CFX Berlin

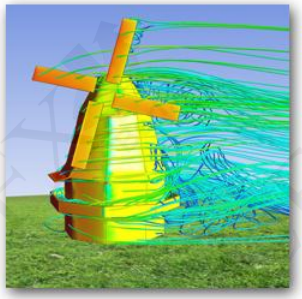
CFX Berlin Software GmbH
Simulationskompetenz aus Berlin

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

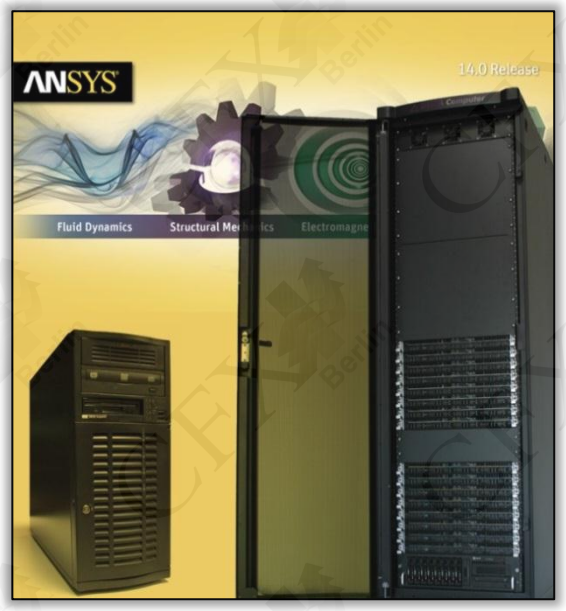


MAN WILO Pumpen Intelligenz. BOSCH Invented for life BORSIG PROCESS HEAT EXCHANGER Dräger GEA Rexroth Bosch Group Continental CONTITECH ADAMS ARMATUREN

CFX Berlin Software GmbH

Überblick I

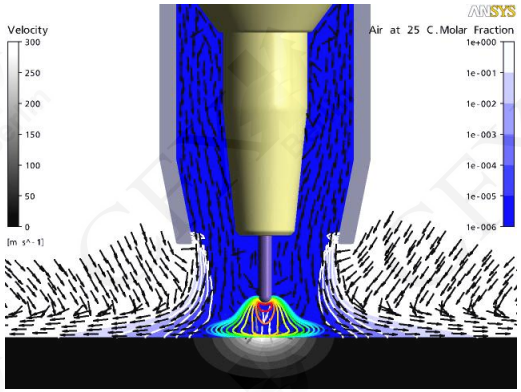
- Wie bieten Ihnen schlüsselfertige Simulationslösungen, bestehend aus:
  - ANSYS-Softwarelizenzen,
  - optimal abgestimmter Hardware,
  - individuellem Einarbeitungskonzept,
  - persönlichem Ansprechpartner für Support & Anwendungsberatung.



- 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.

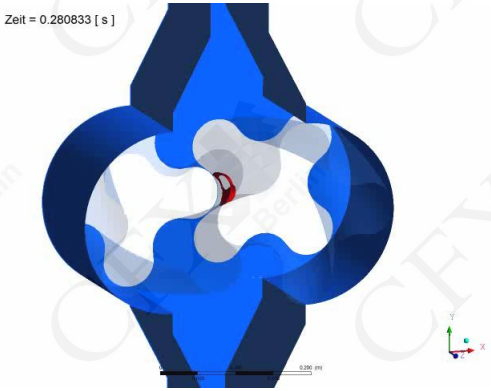
CFX Berlin Software GmbH
Überblick II

- Wir unterstützen auch im Rahmen von Dienstleistungen:
  - Simulation & Validierung mit Qualitätsgarantie
  - Auslegung & Optimierung von strömungstechnischen Maschinen und Anlagen
  - Modell- & Softwareentwicklung



Beispiel Schweißprozesssimulation: Schutzgasströmung mit Lichtbogen

- Wir machen Forschung & Entwicklung
  - öffentlich geförderte F&E-Projekte
  - industriegeförderte Auftragsforschung
  - interne Projekte

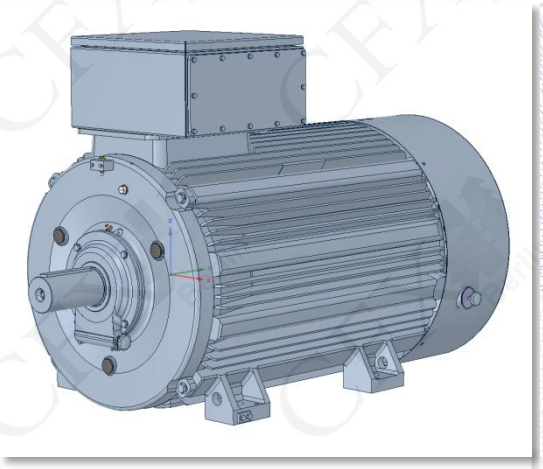


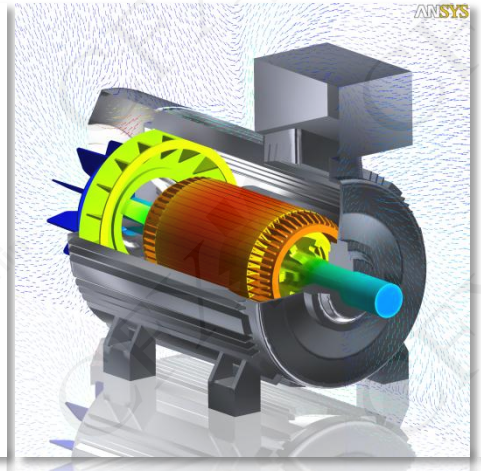
Beispiel Drehkolbenpumpe: Darstellung von Kavitation im Spalt

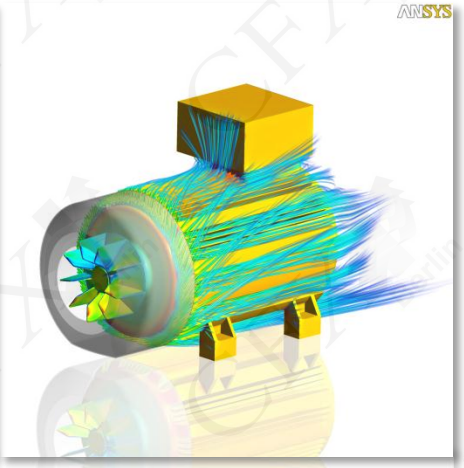
MAHLE TAKATA FES EagleBurgmann Siempelkamp LZH FIMA infineon truma

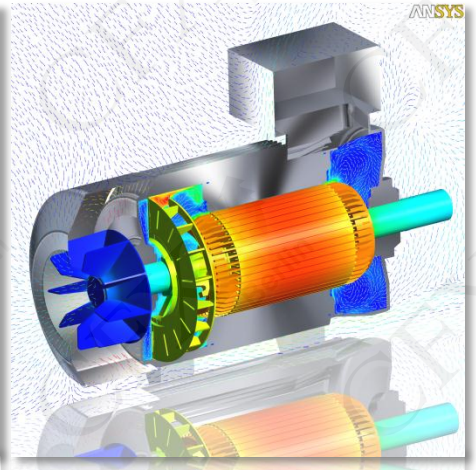
Herausforderung:

Aufbau & Validierung eines Simulationsmodells für die thermische Optimierung eines rippengekühlten Elektromotors mit ANSYS CFD









Aufgabenstellung

CFD-Simulation eines rippengekühlten Elektromotors

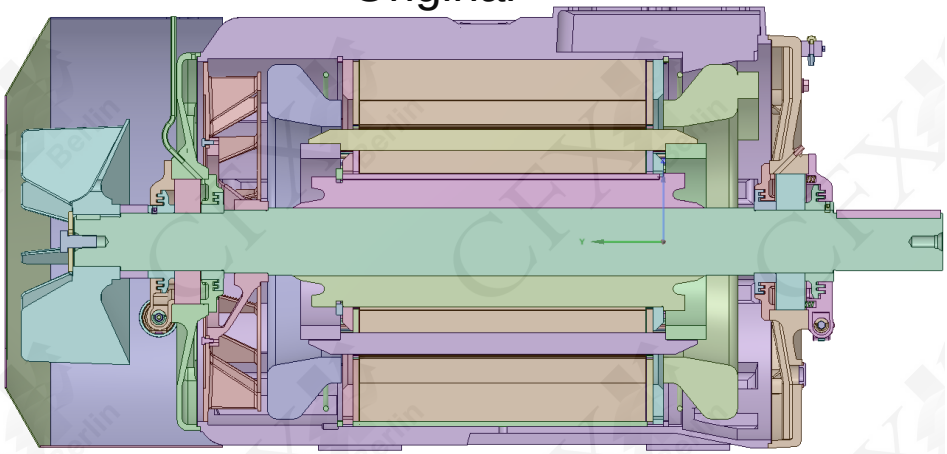
- Inhalt der Arbeiten war die „numerische Berechnung der Strömungs- und Temperaturverhältnisse für einen dreiphasigen Asynchronmotor Typ RH 400 M4“ der Firma AEM Dessau GmbH.

- Die Ziele dieser Arbeit sind:
  - Untersuchung des konduktiven und konvektiven Wärmetransports im Motor
  - Identifikation von Optimierungspotenzial
  - Abgleich der Simulationen mit Messergebnissen
    - Temperaturen
    - Strömung
    - Verlustleistungen

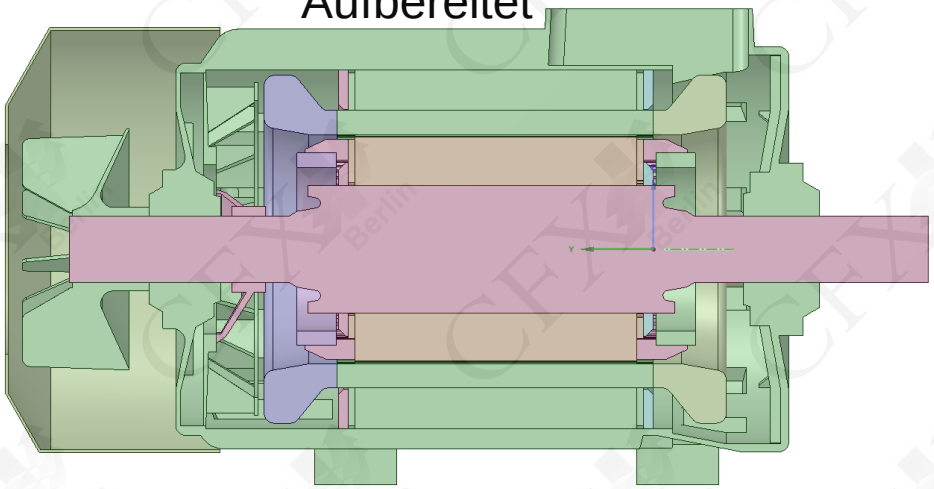
Berechnungsmodelle
Geometrie

- Geometrievorbereitung mit ANSYS SpaceClaim Direct Modeler:
  - Geometrieimport aus vorhandenen 3D-CAD-Daten
  - Entfernung irrelevanter Details (Schrauben, kleine Verrundungen)
  - Schließen von Bohrungen und Spalten
  - Extraktion vereinfachter Strömungs- und Festkörpervolumina
  - Aufteilung in rotierende, stehende und poröse Bereiche

Original

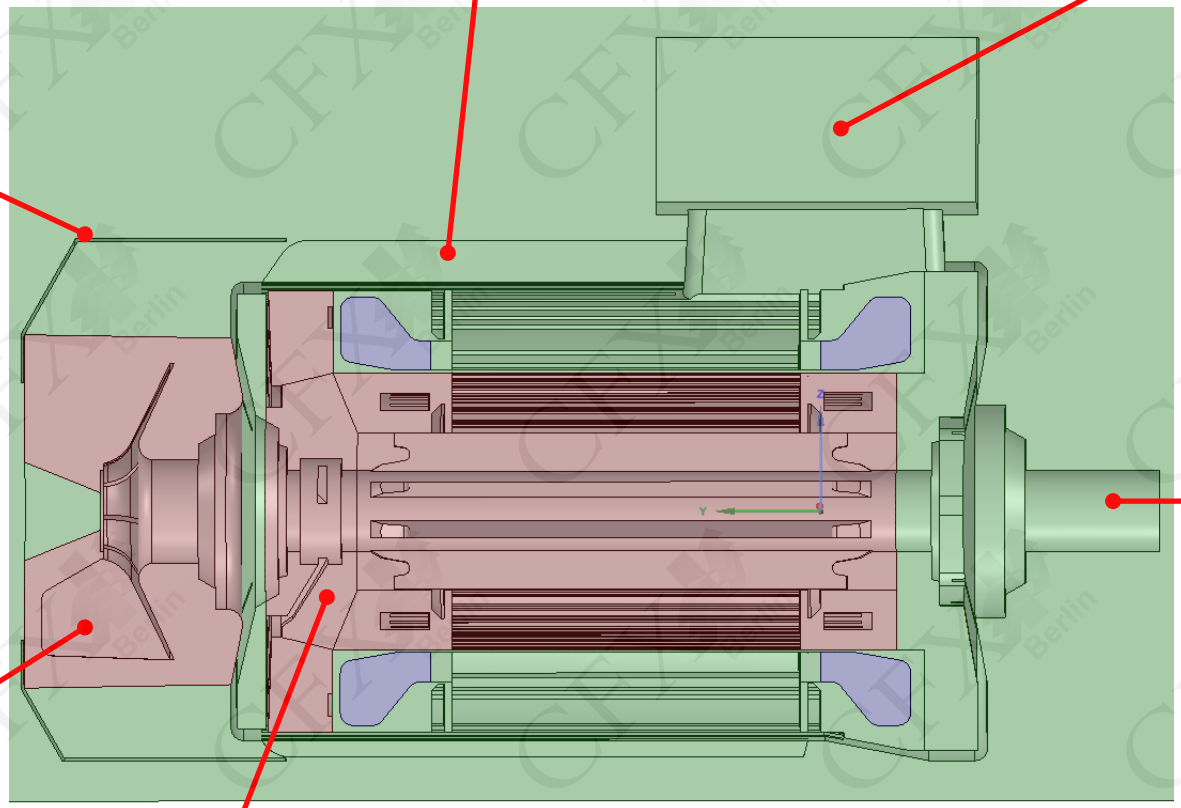


Aufbereitet



Berechnungsmodelle
Geometrie

- Geometrie:

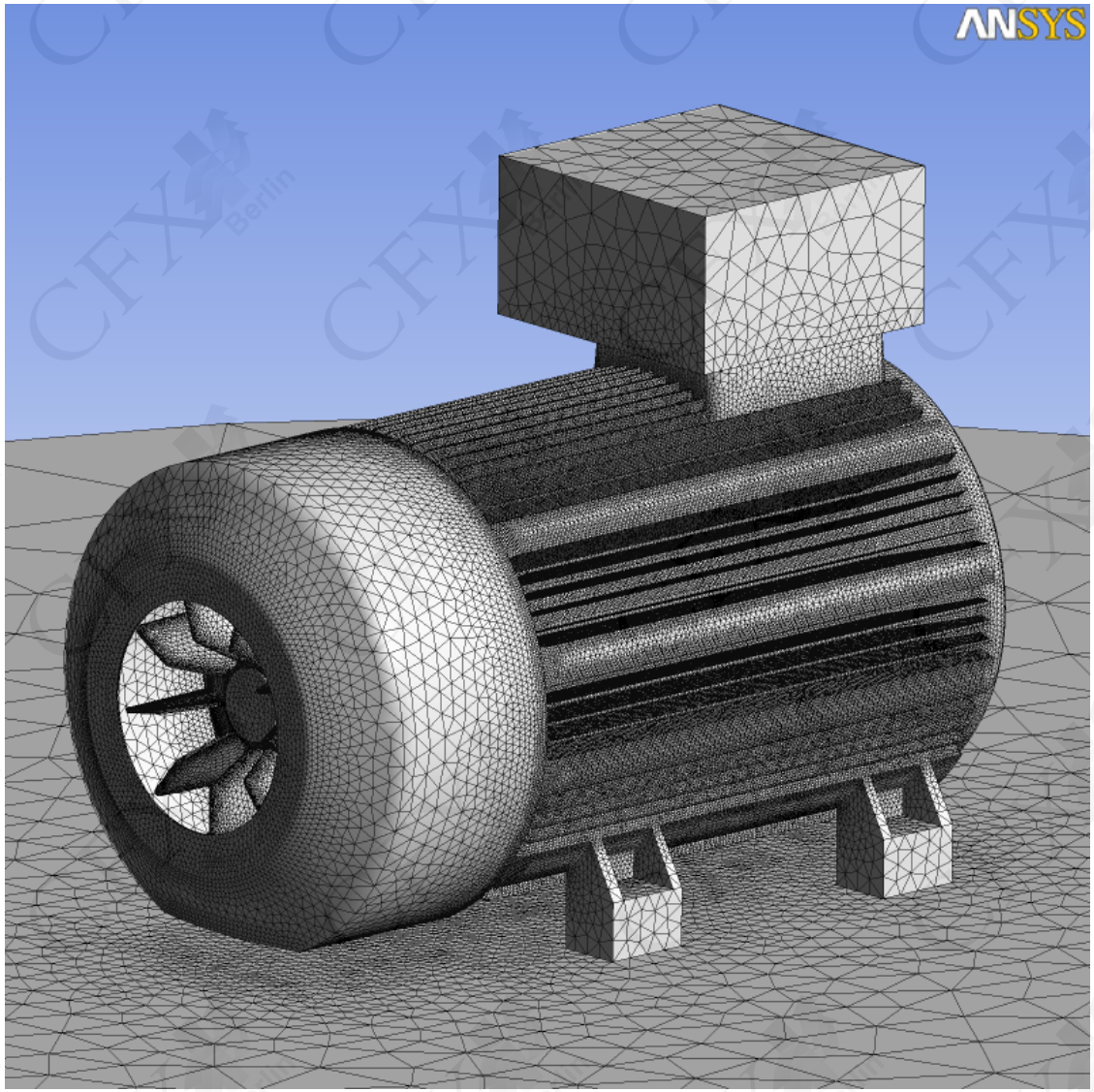


Rot = rotierend
Grün = stehend
Blau = porös

Berechnungsmodelle

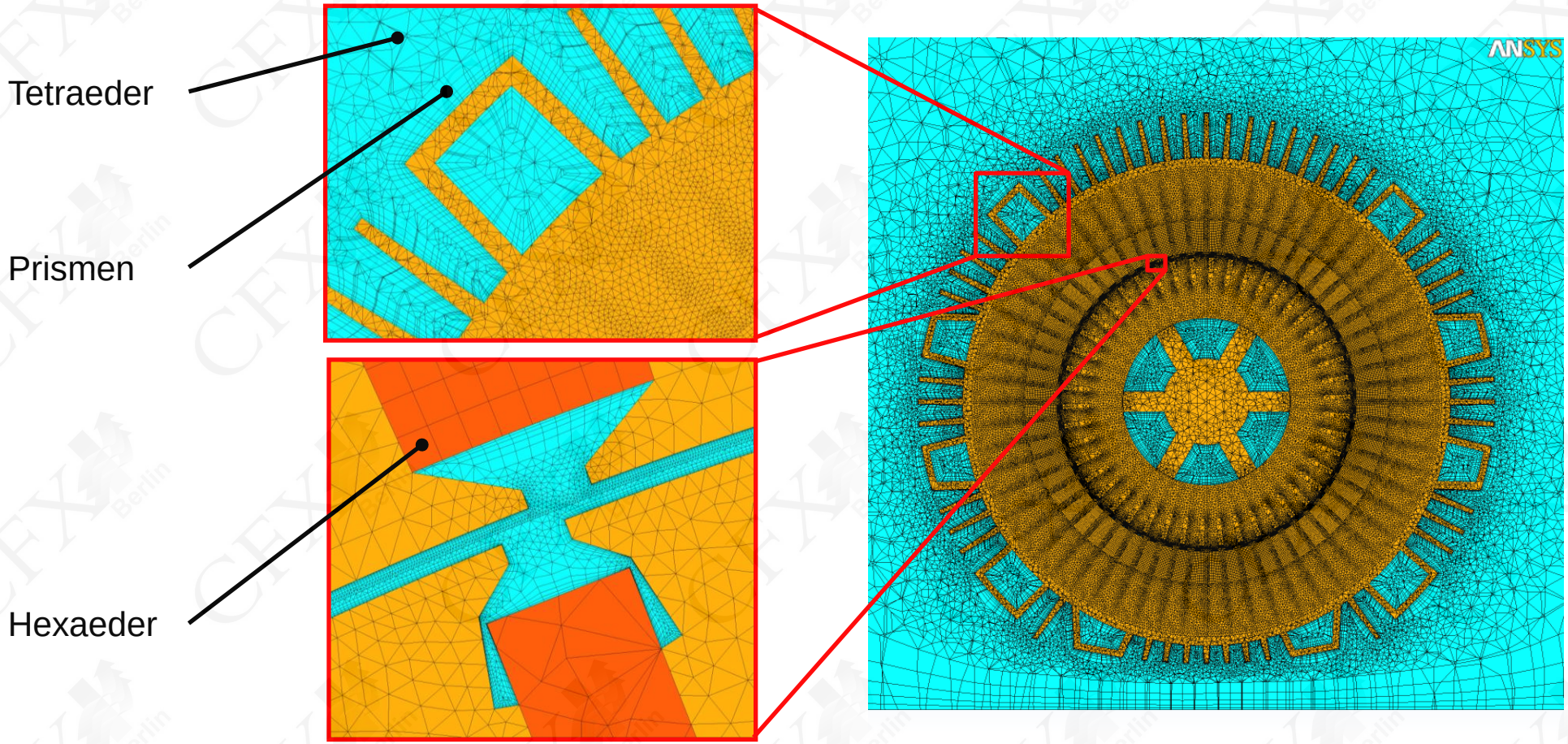
Rechengitter

- Unstrukturierte Vernetzung mit ANSYS Meshing:
  - Kombination verschiedener Vernetzungsmethoden
  - Automatische Kontaktsuche
  - Prismenelemente zur Grenzschichtauflösung
  - Insgesamt 17 Mio. Tetraeder, Prismen und Hexaeder (entspricht ca. 6 Mio. Knoten)



Berechnungsmodelle
Rechengitter

- Unstrukturierte Vernetzung mit ANSYS Meshing:

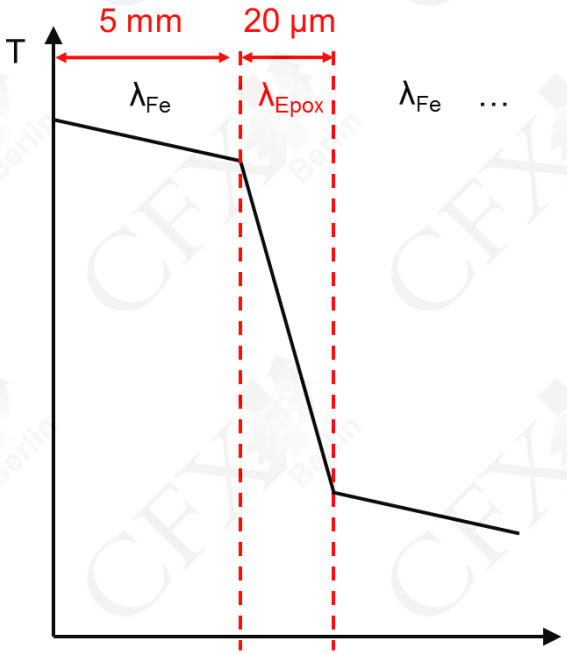


Berechnungsmodelle
Laminierung & Wicklung

- Modellierung der Laminierung in Rotor und Stator:
  - Reihenschaltung thermischer Widerstände:

$$\frac{l_{Gesamt}}{\lambda_{Gesamt}} = \frac{l_{Fe}}{\lambda_{Fe}} + \frac{l_{Epox}}{\lambda_{Epox}}$$

→ Auf 10% reduzierte, anisotrope Wärmeleitfähigkeit in Richtung der Rotationsachse



- Modellierung der Statorwicklung:
  - Poröses Medium
  - Druckverlust: $\frac{\Delta p_{tot}}{l} = \zeta \frac{\rho}{2} v^2$
  - Wärmeübergang: $\dot{Q}_{fluid->solid} = \alpha A \left(T_{fluid} - T_{solid}\right)$

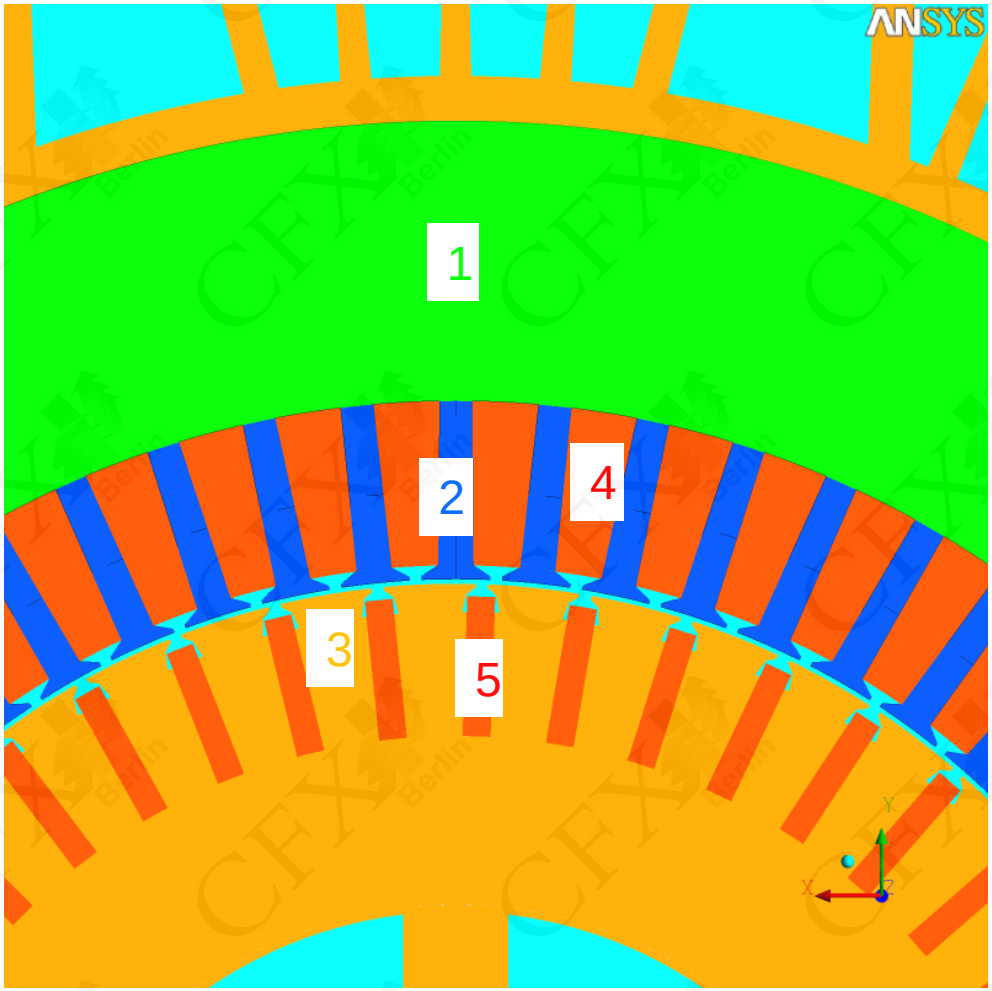
Berechnungsmodelle

Thermische Lastverteilung

- Vorgabe der elektrischen Verluste als Wärmequellen:
  - Aufteilung auf die verschiedenen Geometriebereiche erfolgt durch Erfahrung oder Auslegungs-werkzeuge
    1. Statorjoch
    2. Statorzähne
       Statorstreuung
    3. Rotoreisen
    4. Statorkupfer:
       Wickelköpfe
       Nutteil
    5. Rotorkupfer:
       Kurzschlussringe
       Rotorstäbe

    Kernverluste

    Ohmsche Verluste
- Weitere Wärmequellen:
  - Lagerreibung: wird geschätzt
  - Lüfterverluste: Teil der Lösung



Berechnung
Lösungsverfahren

- Beschreibung reibungsbehafteter Strömungen von Gasen und Fluiden durch Erhaltungsgleichungen für Masse, Impuls (Navier-Stokes-Gleichungen) und Enthalpie
  - Masse

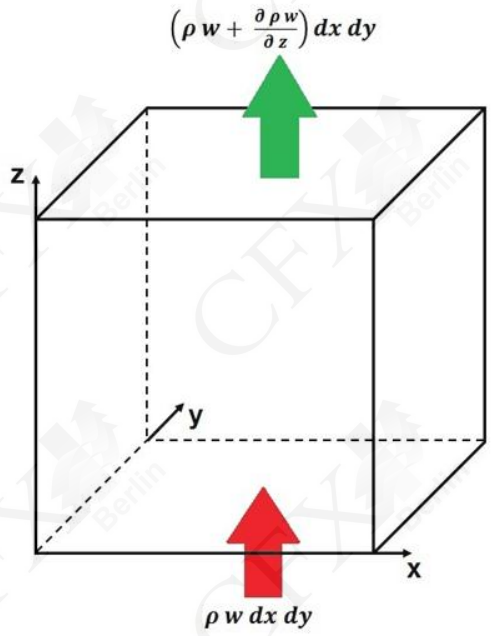
$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x_j}(\rho\, u_j) = 0$$

  - Impuls

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho\, u_i) + \frac{\partial}{\partial x_j}(\rho\, u_j\, u_i) = -\frac{\partial\, p}{\partial\, x_i} + \frac{\partial}{\partial\, x_j}\left(\mu_{eff}\left(\frac{\partial\, u_i}{\partial\, x_j} + \frac{\partial\, u_j}{\partial\, x_i}\right)\right) + S_{M,i}$$

  - Enthalpie

$$\frac{\partial(\rho\, h_{tot})}{\partial t} - \frac{\partial p}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x_j}(\rho\, u_j\, h_{tot}) = \frac{\partial}{\partial x_j}\lambda\frac{\partial T}{\partial x_j} + \frac{\partial}{\partial x_j}(u_i \tau_{ij}) + u_i S_{M,i} + S_E$$



$$d\dot{m}_x = \rho\, u\, dy\, dz$$

$$d\dot{m}_{x+dx} = \left(\rho\, u + \frac{\partial \rho u}{\partial x}\right) dy\, dz$$

$$d\dot{m}_y = \rho\, v\, dx\, dz$$

$$d\dot{m}_{y+dy} = \left(\rho\, v + \frac{\partial \rho v}{\partial y}\right) dx\, dz$$

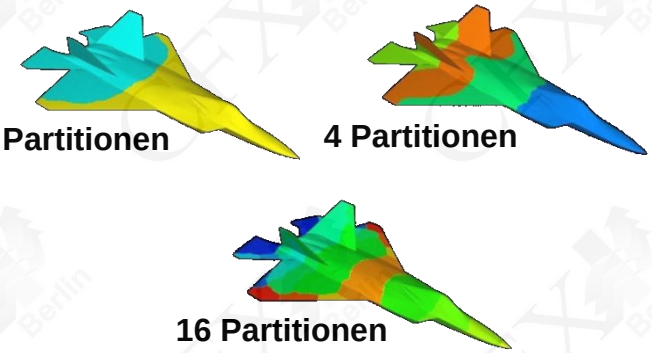
$$d\dot{m}_z = \rho\, w\, dx\, dy$$

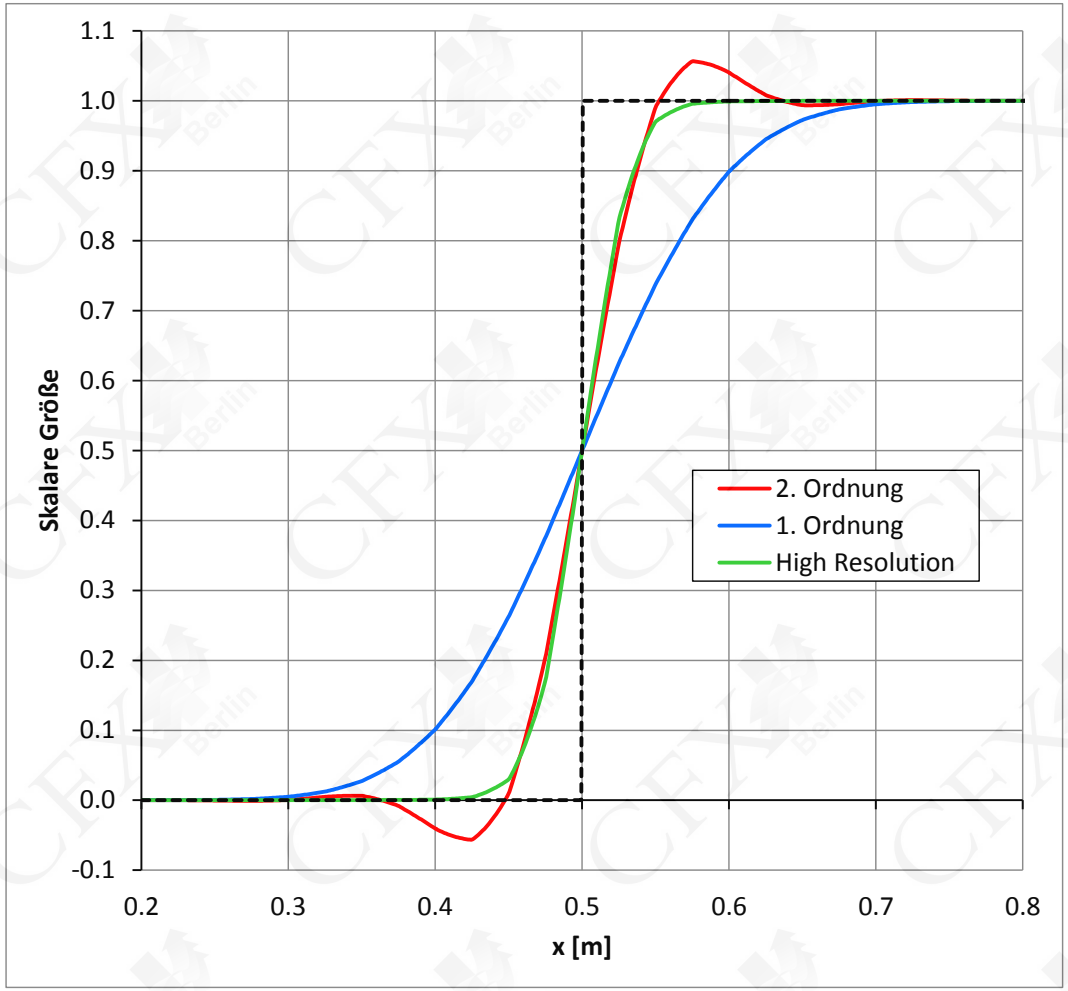
$$d\dot{m}_{z+dz} = \left(\rho\, w + \frac{\partial \rho w}{\partial z}\right) dx\, dy$$

$$d\dot{m} = 0 \Rightarrow \boxed{\frac{\partial \rho}{\partial t} + \frac{\partial \rho u}{\partial x} + \frac{\partial \rho v}{\partial y} + \frac{\partial \rho w}{\partial z} = 0}$$

Berechnung
Lösungsverfahren

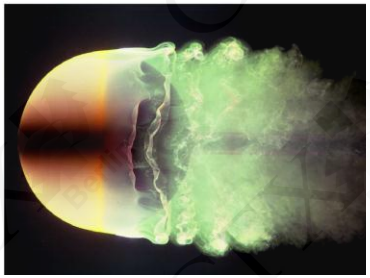
- Methode
  - Finite Volumen
- Diskretisierung
  - Genaues und robustes Diskretisierungsschema („High Resolution“)
  - Abbruchfehler 2.Ordnung
- Lösungsverfahren
  - Parallelisierter, gekoppelter Löser
  - Algebraisches Mehrgitterverfahren



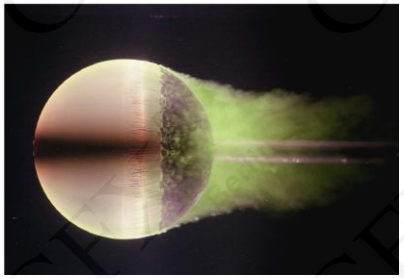


Berechnung
Turbulenzmodell

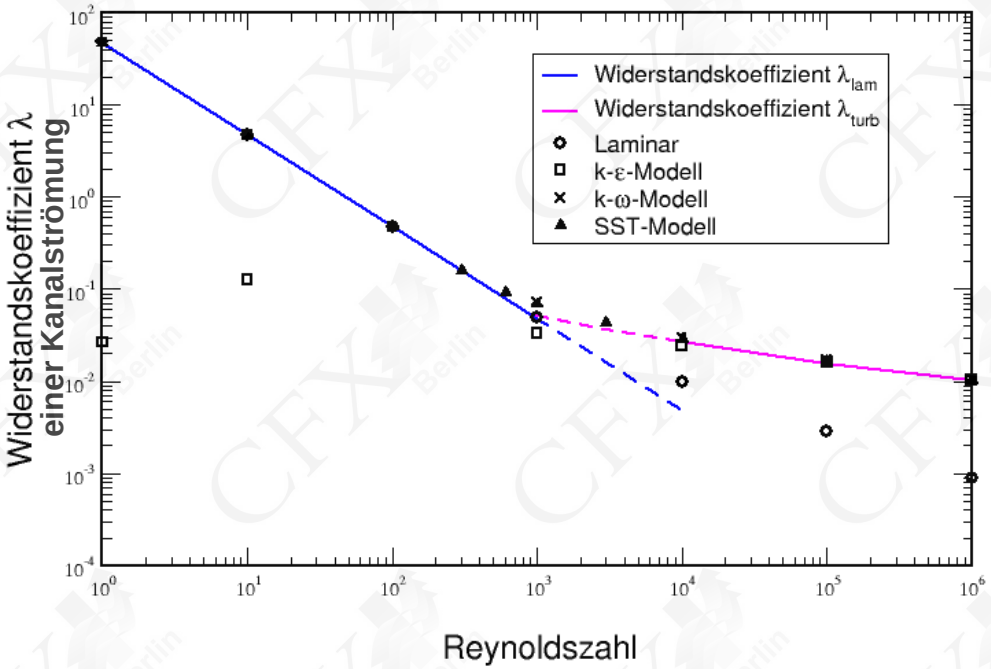
- Turbulenzmodellierung
  - Statistische Turbulenzmodelle in stationären und transienten Simulationen (RANS/URANS)
- Turbulente Strömung
  - Irreguläre, transiente, vielskalige dreidimensionale Fluidbewegung
  - Dissipativ und diffusiv
  - In den meisten technischen Anwendungen wichtig
- Shear-Stress-Transport-Turbulenzmodell (SST)
  - Gültig in der freien Strömung bis in die laminare Unterschicht an der Wand
  - Annahme einer isotropen Turbulenz



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

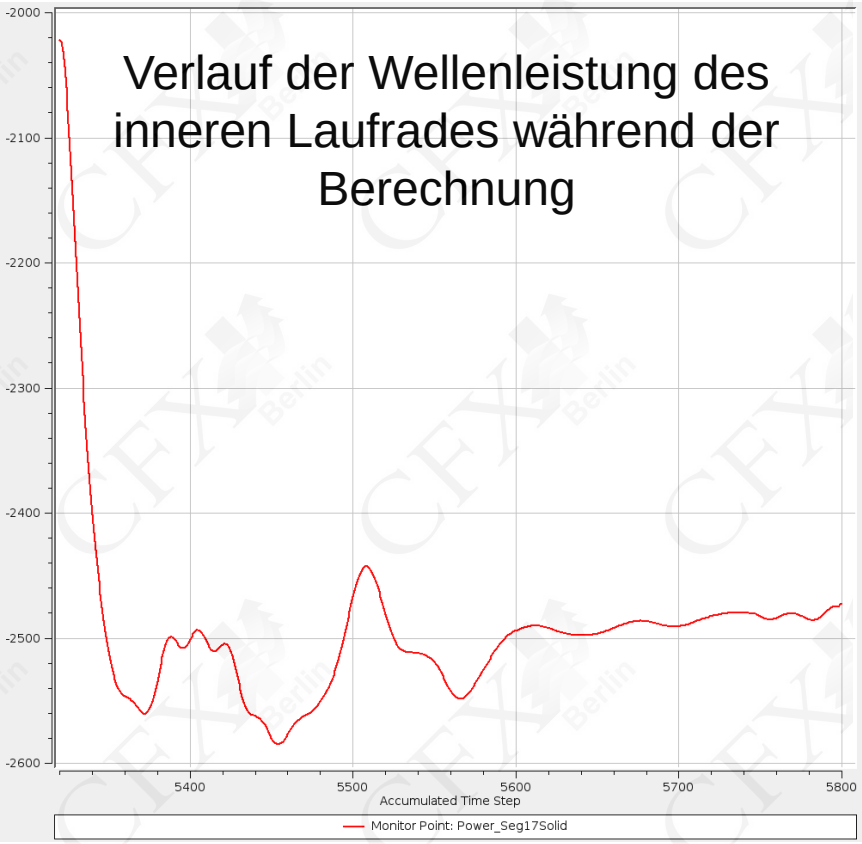


turbulente Grenzschicht ($Re = 5 \cdot 10^5$)



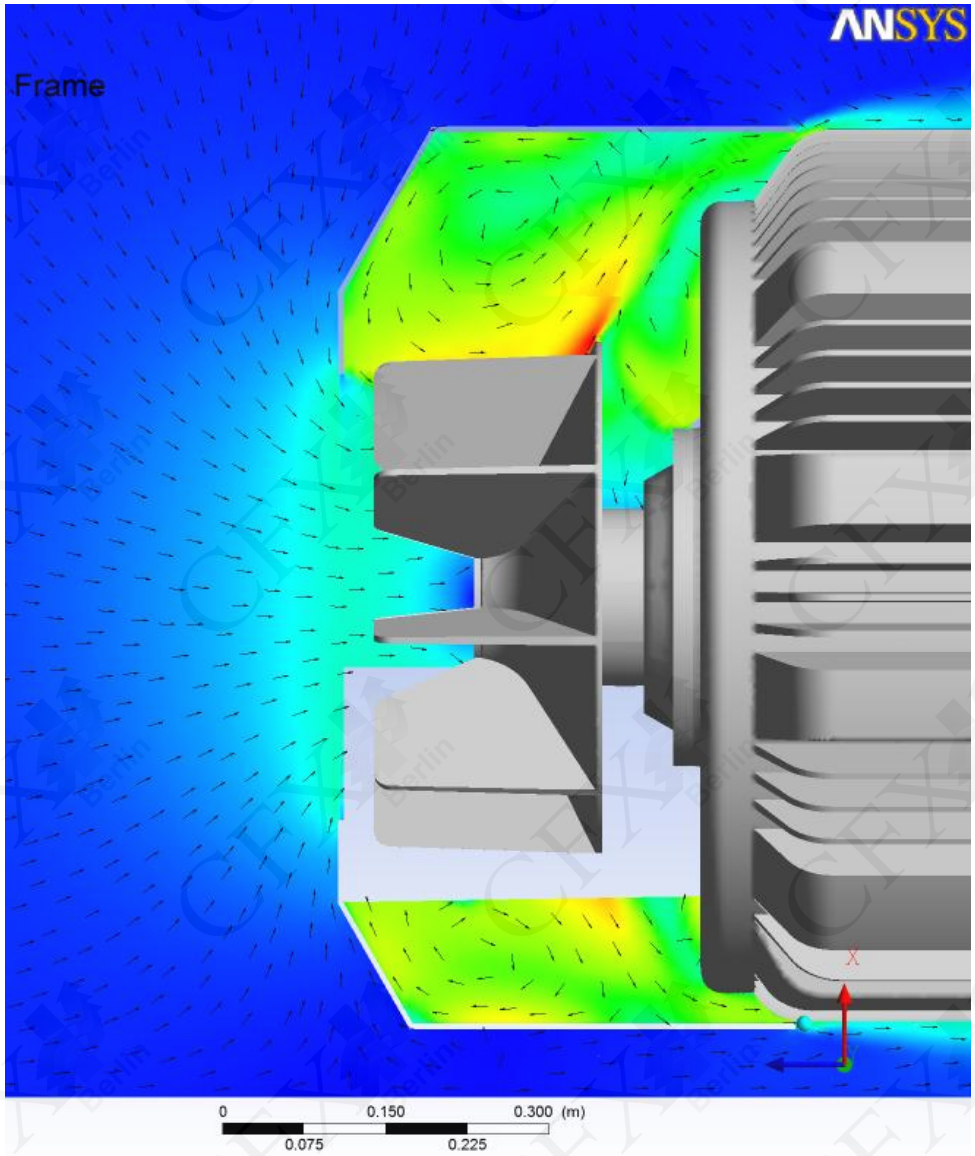
Berechnung
Lösungskontrolle

- Konvergenzverhalten
  - RMS-Residuen < $5 \cdot 10^{-4}$
  - Globale Bilanzen zu 1% erfüllt
  - Die Berechnung zeigt leichte Schwingungen in einigen Monitorpunkten. Diese transienten Effekte werden in der stationären Simulation nur teilweise abgebildet. Eine transiente Berechnung wäre aber sehr aufwändig (Rechenaufwand x 100). Der Einfluss auf das Temperaturfeld wird als gering eingeschätzt. Daher werden die Ergebnisse der stationären Simulation ausgewertet.
- Berechnungsverlauf
  - Arbeitsspeicher: 45 GB
  - Anzahl Prozessoren: 24 (3.2 GHz)
  - Berechnungsdauer: ca. 30 Stunden



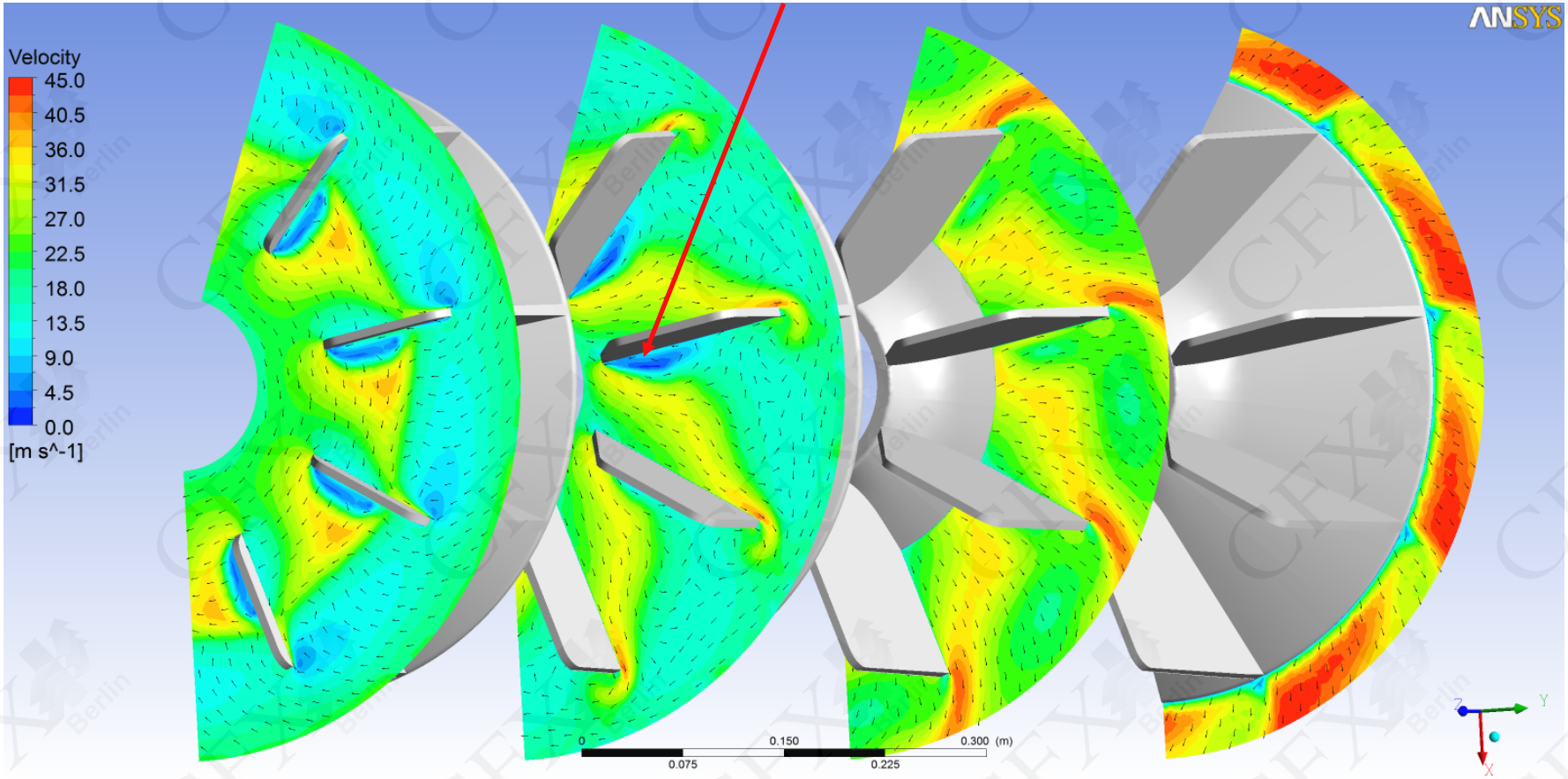
Ergebnis
Strömungsfeld

- Zuströmung zum Lüfter für die Außenkühlung
  - Schnittebene entlang der Rotationsachse
  - Geschwindigkeit im stehenden Bezugssystem
  - ➢ Drallfreie und homogene Zuströmung
  - ➢ Rezirkulationsgebiet im Haubeninneren



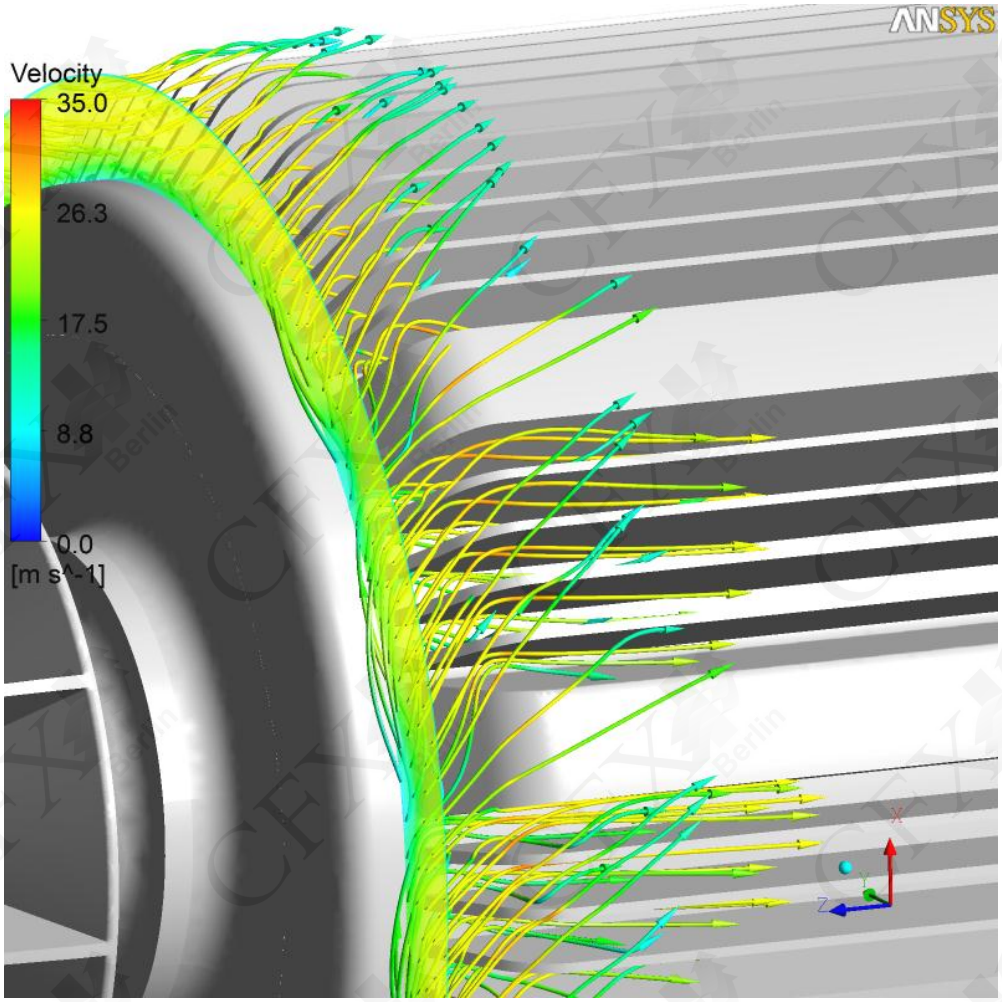
Ergebnis
Strömungsfeld

- Identifikation von Ablösung am Lüfter
  - Schnittebenen quer zur Rotationsachse
  - Geschwindigkeit im rotierenden Bezugssystem
  - ➢ Radiale Schaufelstellung führt zu Ablösung auf Schaufelrückseite.



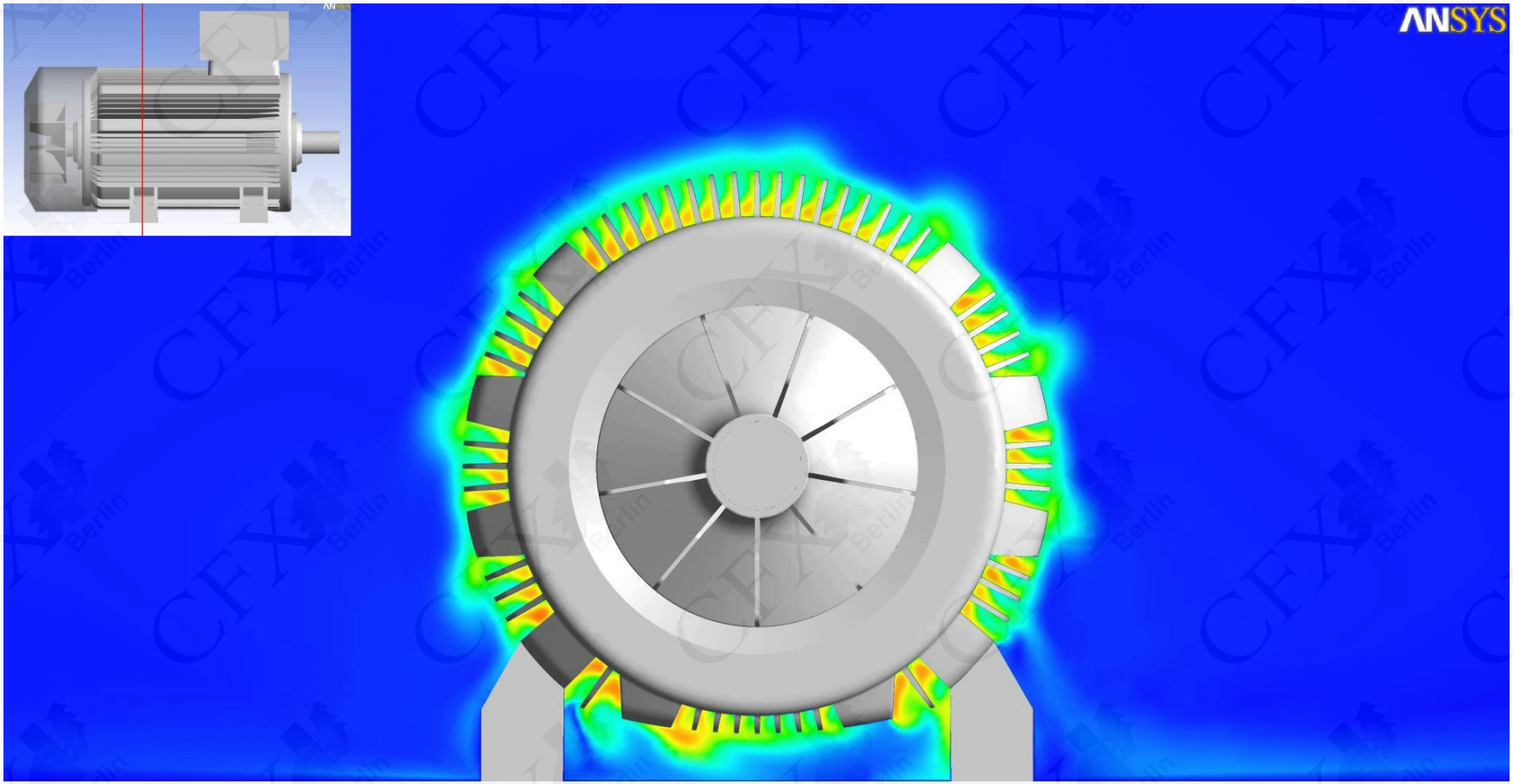
Ergebnis
Strömungsfeld

- Ausströmung aus der Haube
  - Stromlinien starten am Hauben-auslass
    - ➢ Über 83 % des Förderstromes strömt in die Rippenkanäle.
    - ➢ Restliche Strömung entweicht nach außen und bleibt verdrallt.



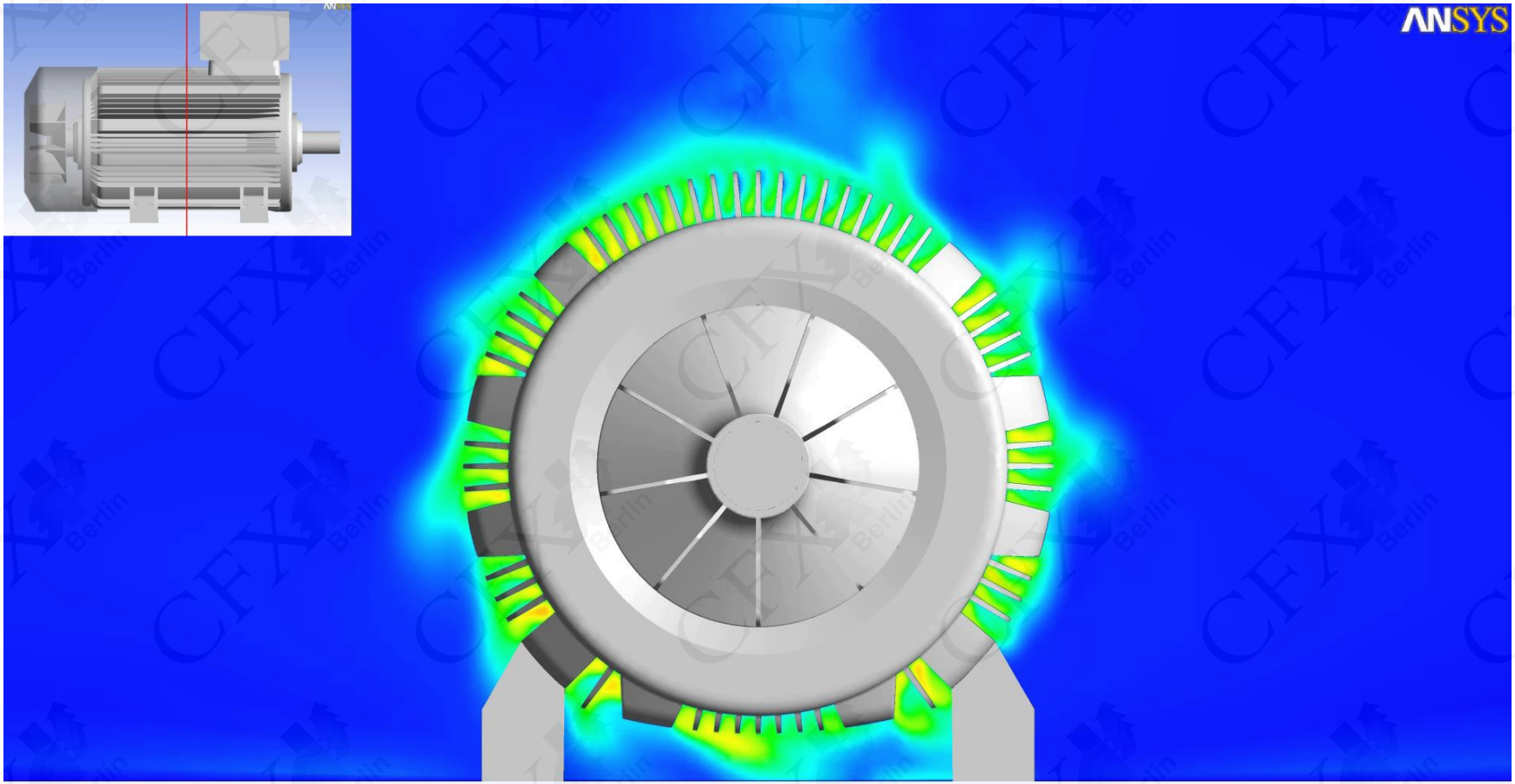
Ergebnis
Strömungsfeld

- Außenströmung an den Kühlrippen
  - Geschwindigkeitsverteilung auf Schnittebenen quer zur Rotationsachse



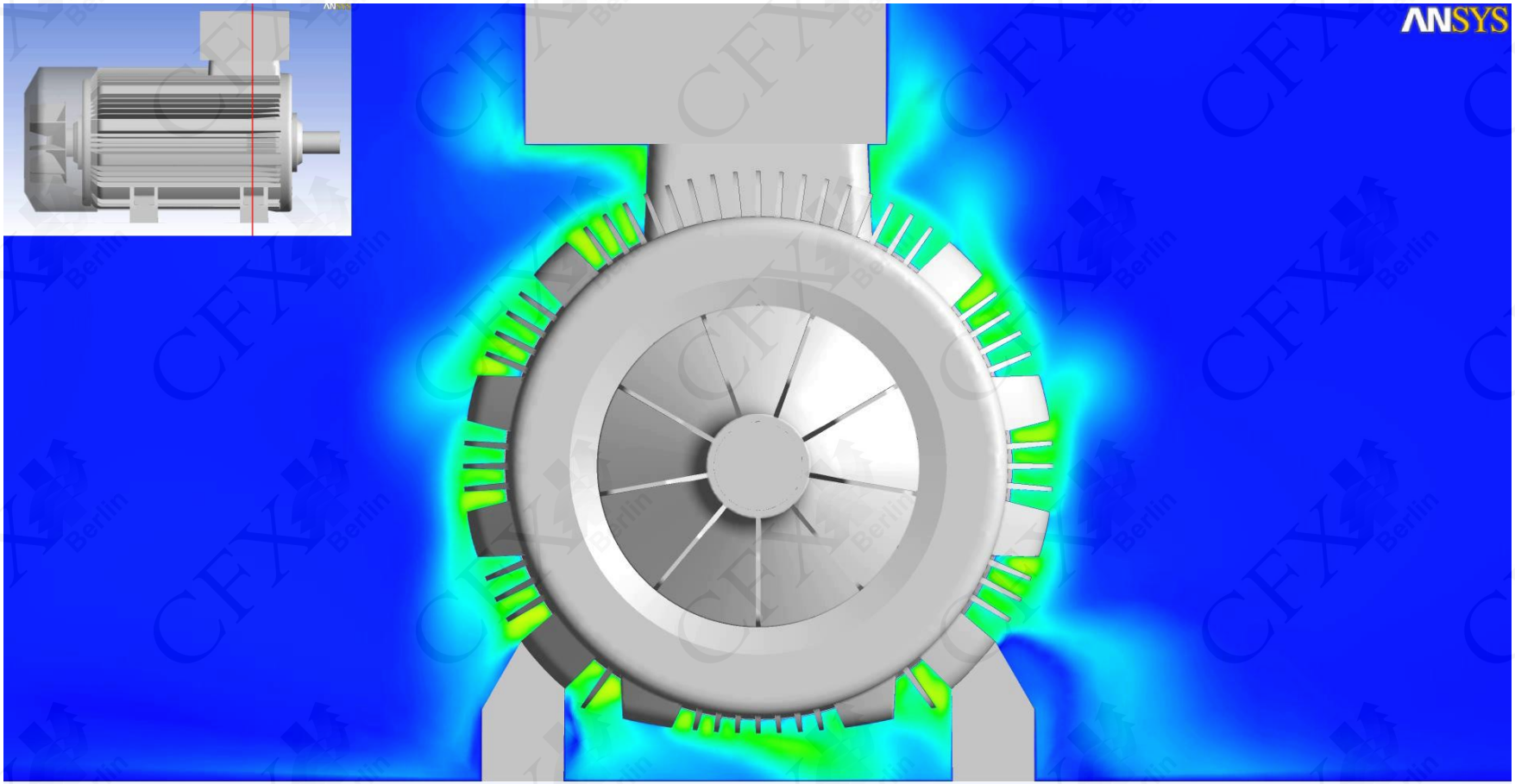
Ergebnis
Strömungsfeld

- Außenströmung an den Kühlrippen
  - Geschwindigkeitsverteilung auf Schnittebenen quer zur Rotationsachse



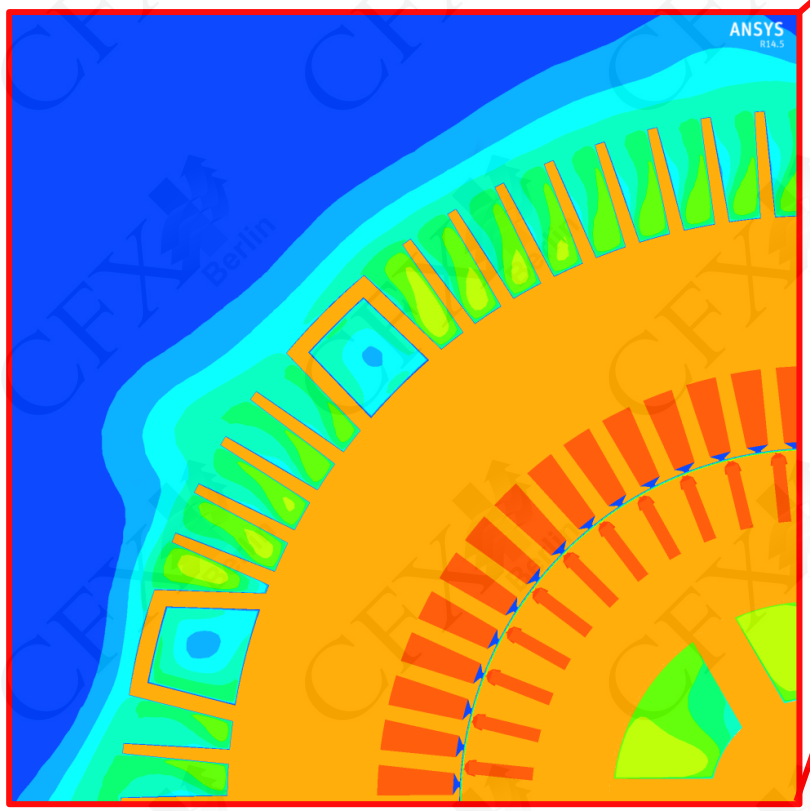
Ergebnis
Strömungsfeld

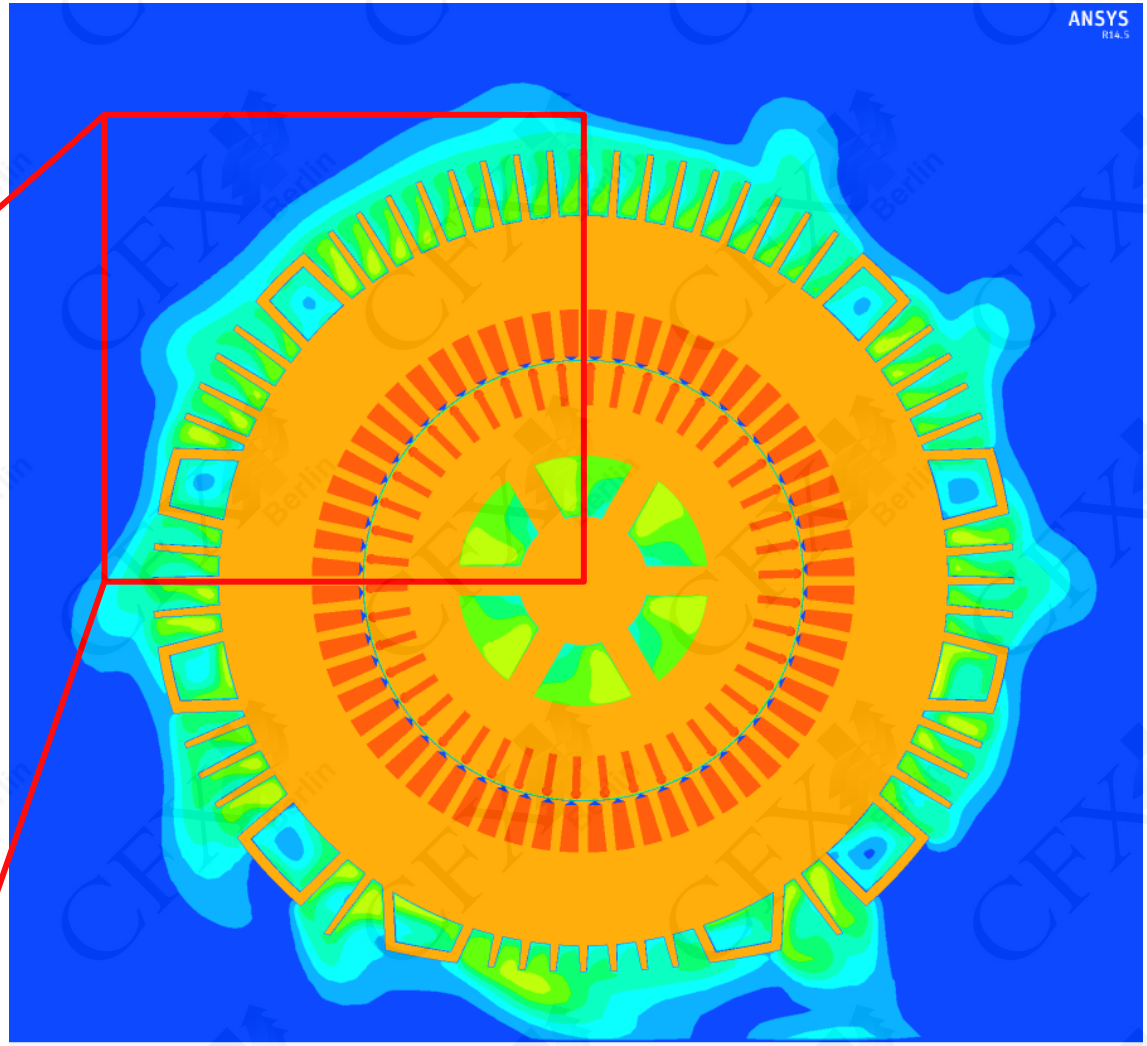
- Außenströmung an den Kühlrippen
  - Geschwindigkeitsverteilung auf Schnittebenen quer zur Rotationsachse



Ergebnis
Strömungsfeld

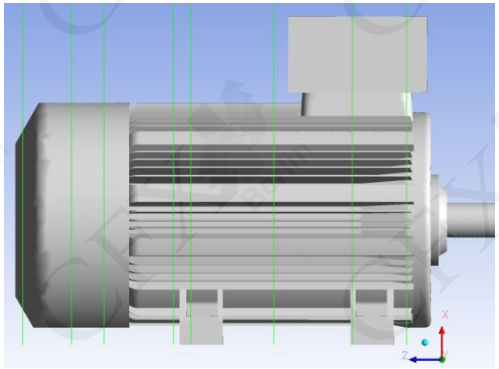
- Innen- und Außenströmung
  - Geschwindigkeitsverteilung auf einer Schnittebene

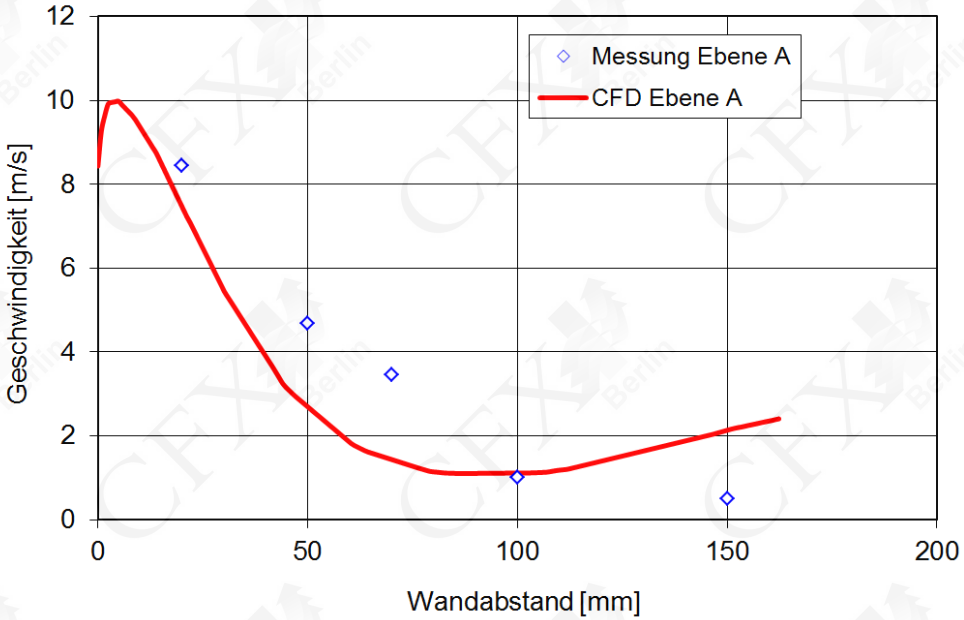


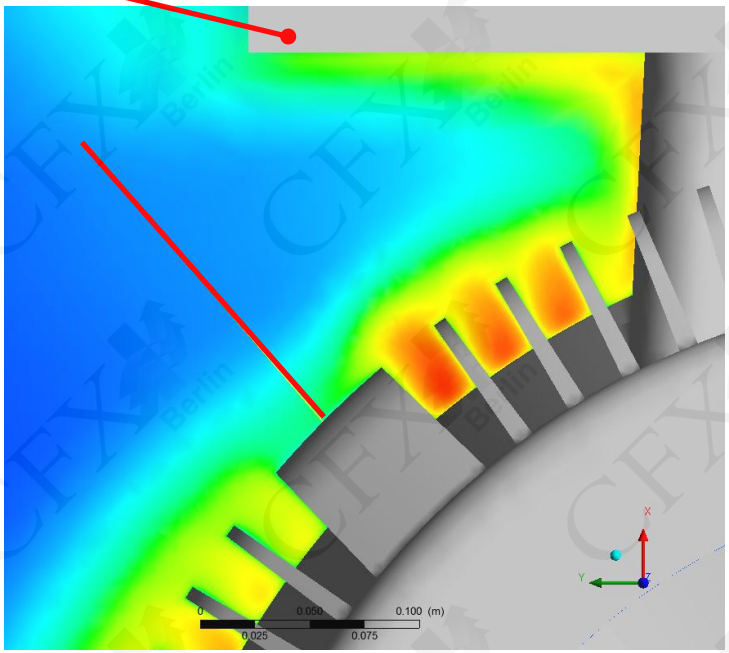


Validierung
Strömung

- Vergleich der Gehäuseüberströmung
  - Geschwindigkeiten auf radialer Messlinie
  - ➢ Gute Übereinstimmung trotz bedingter Vergleichbarkeit, da Klemmkasten in Messung fehlte



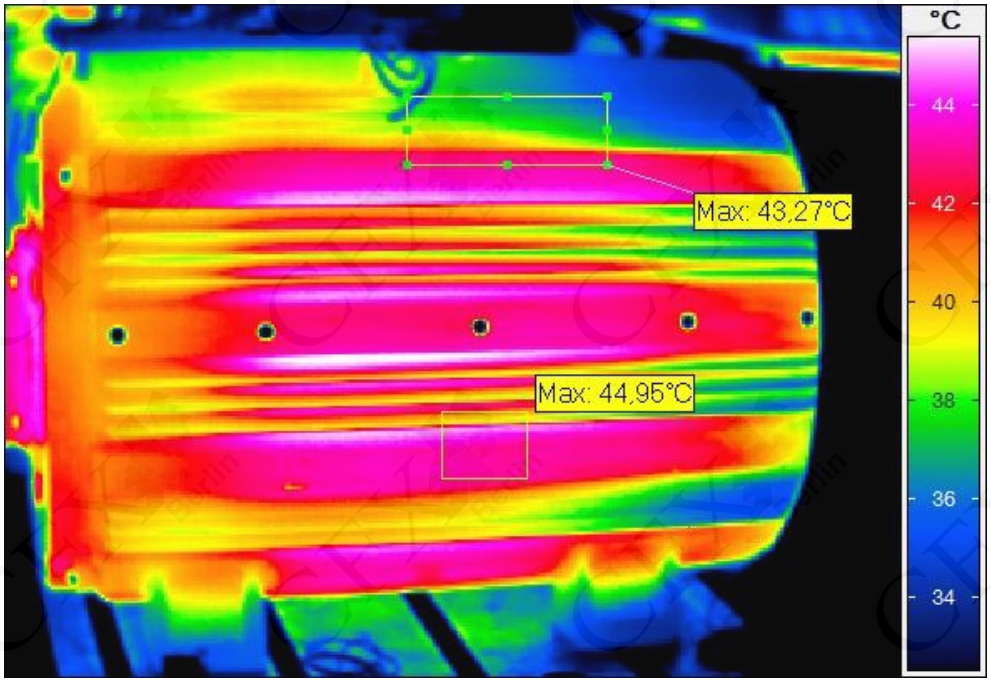




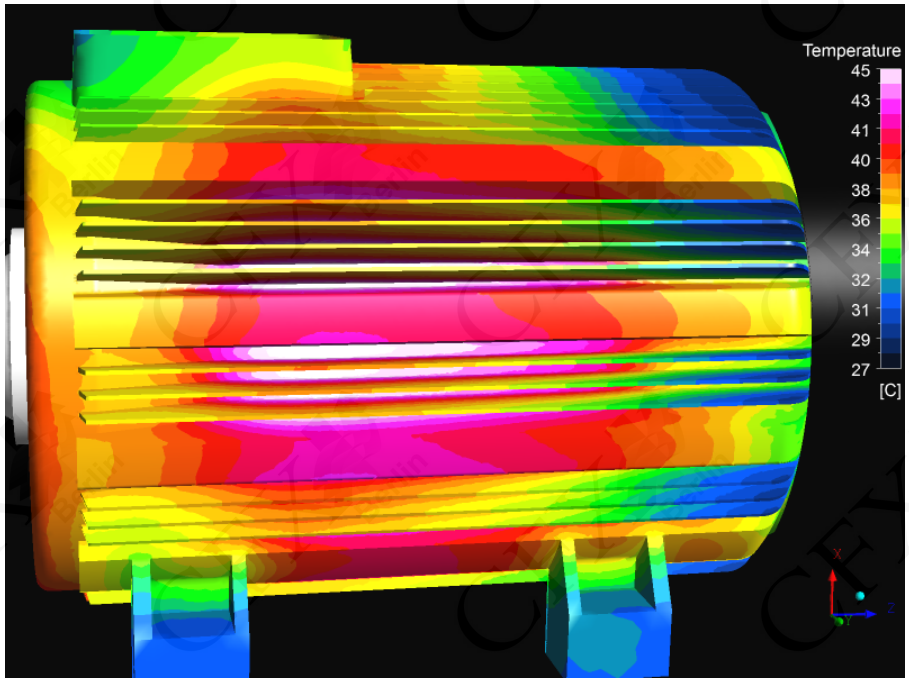
Validierung
Temperatur

- Vergleich der Außentemperaturen im Leerlauf
  - Temperaturfeld auf der Gehäuseoberfläche

Thermokamera

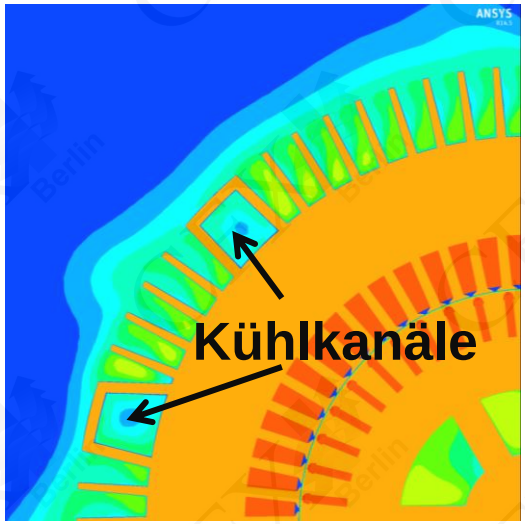


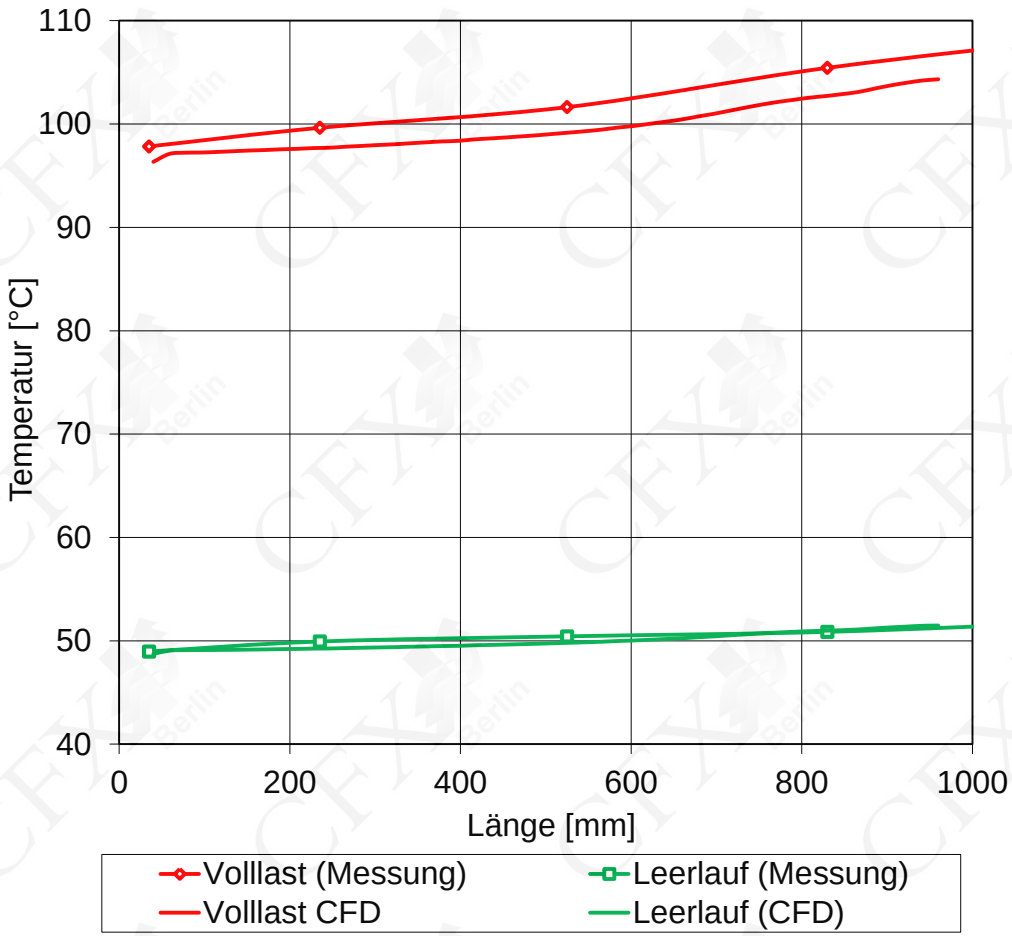
CFD-Simulation



Validierung
Temperatur

- Vergleich des Temperaturverlaufs in den inneren Kühlkanälen
  - über Querschnitte gemittelte Temperaturen in den Kühlkanälen
  - ➢ Gute Übereinstimmung mit gemessenen Werten
  - ➢ Abweichungen nur wenige Prozent, können durch getroffene Modellannahmen erklärt werden

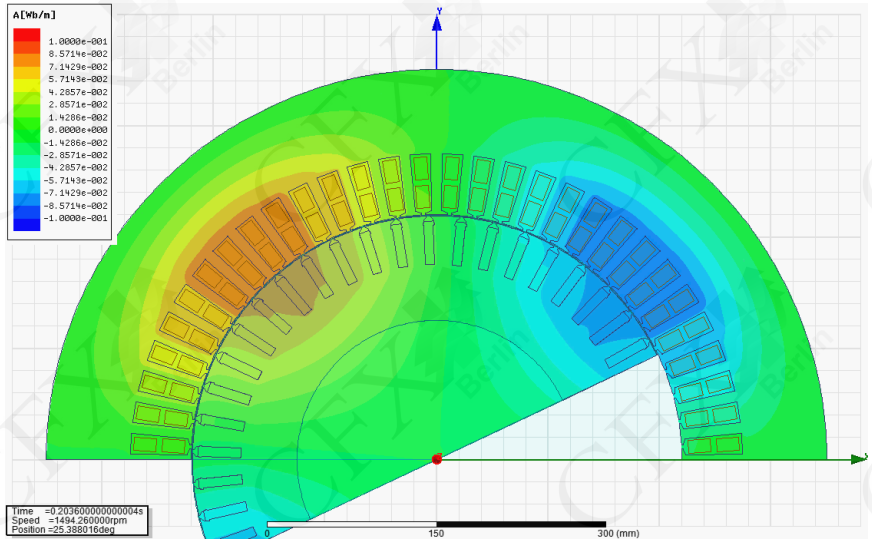




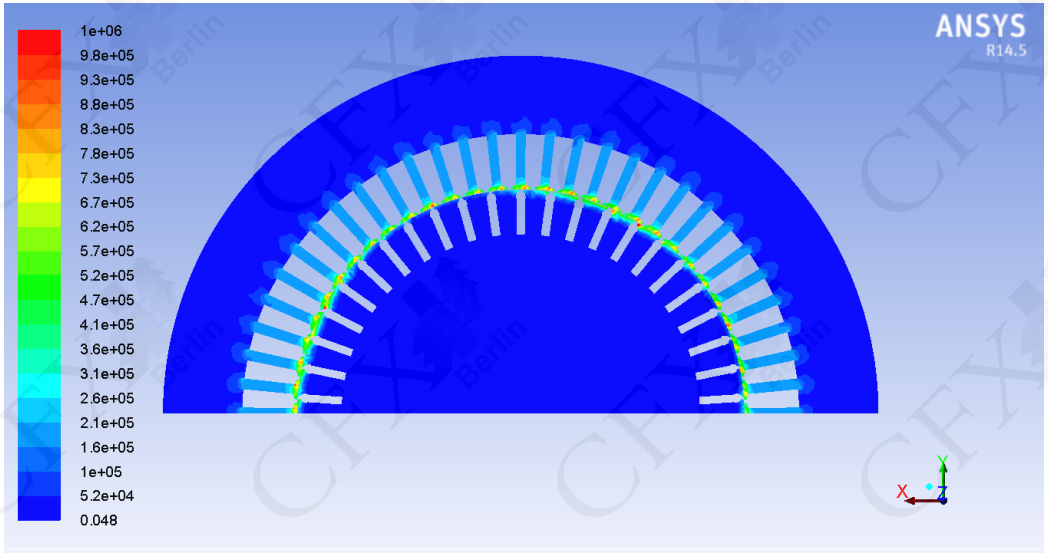
Validierung
Thermische Lastverteilung

- Validierung der räumlichen Verlustverteilung durch elektromagnetische Simulation mit ANSYS Maxwell

Magnetisches Vektorpotential



Zeitlich gemittelte Kernverluste [W/m³]

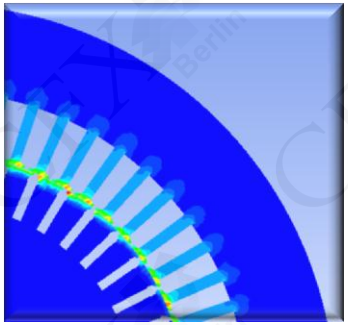


Modellerweiterung

Mögliche Kopplung mit elektromagnetischen Berechnungen

- Validierung der räumlichen Verlustverteilung durch elektromagnetische Simulation mit ANSYS Maxwell
  - Die Temperaturabhängigkeit der Stoffeigenschaften beeinflusst die Ohmschen Verluste.
    → Iteratives Vorgehen, bis eine definierte Toleranz erreicht wird.

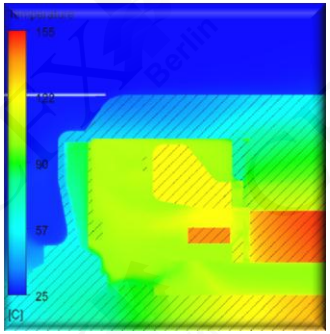
Elektromagnetik



Verluste

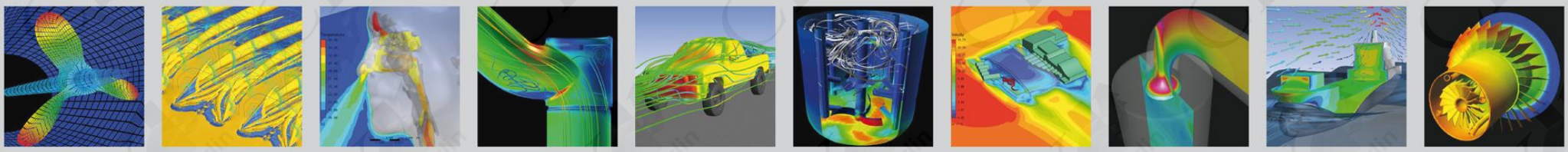
Temperaturen

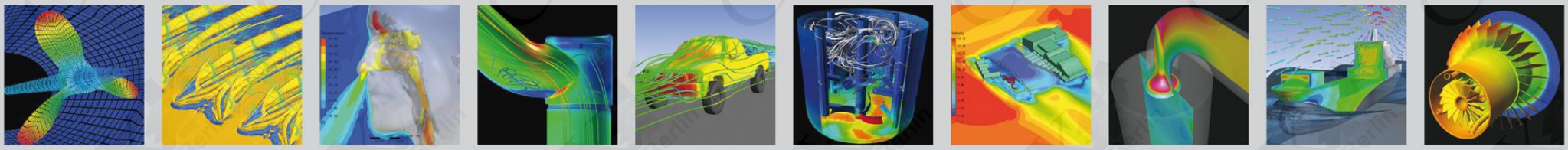
Strömungssimulation



- Mögliche Vorgehensweise:
  - Kopplung integral zwischen “Parts” (oft manuell ausgeführt)
  - Kopplung mit Mapping der Verluste auf das CFD-Gitter (höhere Genauigkeit)

CFX Berlin Software GmbH



ist kompetenter Partner für:

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