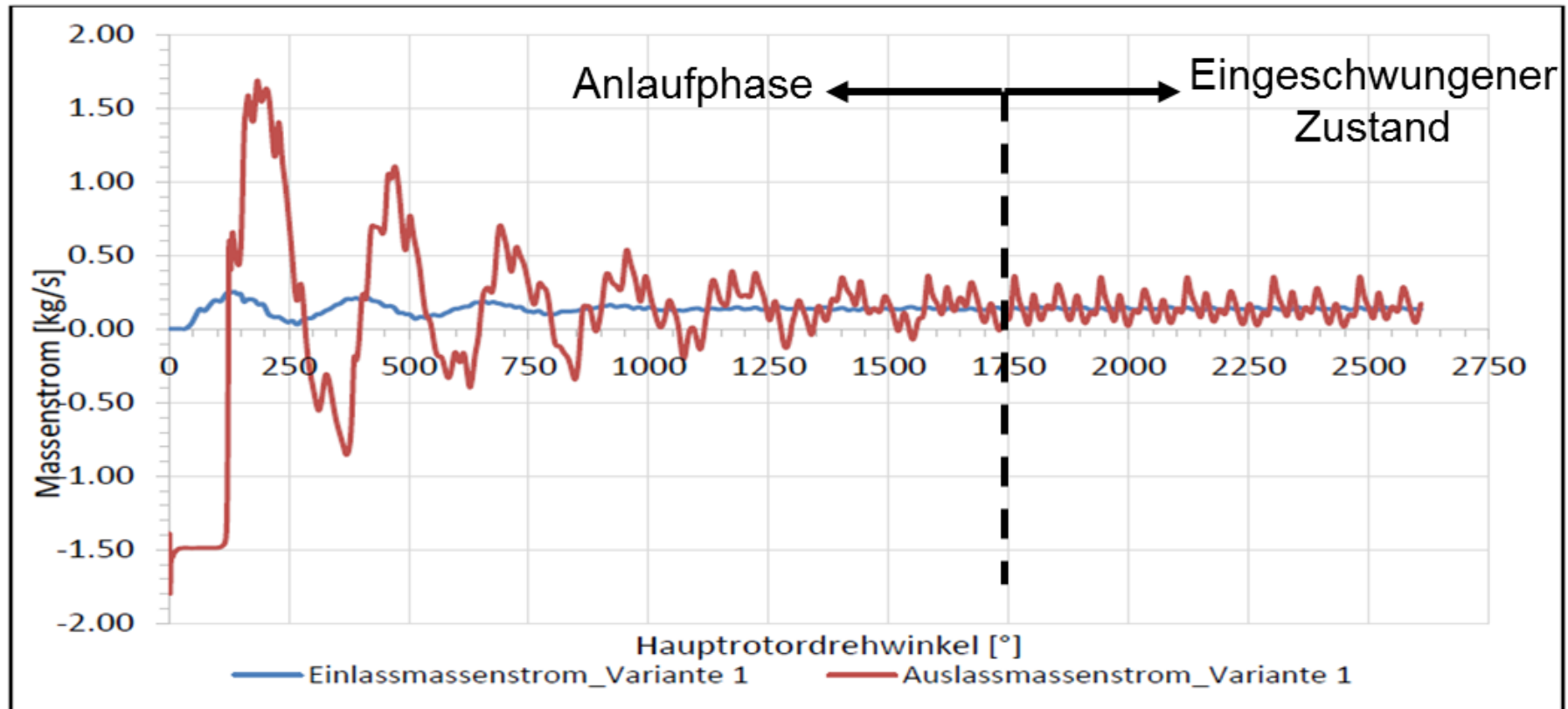


- Einlass
 - Absolutdruck = 1 bar
 - Temperatur = 25°C
 - Luft als Idealgas
- Auslass
 - Absolutdruck = 3 bar
- Interface
 - Interface zwischen Rotorgitter und Gehäuse (GGI)
- Wände
 - Reibungsbehaftet, adiabat
- Rotoren
 - Drehzahl (Haupt) = 12333 rev/min
 - Drehzahl (Neben) = 8222 rev/min
 - Gitterschrittweite = 1°

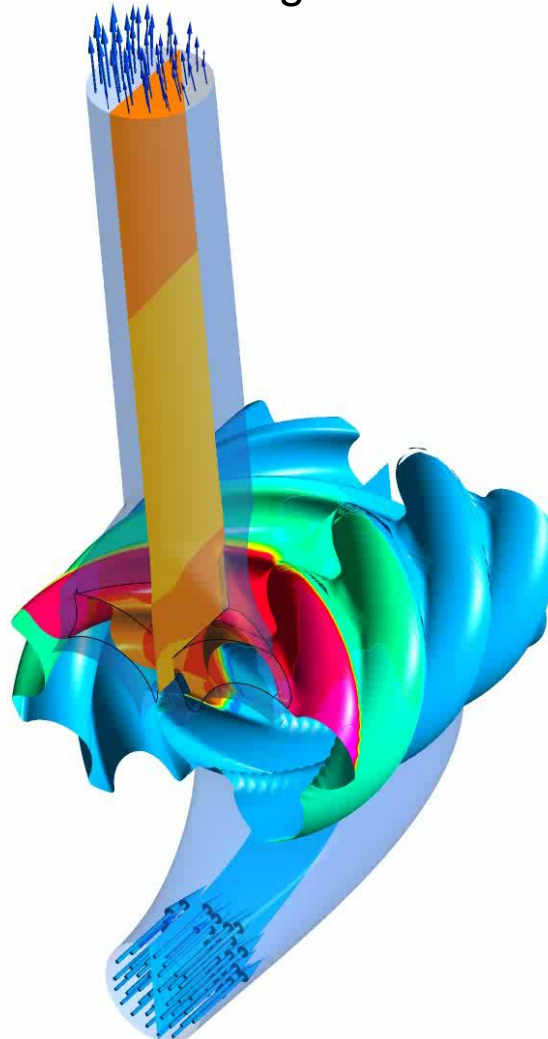
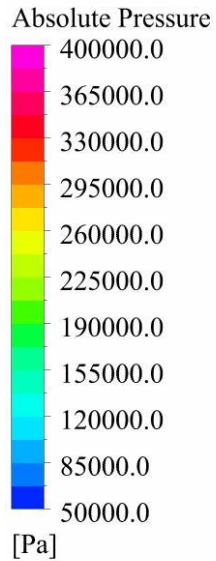


Bezeichnung	Einstellung
Analysis Type	Transient Number of Timesteps per Run: 90 Timesteps (Zeitschritt): $\frac{\text{Winkelschritt}}{\text{Hauptrotordrehgeschwindigkeit}} = 1,35 \cdot 10^{-5} \text{ s}$
Advection Scheme	High Resolution
Transient Scheme	Second Order Backward Euler
Turbulence Numerics	First Order
Convergence Control	Min. Coefficient Loops: 3 Max. Coefficient Loops: 15
Convergence Criteria	Residual Type: Max. Residual Target: 10^{-3}
Heat Transfer	Total Energy Including Viscous Work Term
Turbulence	Shear Stress Transport

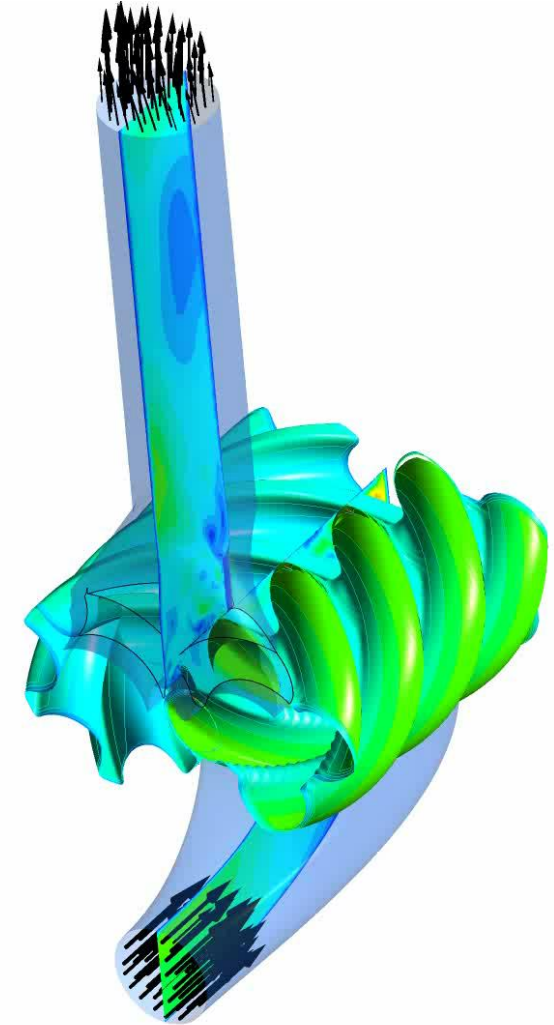
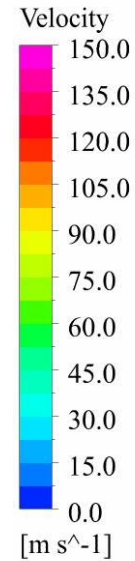
- Die Simulation startet bei einer Hauptrotordrehzahl 12333 U/min
 - Nach fünf Umdrehungen stellt einen eingeschwungenen Zustand ein.
 - Nur dieser wird im Folgenden ausgewertet



- Druck und Geschwindigkeitsverteilung

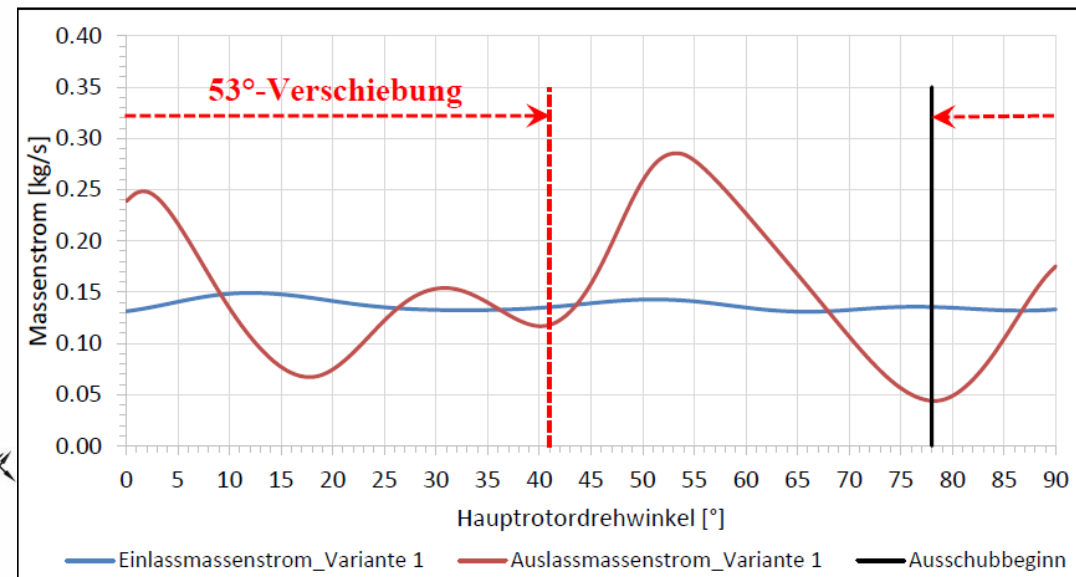
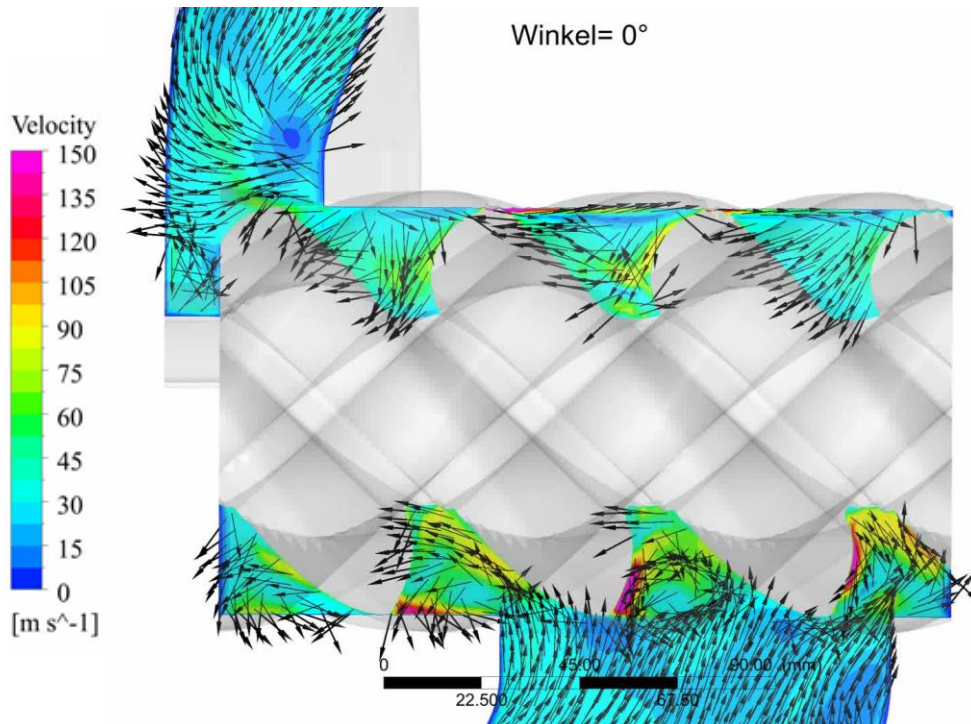
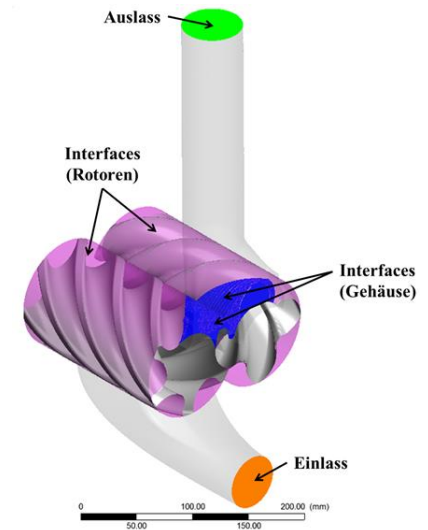


Winkel = 0°

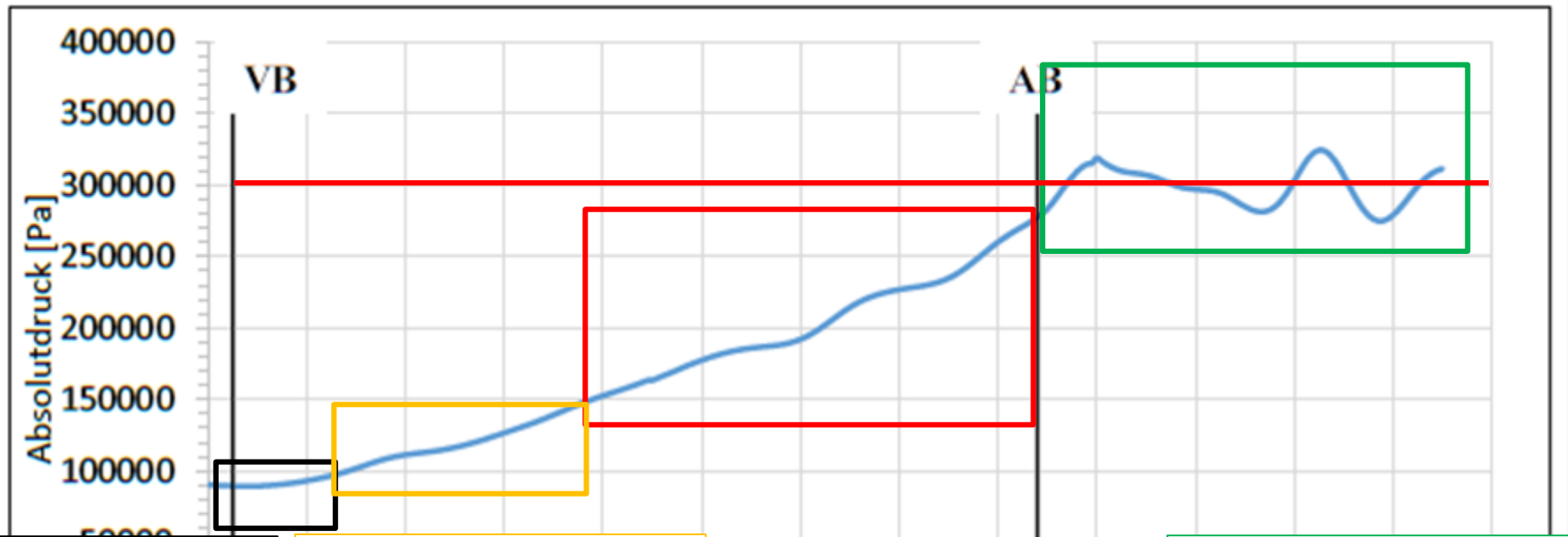


Winkel = 0°

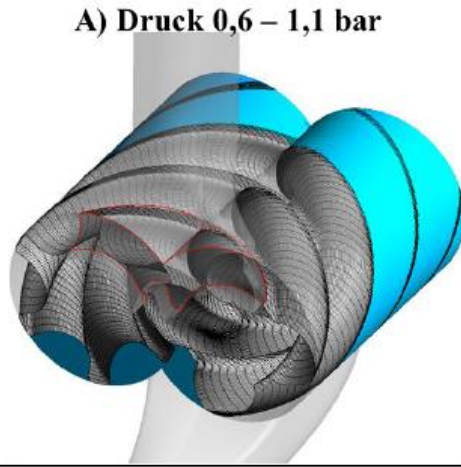
- Massenstrom
 - Idealer Massenstrom = 0,20 kg/s
 - Mittlerer Massenstrom (Simulation) = 0,144 kg/s
 - Die ausgestoßene Masse bewegt sich mit Schallgeschwindigkeit zum Auslass (Verschiebung)



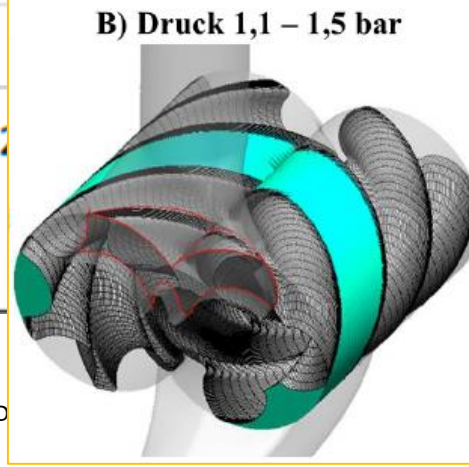
- Kammerdruck-Diagramm: Unterkompression



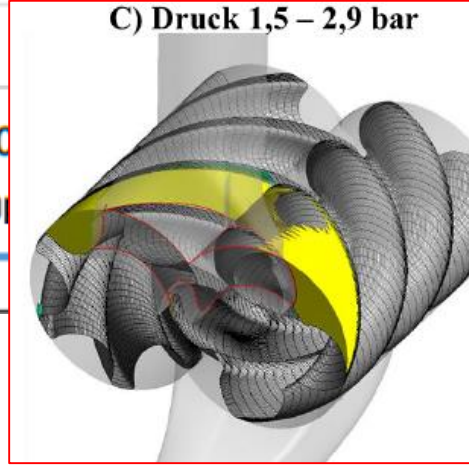
A) Druck 0,6 – 1,1 bar



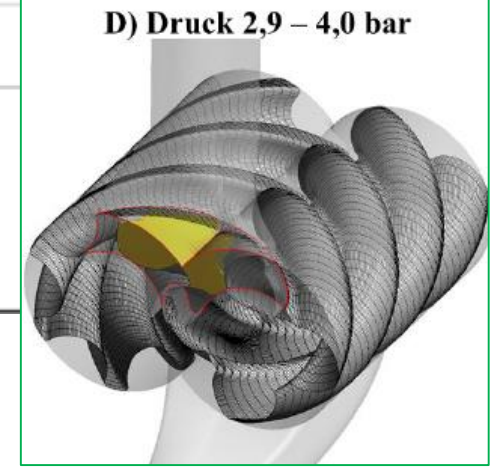
B) Druck 1,1 – 1,5 bar



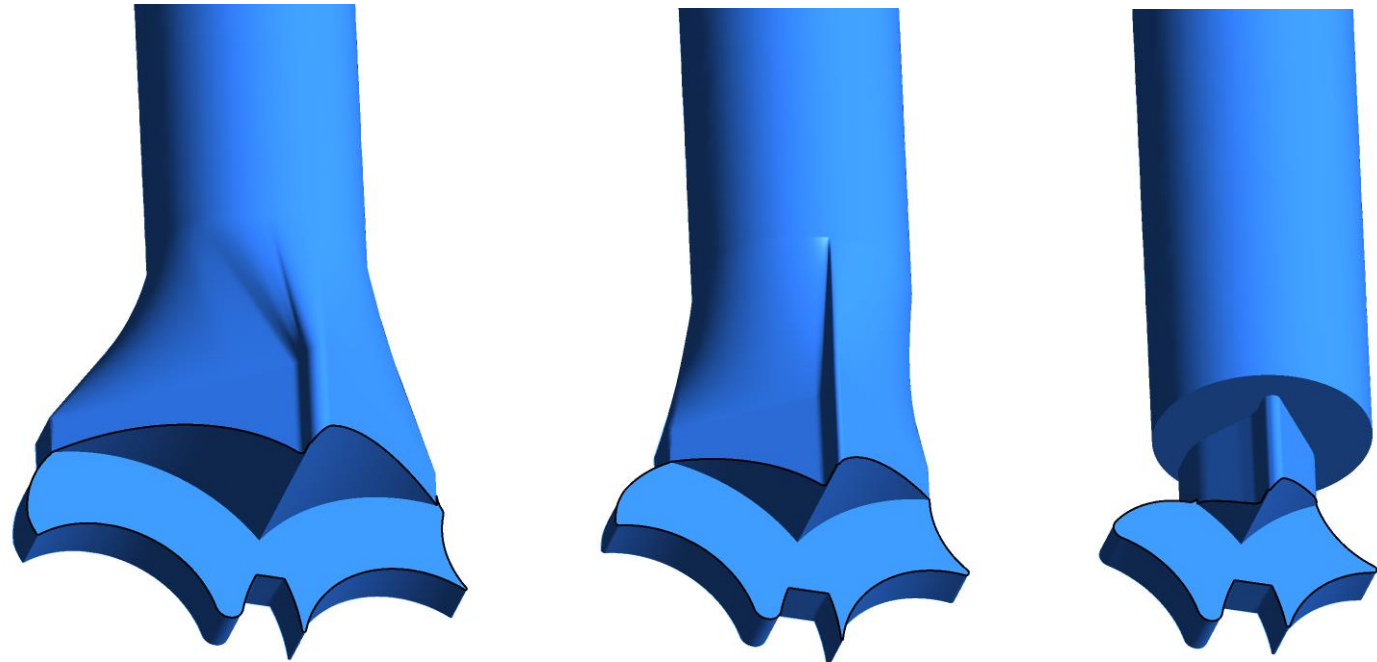
C) Druck 1,5 – 2,9 bar



D) Druck 2,9 – 4,0 bar

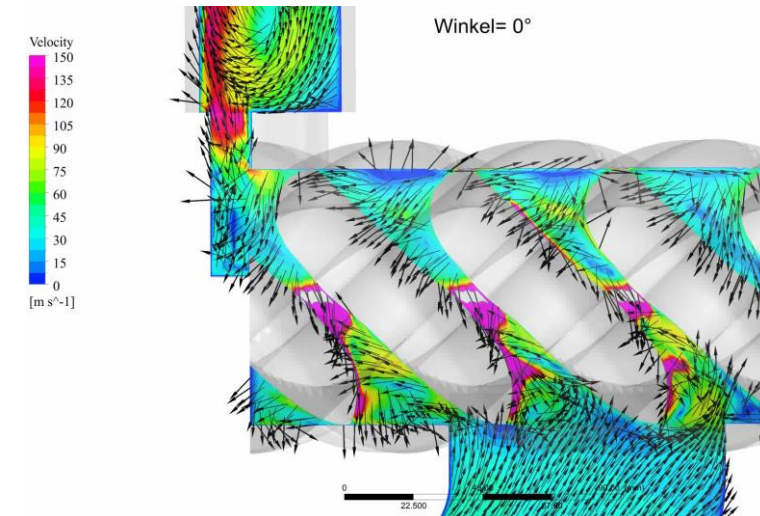
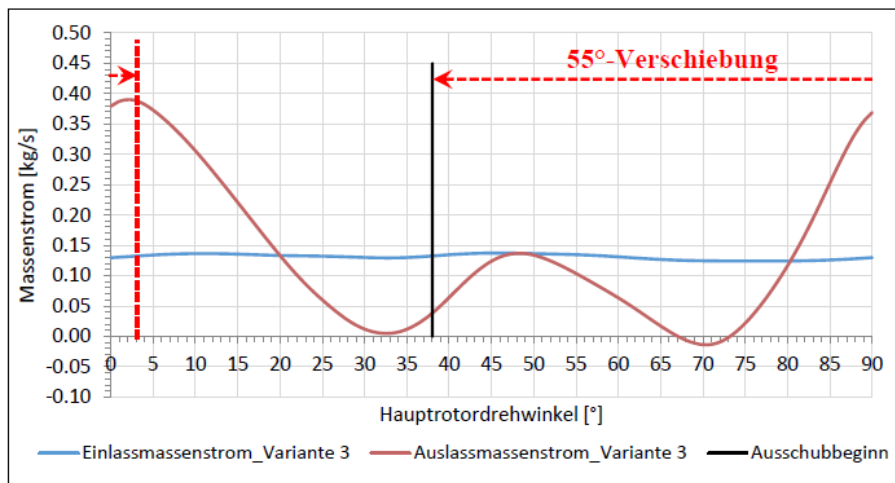
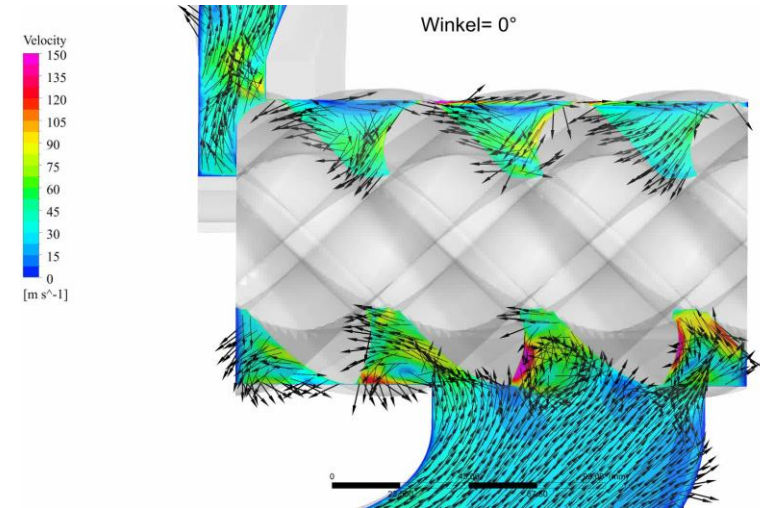
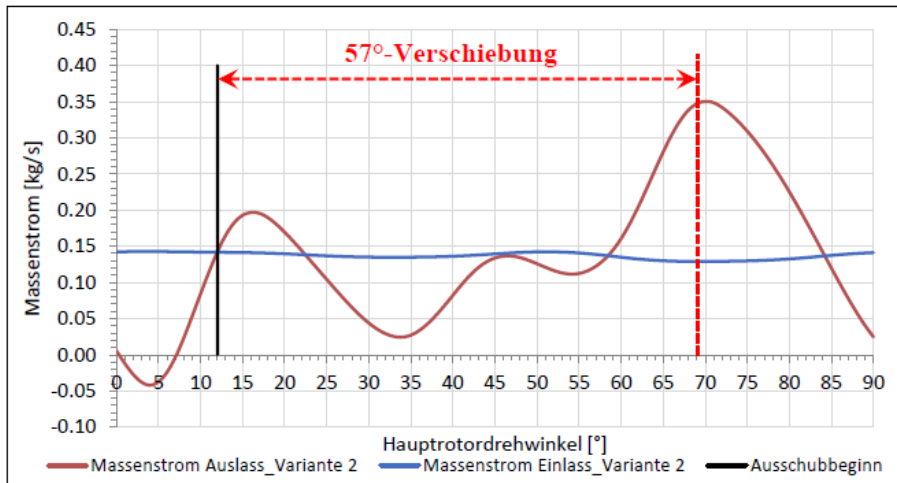


- Konstruktion von zwei weiteren Gehäusevarianten mit unterschiedlichen Auslassöffnungen [Steuerkanten]

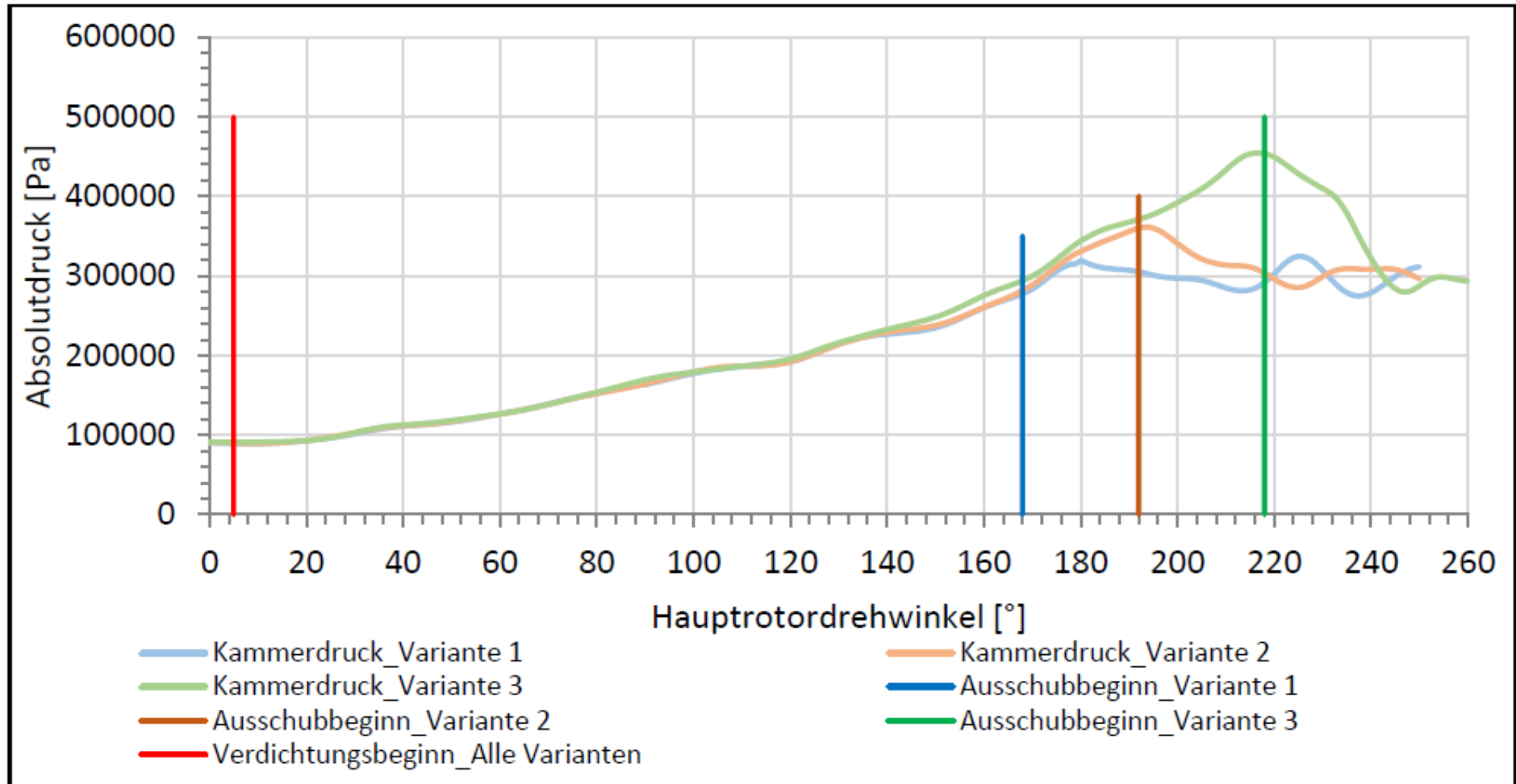


Eingebautes Volumenverhältnis	2,2	2,7	3,0
Druckverhältnis	3,0	4,0	4,6

- Massenströme

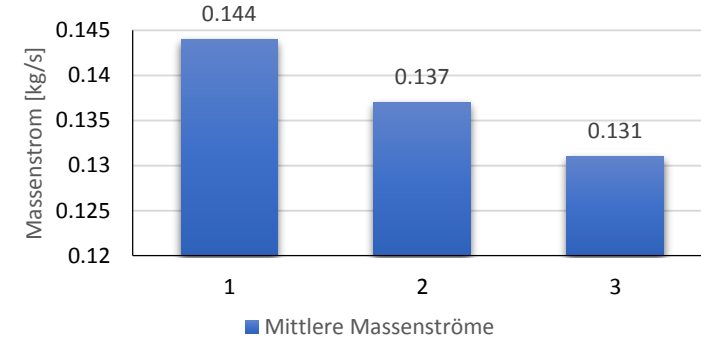


- Vergleich der Kammerdrücke aller Gehäusevarianten

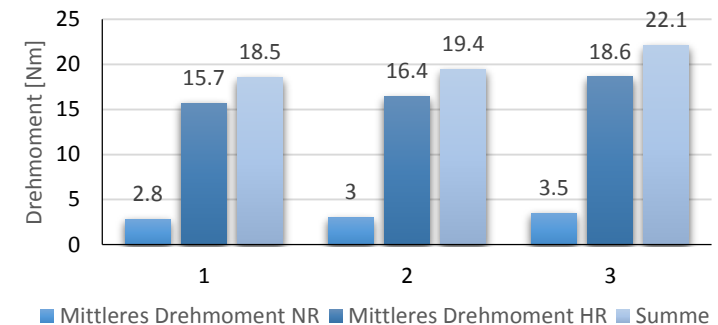


- Auswertung
 - Je kleiner die Auslassöffnung, desto mehr Innendruck und weniger Massenstrom
 - Dies führt zu mehr Widerstand beim Ausschieben des Gases → Anstieg der Rotordrehmomente
 - Dementsprechend ist höhere Wellenleistung notwendig

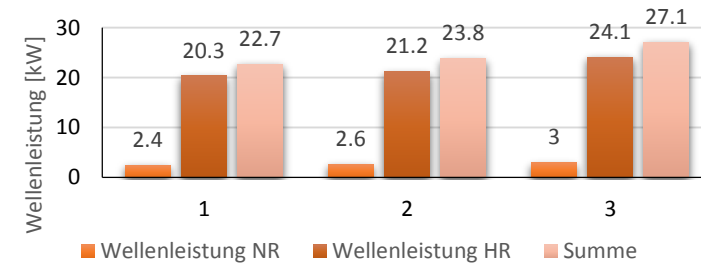
Mittlere Massenströme



Mittlere Drehmomente



Wellenleistung



- Fazit
 - Eine vereinfachte Vorgehensweise für die Auslegung eines Schraubenverdichters wurde vorgestellt
 - Erfolgreicher Einsatz einer neuen Vernetzungsmethode mit TwinMesh
 - Durchführung der numerischen Simulation und Auswertung der Ergebnisse
 - Untersuchung des Steuerkanteneinflusses auf das Betriebsverhalten des Verdichters
- Ausblick
 - Berücksichtigung der Axialspalte
 - Betrachtung des Wärmeübergangs in die Rotoren und das Gehäuses
 - Simulation eines öleingespritzten Schraubenverdichters (Mehrphasensimulation)

Vielen Dank für die Aufmerksamkeit