CFX Berlin

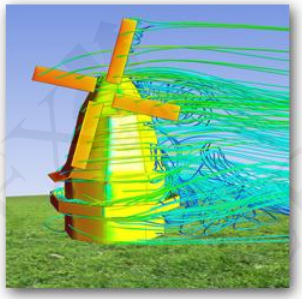
# CFX Berlin Software GmbH
# **Simulationskompetenz aus Berlin**

# 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

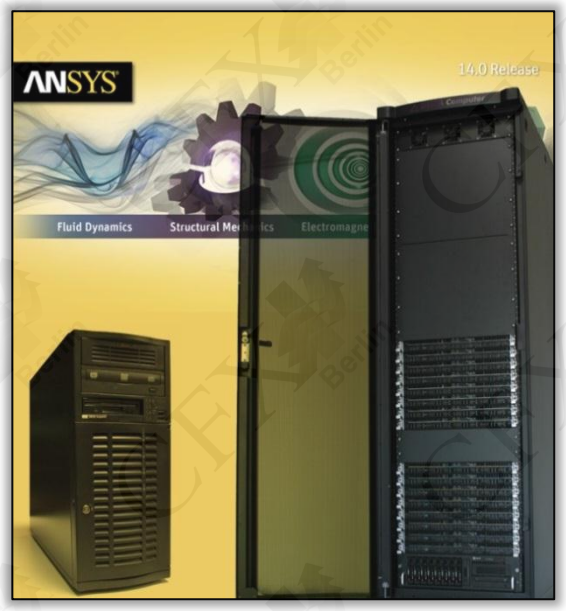


MAN WILO Pumpen Intelligenz. BOSCH Invented for life BORSIG PROCESS HEAT EXCHANGER Dräger GEA Rexroth Bosch Group Continental CONTITECH ADAMS ARMATUREN

# CFX Berlin Software GmbH

## Überblick I

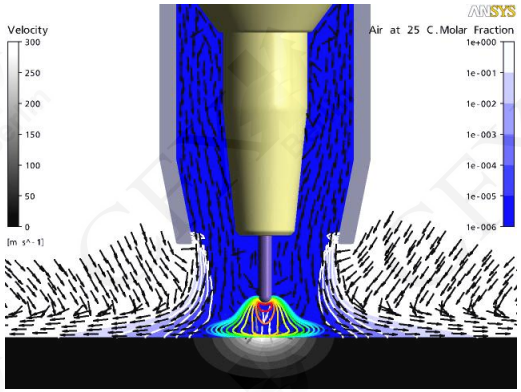
- Wie bieten Ihnen schlüsselfertige Simulationslösungen, bestehend aus:
  - ANSYS-Softwarelizenzen,
  - optimal abgestimmter Hardware,
  - individuellem Einarbeitungskonzept,
  - persönlichem Ansprechpartner für Support & Anwendungsberatung.




- 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.

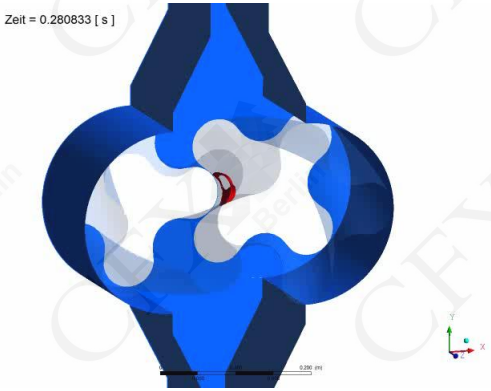
# CFX Berlin Software GmbH
## Überblick II

- 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

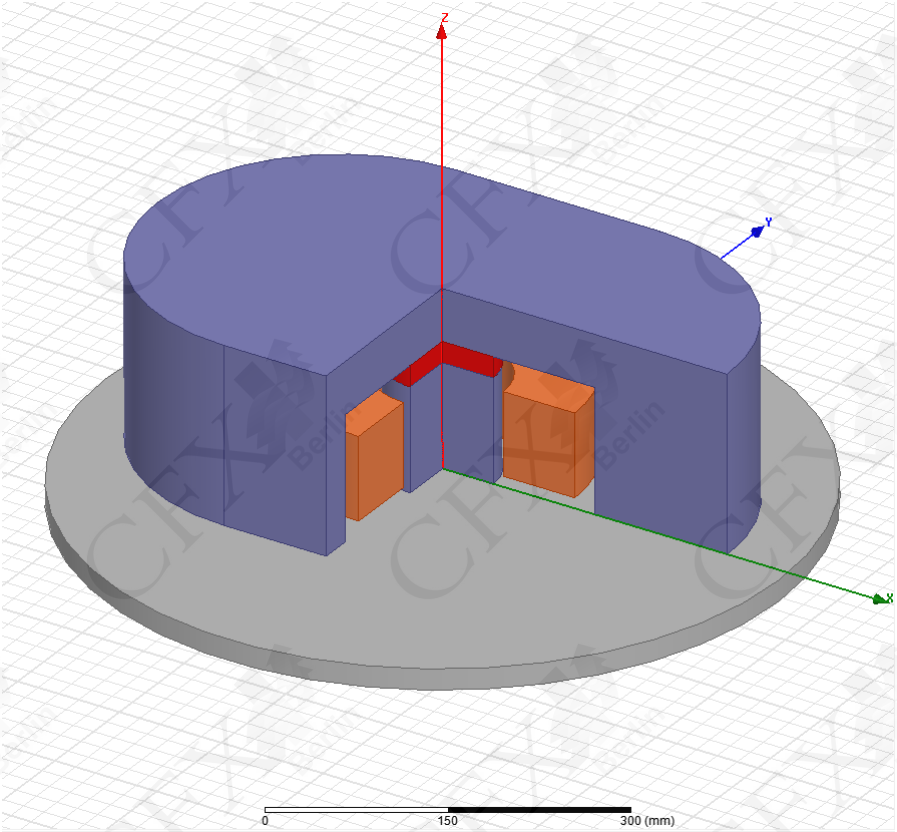



Beispiel Drehkolbenpumpe: Darstellung von Kavitation im Spalt

MAHLE TAKATA FES EagleBurgmann Siempelkamp LZH FIMA infineon truma

# Herausforderung:

Ermittlung der stationären Magnetkraft-Hub-Kennlinie eines Lasthebemagneten mit ANSYS Maxwell



# Aufgabenstellung

## Elektromagnetische Simulation eines Lasthebemagneten

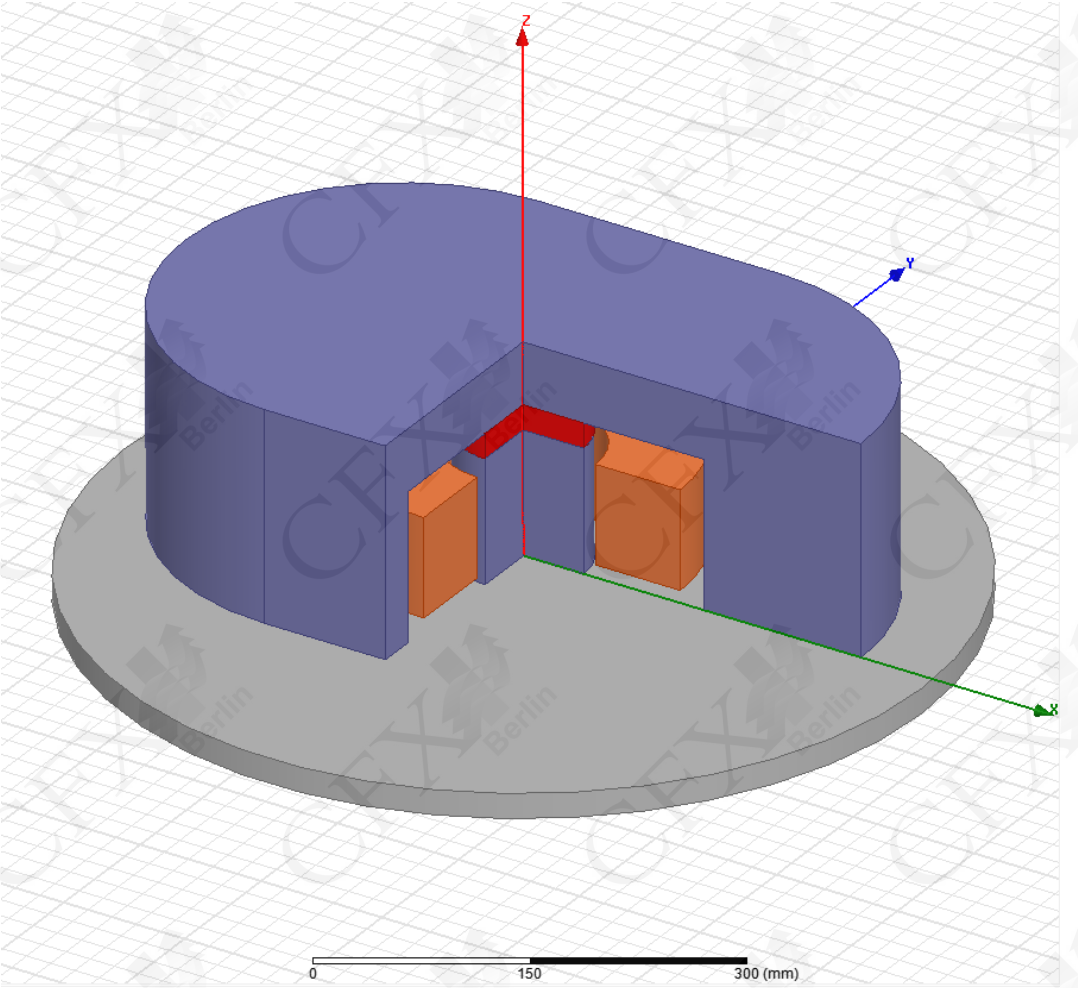
- Arbeitsprinzip von Lasthebemagneten:
  - Anheben und Transportieren von Blechen usw.
  - Hier: permanentelektrischer Lasthebemagnet
    - Magnetfeld des Permanentmagneten hält Blech
    - Zum Loslassen wird Gleichstrom in Spule angeschaltet (Spule erzeugt Gegenfeld, so dass das Blech freigegeben wird)

Quelle: Google Bilder

- Ziel der Berechnungen:
  - Ermittlung der magnetischen Kraft in Abhängigkeit vom Abstand zum Blech (Magnetkraft-Hub-Kennlinie)
  - Berechnung in zwei Schritten
    - Ermittlung der magnetischen Hubkraft bei maximalem Abstand
    - Ermittlung der Magnetkraft-Hub-Kennlinie durch Parametrisierung des Abstandes
  - Ermittlung des zum Lösen der Last notwendigen Spulenstromes
  - Art der Berechnungen:
    - Magnetostatisch

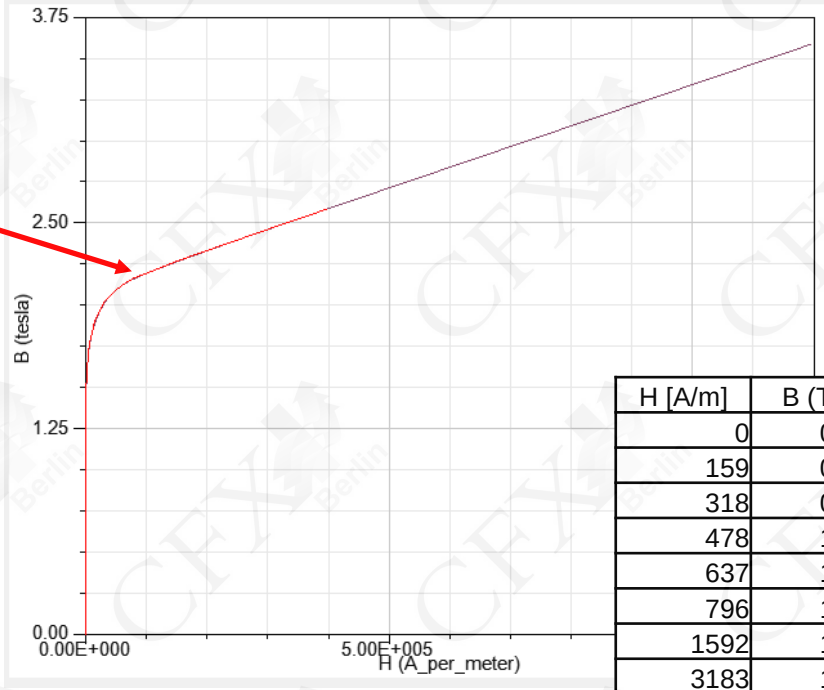
# Berechnungsmodelle
## Geometrie

- Erstellung in ANSYS Maxwell
  - Ermöglicht vollständige Parametrisierbarkeit der Geometrie
- Materialzuordnung
  - Rückschluss: Stahl
  - Spule: Kupfer
  - Dauermagnet: Neodym-Magnet
  - Blech: Stahl
- Maße (x / y / z) in mm
  - Außenmaße: 550 / 350 / 170
  - Magnet: 100 / 100 / 20
  - Blech: 660 / 660 / 20



# Berechnungsmodelle
## Materialeigenschaften

- Stahl
  - Nichtlineare Permeabilität
  - Magnetische Koerzitivfeldstärke: 0 A/m
- Neodym-Magnet
  - Permeabilitätszahl: 1.04456
  - Magnetische Koerzitivfeldstärke: -838000 A/m in z-Richtung
  - ➢ Entspricht einer Remanenzflussdichte von 1.1 T
- Kupfer
  - Permeabilitätszahl: 0.999991
  - Magnetische Koerzitivfeldstärke: 0 A/m

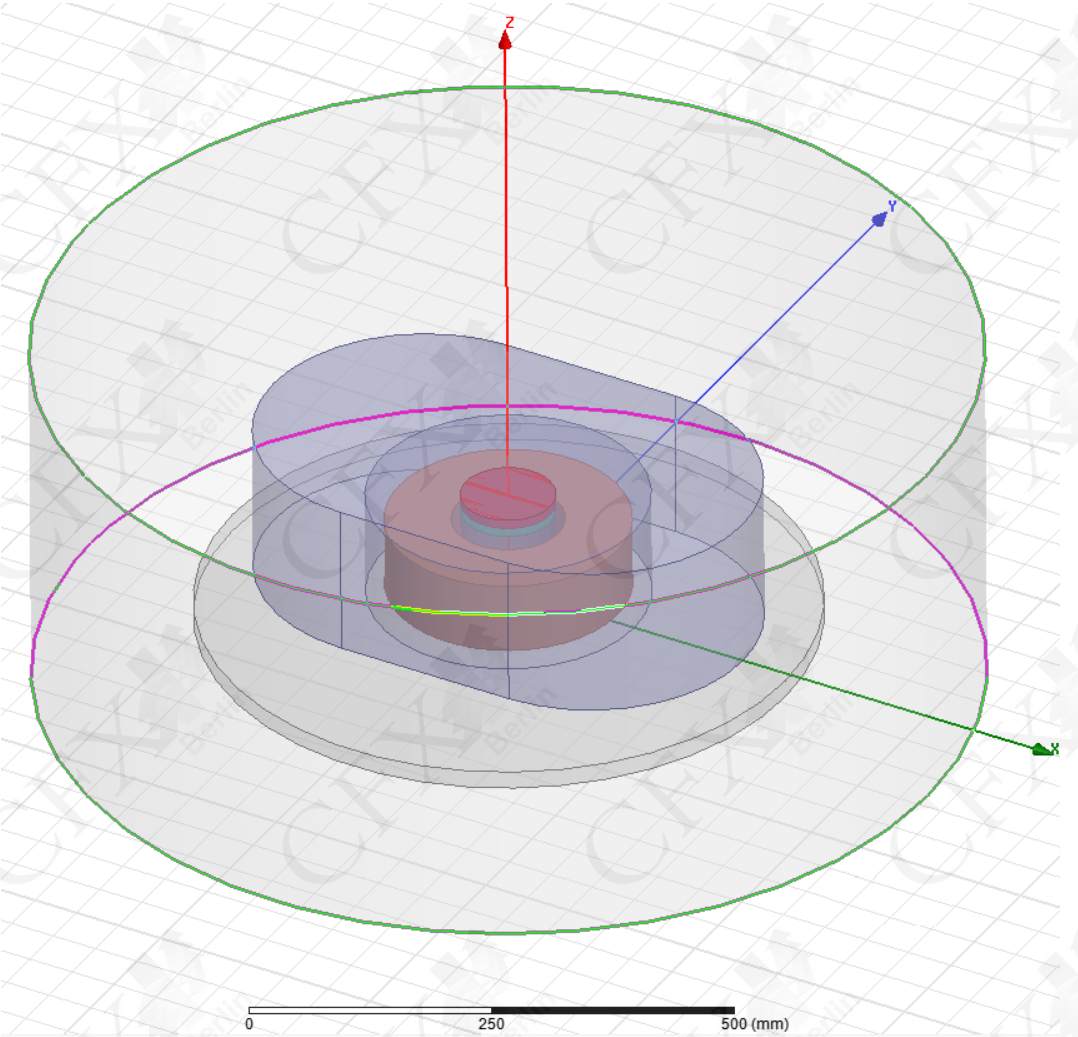



| H [A/m] | B (T) |
|---|---|
| 0 | 0.00 |
| 159 | 0.24 |
| 318 | 0.87 |
| 478 | 1.11 |
| 637 | 1.25 |
| 796 | 1.33 |
| 1592 | 1.50 |
| 3183 | 1.60 |
| 4775 | 1.68 |
| 6366 | 1.74 |
| 7958 | 1.78 |
| 15916 | 1.91 |
| 31831 | 2.02 |
| 47747 | 2.09 |
| 63662 | 2.13 |
| 79578 | 2.17 |
| 159155 | 2.28 |
| 318310 | 2.48 |
| 397887 | 2.59 |

# Berechnungsmodelle

## Randbedingungen

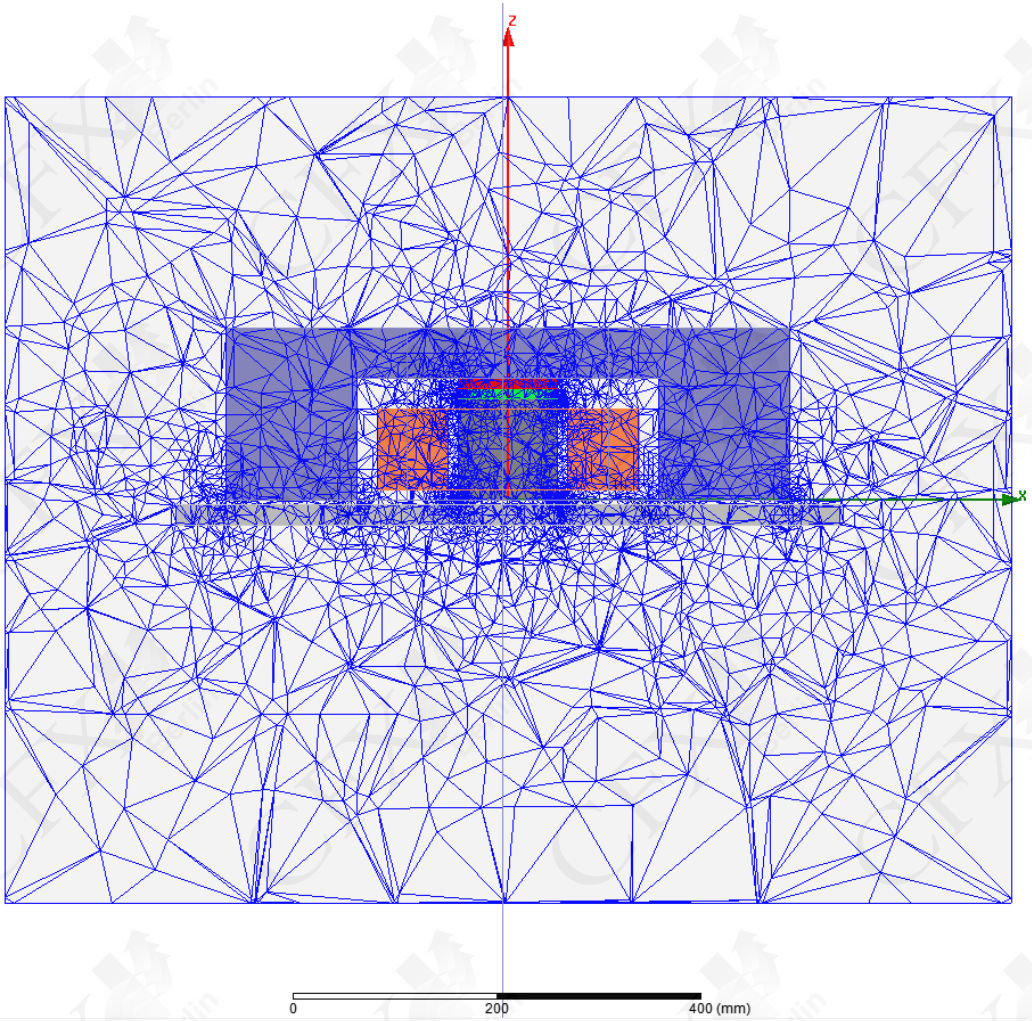
- Konstruktion einer Umgebung, um Berechnung des äußeren Magnetfeldes zu ermöglichen
- Zunächst unbestromte Spule



# Berechnungsmodelle
## Vernetzung

- Unstrukturierte, automatische Tetraedervernetzung in ANSYS Maxwell
  - Automatische, lösungsabhängige Verfeinerung bis zur Gitterunabhängigkeit
  - Methode: Ansoft TAU Mesher
- Elementstatistik
  - Startgitter ca. 3000 Tetraeder
  - 18 Verfeinerungsschritte („Passes“) á 30%
  - Endgitter ca. 213 000 Tetraeder

Schnitt durch das verfeinerte Berechnungsnetz



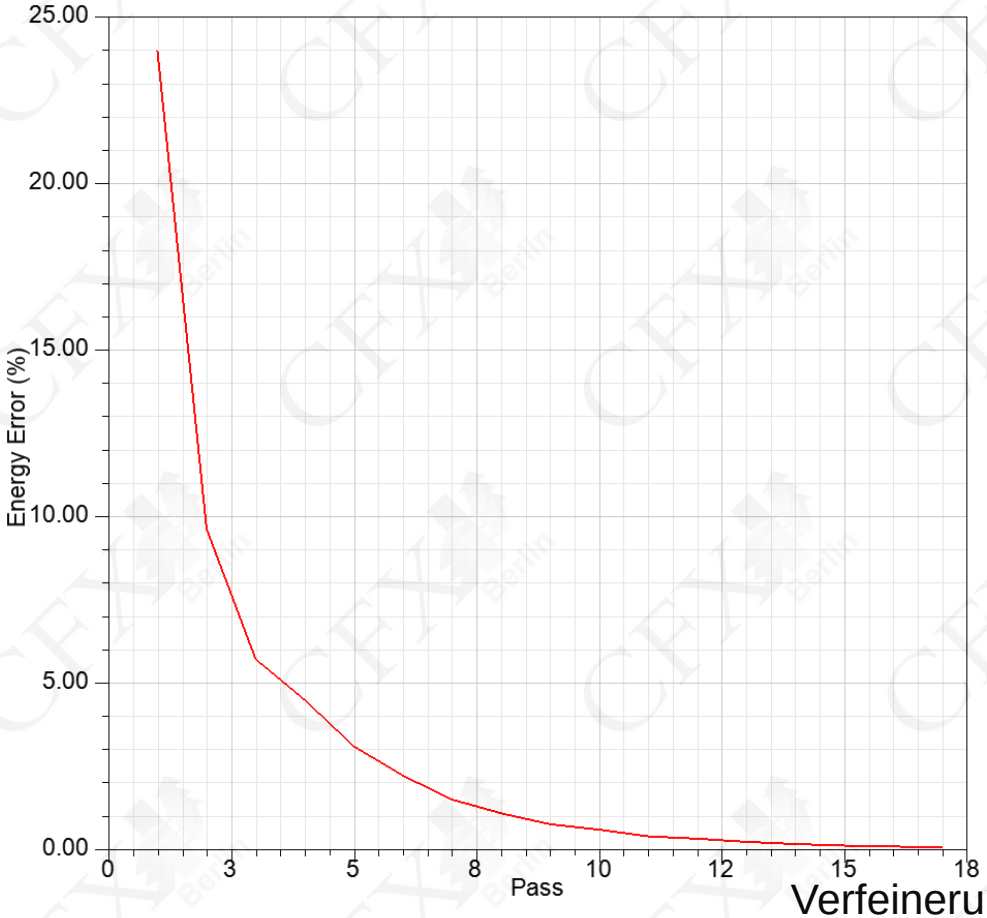
# Berechnung
## Lösungsverfahren

- Finite-Elemente-Methode
  - Numerische Berechnung der Komponenten des H-Feldes
  - Quadratische Ansatzfunktionen
- Konvergenzkriterium
  - Nichtlineares Residuum $<10^{-5}$
  - Energiefehler < 0.1 %
- Arbeitsspeicher
  - Bedarf ca. 600 MByte
- Berechnungszeit
  - Pro Betriebspunkt (auf vier Kernen) 2 min
- Verwendetes Programm
  - ANSYS Maxwell 3D

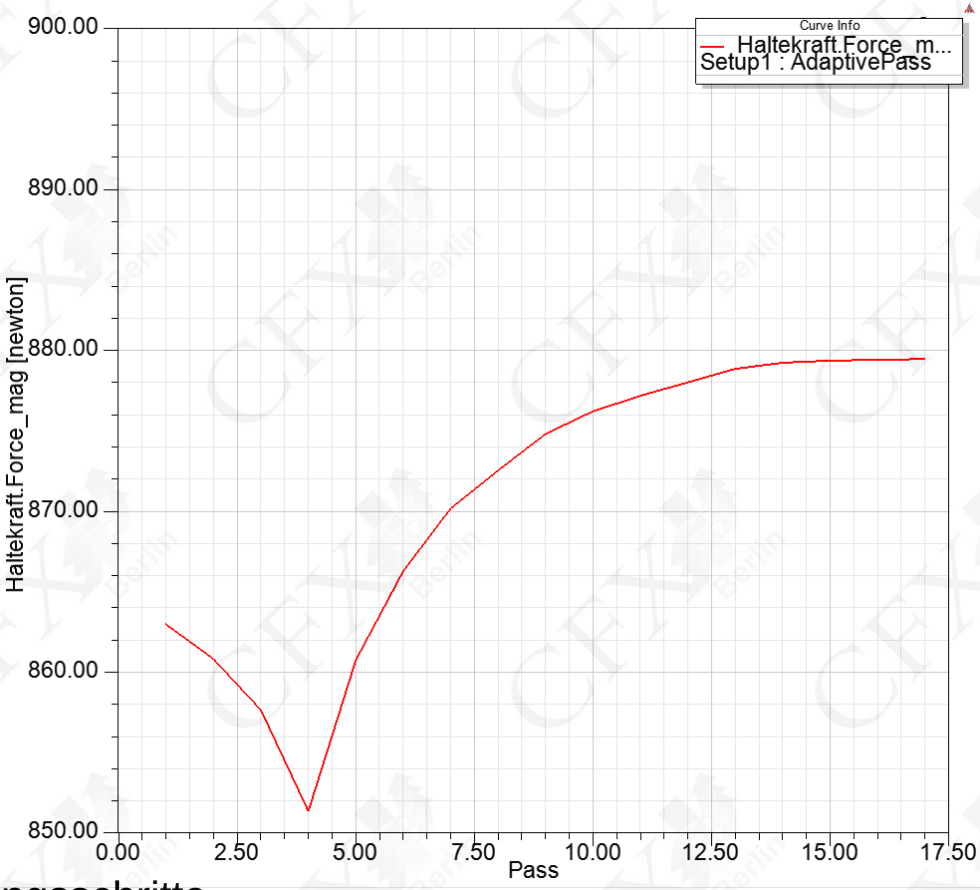
- Verwendete Hardware (Workstation)
  - Prozessor Intel Xeon X3460 Quadcore
  - Takt 2.80 GHz
  - Arbeitsspeicher 16 GByte
  - Betriebssystem Windows 7 (64-bit)

# Berechnung
## Lösungskontrolle

- Numerische Konvergenz
  - Energiefehler



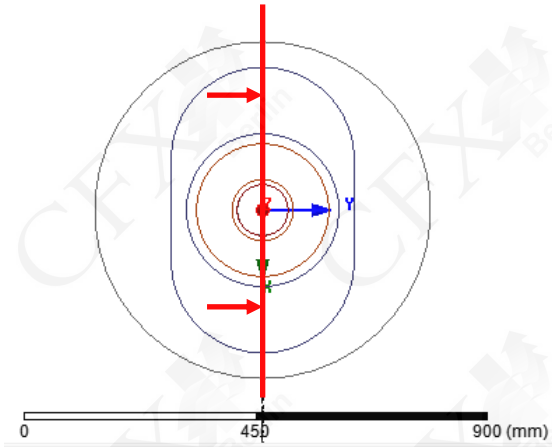

- Physikalische Konvergenz
  - Auf Blech wirkende Haltekraft

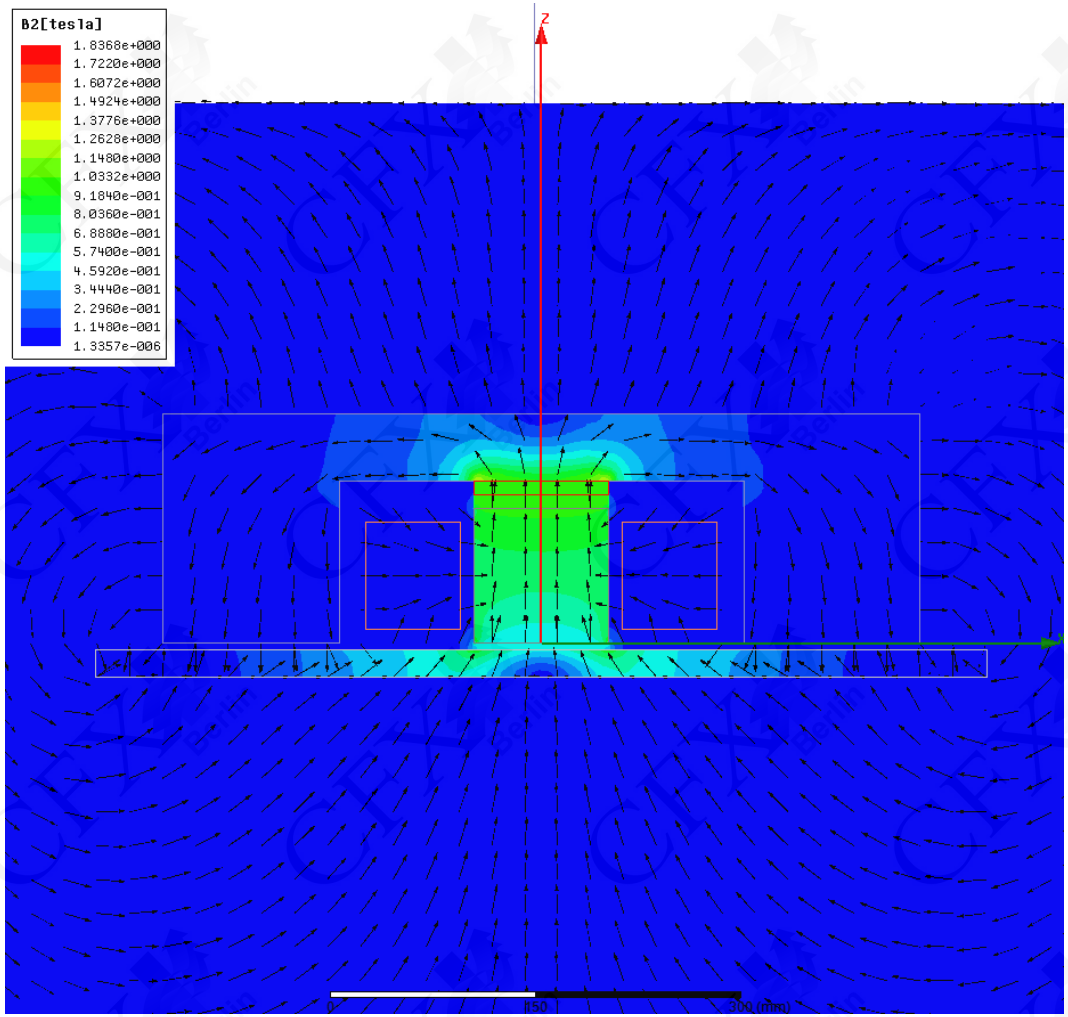



Verfeinerungsschritte

# Ergebnis
## Magnetfeld

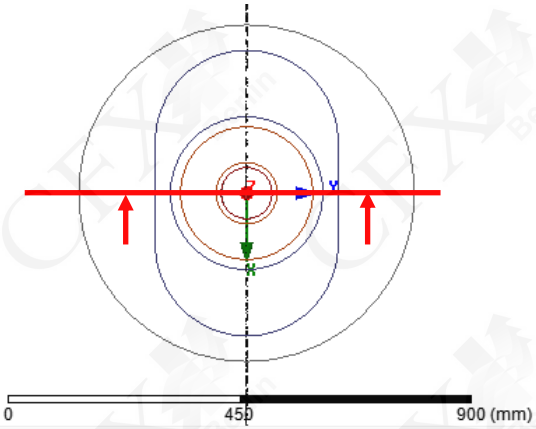
- Magnetische Flussdichte für 5 mm Abstand
  - Darstellung der magnetischen Flussdichte im Mittelschnitt
  - Darstellung von Betrag (Farbskala) und Richtung (Vektorpfeile)
  - Hohe Flussdichte im Bereich des Permanentmagneten
  - Geringe Flussdichte in Rückschluss und Blech

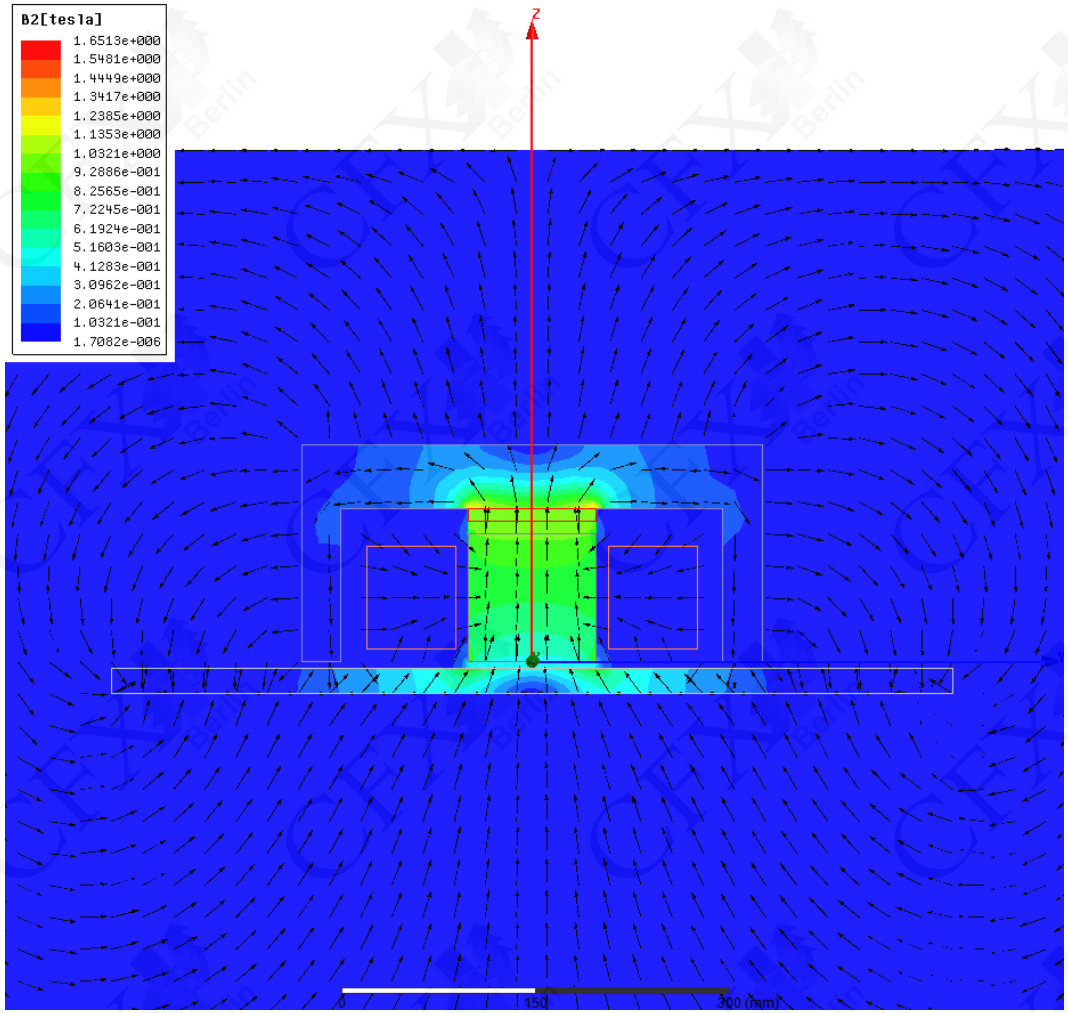


# Ergebnis
## Magnetfeld

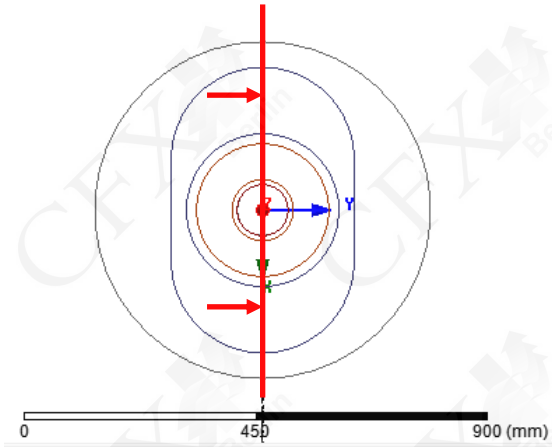
- Magnetische Flussdichte für 5 mm Abstand
  - Darstellung der magnetischen Flussdichte im Mittelschnitt
  - Darstellung von Betrag (Farbskala) und Richtung (Vektorpfeile)
  - Hohe Flussdichte im Bereich des Permanentmagneten
  - Geringe Flussdichte in Rückschluss und Blech

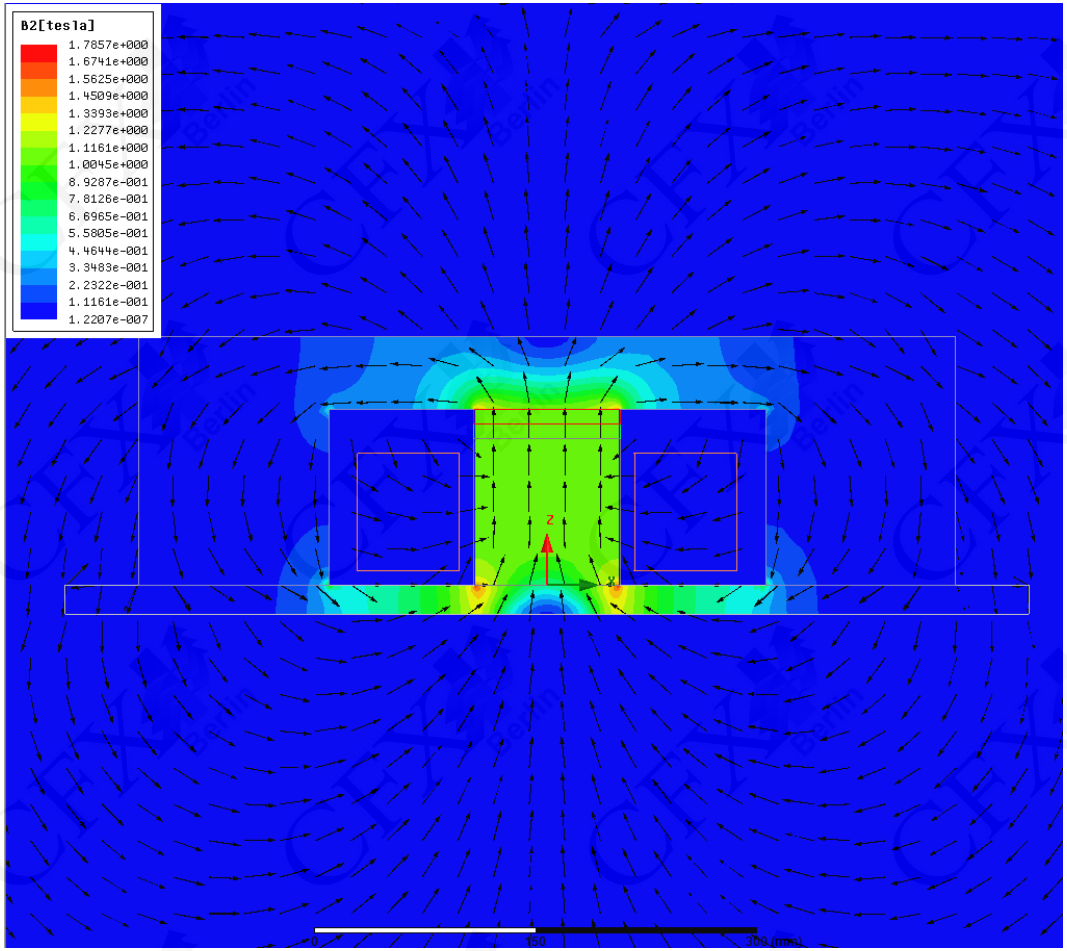


# Ergebnis
## Magnetfeld

- Magnetische Flussdichte für 0 mm Abstand
  - Darstellung der magnetischen Flussdichte im Mittelschnitt
  - Darstellung von Betrag (Farbskala) und Richtung (Vektorpfeile)
  - Nähe des Bleches verstärkt Magnetfeld des Permanentmagneten
    → Größere Kraftwirkung

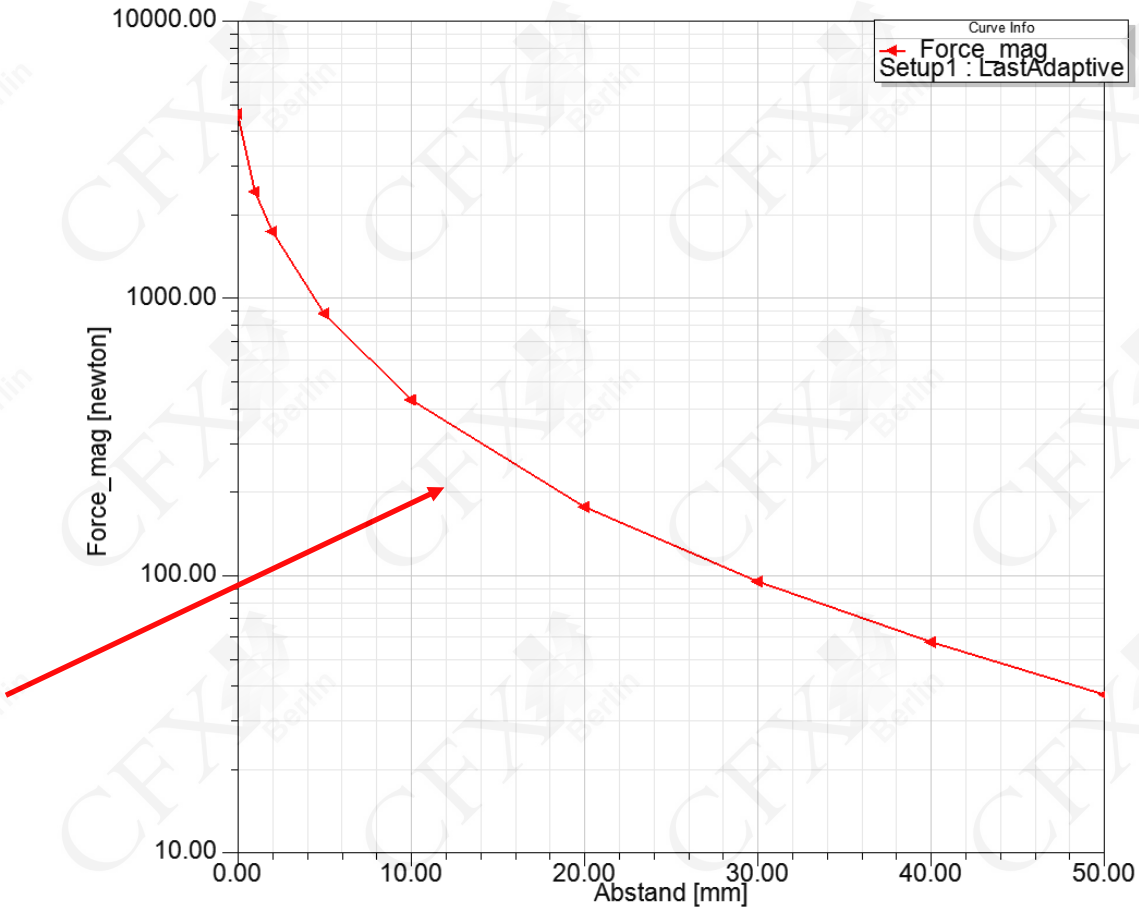


# Ergebnis
## Haltekraft

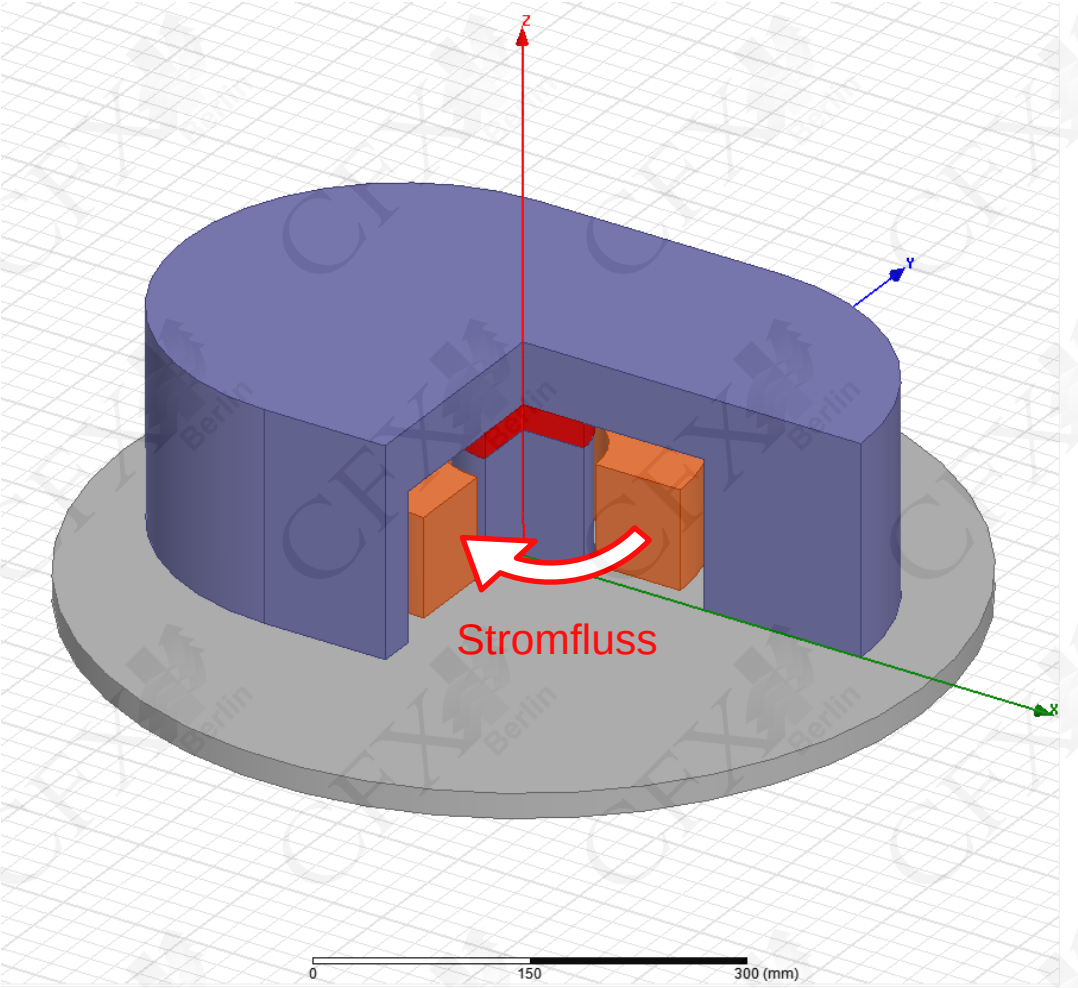
- Schritt 1: punktuelle Bestimmung der Haltekraft
  - Ermittlung der Haltekraft für vorgegebenen Abstand
  - Abstand 5 mm: 879 N
  - Abstand 0 mm: 4572 N

- Schritt 2: Bestimmung der Haltekraft-Kennlinie
  - Parametrisierung des Abstandes zur Ermittlung der Magnetkraft-Hub-Kennlinie
  - Variation zwischen 50 und 0 mm
  - ANSYS Optimetrics erlaubt automatisierte Parameter-variation in ANSYS Maxwell



# Ergebnis
## Ablösestrom

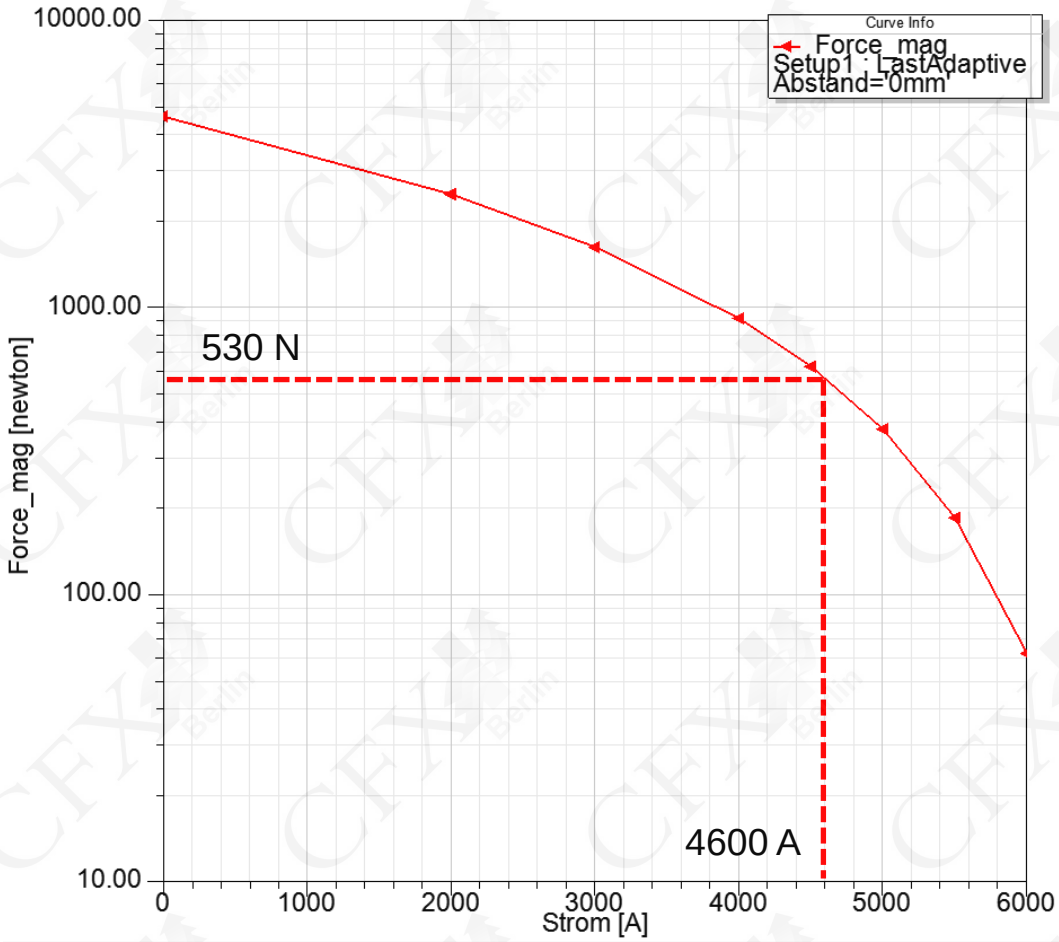
- Schritt 3: Bestimmung des Ablösestroms
  - Ermittlung des zum Lösen einer angehobenen Last notwendigen Gegenstromes
  - Abstand 0 mm
  - Parametrisierung des Spulenstromes
  - Variation zwischen 0 und 6000 Ampere-Windungen



# Ergebnis
## Ablösestrom

- Schritt 3: Bestimmung des Ablösestroms
  - Ermittlung des zum Lösen einer angehobenen Last notwendigen Gegenstromes
  - Abstand 0 mm
  - Parametrisierung des Spulenstromes
  - Variation zwischen 0 und 6000 Ampere-Windungen

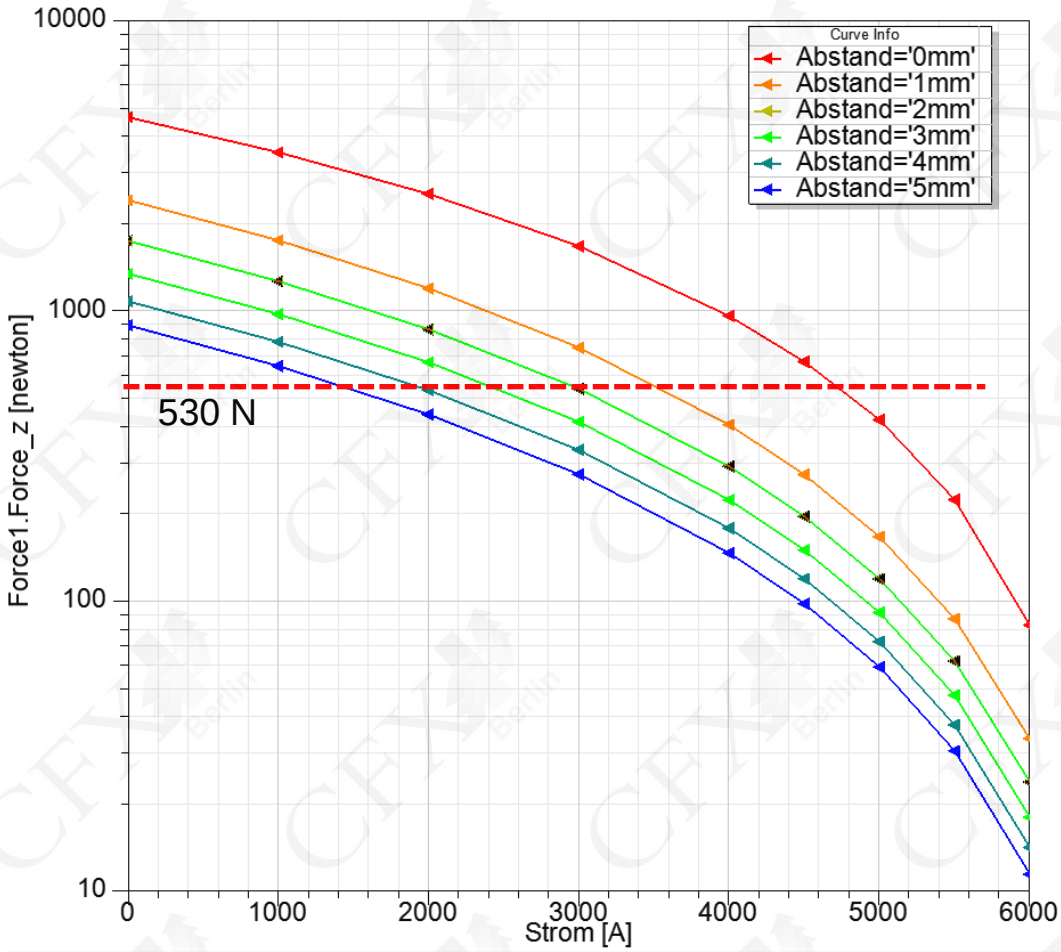
  - Masse des Bleches: 53 kg
  - ➢ Erforderlicher Lösestrom: 4.6 A (Spule mit 1000 Windungen)




Spulenstrom in Amperewindungen

# Ergebnis
## Ablösestrom

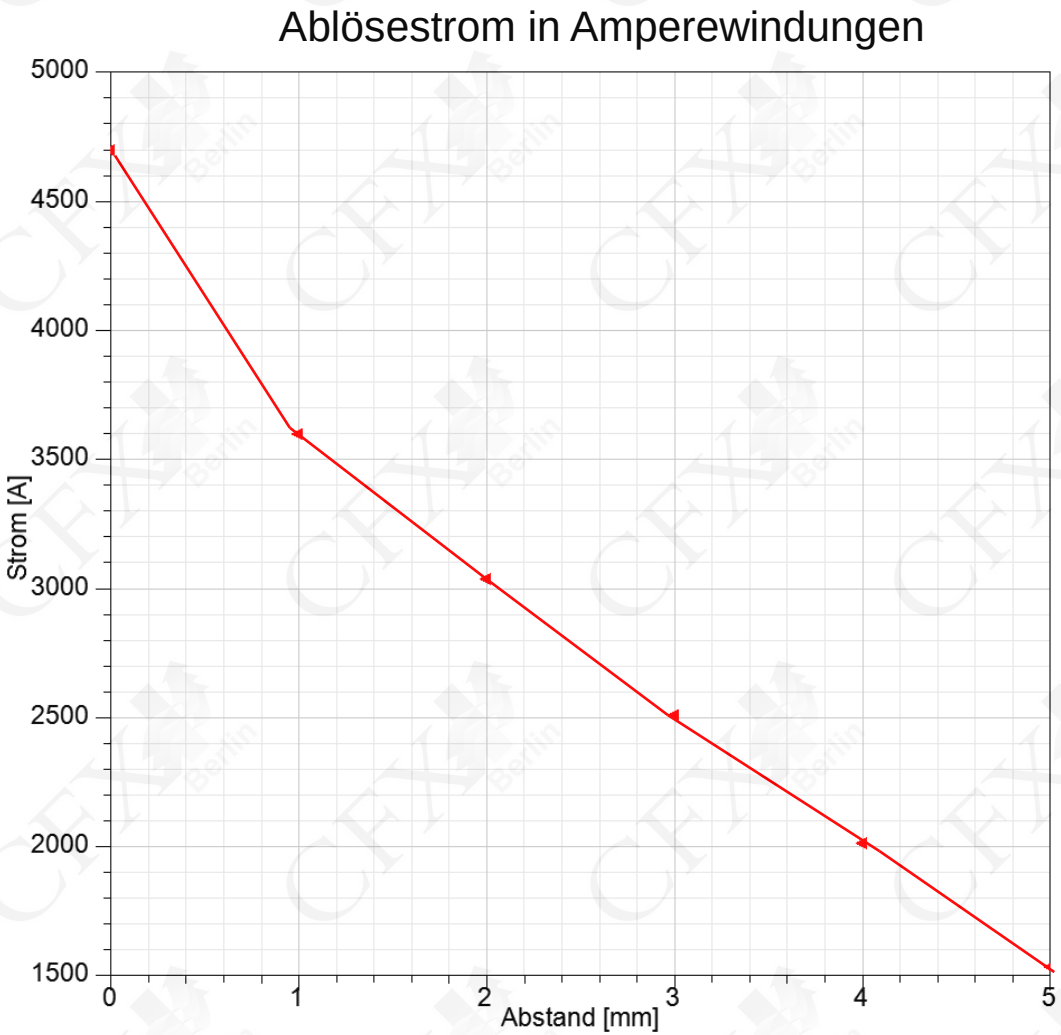
- Schritt 4: Ablösestrom bei variierendem Abstand
  - Ermittlung des zum Lösen einer angehobenen Last notwendigen Gegenstromes
  - Abstandsvariation 0…5 mm
  - Variation Spulenstromes zwischen 0 und 6000 Ampere-Windungen




Spulenstrom in Amperewindungen

# Ergebnis
## Ablösestrom

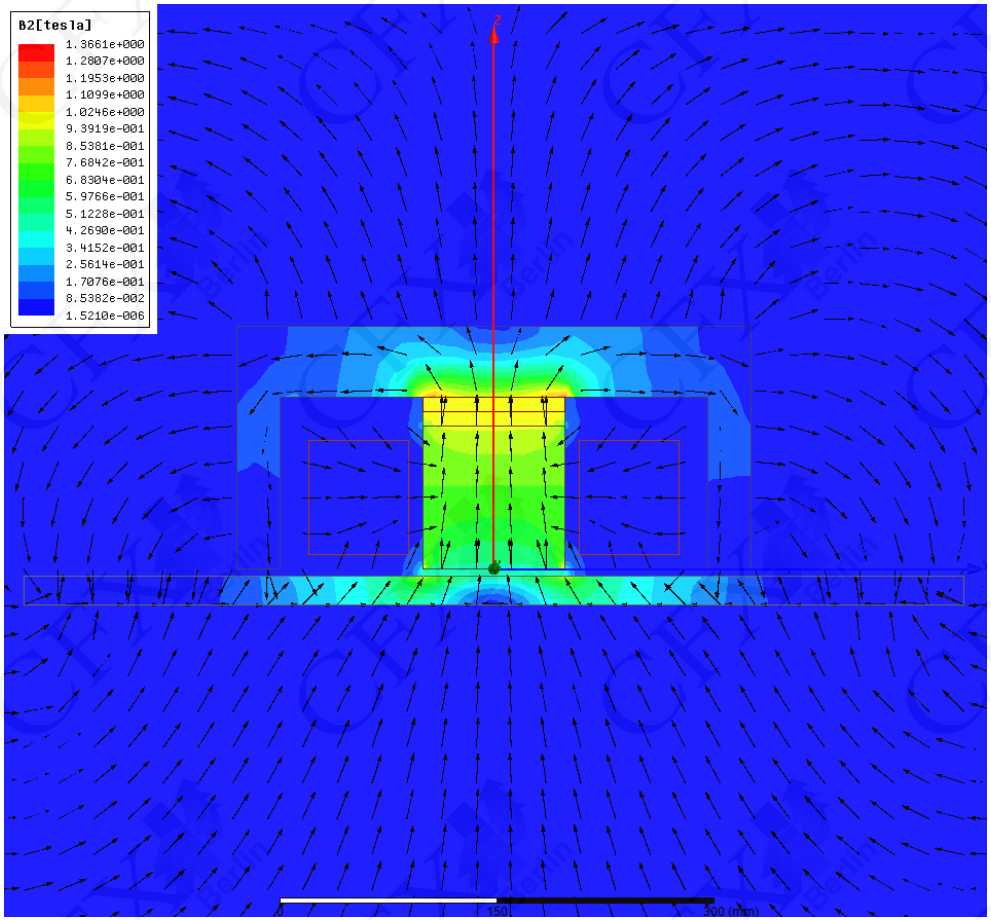
- Schritt 5: Automatische Ermittlung des Ablösestromes bei gegebenem Abstand
  - ANSYS Optimetrics bietet auch die Möglichkeit der automatischen Optimierung.
  - Vorgabe des Abstandes: Variation 0 bis 5 mm
  - Freier Parameter: Spulenstrom mit Parameterbereich 0 bis 6000 A
  - Optimierungsziel: Haltekraft = Gewichtskraft der Last = 530 N (+/- 1 N)
  - Optimierungsalgorithmus: Quasi-Newton
  - Durchschnittlich 7 Berechnungen zum Finden des Optimums erforderlich



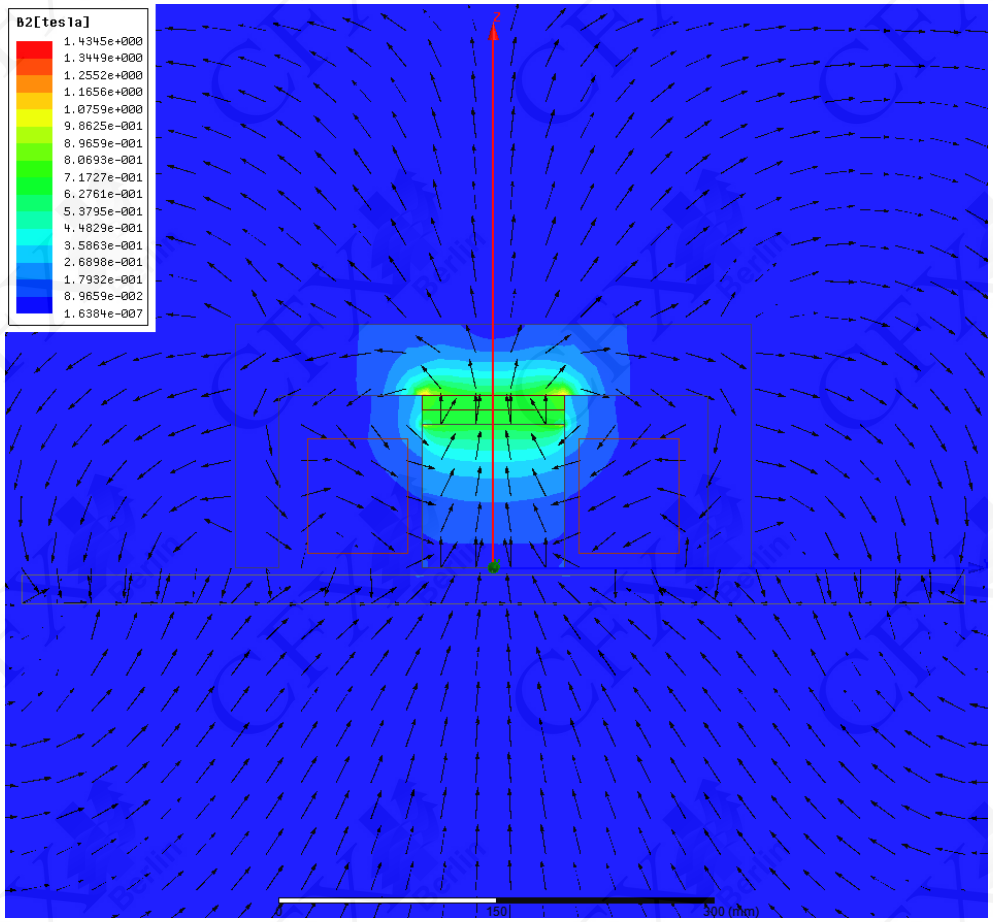
# Ergebnis
## Magnetfeld

- Vergleich der magnetischen Flussdichte für 5 mm Abstand

Spule unbestromt



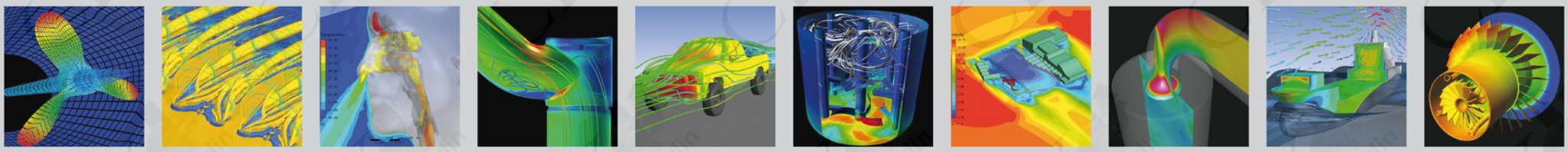

Spule bestromt mit 6000 A

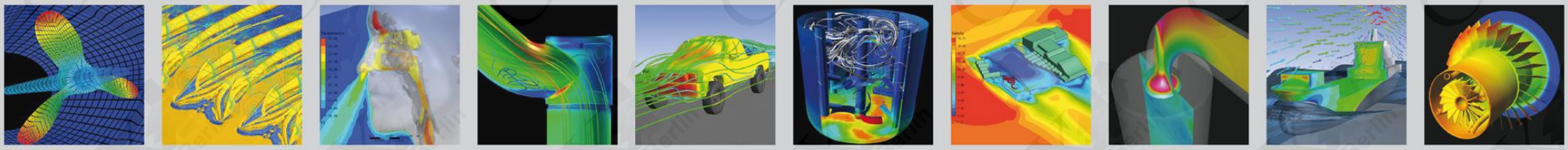


# Modellerweiterung
## Robustes Design

- Weitere Verifikation der Leistungsfähigkeit des Lasthebemagneten ist empfehlenswert. Folgende Variationen haben Einfluss auf die Größe der Haltekraft und sollten untersucht werden:
  - Magnetqualität:
    Die Koerzitivfeldstärke des Dauermagneten kann herstellungs- und temperaturbedingt in Richtung und Betrag schwanken.
  - Lastgeometrie:
    Anders geformte Lasten weisen einen anderen magnetischen Fluss auf, insbesondere nichtplanare Lasten (z.B. Coils).
  - Stoffwerte der Last:
    Andere Stahlarten haben andere B-H-Kurven, weisen also Unterschiede in der Magnetisierbarkeit auf.
- Vorgehensweise:
  - punktuelle Simulation ausgewählter Lasten bzw. Materialien in ANSYS Maxwell 3D
  - Automatisierte Parametervariation, Sensitivitätsuntersuchung und robustes Design mit ANSYS Optimetrics in ANSYS Maxwell 3D

# CFX Berlin Software GmbH



**ist kompetenter Partner für:**

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