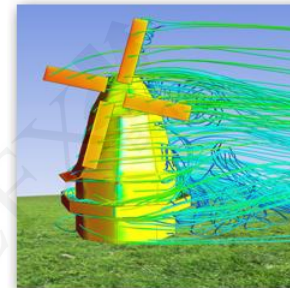


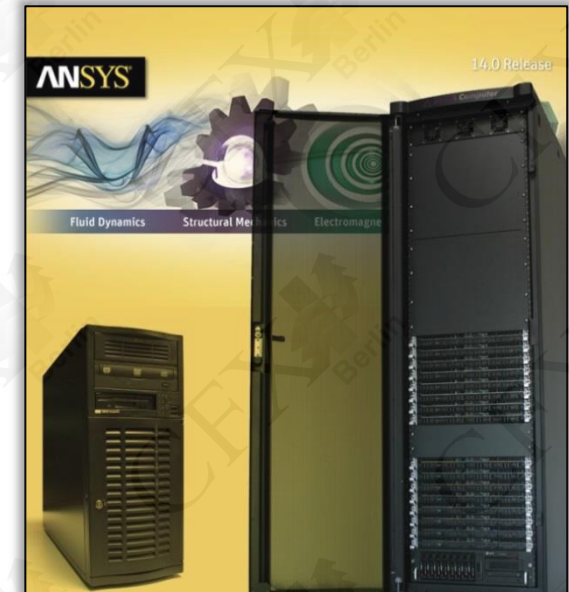
CFX Berlin Software GmbH Simulationskompetenz aus Berlin



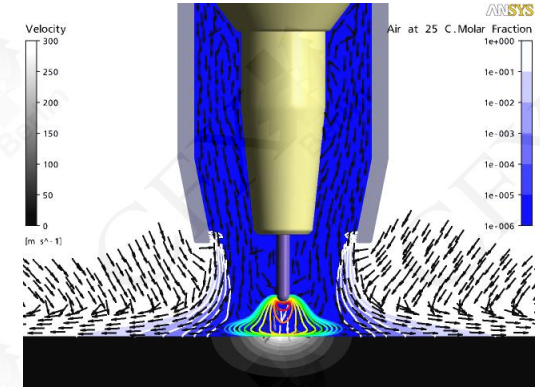
- CFX Berlin bietet seit 1997 als Partner von ANSYS, Inc. und CADFEM Lösungen und Simulationssoftware für:
 - Strömungsmechanik & Thermodynamik
 - Elektromagnetik
 - Strukturmechanik
- CFX Berlin-Geschäftsfelder:
 - ANSYS-Simulationssoftware
 - Berechnung & Optimierung
 - Beratung & Schulung
 - Forschung & Entwicklung



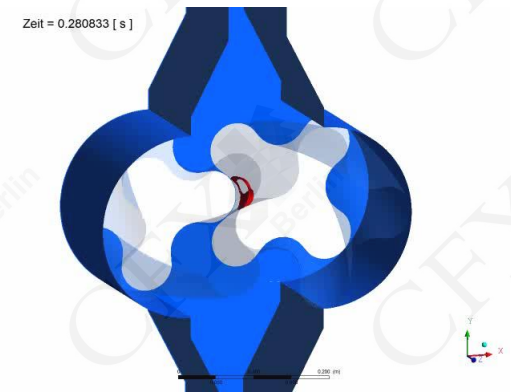
- Wie bieten Ihnen schlüsselfertige Simulationslösungen, bestehend aus:
 - ANSYS-Softwarelizenzen,
 - optimal abgestimmter Hardware,
 - individuellem Einarbeitungskonzept,
 - persönlichem Ansprechpartner für Support & Anwendungsberatung.
- Wir unterstützen Sie schon vorher mit:
 - Prozess- & Bedarfsanalyse, Lastenhefterstellung,
 - Entwicklung von optimalen Lösungen für Ihr Unternehmen,
 - Vorbereitung, Begleitung & Auswertung von Testinstallationen,
 - Erarbeitung individuell abgestimmter Schulungsmaßnahmen.



- Wir unterstützen auch im Rahmen von Dienstleistungen:
 - Simulation & Validierung mit Qualitätsgarantie
 - Auslegung & Optimierung von strömungstechnischen Maschinen und Anlagen
 - Modell- & Softwareentwicklung
- Wir machen Forschung & Entwicklung
 - öffentlich geförderte F&E-Projekte
 - industriegeförderte Auftragsforschung
 - interne Projekte



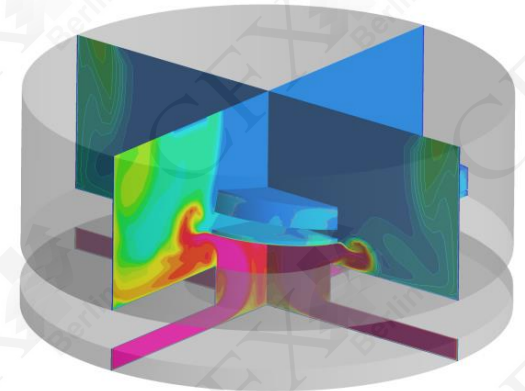
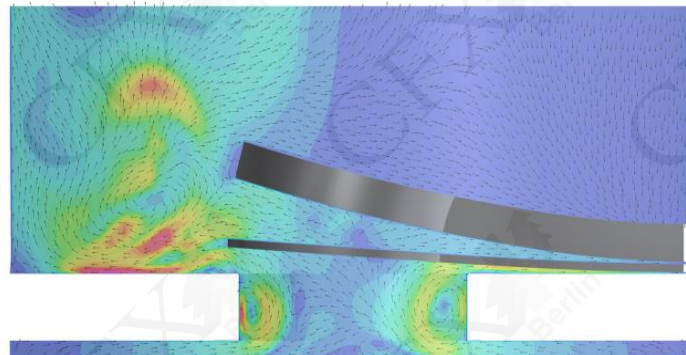
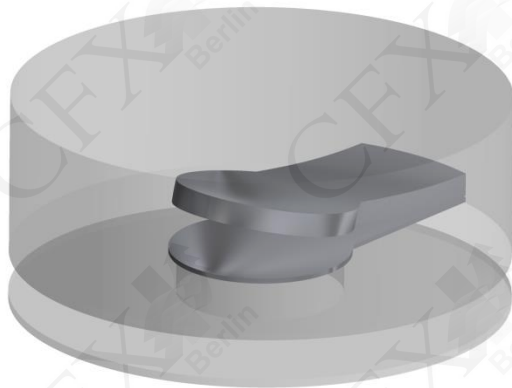
Beispiel Schweißprozesssimulation:
Schutzgasströmung mit Lichtbogen



Beispiel Drehkolbenpumpe:
Darstellung von Kavitation
im Spalt

Herausforderung:

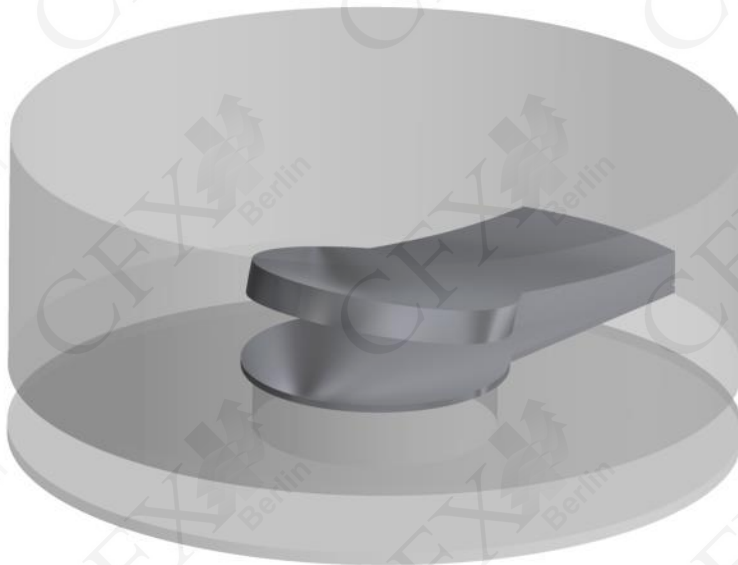
Gekoppelte thermische, struktur- und strömungsmechanische Simulation eines Lamellenventils



Anwendungsbeispiele Simulation

Simulation eines Lamellenventils mit ANSYS CFX und ANSYS Mechanical

- Inhalt der Arbeit:
gekoppelte thermische, statische und strömungsmechanische, transiente Simulation des Öffnungs- und Schließvorgangs eines Lamellenventils
- Ziel ist die Bestimmung von:
 - zeitlichem Druckverlauf,
 - Temperaturverteilung,
 - mechanischen Spannungen,
 - Strömungsgeschwindigkeiten.



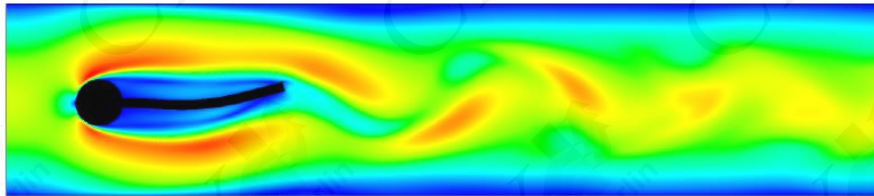
Lamellenventil der Firma
HOERBIGER Kompressortechnik
GmbH

Quelle: <http://www.hoerbiger.com/>

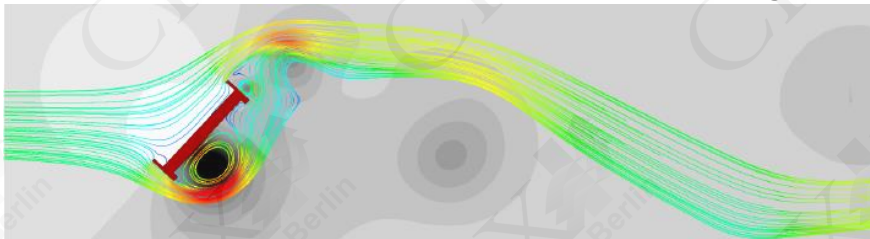
Anwendungsbeispiele Simulation

Simulation eines Lamellenventils mit ANSYS CFX und ANSYS Mechanical

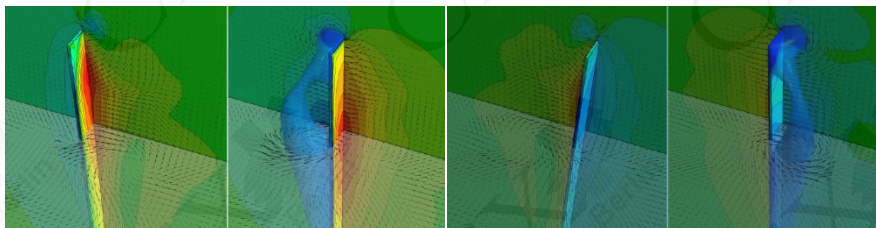
- Diese Präsentation basiert auf Ergebnissen der Masterarbeit von Markus Schildhauer.
- Weitere dort untersuchte Fälle:
 - Turek-FSI-Benchmark



- Aufschaukeln der Tacoma Narrows Bridge



- Luftgedämpfte Plattenschwingung



Hochschule für Technik, Wirtschaft und Kultur Leipzig
Fakultät Maschinen- und Energietechnik
Studiengang Maschinenbau

Simulation von Fluid-Struktur-Interaktion mit ANSYS CFX

Masterarbeit Nr. 117/10

von

Markus Schildhauer, B.Eng.

geb. am 24.02.1985

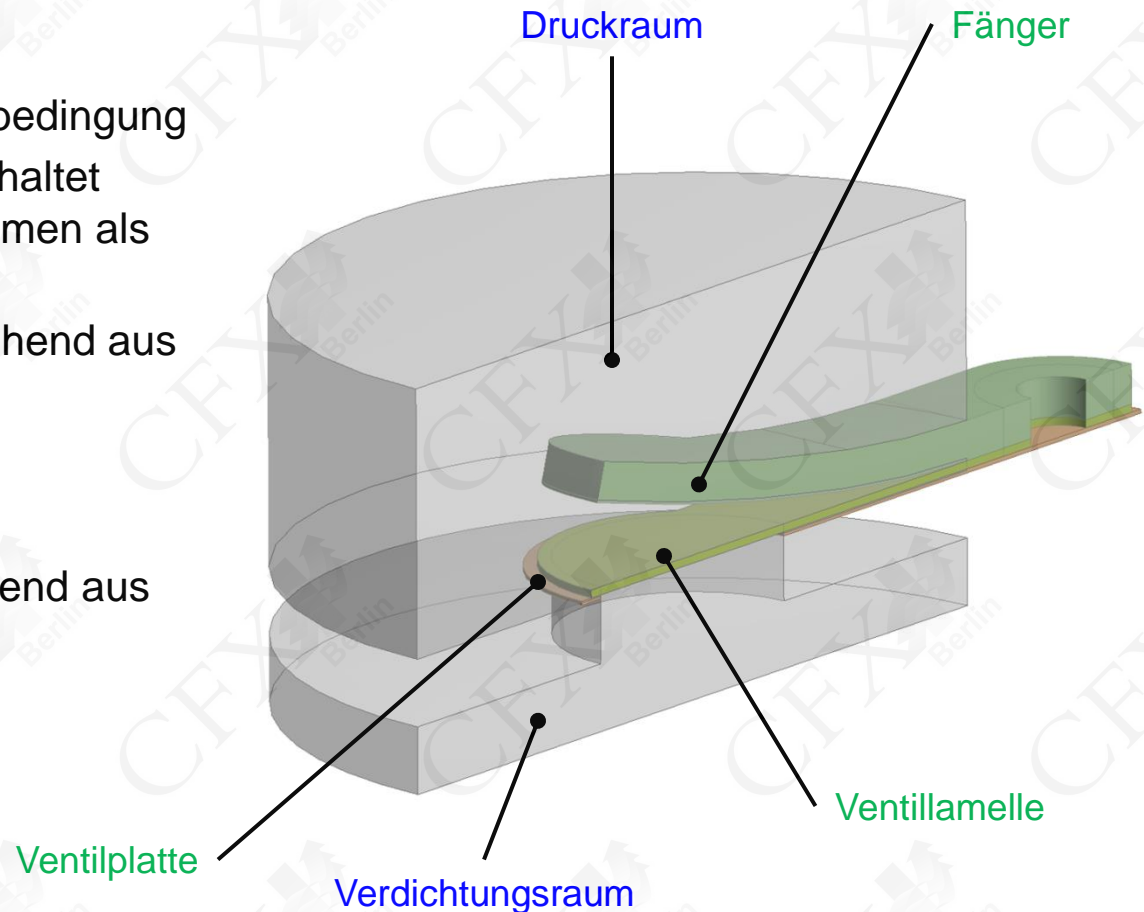
in Lutherstadt Wittenberg

Matrikel-Nr.: 49020

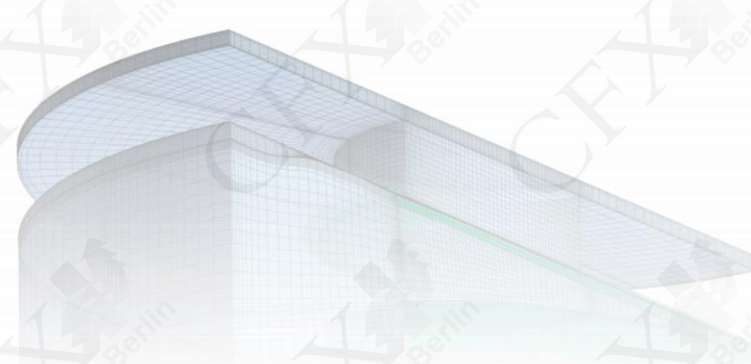
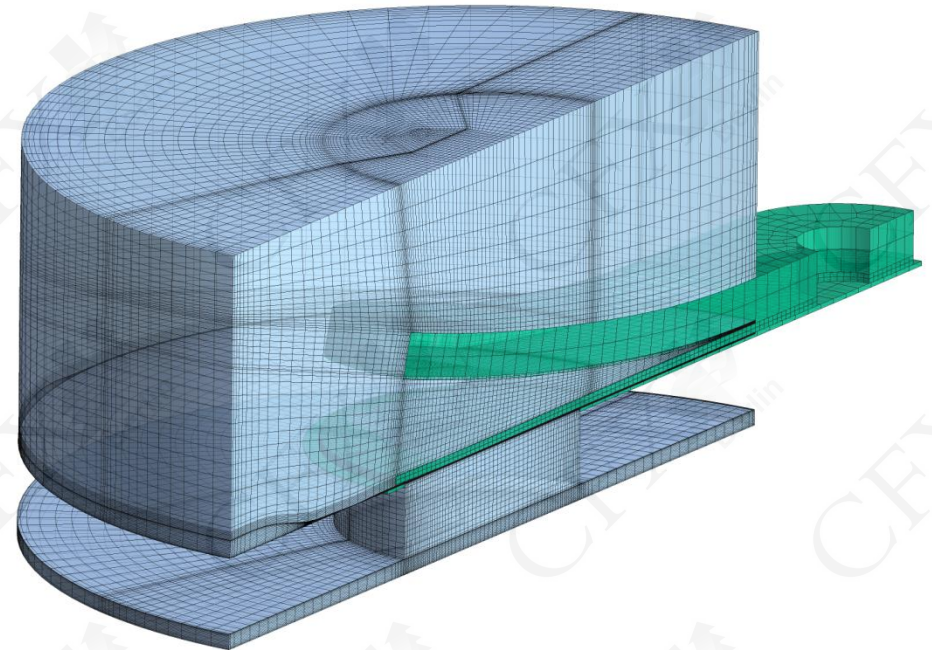
Verantwortlicher Hochschullehrer: Prof. Dr.-Ing. Carsten Klöhn
Betrieblicher Betreuer: Dr. rer. nat. Andreas Spille-Kohoff

Berlin, Oktober 2010 - März 2011

- Geometrieerstellung mit dem *ANSYS DesignModeler*
 - Halbmodell mit Symmetriebedingung
 - Das Geometriemodell beinhaltet sowohl das Strömungsvolumen als auch die Festkörper.
 - Festkörpergeometrie bestehend aus
 - Ventilplatte
 - Ventillamelle
 - Fänger
 - Strömungsvolumen bestehend aus
 - Druckraum
 - Verdichtungsraum
 - Verbindungsbereich



- **Strömungsraum:**
 - Halbautomatische, block-strukturierte Vernetzung mit *ANSYS ICEM CFD Hexa*
 - 378 570 Knoten
 - 357 592 Hexaederelemente
- **Festkörper:**
 - Automatische, unstrukturierte Vernetzung mit *ANSYS Meshing - HexDominant*
 - 20-Knoten-SOLID-Elemente
 - 8 343 Knoten
 - 4 844 Hexaederelemente

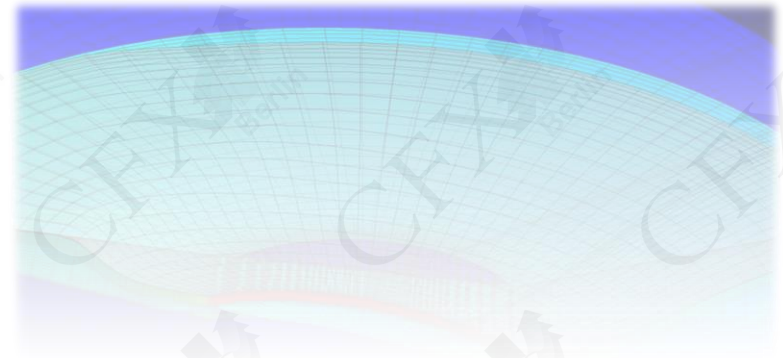
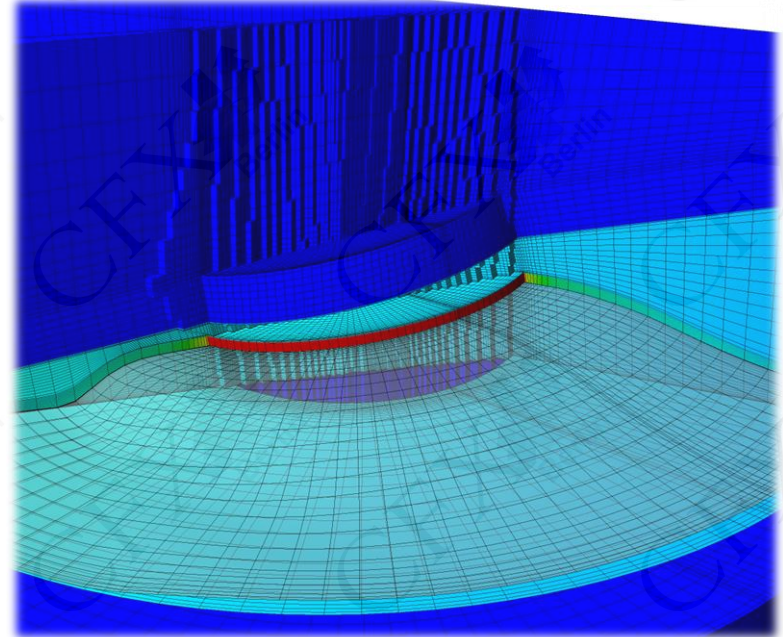
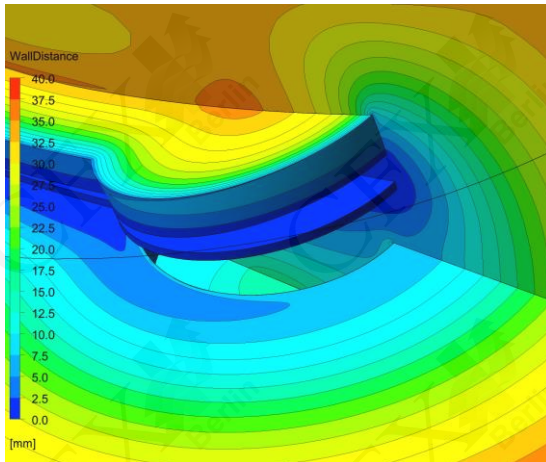


- Modellierung der Gitterdeformation
 - Lösung der Laplace-Gleichung
 - Verschiebungen als Randbedingungen
 - Ortsabhängige Gittersteifigkeit

- Ortsabhängige Gittersteifigkeit

$$\xi(\vec{x}) = C \cdot \left(\frac{1}{\alpha(\vec{x})} \right)^4$$

mit dem Wandabstand α als dreidimensionale
Feldgröße

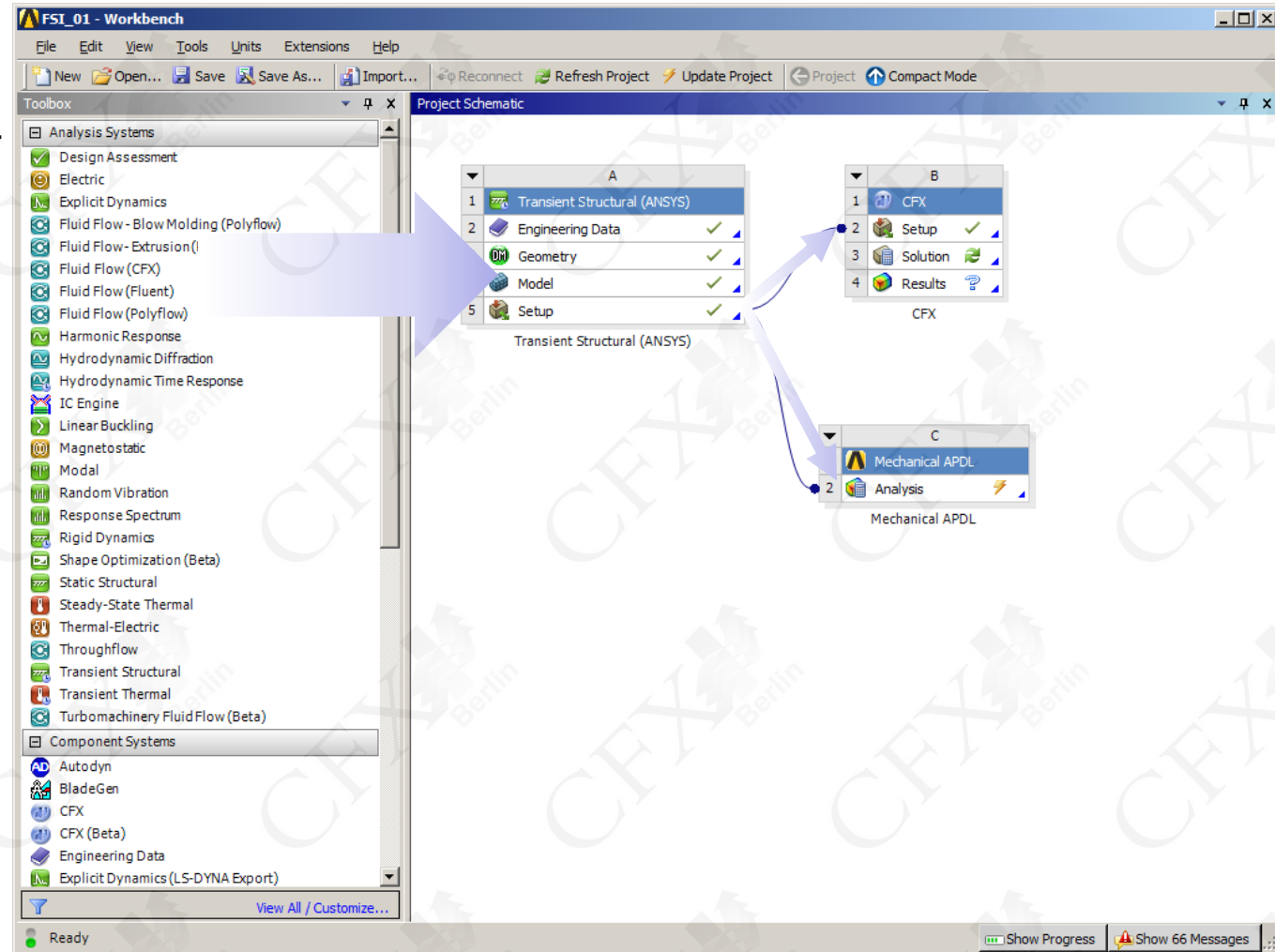


- ANSYS Workbench

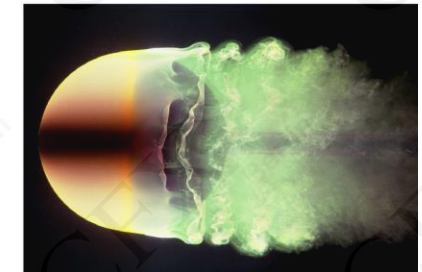
- Einfache Erzeugung von Analysesystemen durch „*Drag and Drop*“

- Kopplung durch Verbindung der Analysesysteme „*Drag and Drop*“

- Automatische Übergabe und Interpolation von Kräften und Deformationen



- **Lösertechnologie**
 - Finite-Volumen-Methode
 - Algebraischer Mehrgitterlöser
 - Massive Parallelisierung durch Partitionierung
- **Umfangreiche Materialbibliothek**
- **Stationäre/Transiente Lösung**
- **Mehrphasenmodelle**
 - Euler-Phase mit Oberflächenspannung
 - Polydisperse Phase
 - Lagrangesche Betrachtung
- **Turbulenz**
 - Statistische Turbulenzmodelle (RANS/URANS)
 - Grobstrukturmodelle (SAS/LES/DES)
 - Reynolds-Spannungs-Modelle
- **Gitterdeformation**
- **Reaktionskinetik**

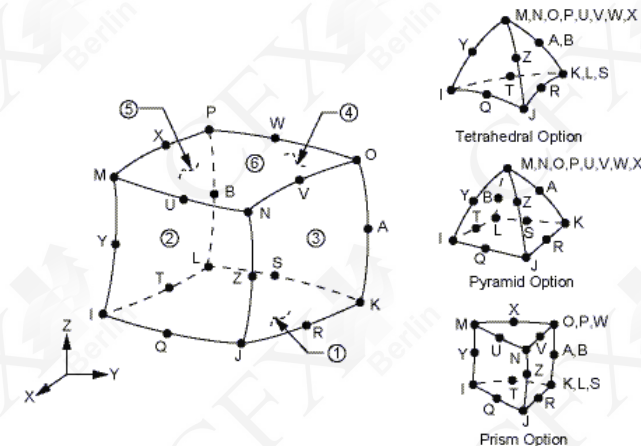
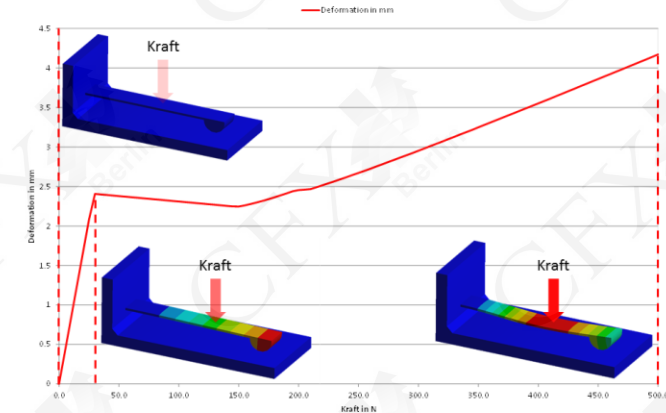


laminare Grenzschicht
($Re = 2 \cdot 10^4$)

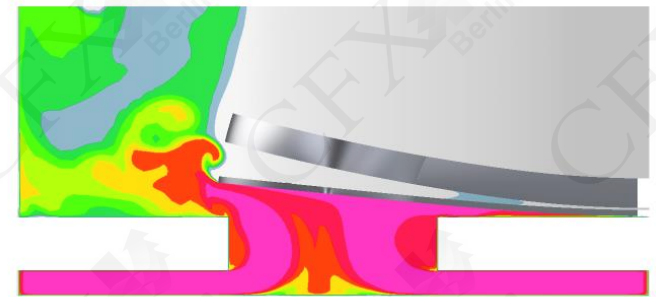
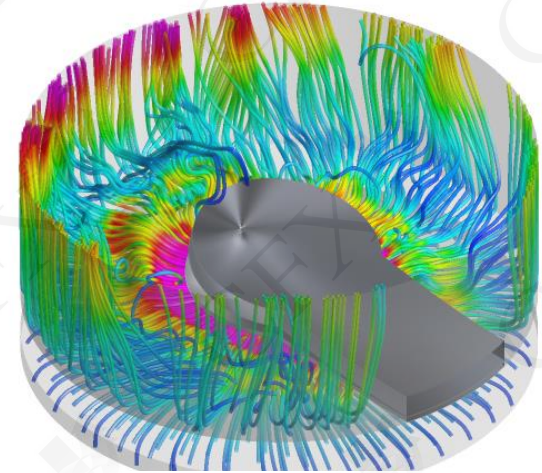


turbulente Grenzschicht
($Re = 5 \cdot 10^5$)

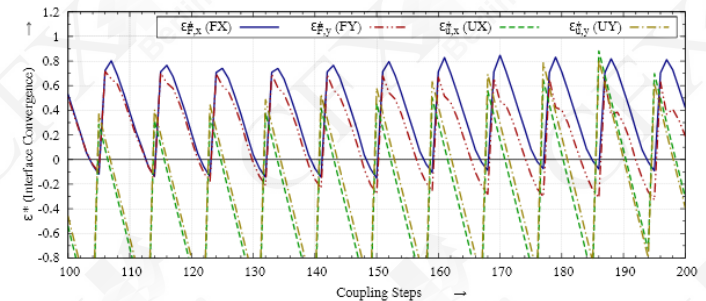
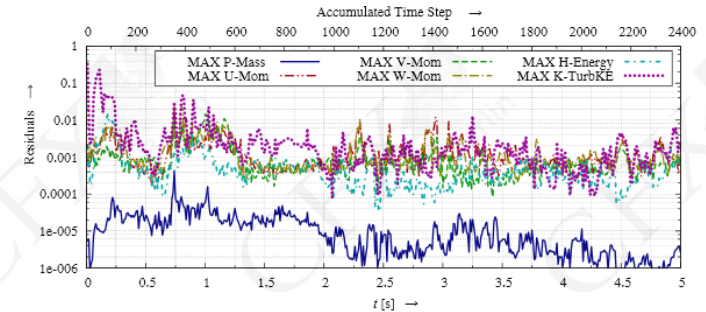
- **Lösertechnologie**
 - Vorkonditionierter Konjungierte-Gradienten-Löser
 - Direkte/Iterative-Löser
 - Implizit/Explizit
 - Parallelisierung durch CPU/GPU-Nutzung
- **Umfangreiche Elementbibliothek**
 - Lineare und quadratische Ansatzfunktionen
 - 1D-, 2D-, 3D-Elemente
- **Nichtlinearität**
 - Geometrische, physikalische und materialspezifische Nichtlinearität
 - Automatische Kontakterkennung, verschiedene Kontaktmodelle
- **Materialmodelle mit Materialbibliothek**
 - isotrop, anisotrop
 - plastisch, viskoeleastisch, hyperelastisch, ...



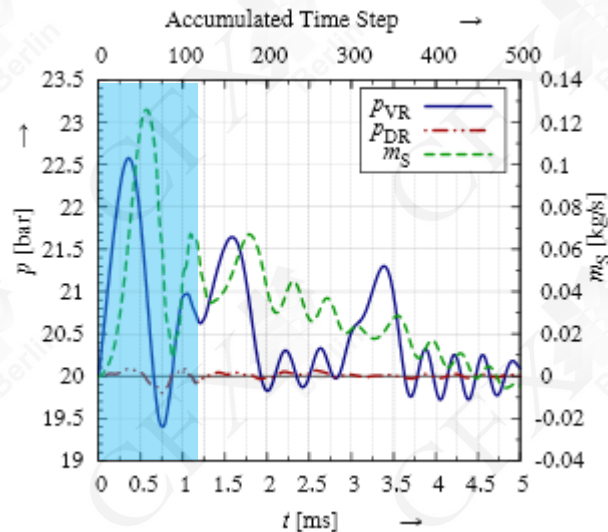
- **Multiphysik**
 - Transient
 - Zeitschritt: 10 μ s
 - Simulierter Zeitraum: 50 ms
 - Übergabe von Kräften und Deformationen
- **Strömungssimulation (CFD)**
 - Material: Luft (Ideales Gas)
 - Transport der Totalenthalpie
 - SAS-Turbulenzmodell
 - Gitterdeformation mit Vorgabe der Kolbenbewegung im Verdichtungsraum
- **Struktursimulation (CSM)**
 - Material: Stahl (linearer Spannungs-Dehnungs-Zusammenhang)
 - Kontaktformulierung: Pure Penalty / Augmented Lagrange
 - Quadratische Ansatzfunktion



- Konvergenzverhalten - Strömungssimulation
 - MAX-Residuen $< 10^{-2}$
 - Globale Bilanzen zu 1% erfüllt
- Konvergenzverhalten - Struktursimulation
 - Kraftbilanz zu 1% erfüllt
- Konvergenzverhalten der Kopplungsgrößen
 - Bilanz der Kräfte und Verschiebungen am Interface zu 1% erfüllt
- Berechnungsverlauf
 - Arbeitsspeicher: 1.6 GB
 - Anzahl Prozessoren: 2 (2.3 GHz)
 - Berechnungsdauer: ca. 84 Stunden

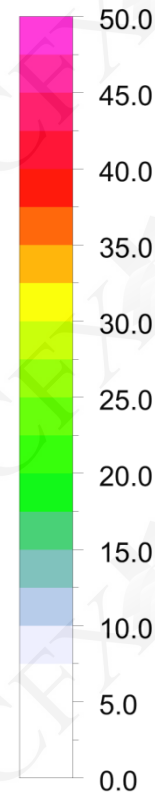


- Strömungsgeschwindigkeit im Übergang vom Verdichtungs- zum Druckraum
 - Schnitt auf der Mittelebene
 - Lamellenventil öffnet

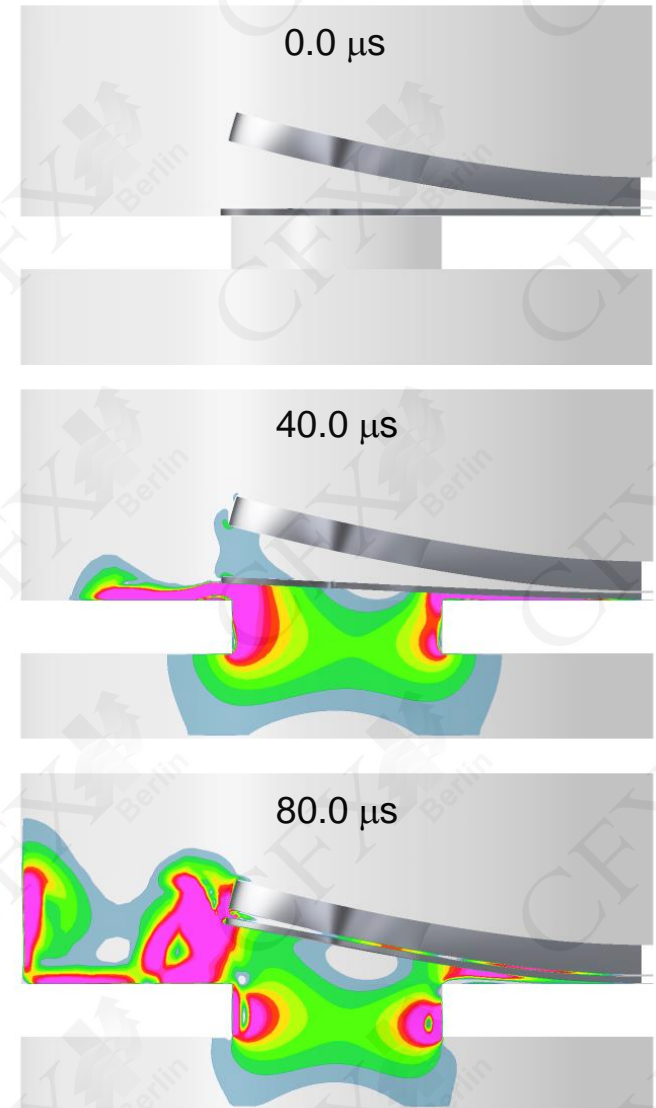


Gemittelter Druck im Verdichtungs- (VR) und Druckraum (DR) sowie Massenstrom durch Ventilbohrung

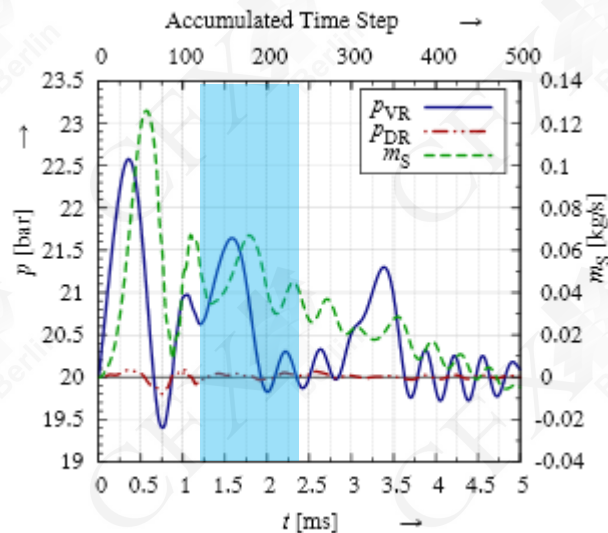
Strömungsgeschwindigkeit



$[\text{m s}^{-1}]$

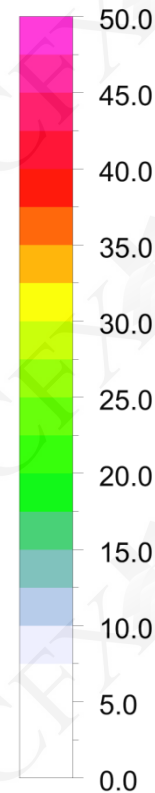


- Strömungsgeschwindigkeit im Übergang vom Verdichtungs- zum Druckraum
 - Schnitt auf der Mittelebene
 - Lamelle federt nach dem Anschlagen am Fänger zurück

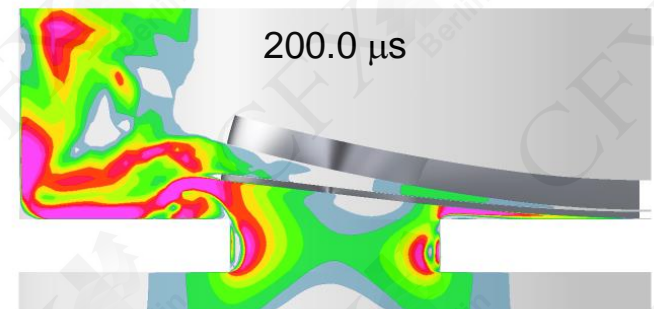
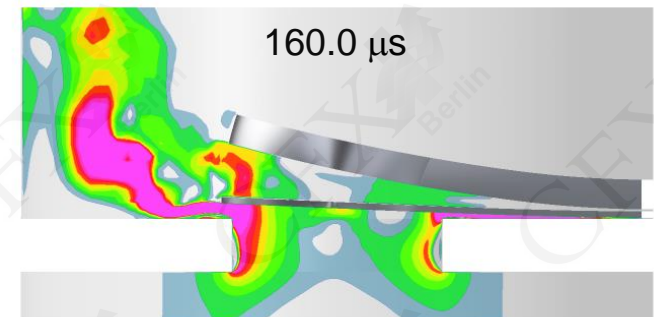
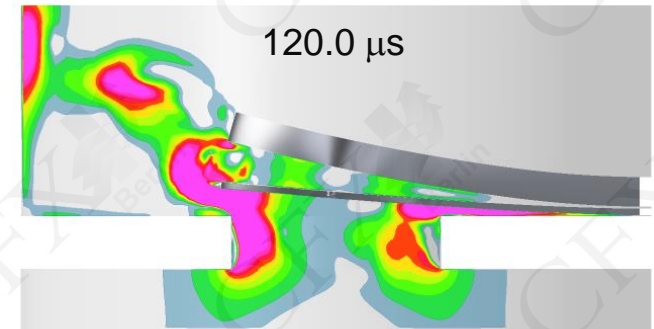


Gemittelter Druck im Verdichtungs- (VR) und Druckraum (DR) sowie Massenstrom durch Ventilbohrung

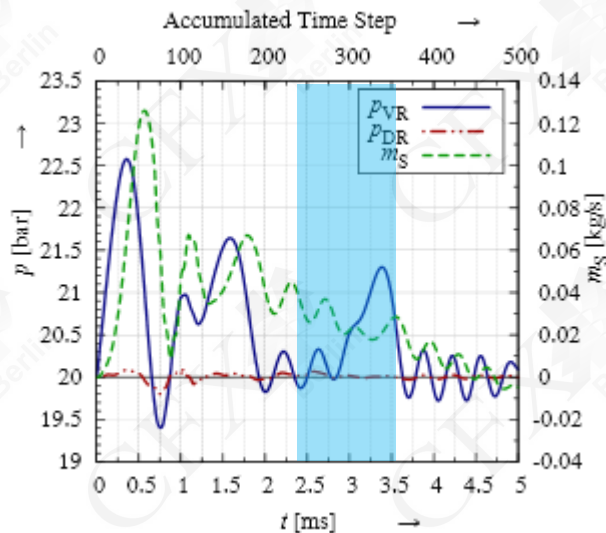
Strömungsgeschwindigkeit



$[\text{m s}^{-1}]$

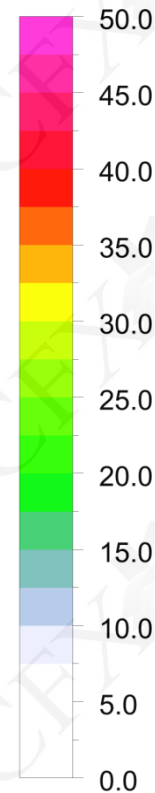


- Strömungsgeschwindigkeit im Übergang vom Verdichtungs- zum Druckraum
 - Schnitt auf der Mittelebene
 - Lamelle bewegt sich nochmal in Richtung des Fängers

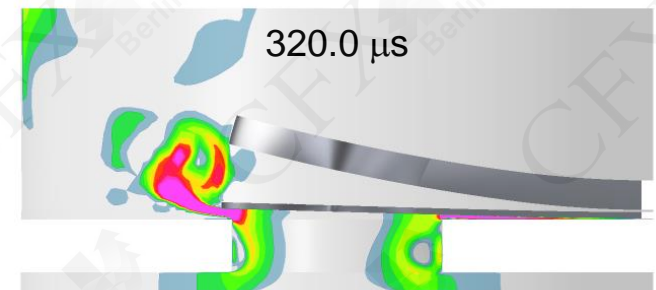
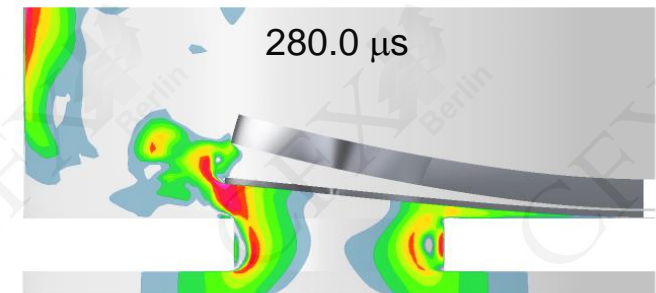
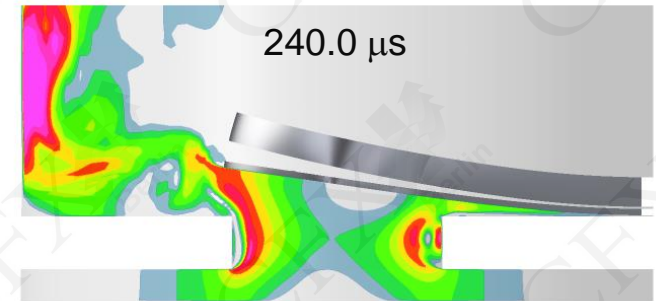


Gemittelter Druck im Verdichtungs- (VR) und Druckraum (DR) sowie Massenstrom durch Ventilbohrung

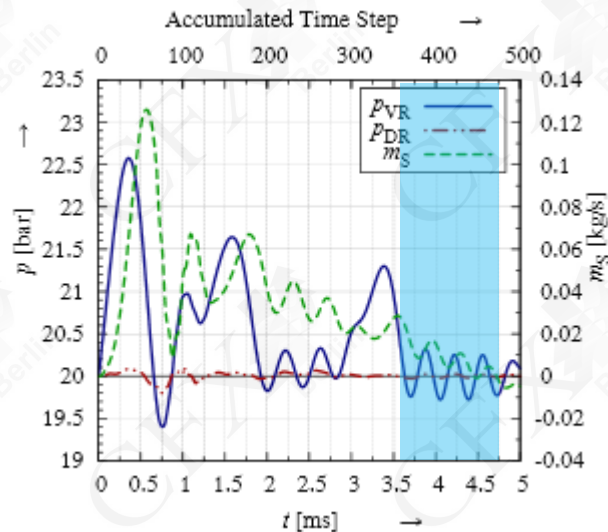
Strömungsgeschwindigkeit



$[\text{m s}^{-1}]$

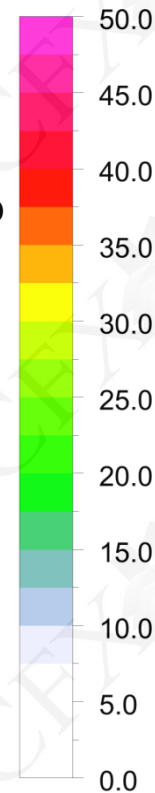


- Strömungsgeschwindigkeit im Übergang vom Verdichtungs- zum Druckraum
 - Schnitt auf der Mittelebene
 - Ende des Kompressionsvorgangs
 - Lamelle schließt den Druckraum ab

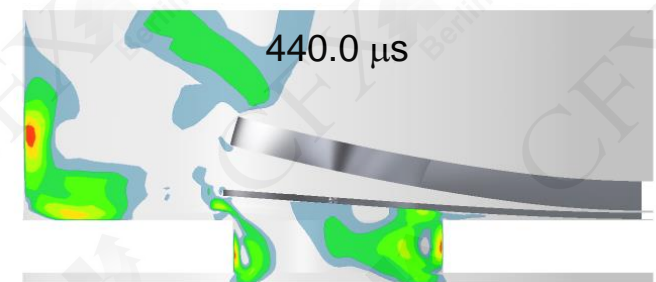
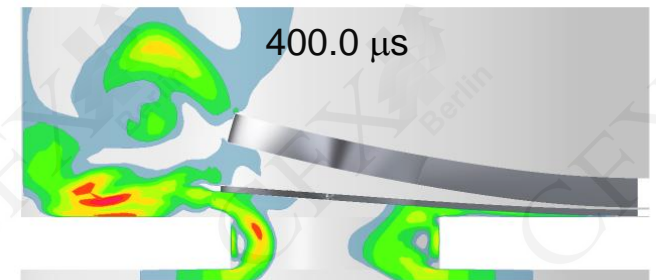
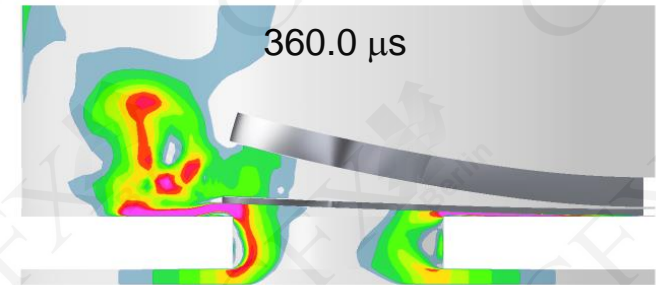


Gemittelter Druck im Verdichtungs- (VR) und Druckraum (DR) sowie Massenstrom durch Ventilbohrung

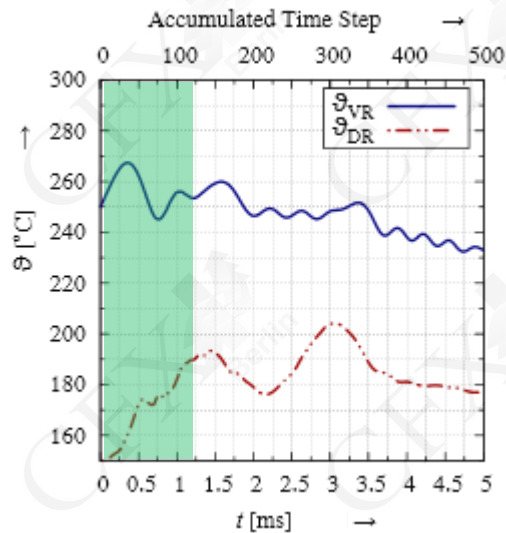
Strömungsgeschwindigkeit



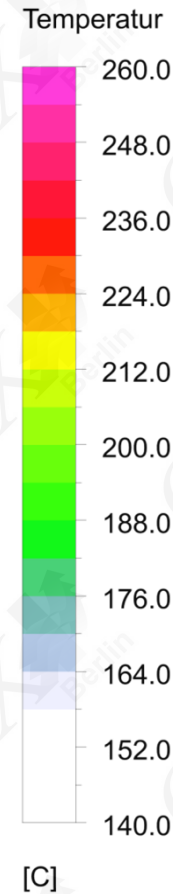
$[\text{m s}^{-1}]$



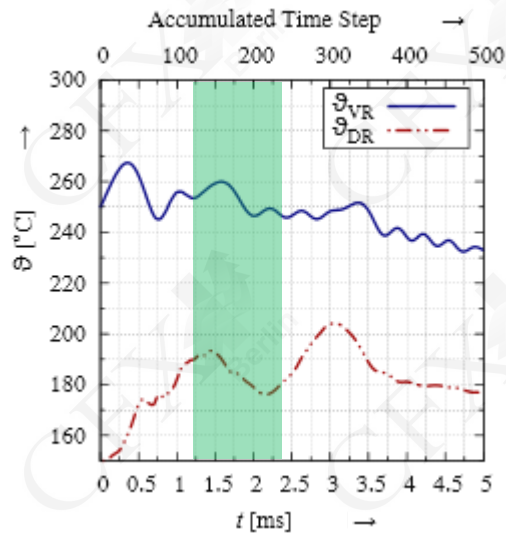
- Temperatur im Übergang vom Verdichtungs- zum Druckraum
 - Schnitt auf der Mittelebene
 - Lamellenventil öffnet



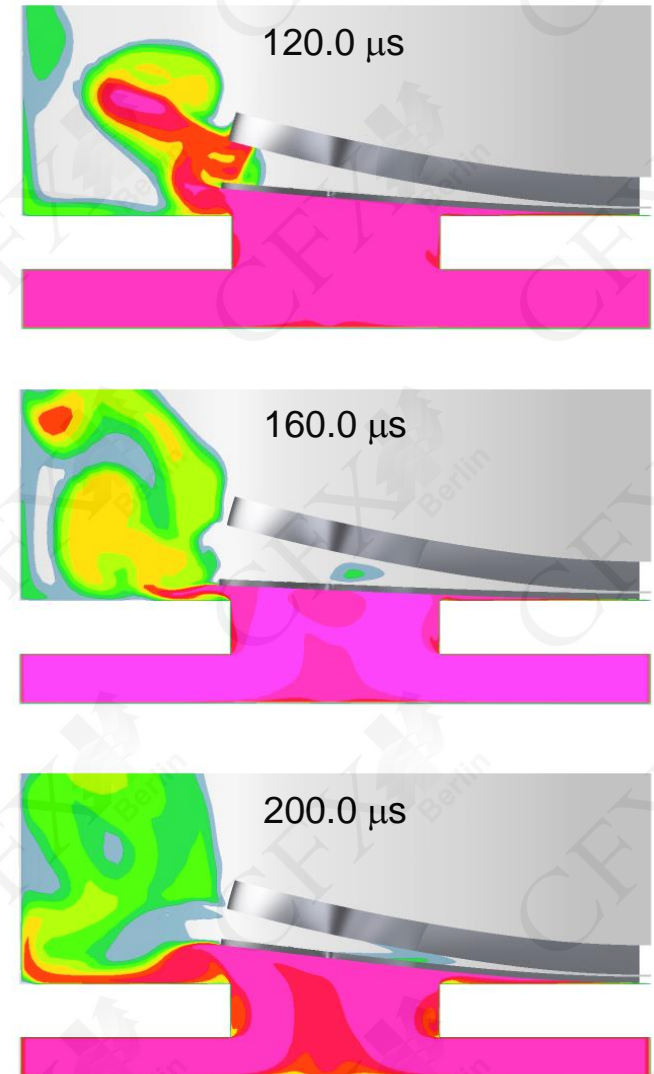
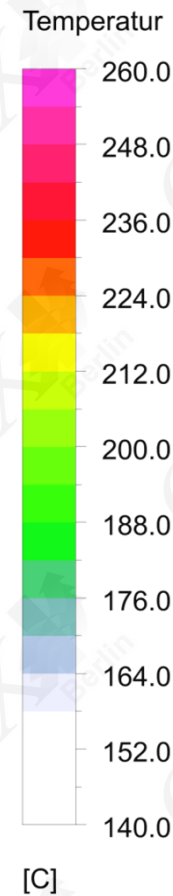
Mittlere Temperatur im Verdichtungs- (VR) und Druckraum (DR)



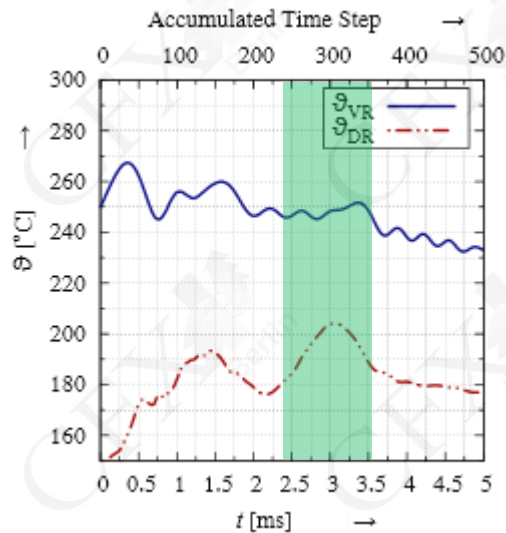
- Temperatur im Übergang vom Verdichtungs- zum Druckraum
 - Schnitt auf der Mittelebene
 - Lamelle federt nach dem Anschlagen am Fänger zurück



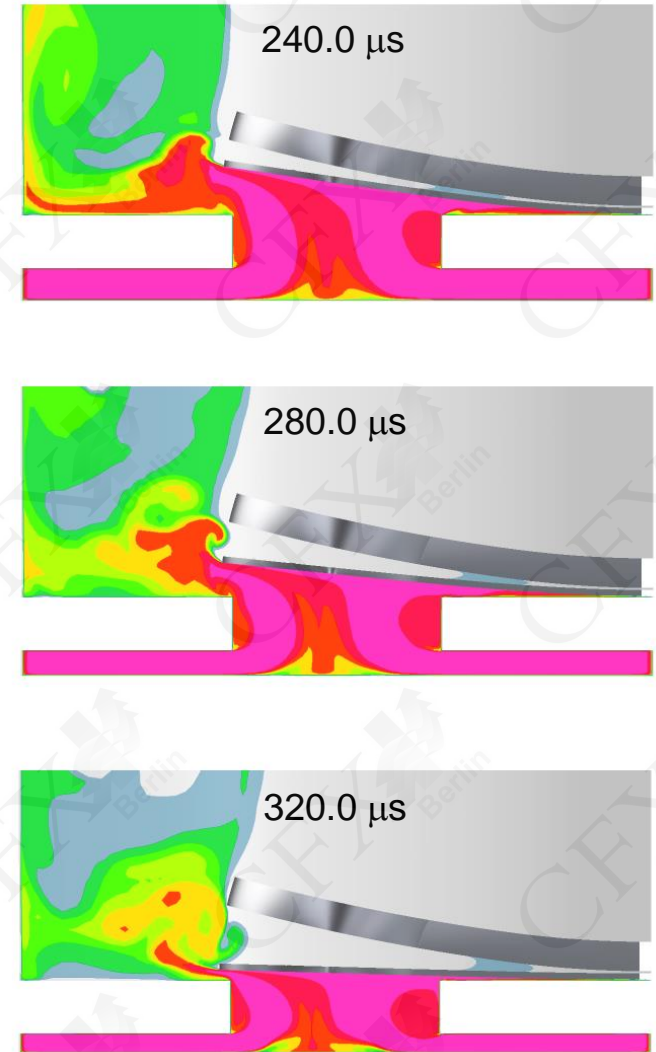
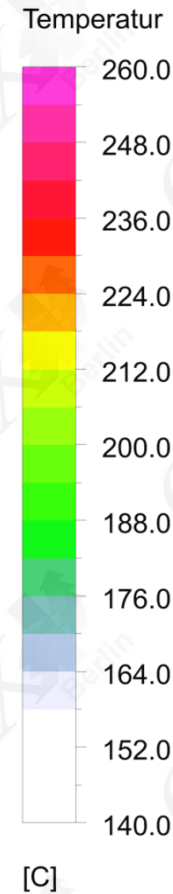
Mittlere Temperatur im Verdichtungs- (VR) und Druckraum (DR)



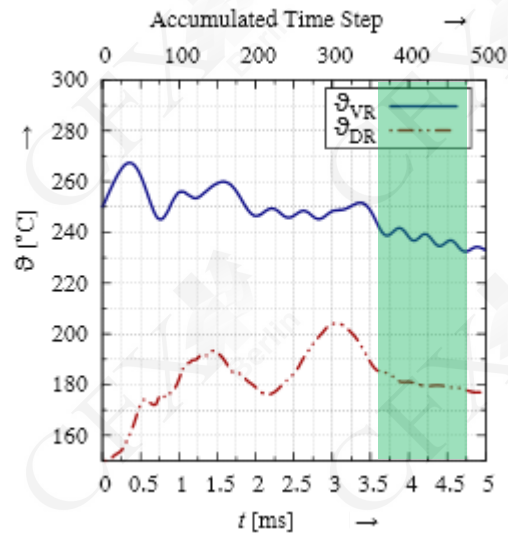
- Temperatur im Übergang vom Verdichtungs- zum Druckraum
 - Schnitt auf der Mittelebene
 - Lamelle bewegt sich nochmal in Richtung des Fängers



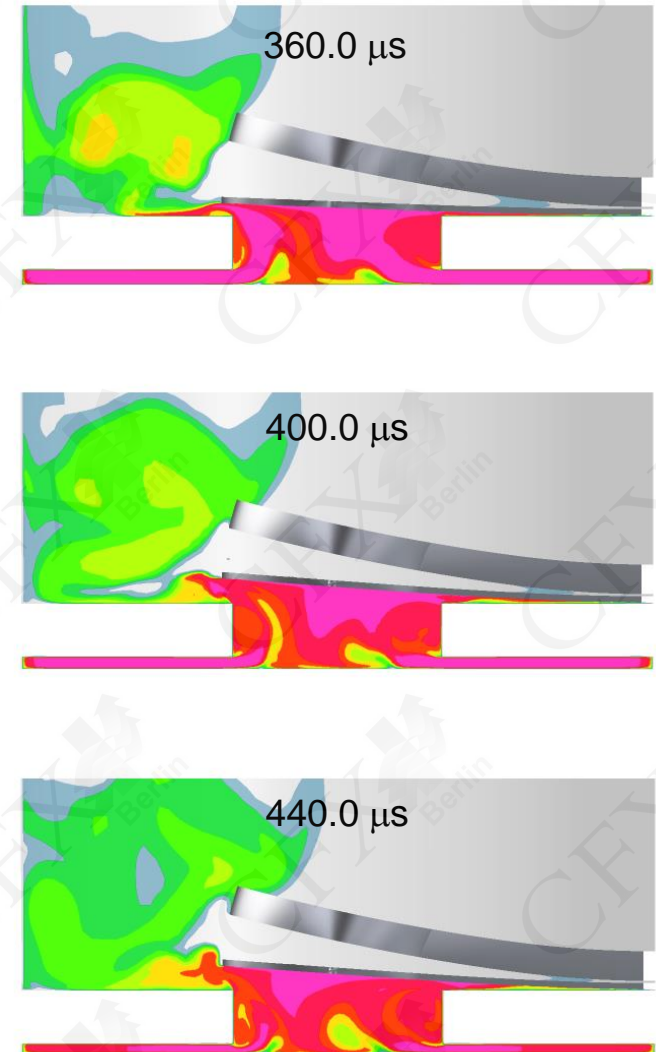
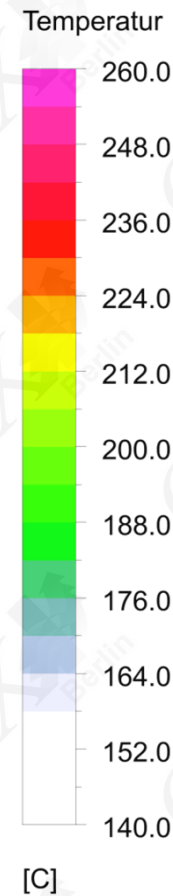
Mittlere Temperatur im Verdichtungs- (VR) und Druckraum (DR)



- Temperatur im Übergang vom Verdichtungs- zum Druckraum
 - Schnitt auf der Mittelebene
 - Lamelle schließt den Druckraum ab

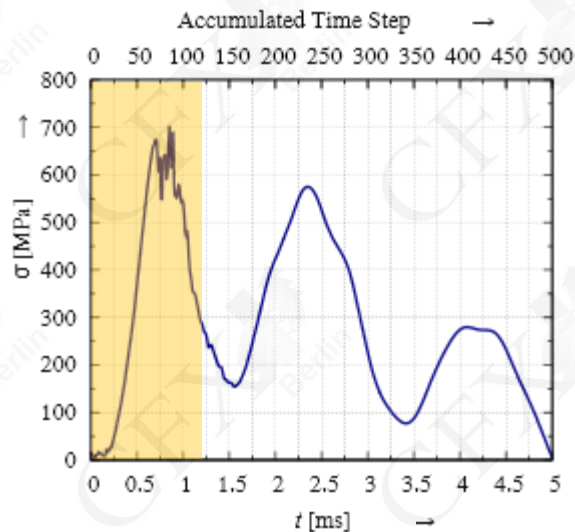


Mittlere Temperatur im
Verdichtungs- (VR) und Druckraum
(DR)



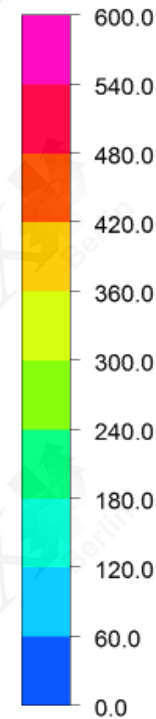
- Vergleichsspannung (von Mises) und relativer statischer Druck

- Schnitt auf der Mittelebene
- Lamellenventil öffnet

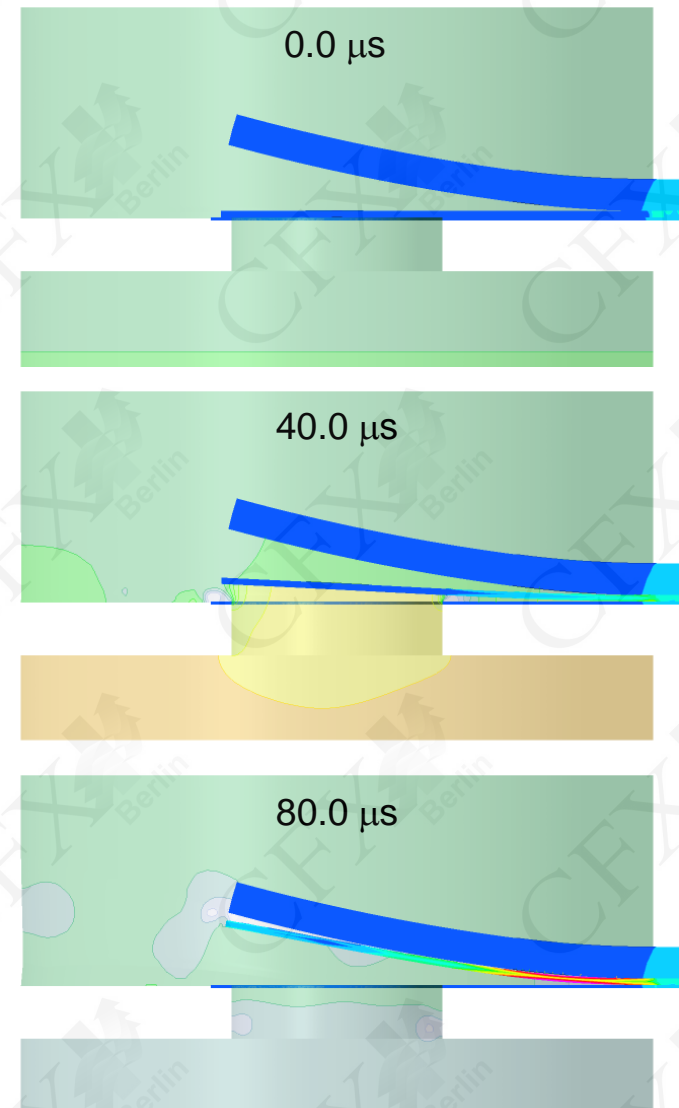


Von Mises Vergleichsspannung in einem Punkt maximaler Biegebelastung

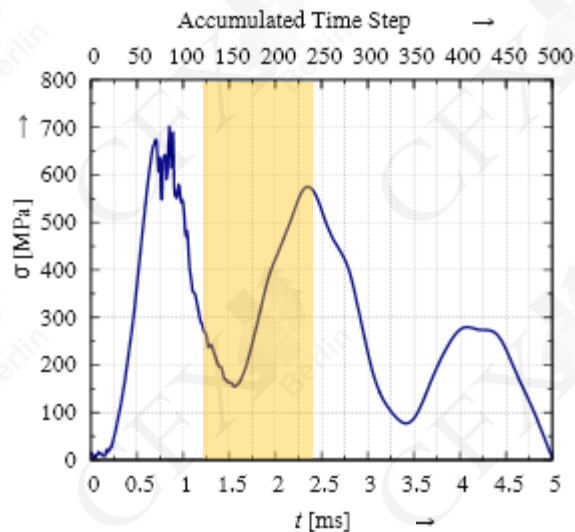
Von Mises Stress



[MPa]

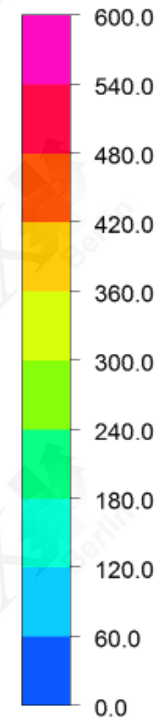


- Vergleichsspannung (von Mises) und relativer statischer Druck
 - Schnitt auf der Mittelebene
 - Lamelle federt nach dem Anschlagen am Fänger zurück

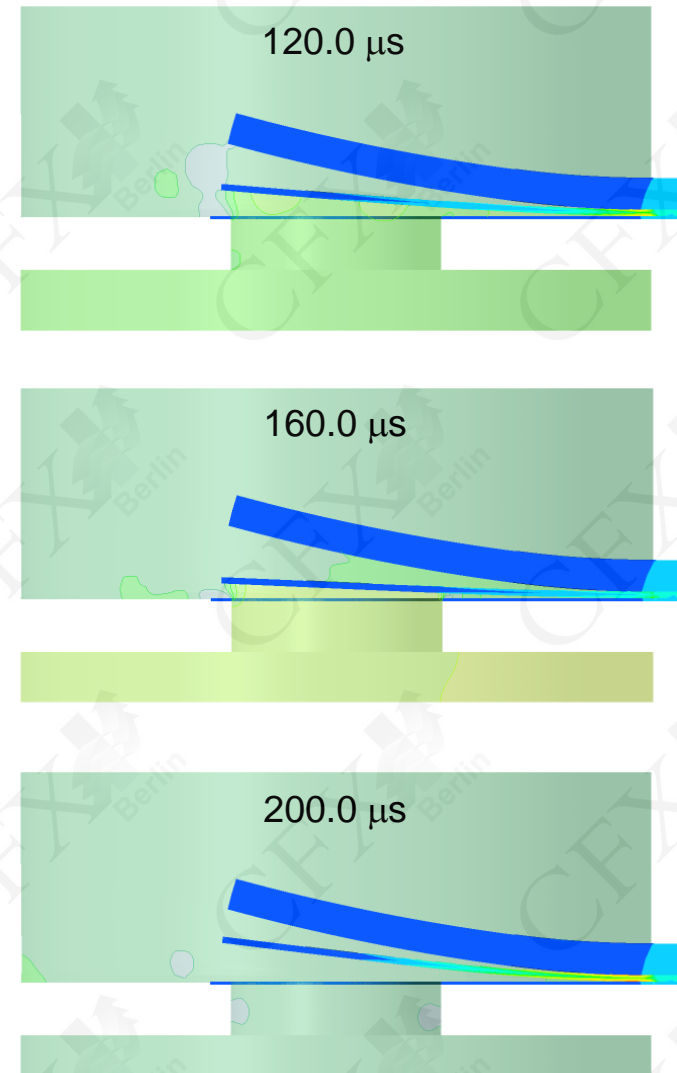


Von Mises Vergleichsspannung in
einem Punkt maximaler
Biegebelastung

Von Mises Stress

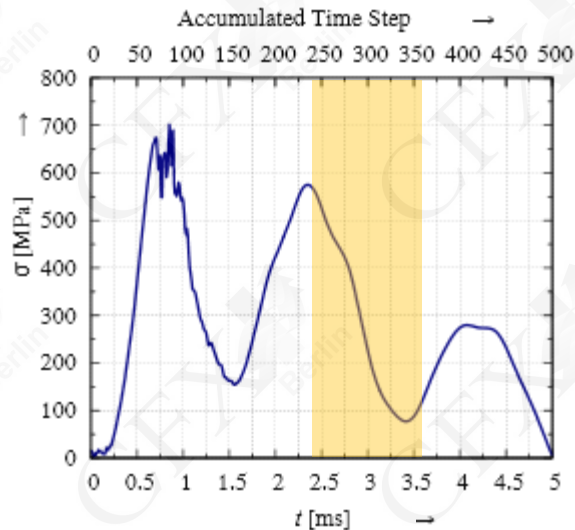


[MPa]



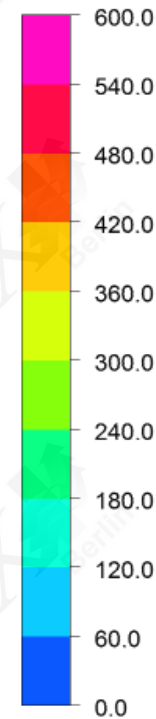
- Vergleichsspannung (von Mises) und relativer statischer Druck

- Schnitt auf der Mittelebene
- Lamelle bewegt sich nochmal in Richtung des Fängers

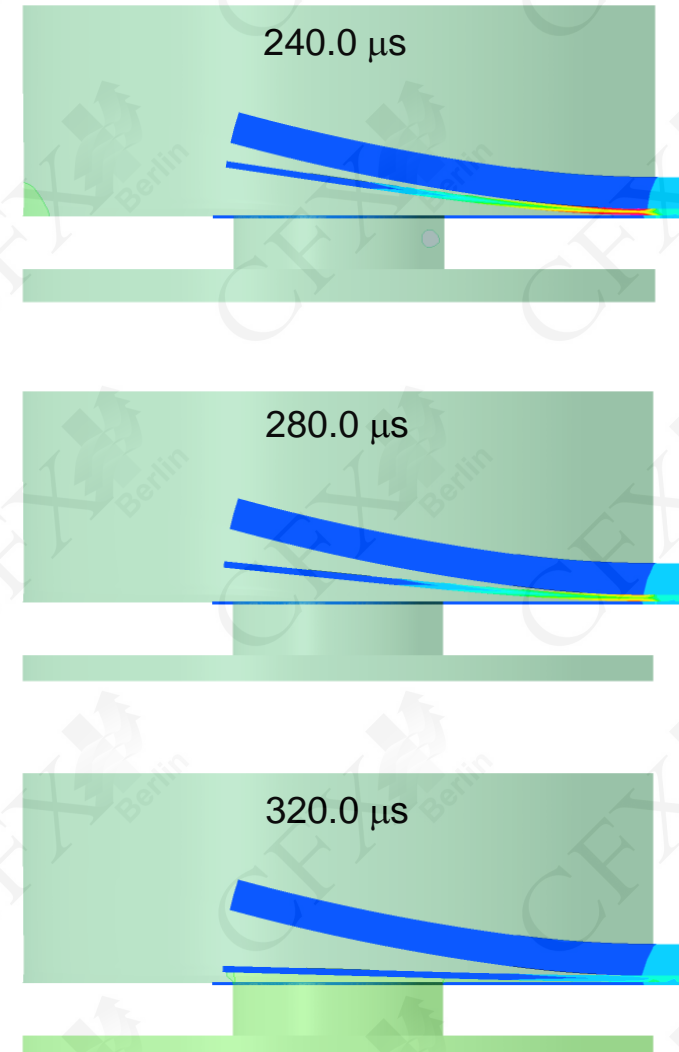


Von Mises Vergleichsspannung in einem Punkt maximaler Biegebelastung

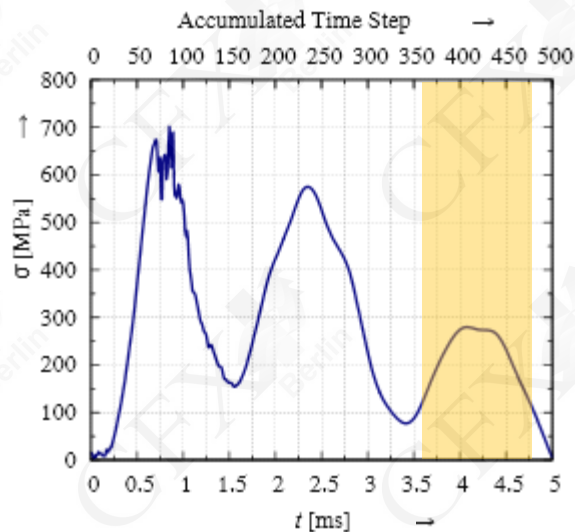
Von Mises Stress



[MPa]

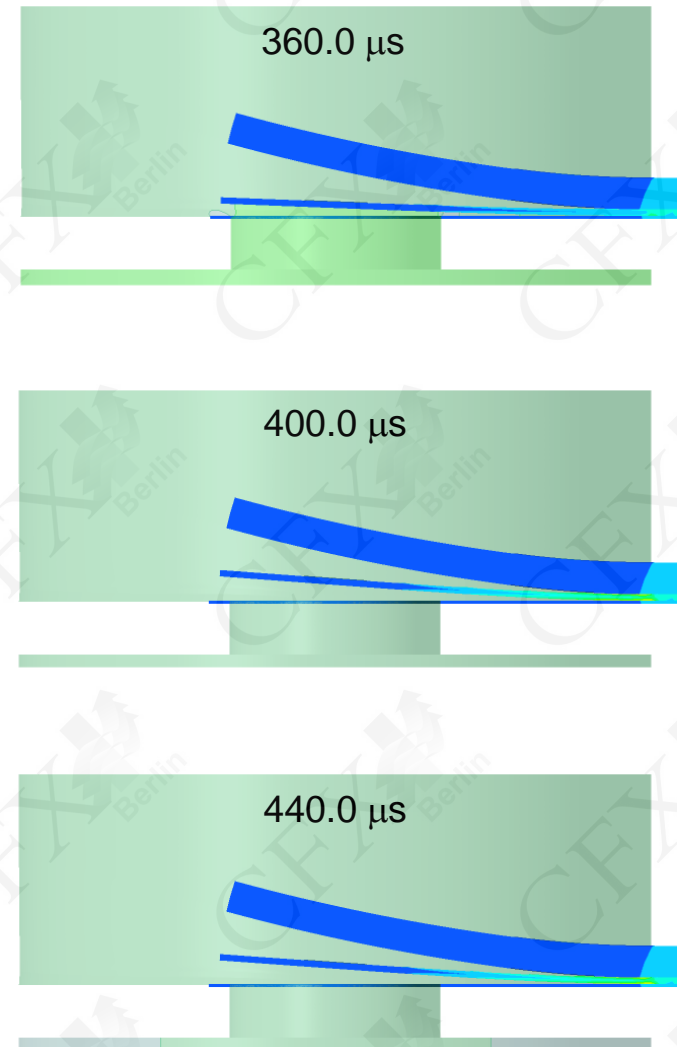
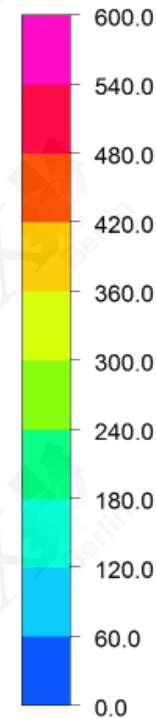


- Vergleichsspannung (von Mises) und relativer statischer Druck
 - Schnitt auf der Mittelebene
 - Lamelle schließt den Druckraum ab



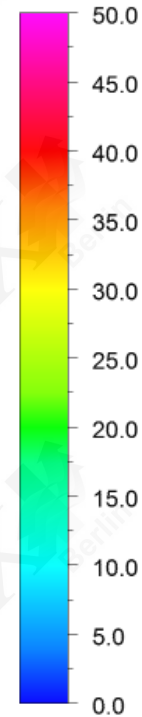
Von Mises Vergleichsspannung in
einem Punkt maximaler
Biegebelastung

Von Mises Stress



- **Stromlinienverlauf**
 - Eingefärbt mit Strömungsgeschwindigkeit
 - Lamellenventil öffnet

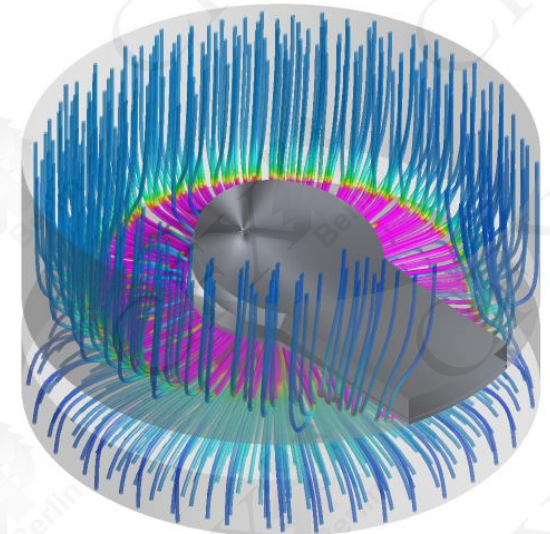
Strömungsgeschwindigkeit



[m s⁻¹]



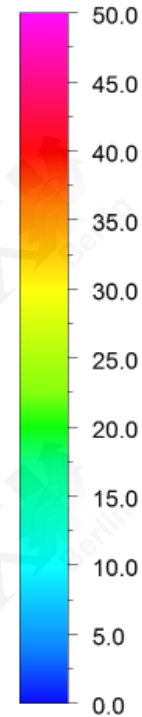
0.0 μ s



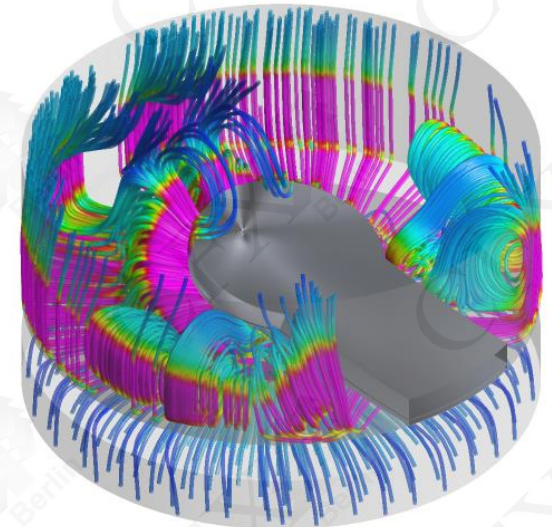
40.0 μ s

- **Stromlinienverlauf**
 - Eingefärbt mit Strömungsgeschwindigkeit
 - Lamellenventil öffnet

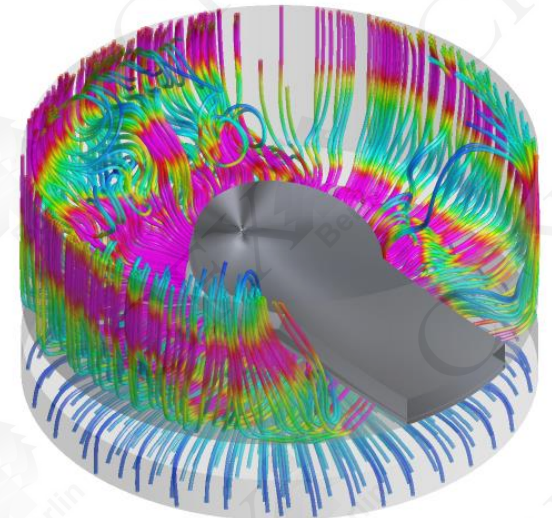
Strömungsgeschwindigkeit



$[m\ s^{-1}]$



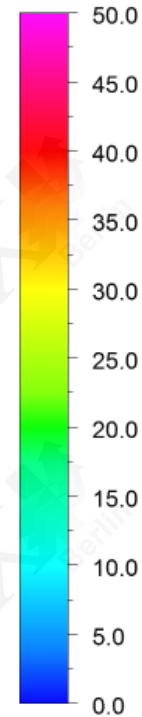
80.0 μs



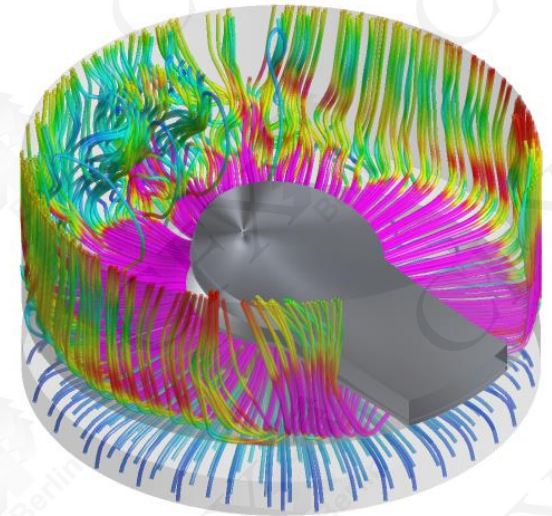
120.0 μs

- **Stromlinienverlauf**
 - Eingefärbt mit Strömungsgeschwindigkeit
 - Lamelle federt nach dem Anschlagen am Fänger zurück

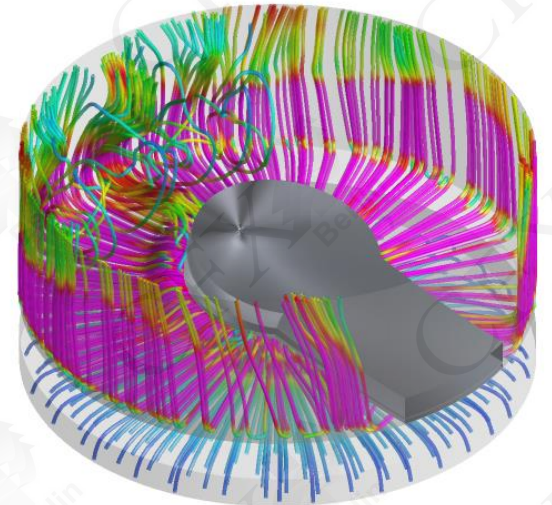
Strömungsgeschwindigkeit



[m s⁻¹]

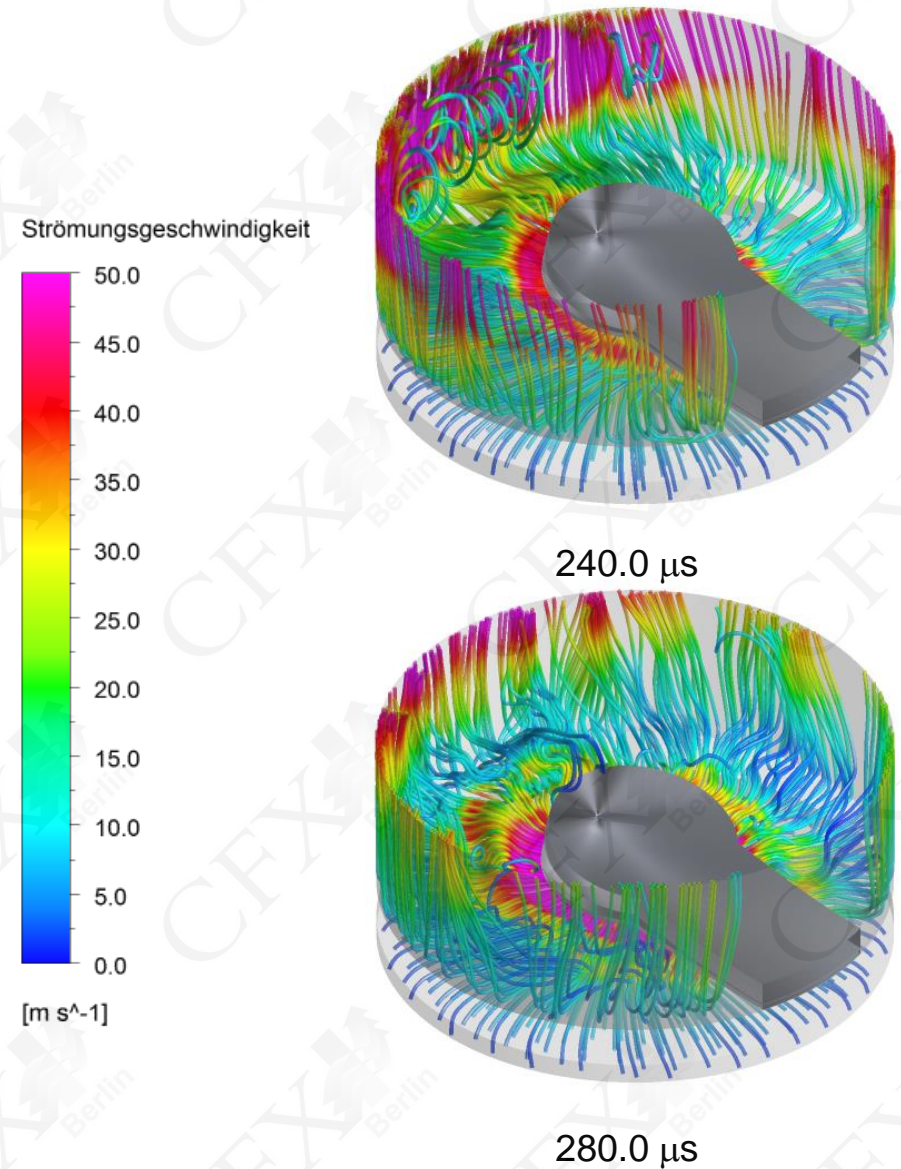


160.0 μ s



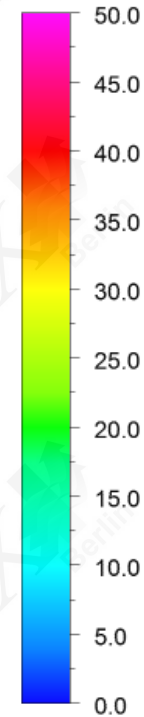
200.0 μ s

- **Stromlinienverlauf**
 - Eingefärbt mit Strömungsgeschwindigkeit
 - Lamelle bewegt sich nochmal in Richtung des Fängers

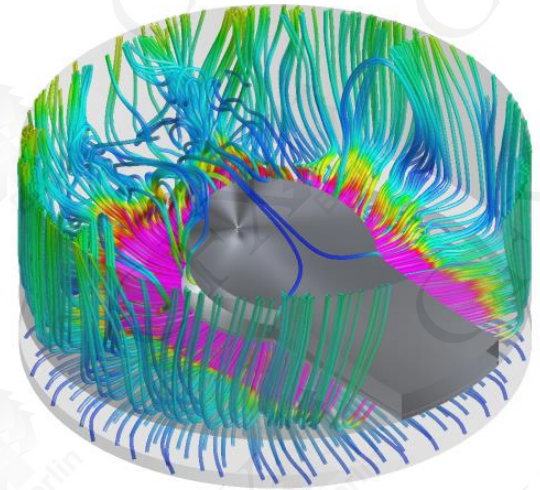


- **Stromlinienverlauf**
 - Eingefärbt mit Strömungsgeschwindigkeit
 - Lamelle bewegt sich nochmal in Richtung des Fängers

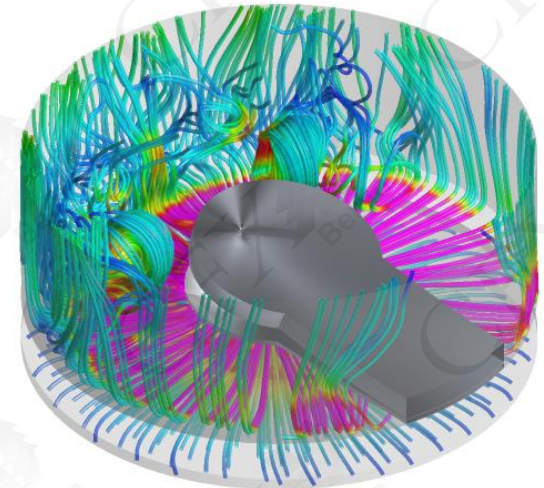
Strömungsgeschwindigkeit



$[m\ s^{-1}]$



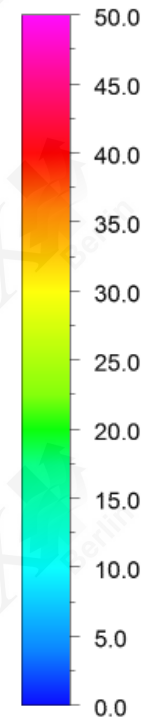
320.0 μs



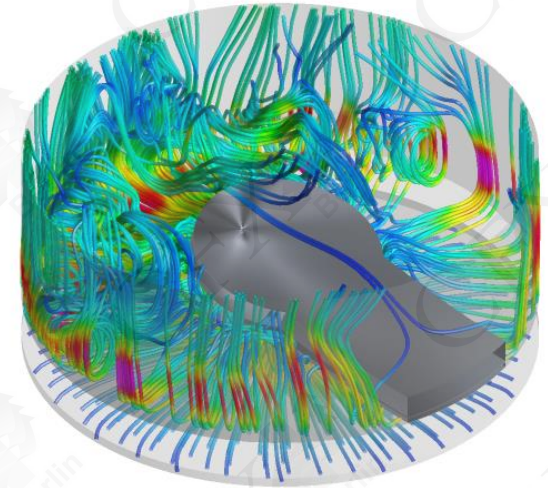
360.0 μs

- **Stromlinienverlauf**
 - Eingefärbt mit Strömungsgeschwindigkeit
 - Lamelle schließt den Druckraum ab

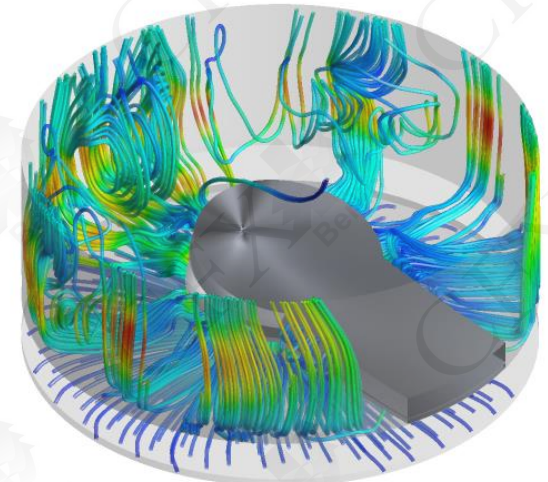
Strömungsgeschwindigkeit



[m s⁻¹]



400.0 μs



440.0 μs

FSI-Simulation eines Lamellenventils

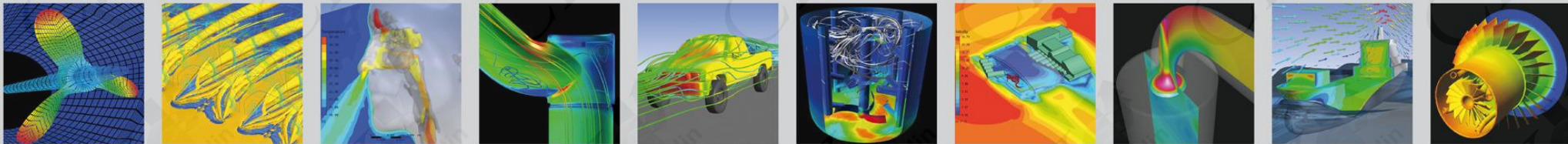
- strukturmechanischer Teil mit **ANSYS Mechanical**
- strömungsmechanischer Teil mit **ANSYS CFX**
- Kopplung durch „Drag and Drop“ in der **ANSYS Workbench**

Transiente Berechnung von

- Druckaufbau durch Kolbenbewegung
- Bewegung des Lamellenventils mit dynamischen Kontakten
- Strömung und Temperaturverteilung im Strömungsraum
- Spannungen in Ventillamelle und Fänger



- Durch Betrachtung des vollen Modells (ohne Symmetrie) können **asymmetrische Effekte** (Verwirbelung hinter der Ventillamelle, fertigungsbedingte verschiedene Spaltmaße) und deren Effekte auf die Lamellenbewegung (kein konstantes Abheben, Torsionsbewegung) berücksichtigt werden.
- Die **Temperatureinflüsse** auf die Struktur des Ventils wurden vernachlässigt, können aber ohne größeren Aufwand berücksichtigt werden.
- Die Verwendung eines feineren Gitters und höherer Turbulenzmodelle kann **kleinskaligere Wirbelstrukturen** abbilden.
- Die transiente mechanische und thermische Belastung der Ventillamelle kann für **Materialermüdungssimulationen** genutzt werden, um Ermüdungsrisse oder Ermüdungsbruch vorherzusagen.



ist kompetenter Partner für:

- ✓ ANSYS Simulationssoftware
- ✓ Berechnung & Optimierung
- ✓ Beratung & Schulung
- ✓ Forschung & Entwicklung

