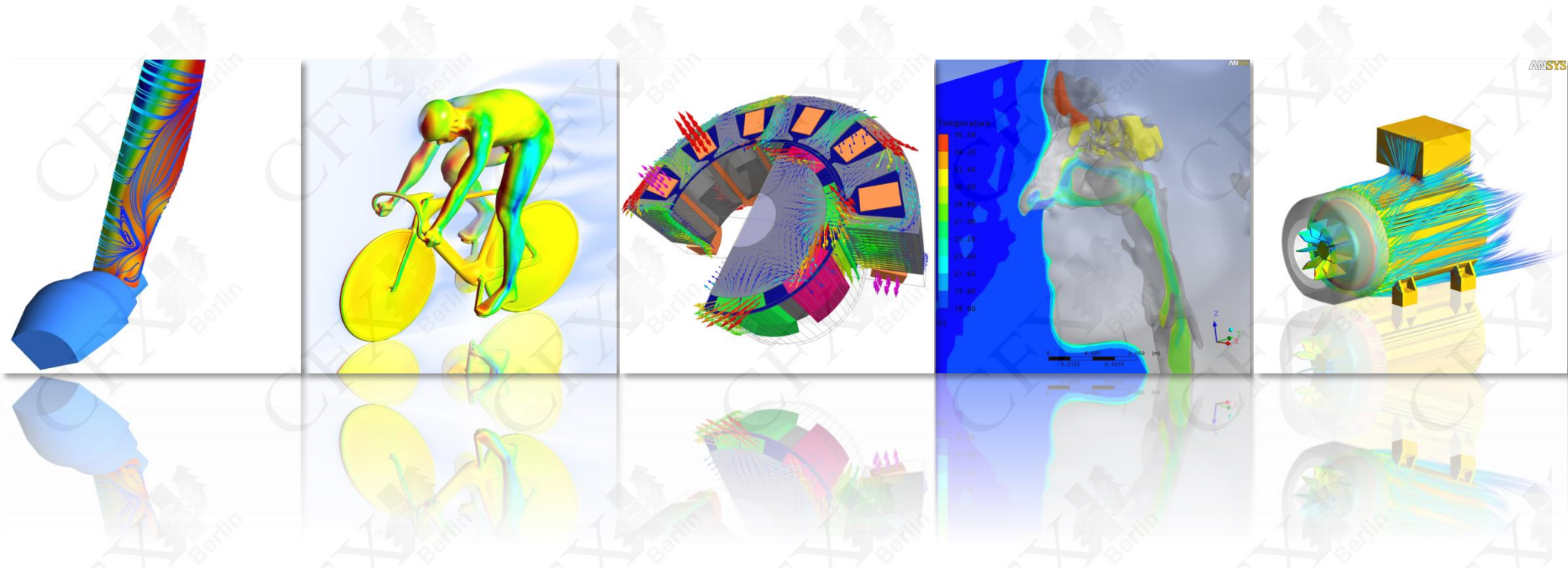
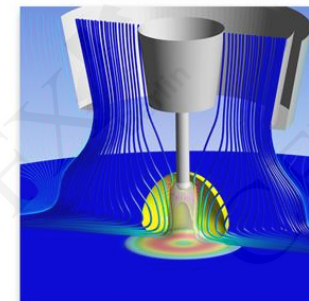
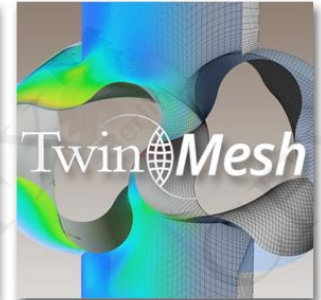
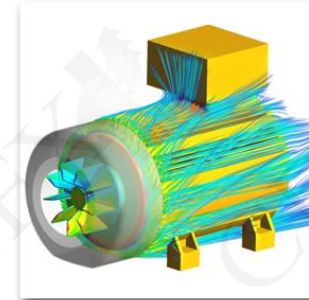


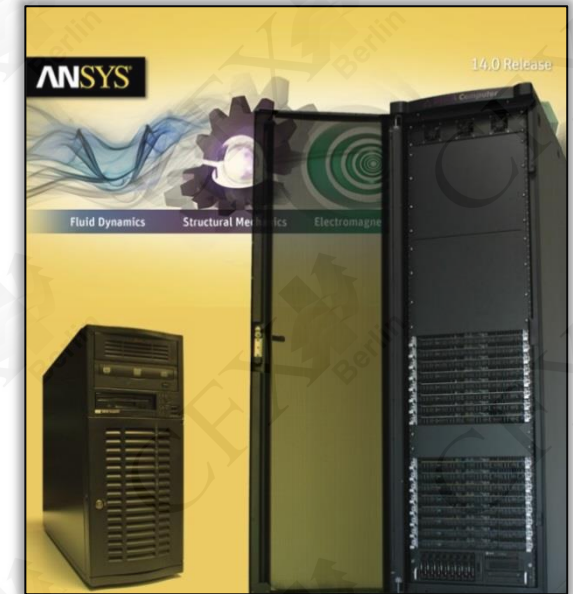
CFX Berlin Software GmbH Simulationskompetenz aus Berlin



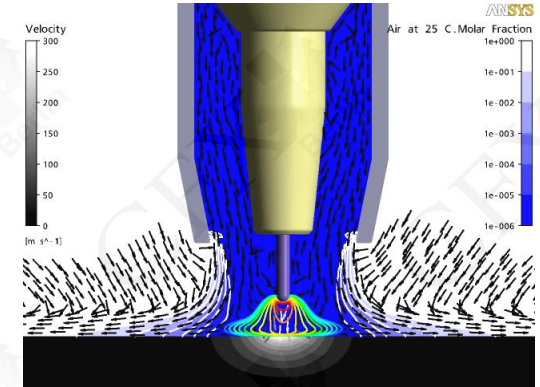
- CFX Berlin bietet seit 1997 als Partner von ANSYS, Inc. und CADFEM Lösungen und Simulationssoftware für:
 - Strömungsmechanik & Thermodynamik
 - Elektromagnetik
 - Strukturmechanik
- CFX Berlin-Geschäftsfelder:
 - ANSYS-Simulationssoftware
 - Berechnung & Optimierung
 - Beratung & Schulung
 - Forschung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



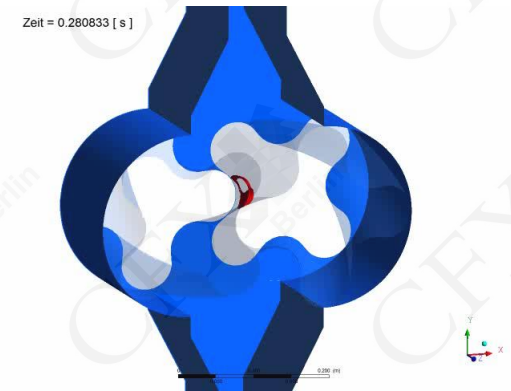
- Wie bieten Ihnen schlüsselfertige Simulationslösungen, bestehend aus:
 - ANSYS-Softwarelizenzen,
 - optimal abgestimmter Hardware,
 - individuellem Einarbeitungskonzept,
 - persönlichem Ansprechpartner für Support & Anwendungsberatung.
- Wir unterstützen Sie schon vorher mit:
 - Prozess- & Bedarfsanalyse, 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



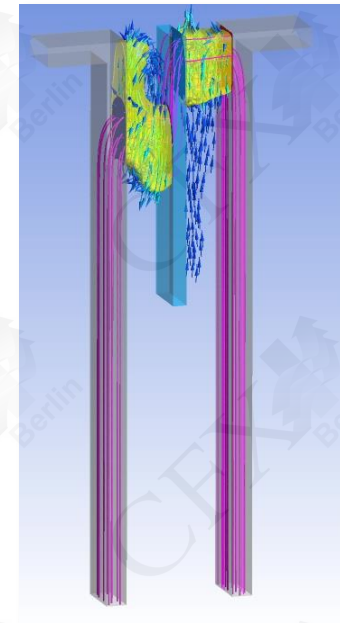
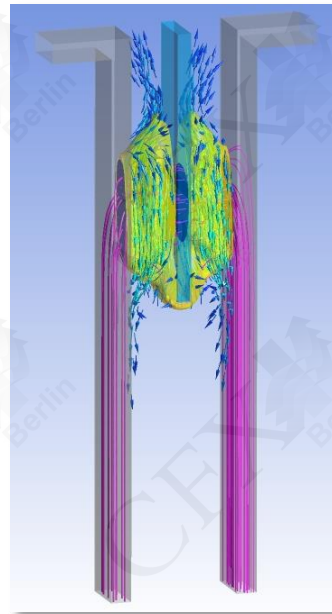
Beispiel Schweißprozesssimulation: Schutzgasströmung mit Lichtbogen



Beispiel Drehkolbenpumpe: Darstellung von Kavitation im Spalt

Herausforderung:

Simulation der Aufteilung eines Schaltlichtbogens an einem Löschblech mit ANSYS CFX



Anwendungsbeispiele Simulation

Simulation eines Schaltlichtbogens mit ANSYS CFX

- **Problembeschreibung:**
 - Ein **Leitungsschutzschalter** (LS) ist eine Überstromsicherheitseinrichtung in Niederspannungsnetzen („Sicherungsautomat“).
 - Beim Trennen der Kontakte bildet sich ein **Lichtbogen** (Funkenentladung, Bogenentladung), durch den der Strom weiterfließt.
 - Bei Wechselstrom kann der Schaltlichtbogen nach dem Nulldurchgang wiederzünden, weil das Gas (im Niederspannungsbereich meist Luft) noch genügend ionisiert ist.
 - Um dies zu verhindern, wird der Lichtbogen durch Blasmagnete, Thermik oder sein Eigenmagnetfeld in **Funkenlöschkammern** (Löschbleche, Deionkammern) geleitet, wo er gekühlt und in Teillichtbögen aufgeteilt wird.
 - Experimentelle Untersuchungen sind erschwert durch hohe Temperaturen mit starker Strahlung und kurzen Zeitskalen.
- **Simulation hilft als Diagnosewerkzeug!**



Leitungsschutzschalter mit Deionkammer (8)



Deionkammer

- Inhalt dieser Präsentation:
gekoppelte elektromagnetische und strömungsmechanische Simulation der Aufteilung eines Schaltlichtbogens an einem Löschblech
- Ziel der Simulation ist die Bestimmung von:
 - Lichtbogenwanderung
 - Aufteilung des Lichtbogens
 - Spannungsverlauf
- Ausgangspunkt ist die experimentelle Untersuchung in der Dissertation von Thomas Rüter
 - parallele Laufschielen:
 - 500 A Stromamplitude
 - nur ein Löschblech zwischen den Laufschielen
 - verschiedene Verdämmungsöffnungen
 - divergierende Laufschielen:
 - 500 A, 1000 A, 1500 A und 2000 A

Experimentelle Untersuchung der Lichtbogenaufteilung an Löschblechen

Von der Fakultät für Elektrotechnik, Informationstechnik, Physik
der Technischen Universität Carolo-Wilhelmina zu Braunschweig



zur Erlangung der Würde eines
Doktor-Ingenieurs (Dr.-Ing.)
genehmigte

Dissertation

von
Dipl.-Ing Thomas Rüter
aus Braunschweig

Eingereicht am:	10.09.2007
Mündliche Prüfung am:	16.11.2007
Referenten:	Prof. Dr.-Ing. Manfred Lindmayer Prof. Dr.-Ing. Ernst Gockenbach
Vorsitzender:	Prof. Dr.-Ing. Michael Kurrat

2008

Anwendungsbeispiele Simulation

Simulation eines Schaltlichtbogens mit ANSYS CFX

- Experimentelle Untersuchung für gerade Laufschiene (Dissertation Rüter)
 - untersuchte Geometrie und Simulationsmodell von Mutzke (links)
 - beispielhafte Ergebnisse (rechts)

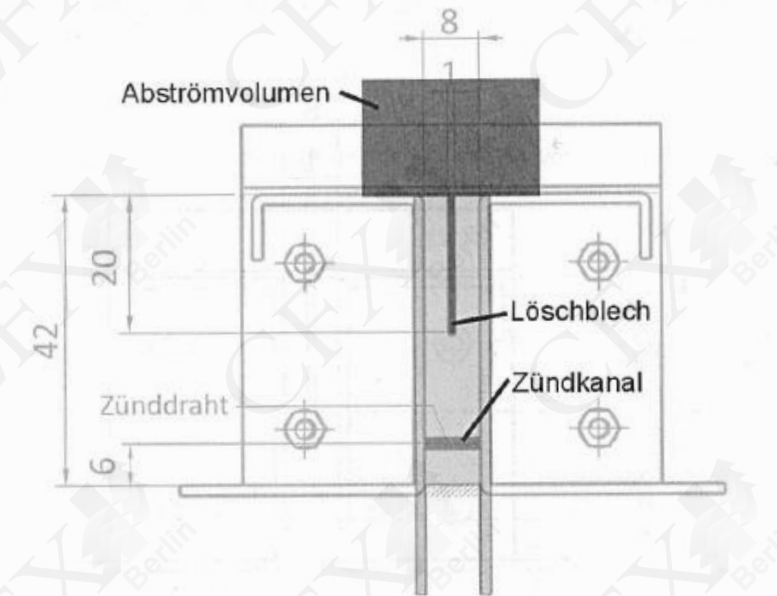


Bild 2.8: Modellschaltkammer mit parallelen Laufschiene (Hintergrund) mit überlagertem Simulationsmodell (Vordergrund)

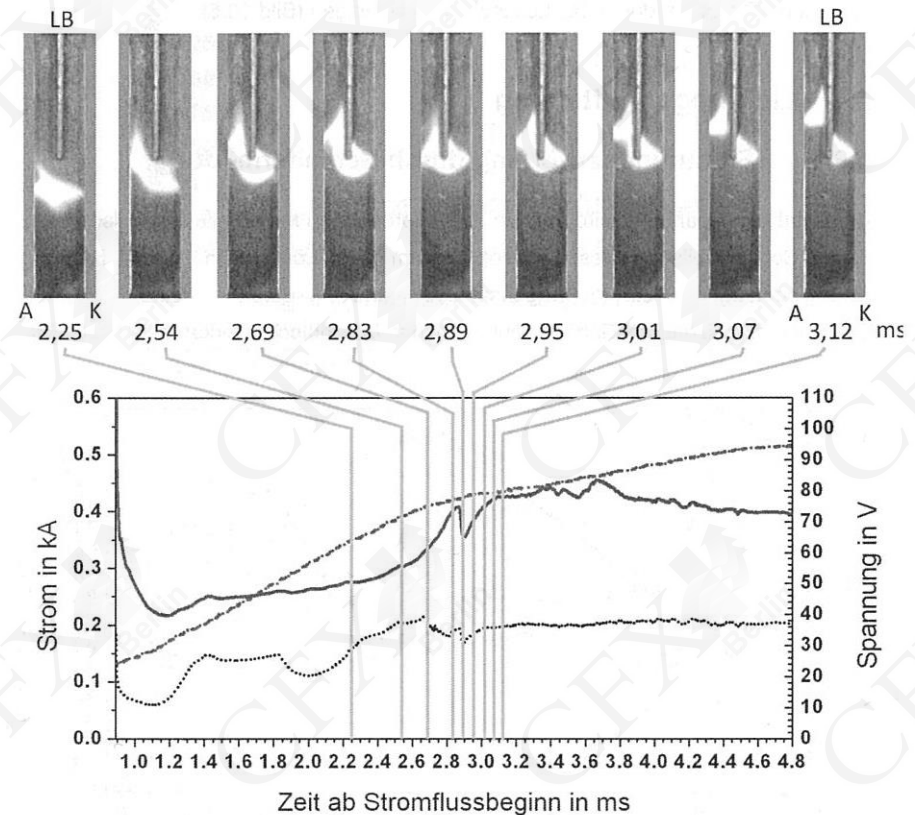


Bild 4.17: Oszillogramm einer Messung mit $I_p = 500$ A, 40 % geöffneter Verdämmung und einem 1 mm dickem massiven Löschblech

- Experimentelle Untersuchung für divergierende Laufschiene (Dissertation Rüther)
 - untersuchte Geometrie (links)
 - beispielhafte Ergebnisse (rechts)

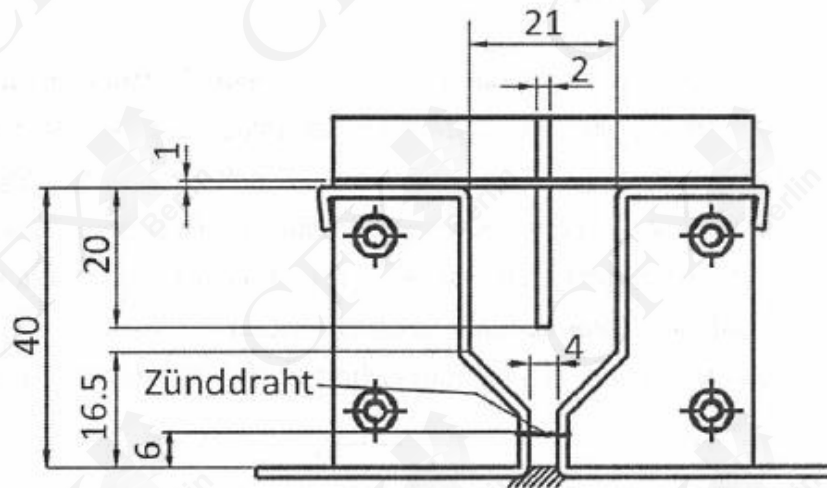


Bild 2.4: Schematische Darstellung der Modellschaltkammer mit divergierenden Laufschiene und einem Löschblech

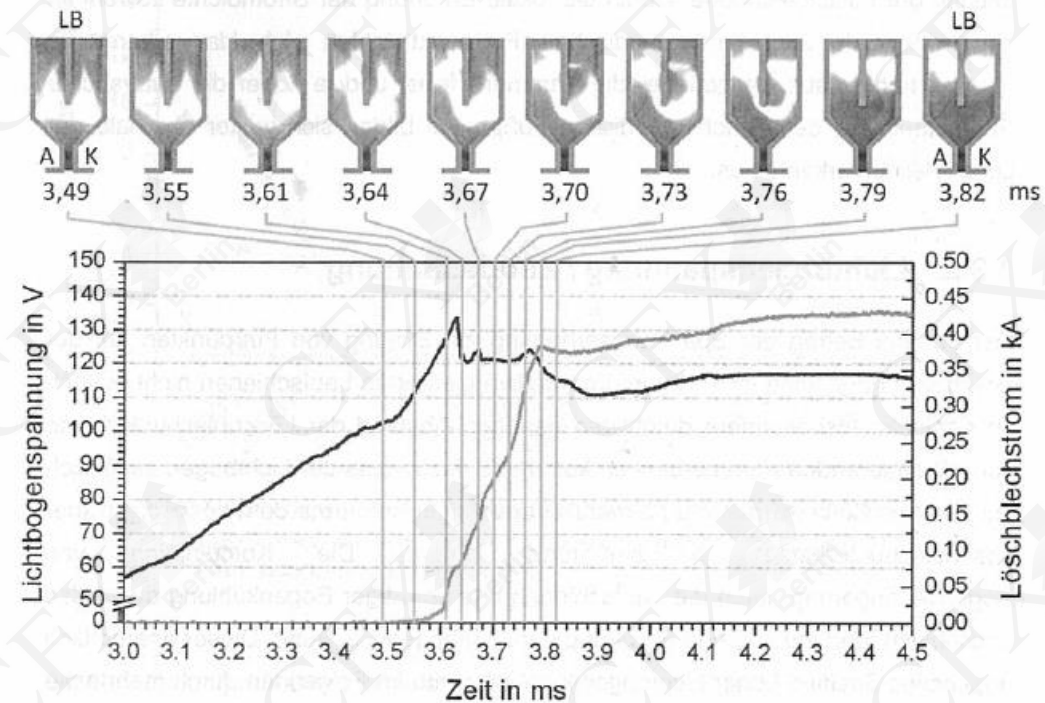
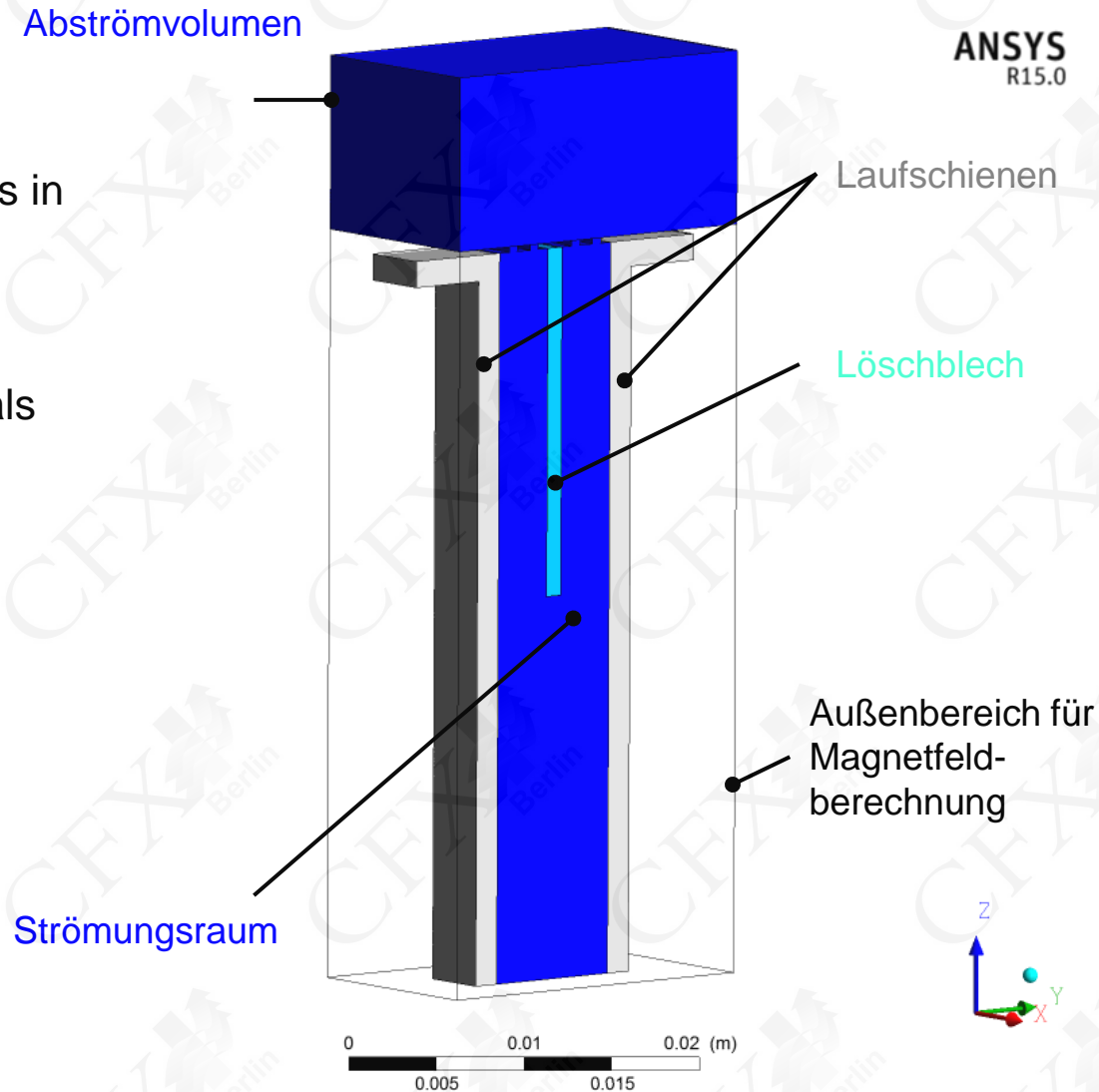
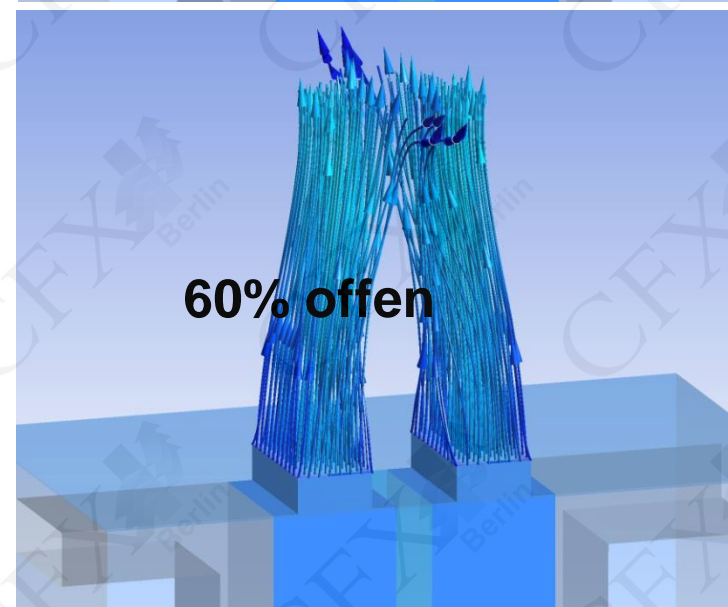
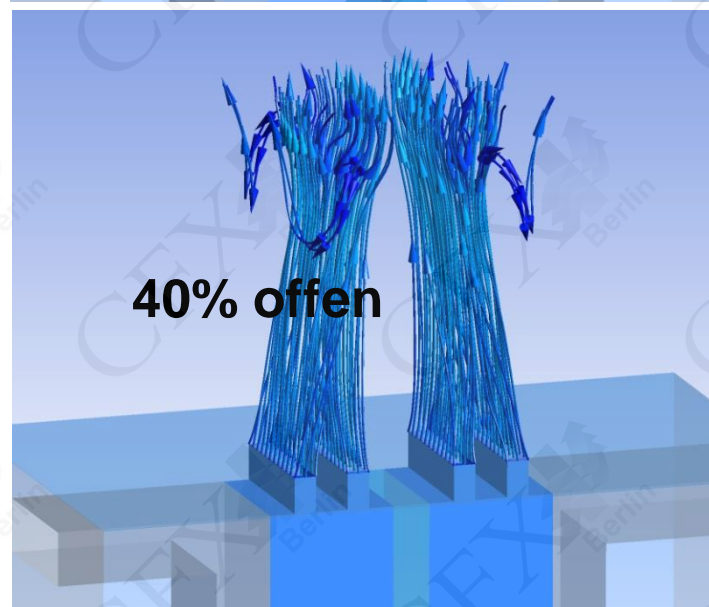
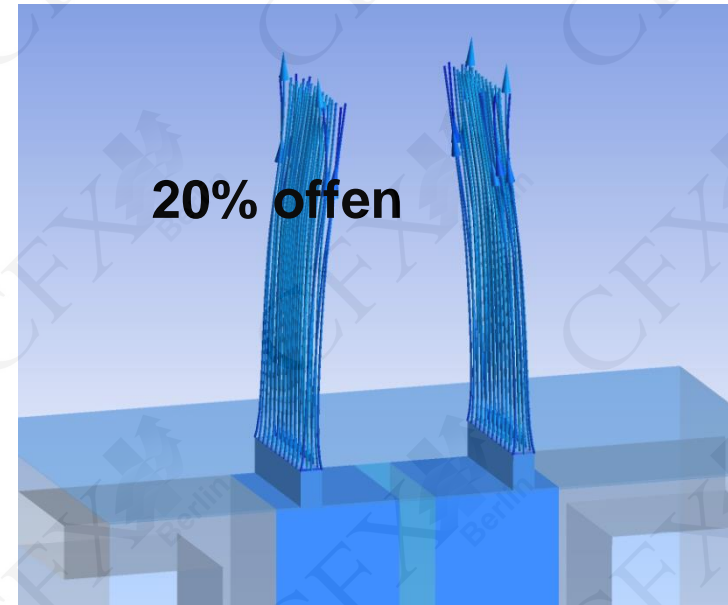


Bild 3.11: Lichtbogenunterteilung in einer 40 mm hohen, 4 mm tiefen Kammer mit einem normalen Löschblech, $I = 500$ A, Öffnungsquerschnitt: 40 %

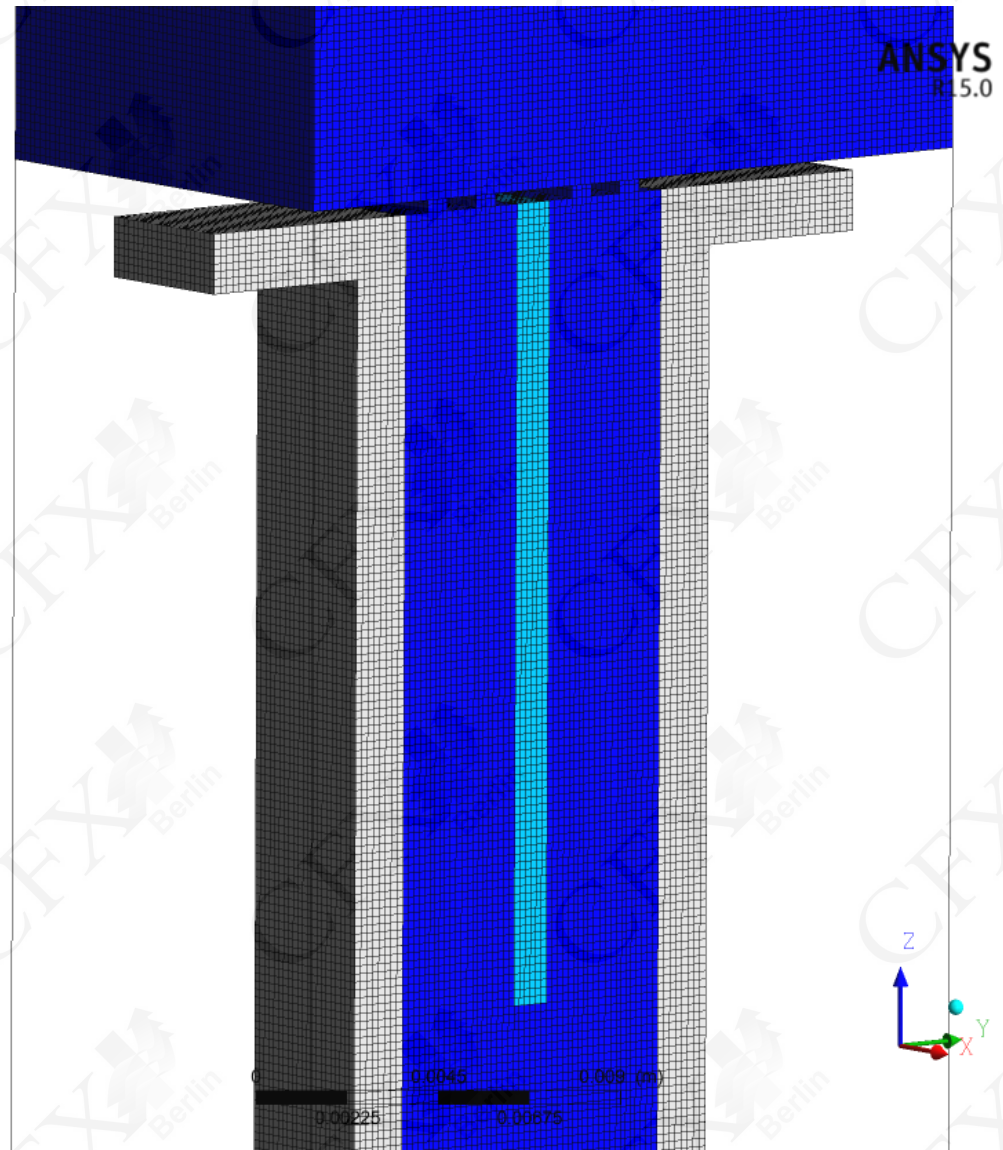
- Geometrierstellung mit *ANSYS ICEM CFD*
 - Erstellung eines Halbmodells, das in ANSYS CFX-Pre zum Vollmodell gespiegelt wird
 - Das Geometriemodell beinhaltet sowohl das Strömungsvolumen als auch die Festkörper.
 - Geometrie bestehend aus
 - Laufschiene
 - Löschblech
 - Strömungsraum mit Abströmvolumen
 - Außenbereich (Drahtmodell)



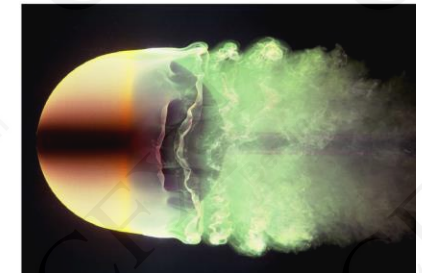
- Geometrievarianten mit verschiedener Verdämmung
 - 0% offen
 - 20% offen
 - 40% offen
 - 60% offen



- Halbautomatische, blockstrukturierte Vernetzung mit **ANSYS ICEM CFD Hexa**
 - **Strömungsraum:**
 - 570 000 Knoten
 - 540 000 Hexaederelemente
 - **Festkörper:**
 - 1 300 000 Knoten
 - 1 200 000 Hexaederelemente



- **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**

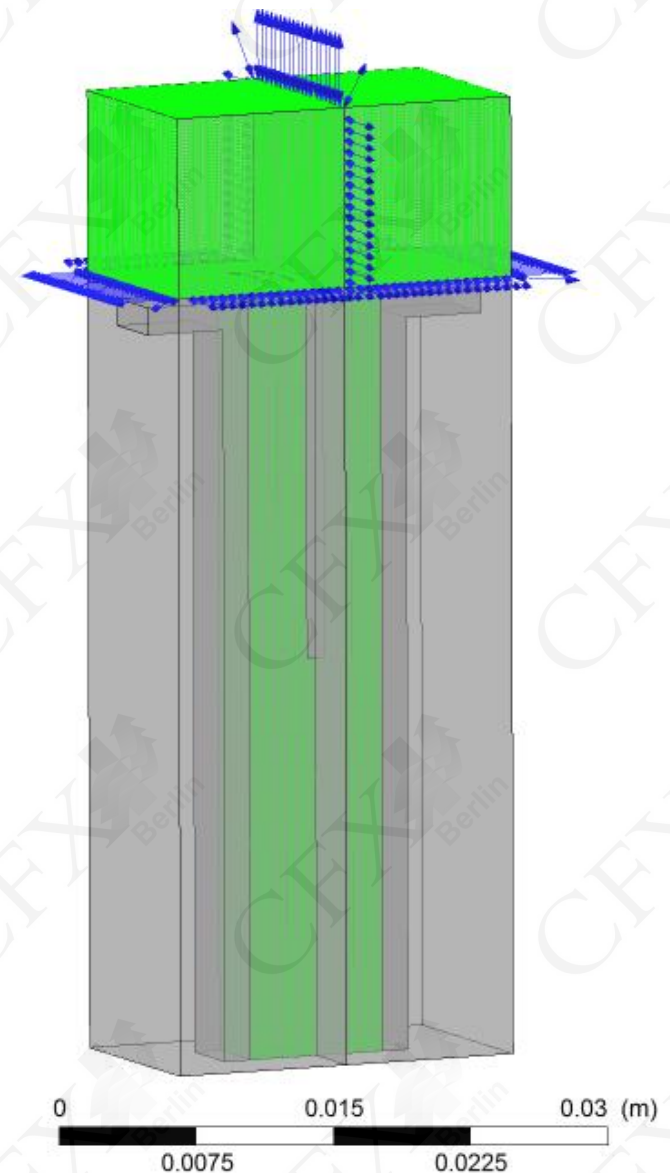


laminare Grenzschicht
($Re = 2 \cdot 10^4$)



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

- **Elektromagnetik**
 - Quasi-stationäres magneto-hydrodynamisches Modell
 - Lösung für elektrisches Potential und magnetisches Vektorpotential
 - Berechnung von Stromdichte, Magnetfeld, Lorentzkraft und Widerstandserwärmung
 - Implementiert in **ANSYS CFX**
- **Strömungssimulation (CFD)**
 - Material: Luft mit vorberechneten Eigenschaften im lokalen thermodynamischen Gleichgewicht von 300 K bis 30 000 K
 - Transport der Enthalpie
 - Berücksichtigung von Auftrieb
 - SST-Turbulenzmodell
 - Nettoemissions-Strahlungsmodell
- **transiente Simulation mit Zeitschrittweite 10 μ s**



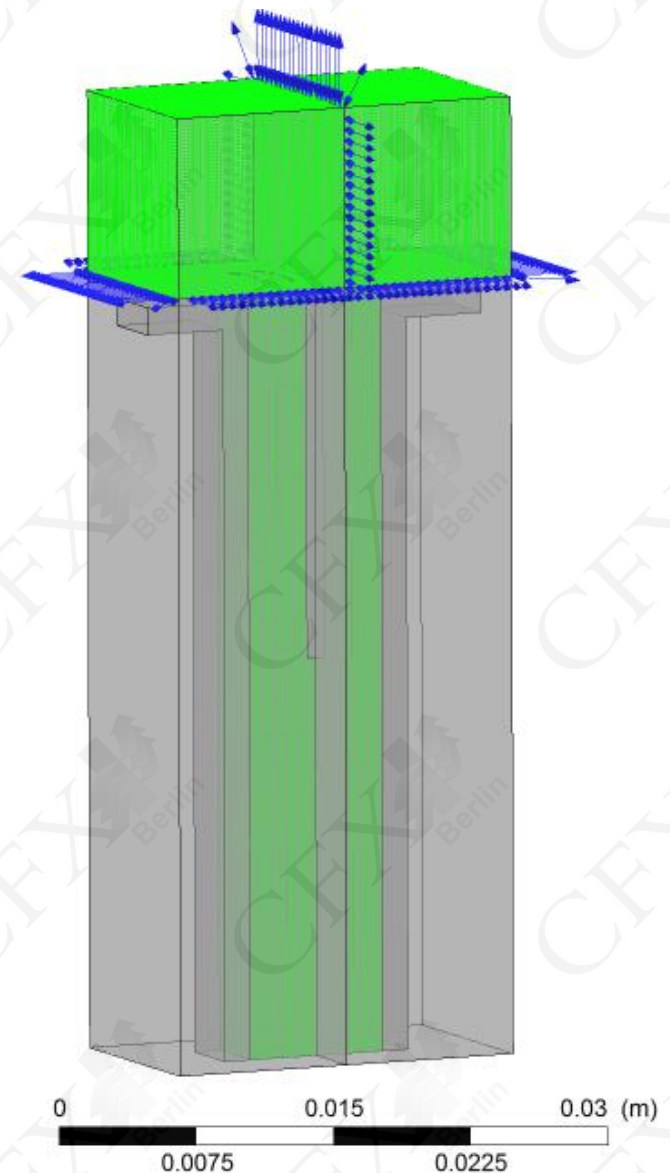
- **Elektromagnetik**

- Vorgabe des aufgeprägten elektrischen Stroms durch $I(t) = 500 \text{ A} \sin(2\pi t \cdot 50 \text{ Hz})$ an einer Laufschiene, Erdung der anderen Laufschiene
- Zündmodell mit erhöhter Leitfähigkeit
- Fallgebietsmodellierung über zusätzlichen, stromdichteabhängigen elektrischen Widerstand an den Übergängen vom Strömungsraum zu Schienen und Löschblech

(Stromdichte-Spannungs-Kennlinie analog zu Lindmayer, „Lichtbogensimulation – ein Überblick“, 20. VDE-Tagung Kontaktverhalten und Schalten, Karlsruhe 2009)

- **Strömungssimulation (CFD)**

- unten geschlossener Strömungsraum
- oben Öffnung zur Atmosphäre (1 atm, 300 K)
- Übergang vom Strömungsraum zum Abströmvolumen geschlossen bzw. zu 20% oder 40% geöffnet

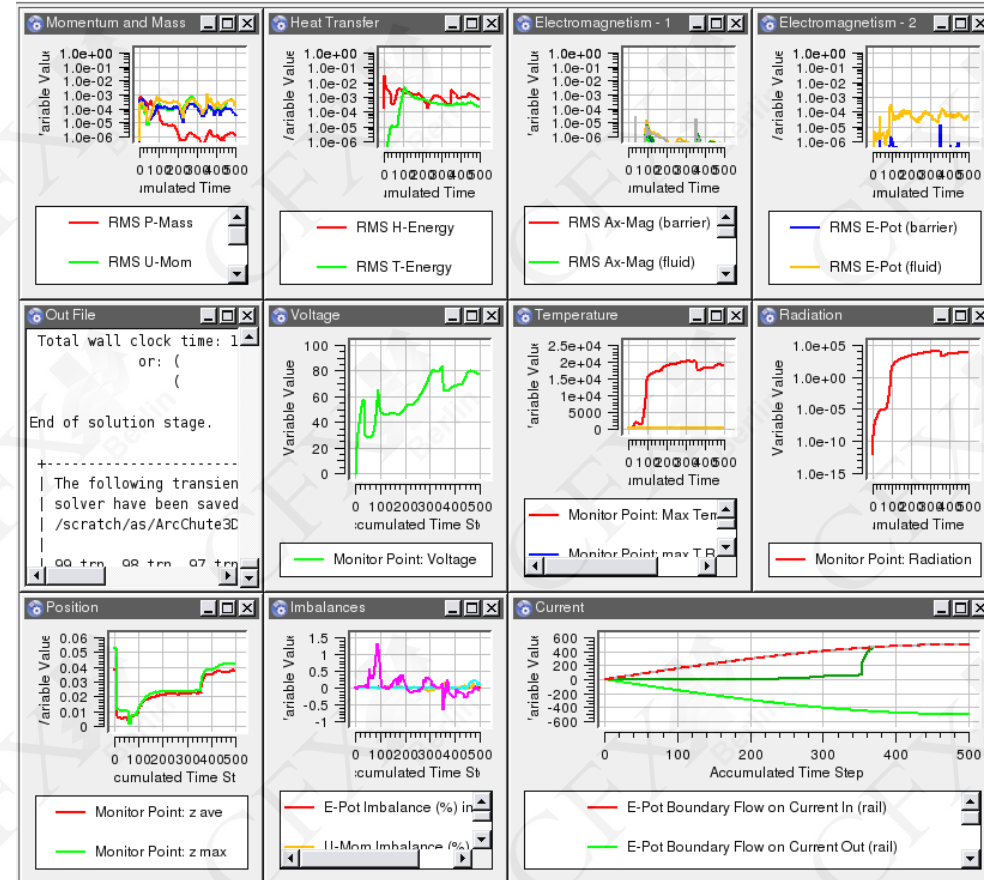


- Konvergenzverhalten

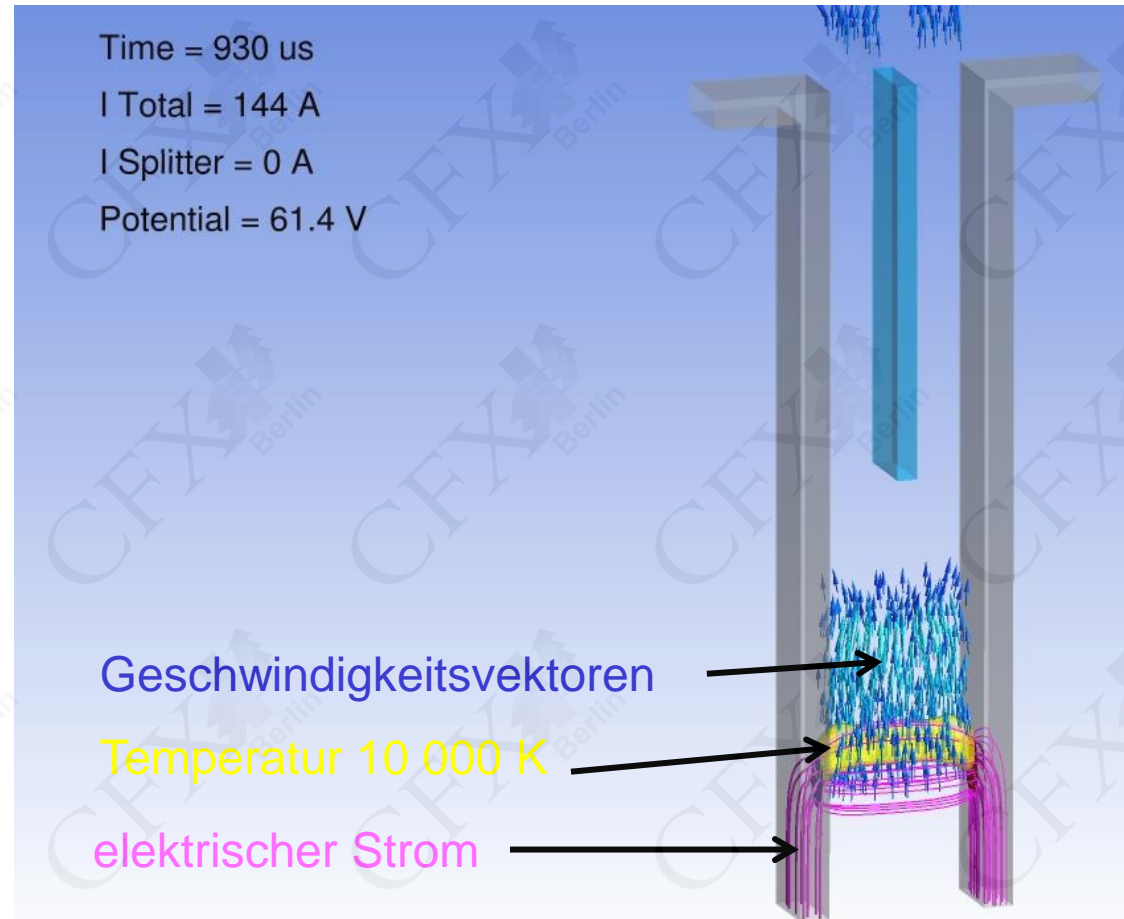
- RMS-Residuen $< 10^{-3}$
- Globale Bilanzen zu $< 1\%$ erfüllt
- max. 10 innere Iterationen

- Berechnungsverlauf

- Arbeitsspeicher: 5.3 GB
- Anzahl Prozessoren: 4 (2.66 GHz)
- Berechnungsdauer:
ca. 2 Tage, 5 Stunden für
500 Zeitschritte à $10 \mu\text{s} = 5 \text{ ms}$
- für Voruntersuchungen auf größerem
Gitter: ca. 1 Tag seriell



- Elektrische Größen:
 - Gesamtstrom „I Total“
 - Strom durch Löschblech „I Splitter“
 - Potential zwischen Laufschiene: „Potential“
 - elektrische Stromlinien in magenta
- Strömung:
 - Geschwindigkeitsvektoren dort, wo Geschwindigkeit > 50 m/s
- Temperatur:
 - Isofläche zu 10 000 K (gelb)



Ergebnis

Transientes Ergebnis zu 500 A, 40% geöffnete Verdämmung

- **Zündung:**

- Lichtbogen baut sich auf
- Gas dehnt sich aus und strömt nach oben
- Druckwelle breitet sich aus

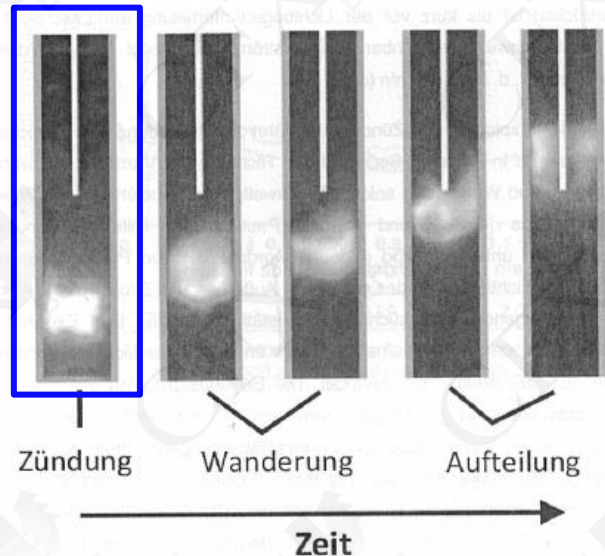
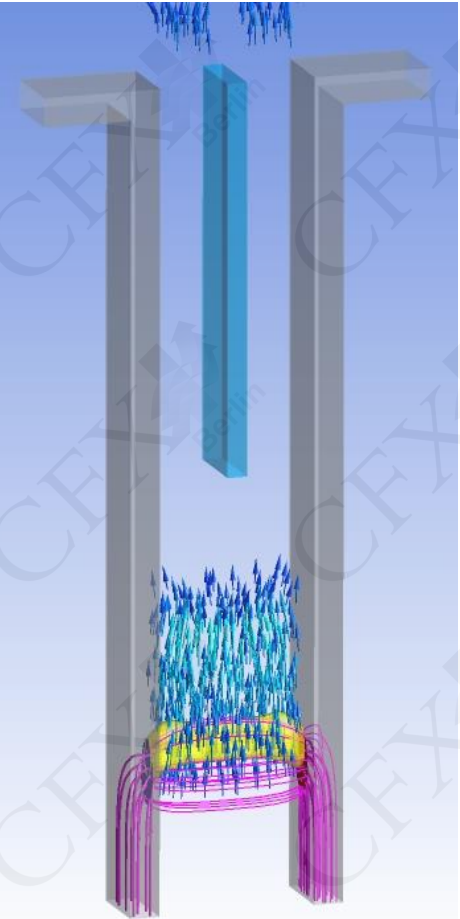


Bild 4.1: Lichtbogenzündung, -wanderung und -aufteilung in einer Kammer mit parallelen Laufschielen und einem Löschblech

Quelle: Experimentelle Untersuchung der Lichtbogaufteilung an Löschblechen, Thomas Rüter, Dissertation TU Braunschweig 2008, Cuvillier Verlag

Time = 930 us
I Total = 144 A
I Splitter = 0 A
Potential = 61.4 V



- Wanderung I:

- Strom in Schienen und Lichtbogen erzeugt Magnetfeld
- Lorentzkraft bewegt Lichtbogen nach oben
- Druckwellen werden z.T. reflektiert und beeinflussen Lichtbogenbewegung

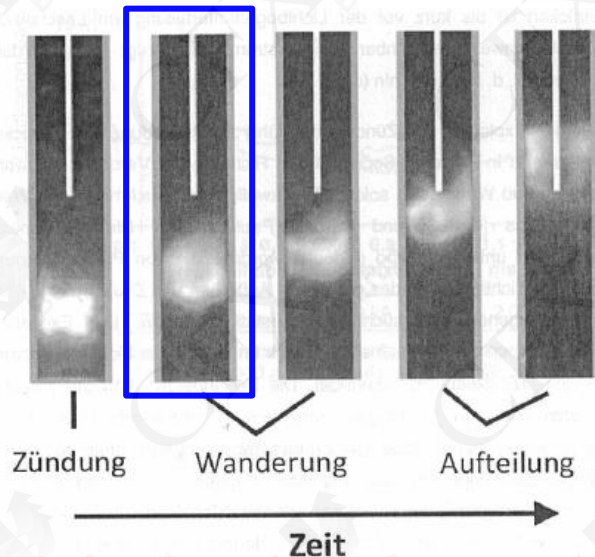


Bild 4.1: Lichtbogenzündung, -wanderung und -aufteilung in einer Kammer mit parallelen Laufschielen und einem Löschblech

Quelle: Experimentelle Untersuchung der Lichtbogenaufteilung an Löschblechen, Thomas Rüter, Dissertation TU Braunschweig 2008, Cuvillier Verlag

Time = 1070 us
I Total = 165 A
I Splitter = 0 A
Potential = 46.5 V



Ergebnis

Transientes Ergebnis zu 500 A, 40% geöffnete Verdämmung

- Wanderung II:

- Lichtbogen nähert sich dem Löschblech
- Strömung bewirkt Durchbiegen des Lichtbogens

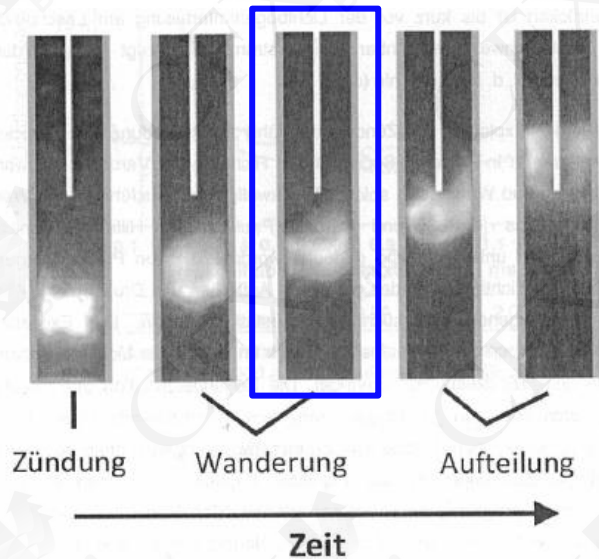
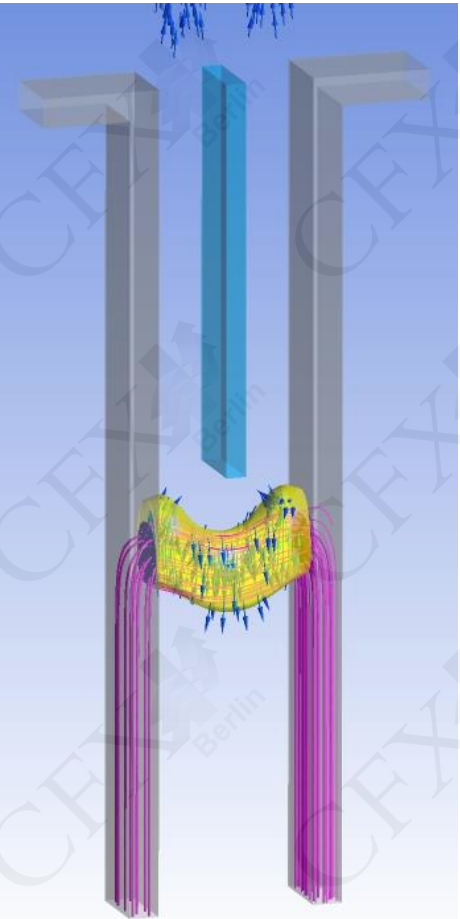


Bild 4.1: Lichtbogenzündung, -wanderung und -aufteilung in einer Kammer mit parallelen Laufschiene und einem Löschblech

Quelle: Experimentelle Untersuchung der Lichtbogaufteilung an Löschblechen, Thomas Rüter, Dissertation TU Braunschweig 2008, Cuvillier Verlag

Time = 1300 us
I Total = 199 A
I Splitter = 0 A
Potential = 46.1 V



- **Aufteilung I:**

- Lichtbogen biegt sich um das Löschblech herum
- Bogenverlängerung und Kühlung bewirkt Spannungszunahme

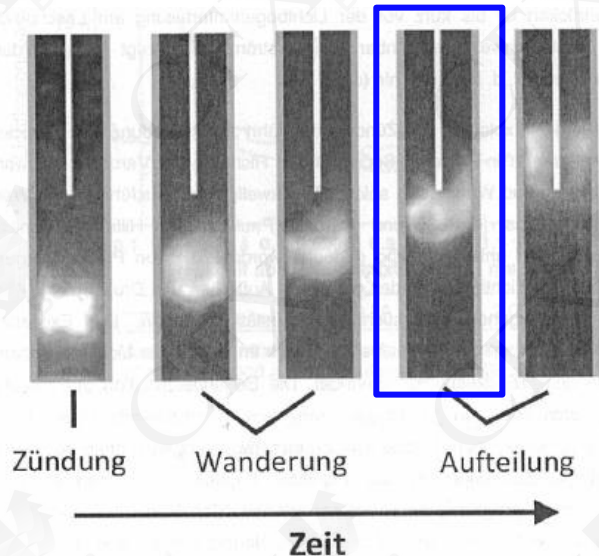
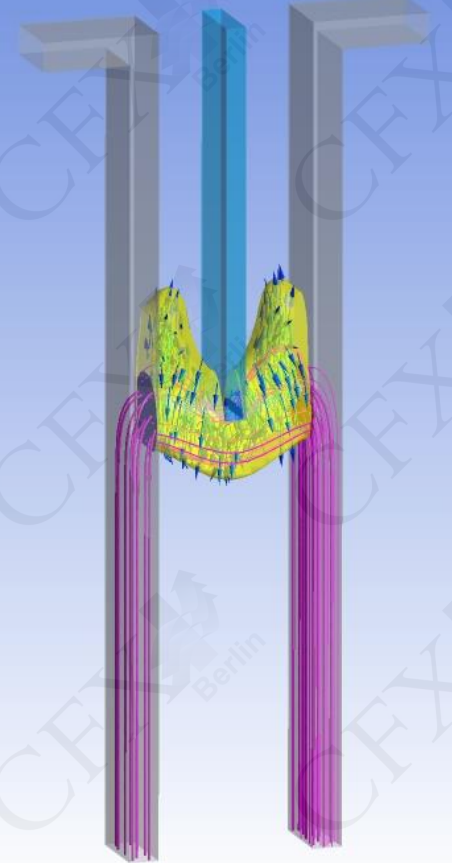


Bild 4.1: Lichtbogenzündung, -wanderung und -aufteilung in einer Kammer mit parallelen Laufschiene und einem Löschblech

Quelle: Experimentelle Untersuchung der Lichtbogaufteilung an Löschblechen, Thomas Rüter, Dissertation TU Braunschweig 2008, Cuvillier Verlag

Time = 2000 us
I Total = 294 A
I Splitter = 4 A
Potential = 51.2 V



- **Aufteilung II:**
 - Wenn die Spannungszunahme so hoch ist, dass die Fallspannung überwunden wird, kommutiert der Lichtbogen auf das Löschblech.

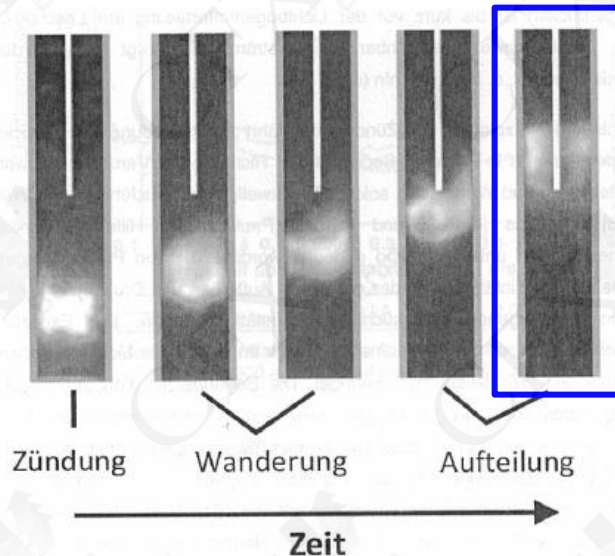


Bild 4.1: Lichtbogenzündung, -wanderung und -aufteilung in einer Kammer mit parallelen Laufschiene und einem Löschblech

Quelle: Experimentelle Untersuchung der Lichtbogaufteilung an Löschblechen, Thomas Rüter, Dissertation TU Braunschweig 2008, Cuvillier Verlag

Time = 3600 us
I Total = 453 A
I Splitter = 374 A
Potential = 64.6 V



- weitere Wanderung:
 - Die Teillichtbögen wandern weiter nach oben bis vor die Verdämmung.
 - Hierbei kommt es zu asymmetrischem Wandern oder Rückbewegungen.

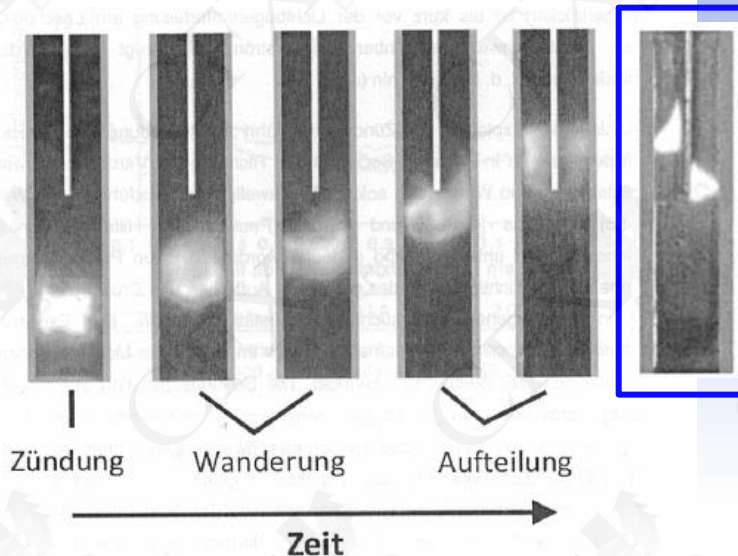
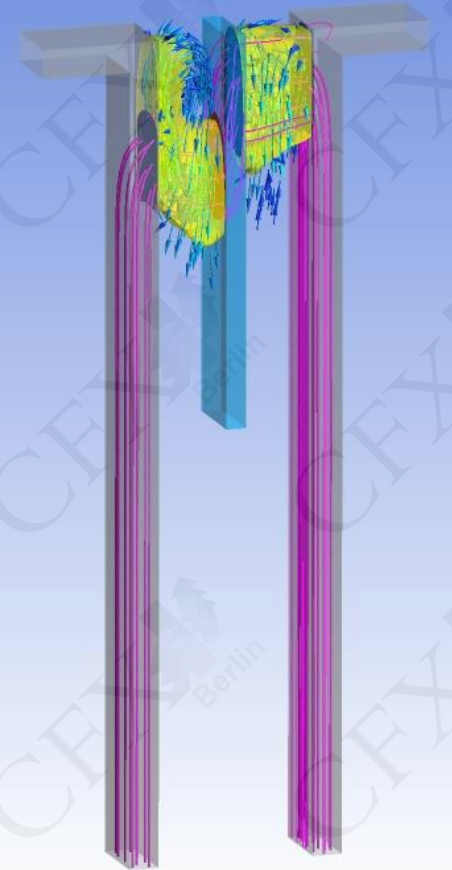


Bild 4.1: Lichtbogenzündung, -wanderung und -aufteilung in einer Kammer mit parallelen Laufschiene und einem Löschblech

Time = 4300 us
I Total = 489 A
I Splitter = 488 A
Potential = 70.1 V

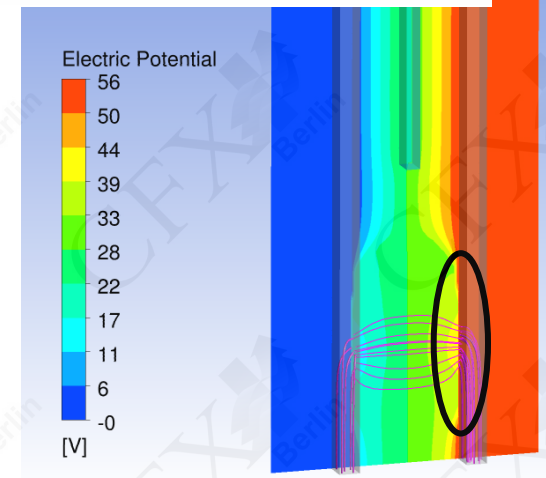
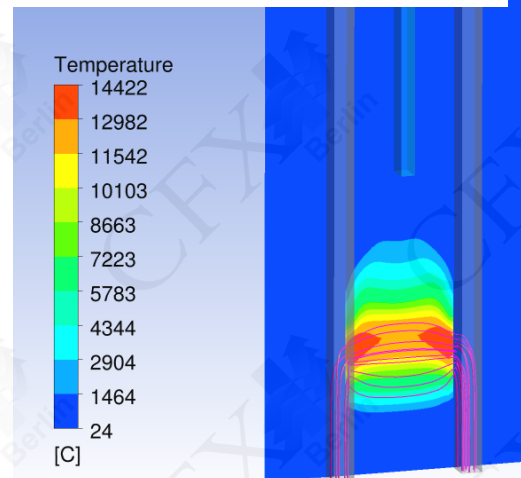
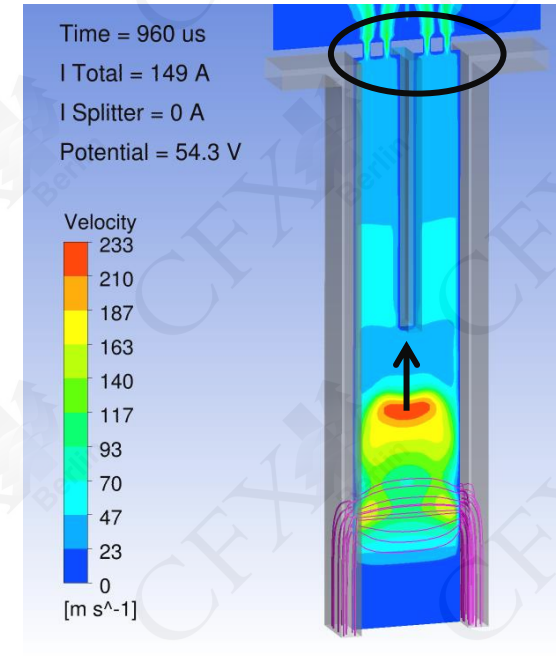
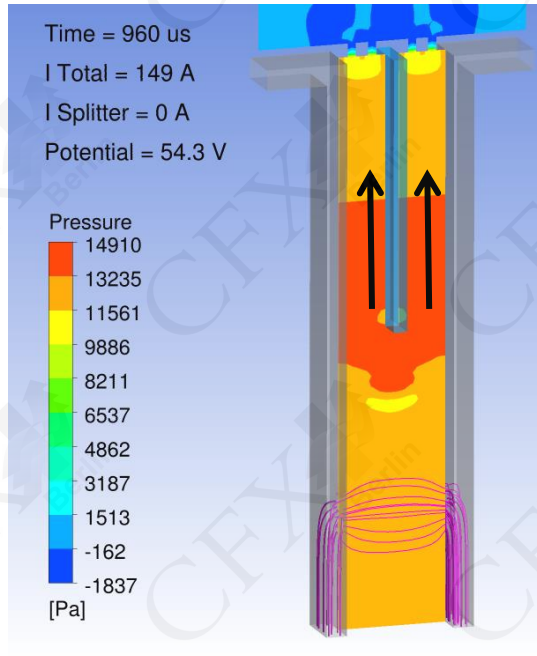


Ergebnis

Transientes Ergebnis zu 500 A, 40% geöffnete Verdämmung

- weitere Auswertemöglichkeiten:

- Druck (oben links; Druckwelle der Zündung läuft nach oben)
- Geschwindigkeit (oben rechts mit dem Ausblasen durch die Verdämmung)
- Temperatur (unten links)
- elektrisches Potential (unten rechts; mit dem Spannungsabfall im Fallgebiet)
- und vieles mehr zu jedem Zeitpunkt...



- Vergleich der Spannungsverläufe ab Lichtbogenzündung:
 - Spannungsspitzen bei geschlossener Verdämmung („0% offen“) durch reflektierte Druckwellen im Zeitbereich bis 1 ms stimmen gut mit Messung überein
 - Spannungsanstieg beim Durchbiegen gut darstellbar
 - Spannungsabfall beim Kommutieren aufs Löschblech im Modell noch zu groß

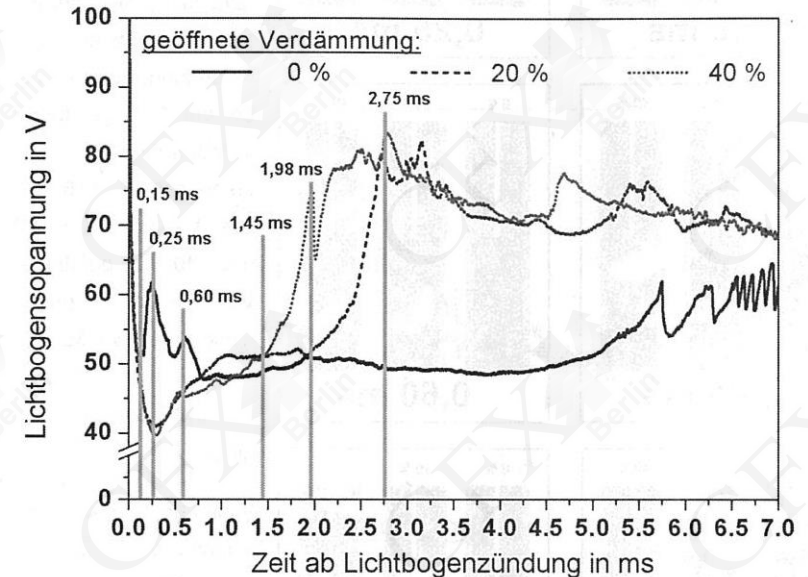
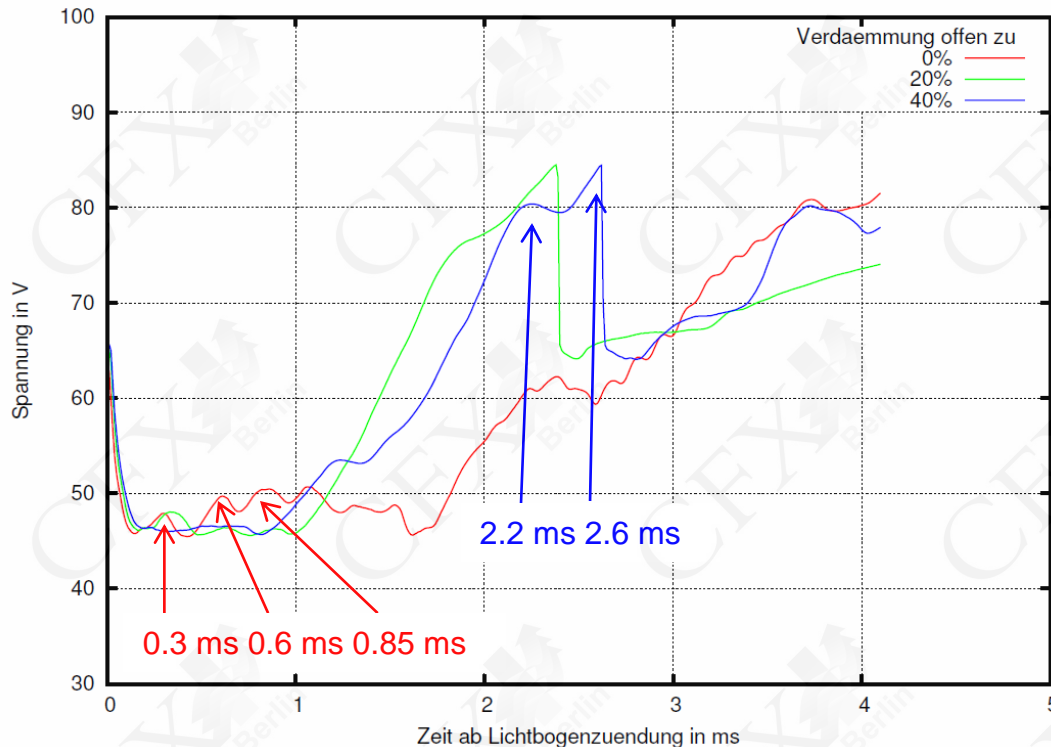
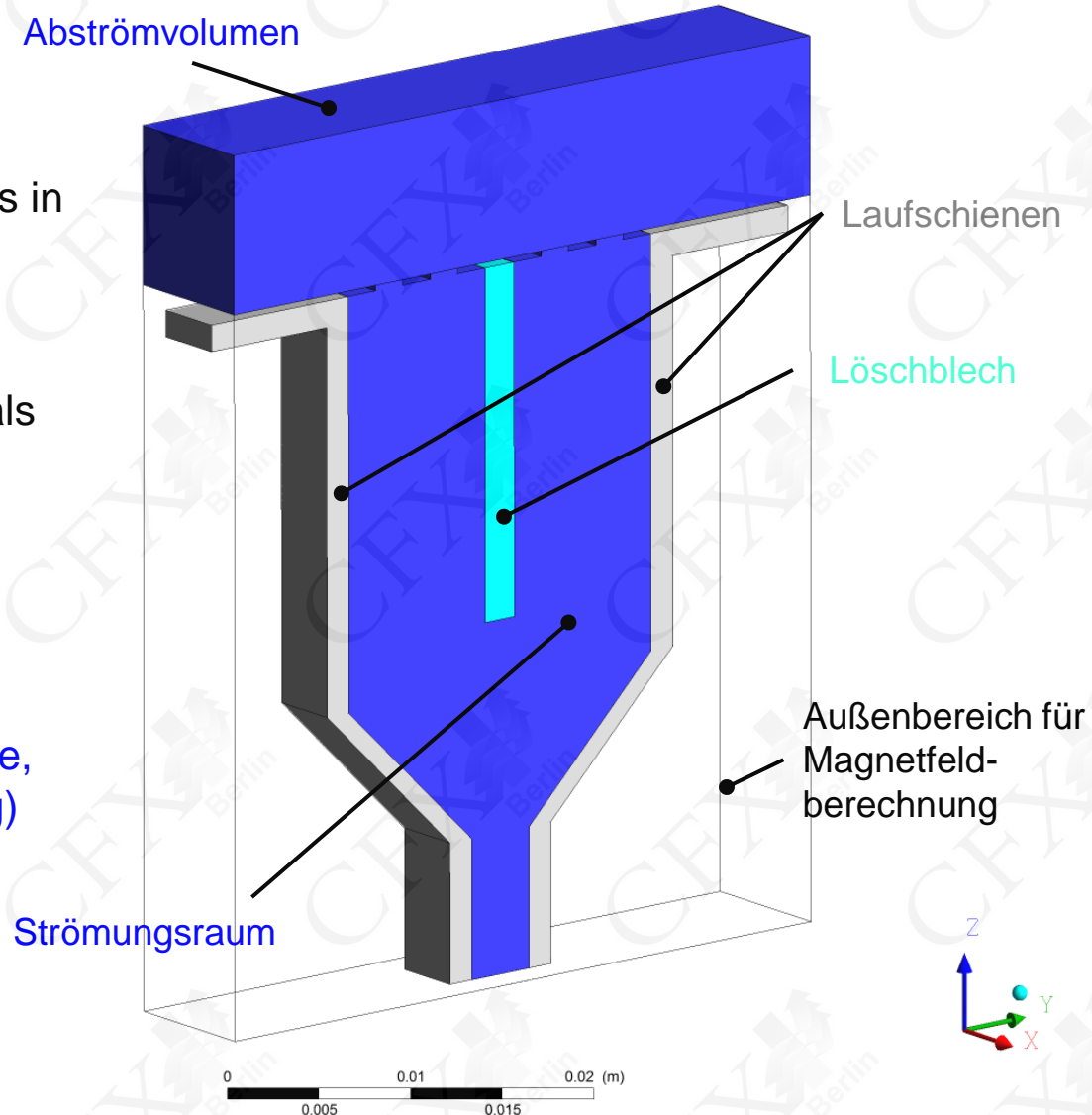


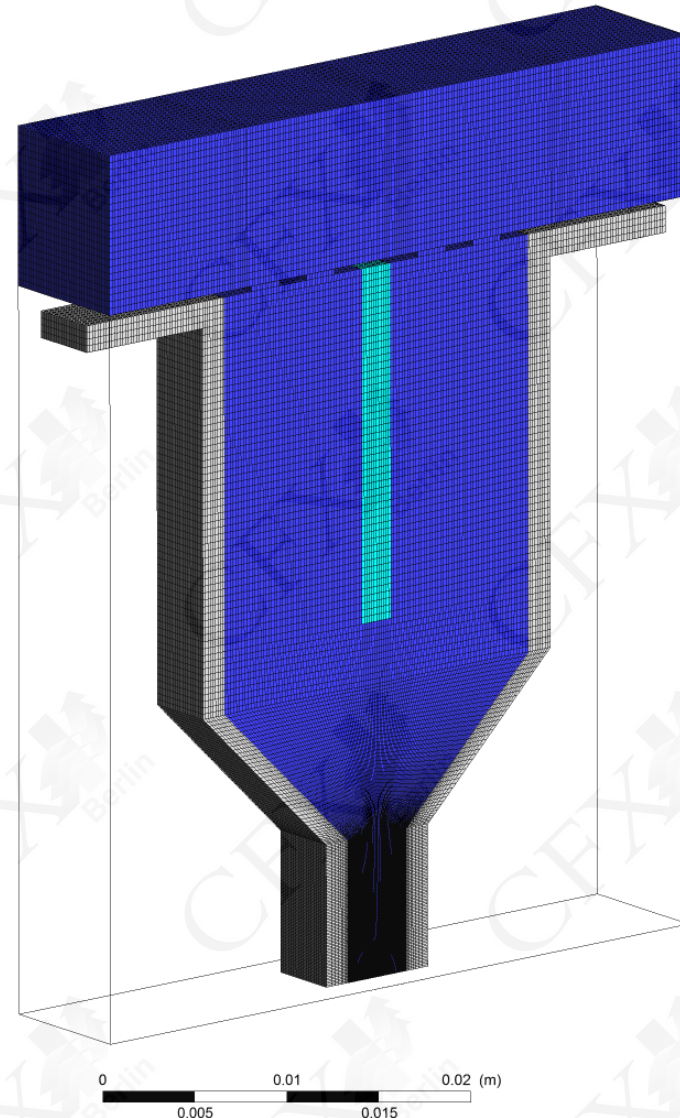
Bild 4.4: Oszillogramm einer Messung mit $I = 500$ A, 0 %, 20 % und 40 % geöffnete Verdämmung

Quelle: Experimentelle Untersuchung der Lichtbogenaufteilung an Löschblechen, Thomas Rüter, Dissertation TU Braunschweig 2008, Cuvillier Verlag

- Geometrierstellung mit *ANSYS ICEM CFD*
 - Erstellung eines Halbmodells, das in ANSYS CFX-Pre zum Vollmodell gespiegelt wird
 - Das Geometriemodell beinhaltet sowohl das Strömungsvolumen als auch die Festkörper.
 - Geometrie bestehend aus
 - Laufschiene
 - Löschblech
 - Strömungsraum mit Abströmvolume (4 mm Tiefe, 40% geöffnete Verdämmung)
 - Außenbereich (Drahtmodell)



- Halbautomatische, blockstrukturierte Vernetzung mit *ANSYS ICEM CFD Hexa*
 - Strömungsraum:
 - 611 000 Knoten
 - 541 000 Hexaederelemente
 - Festkörper:
 - 1 210 000 Knoten
 - 1 080 000 Hexaederelemente



- Elektrische Größen:
 - Gesamtstrom „I Total“
 - Strom durch Löschblech „I Splitter“
 - Potential zwischen Laufschiene: „Potential“
 - elektrische Stromlinien in magenta
- Strömung:
 - Geschwindigkeitsvektoren dort, wo Geschwindigkeit > 50 m/s
- Temperatur:
 - Isofläche zu 10 000 K (gelb)

750 μ s nach Stromstart

Time = 750 us
I Total = 117 A
I Splitter = 0 A
Potential = 37 V

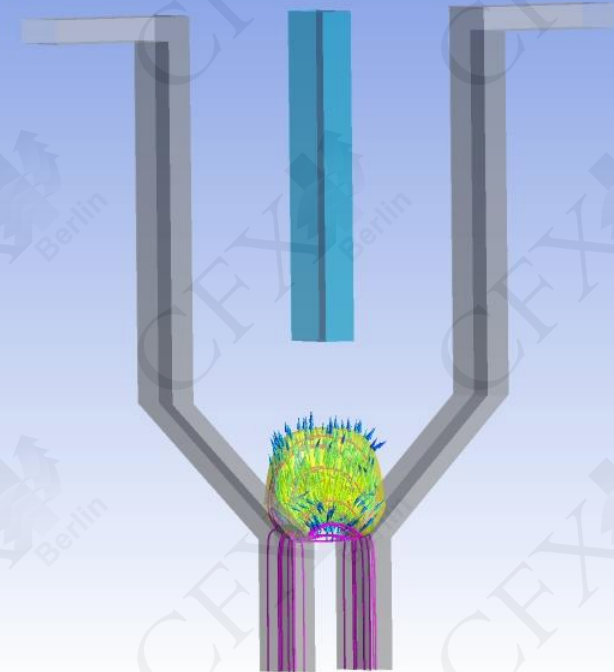


Video unter <https://www.youtube.com/watch?v=1lwDEo78di8>

- Elektrische Größen:
 - Gesamtstrom „I Total“
 - Strom durch Löschblech „I Splitter“
 - Potential zwischen Laufschiene: „Potential“
 - elektrische Stromlinien in magenta
- Strömung:
 - Geschwindigkeitsvektoren dort, wo Geschwindigkeit > 50 m/s
- Temperatur:
 - Isofläche zu 10 000 K (gelb)

1000 μ s nach Stromstart

Time = 1000 μ s
I Total = 155 A
I Splitter = 0 A
Potential = 47 V



Video unter <https://www.youtube.com/watch?v=1lwDEo78di8>

- Elektrische Größen:
 - Gesamtstrom „I Total“
 - Strom durch Löschblech „I Splitter“
 - Potential zwischen Laufschiene: „Potential“
 - elektrische Stromlinien in magenta
- Strömung:
 - Geschwindigkeitsvektoren dort, wo Geschwindigkeit > 50 m/s
- Temperatur:
 - Isofläche zu 10 000 K (gelb)

1250 μ s nach Stromstart

Time = 1250 us
I Total = 191 A
I Splitter = 0 A
Potential = 59 V

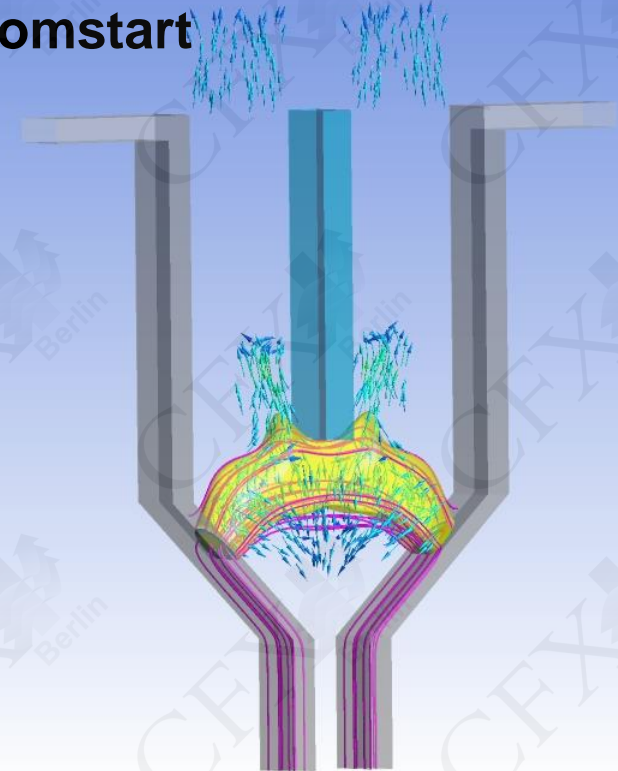


Video unter <https://www.youtube.com/watch?v=1lwDEo78di8>

- Elektrische Größen:
 - Gesamtstrom „I Total“
 - Strom durch Löschblech „I Splitter“
 - Potential zwischen Laufschiene: „Potential“
 - elektrische Stromlinien in magenta
- Strömung:
 - Geschwindigkeitsvektoren dort, wo Geschwindigkeit > 50 m/s
- Temperatur:
 - Isofläche zu 10 000 K (gelb)

1500 μ s nach Stromstart

Time = 1500 us
I Total = 227 A
I Splitter = 0 A
Potential = 77 V

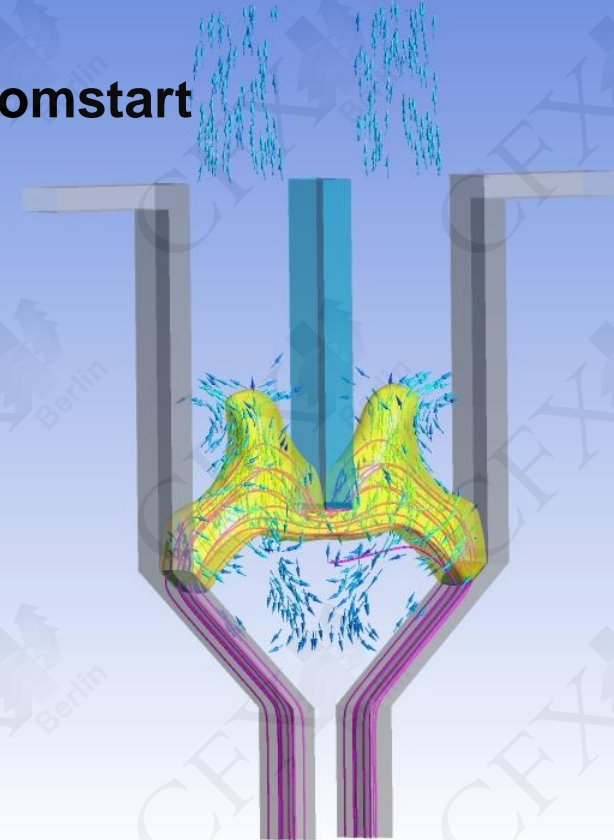


Video unter <https://www.youtube.com/watch?v=1lwDEo78di8>

- Elektrische Größen:
 - Gesamtstrom „I Total“
 - Strom durch Löschblech „I Splitter“
 - Potential zwischen Laufschiene: „Potential“
 - elektrische Stromlinien in magenta
- Strömung:
 - Geschwindigkeitsvektoren dort, wo Geschwindigkeit > 50 m/s
- Temperatur:
 - Isofläche zu 10 000 K (gelb)

1750 μ s nach Stromstart

Time = 1750 us
I Total = 261 A
I Splitter = 8 A
Potential = 107 V

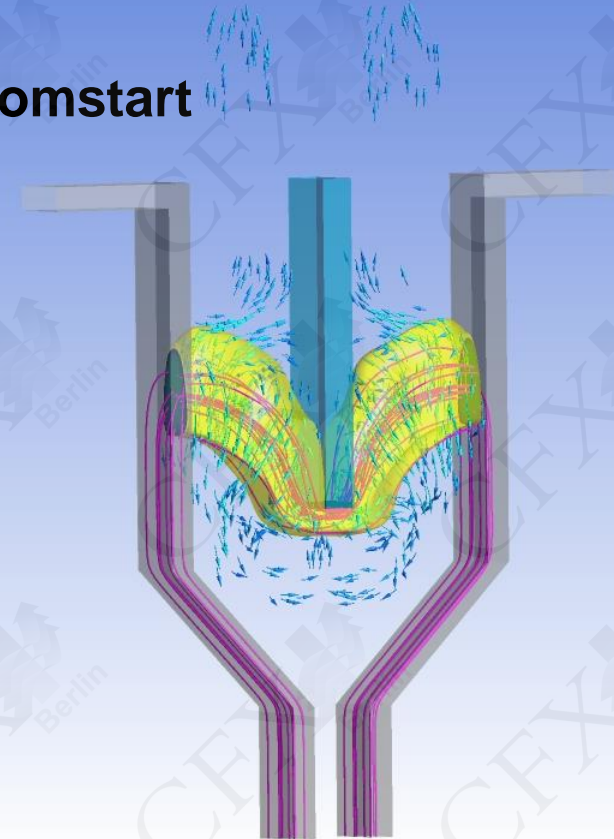


Video unter <https://www.youtube.com/watch?v=1lwDEo78di8>

- Elektrische Größen:
 - Gesamtstrom „I Total“
 - Strom durch Löschblech „I Splitter“
 - Potential zwischen Laufschiene: „Potential“
 - elektrische Stromlinien in magenta
- Strömung:
 - Geschwindigkeitsvektoren dort, wo Geschwindigkeit > 50 m/s
- Temperatur:
 - Isofläche zu 10 000 K (gelb)

2000 μ s nach Stromstart

Time = 2000 us
I Total = 294 A
I Splitter = 23 A
Potential = 108 V

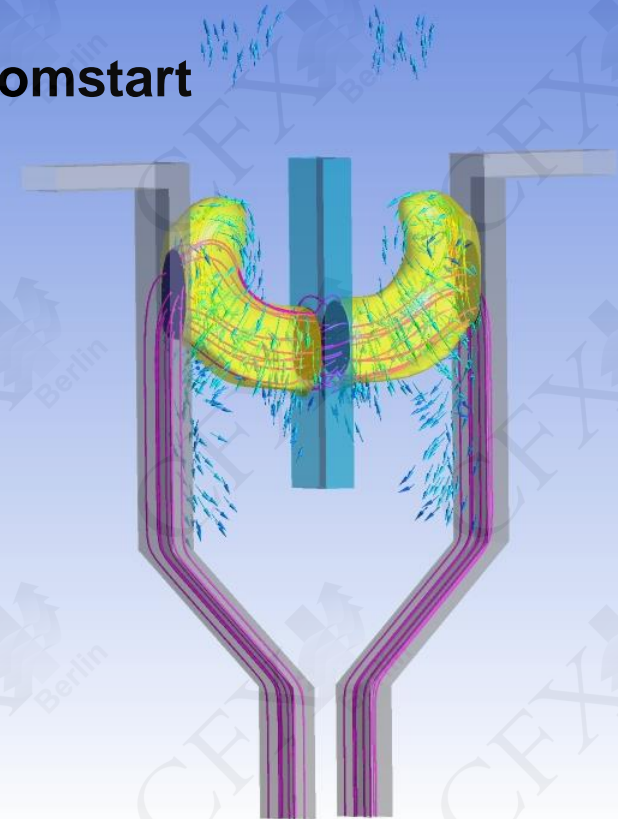


Video unter <https://www.youtube.com/watch?v=1lwDEo78di8>

- Elektrische Größen:
 - Gesamtstrom „I Total“
 - Strom durch Löschblech „I Splitter“
 - Potential zwischen Laufschiene: „Potential“
 - elektrische Stromlinien in magenta
- Strömung:
 - Geschwindigkeitsvektoren dort, wo Geschwindigkeit > 50 m/s
- Temperatur:
 - Isofläche zu 10 000 K (gelb)

2250 μ s nach Stromstart

Time = 2250 us
I Total = 325 A
I Splitter = 320 A
Potential = 99 V

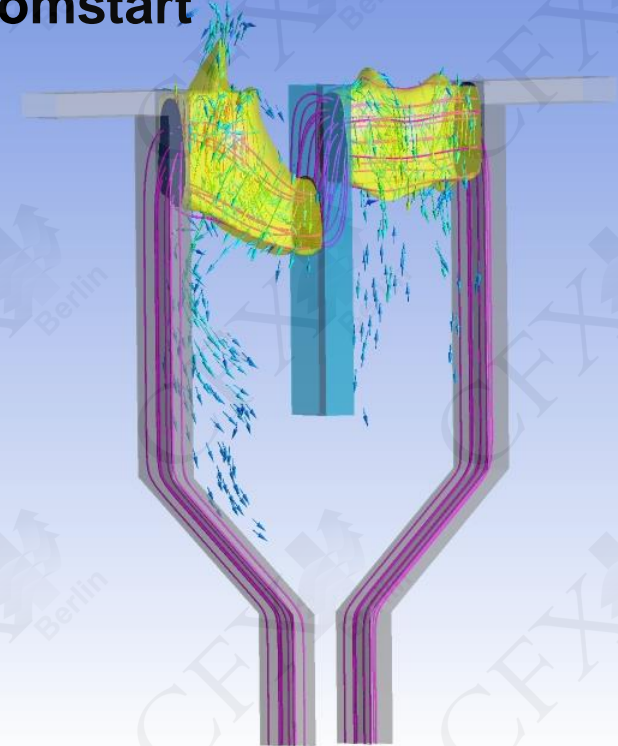


Video unter <https://www.youtube.com/watch?v=1lwDEo78di8>

- Elektrische Größen:
 - Gesamtstrom „I Total“
 - Strom durch Löschblech „I Splitter“
 - Potential zwischen Laufschiene: „Potential“
 - elektrische Stromlinien in magenta
- Strömung:
 - Geschwindigkeitsvektoren dort, wo Geschwindigkeit > 50 m/s
- Temperatur:
 - Isofläche zu 10 000 K (gelb)

3000 μ s nach Stromstart

Time = 3000 us
I Total = 405 A
I Splitter = 405 A
Potential = 103 V

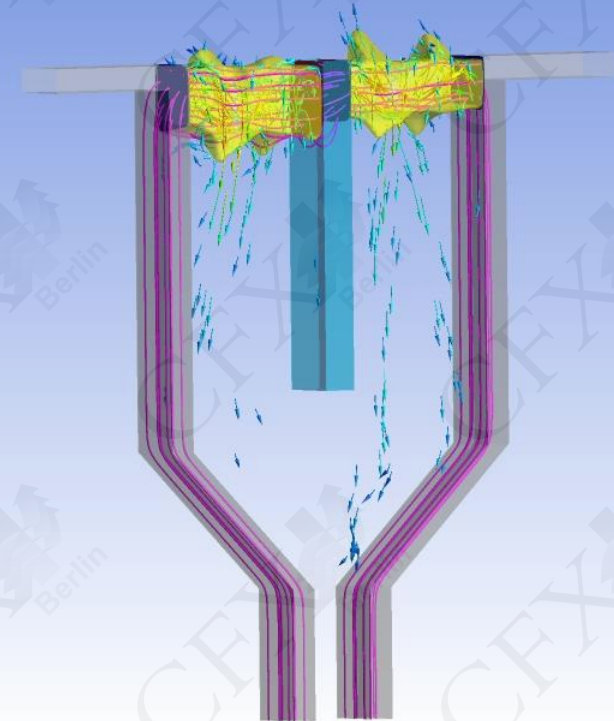


Video unter <https://www.youtube.com/watch?v=1lwDEo78di8>

- Elektrische Größen:
 - Gesamtstrom „I Total“
 - Strom durch Löschblech „I Splitter“
 - Potential zwischen Laufschiene: „Potential“
 - elektrische Stromlinien in magenta
- Strömung:
 - Geschwindigkeitsvektoren dort, wo Geschwindigkeit > 50 m/s
- Temperatur:
 - Isofläche zu 10 000 K (gelb)

4000 μ s nach Stromstart

Time = 4000 us
I Total = 476 A
I Splitter = 475 A
Potential = 125 V



- Elektrische Größen:
 - Gesamtstrom „I Total“
 - Strom durch Löschblech „I Splitter“
 - Potential zwischen Laufschiene: „Potential“
 - elektrische Stromlinien in magenta
- Strömung:
 - Geschwindigkeitsvektoren dort, wo Geschwindigkeit > 50 m/s
- Temperatur:
 - Isofläche zu 10 000 K (gelb)

5000 μ s nach Stromstart

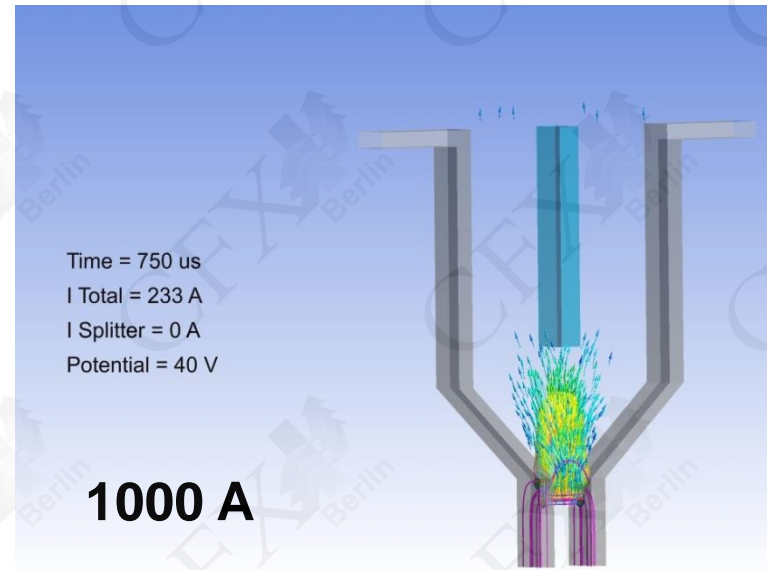
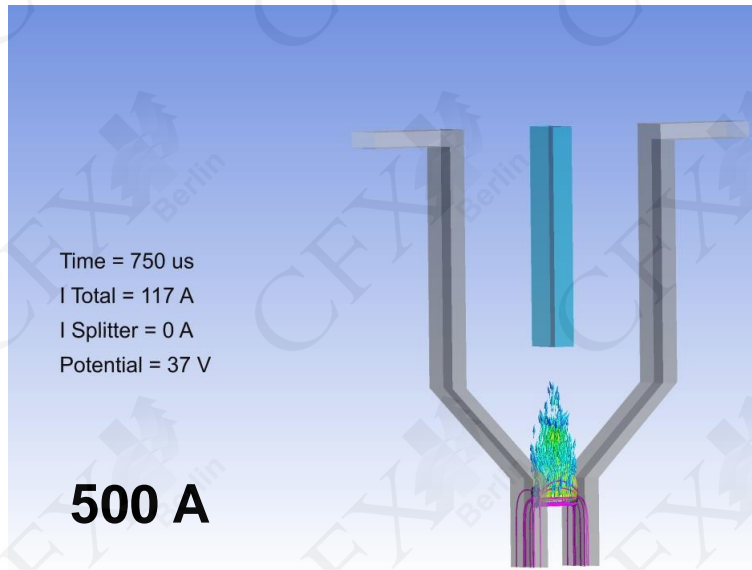
Time = 5000 us
I Total = 500 A
I Splitter = 440 A
Potential = 152 V



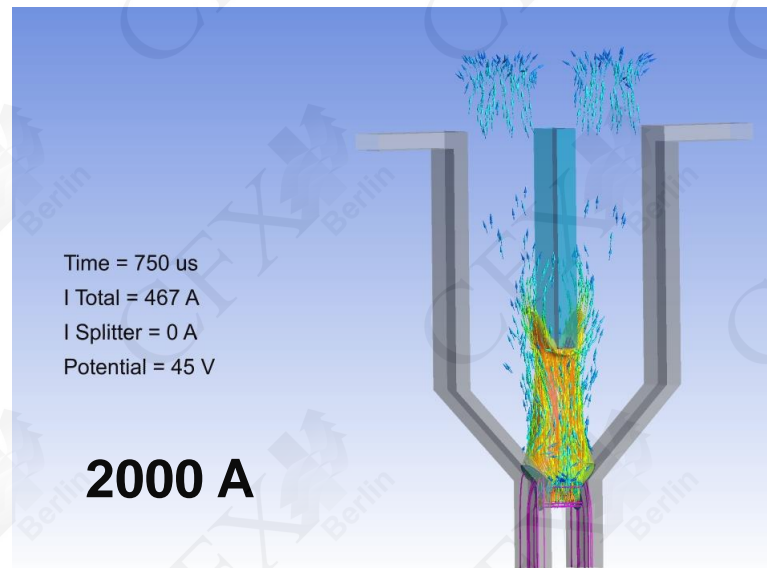
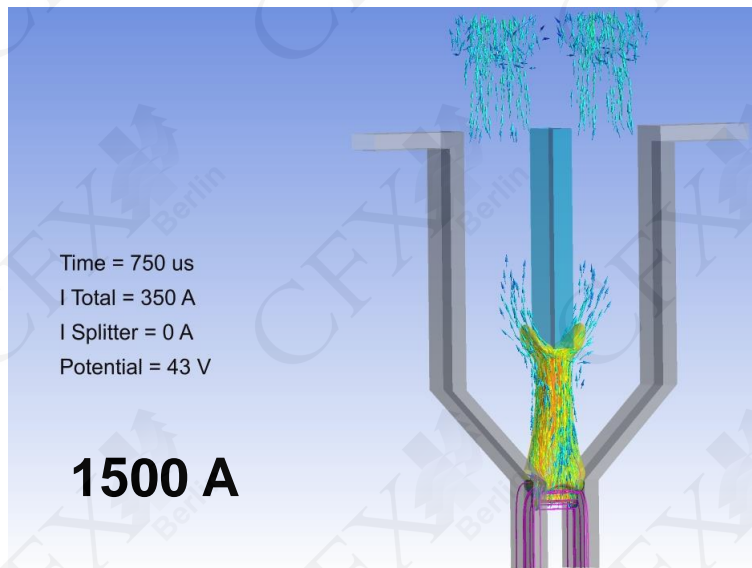
Video unter <https://www.youtube.com/watch?v=1lwDEo78di8>

Ergebnis

Transientes Ergebnis zu 500 A, 1000 A, 1500 A, 2000 A

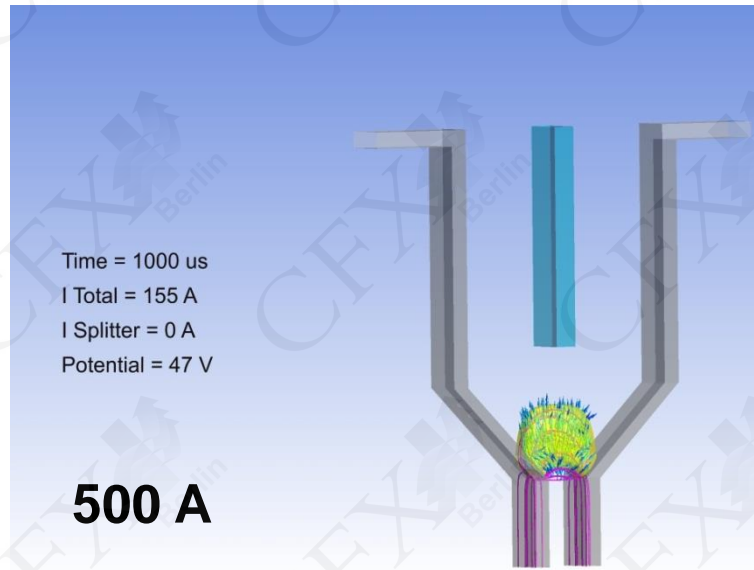


750 μ s
nach
Stromstart

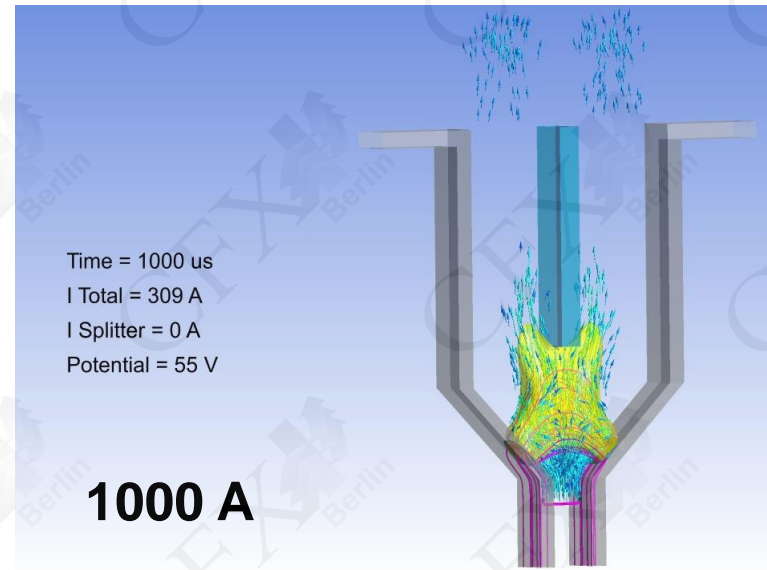


Ergebnis

Transientes Ergebnis zu 500 A, 1000 A, 1500 A, 2000 A

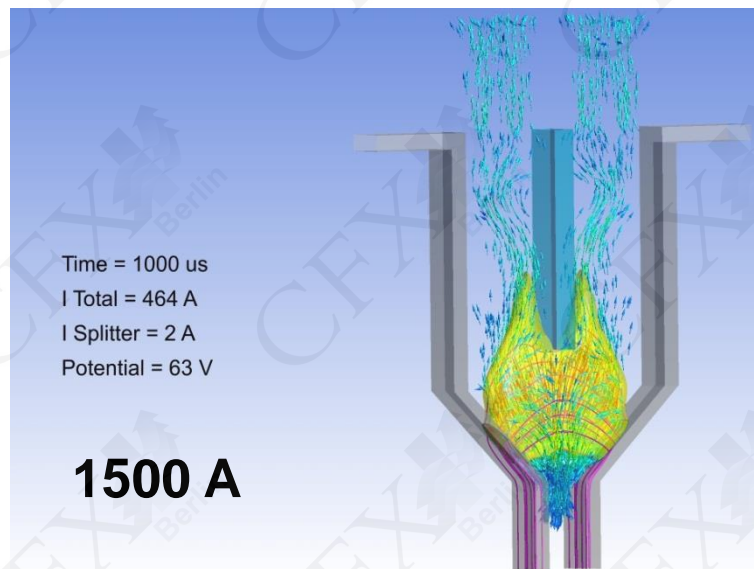


500 A

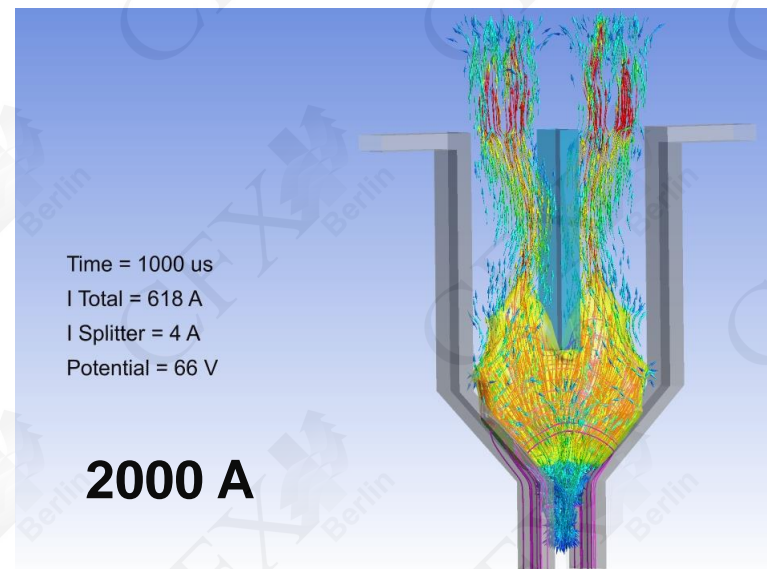


1000 A

**1000 μ s
nach
Stromstart**



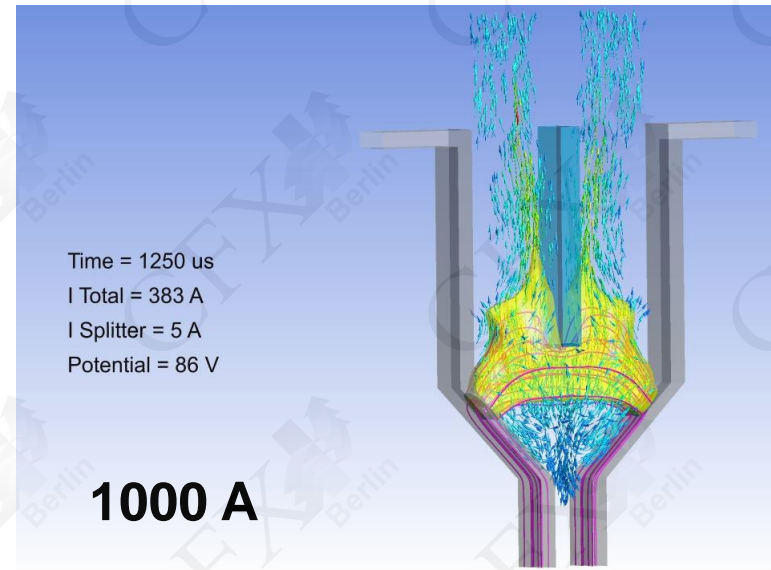
1500 A



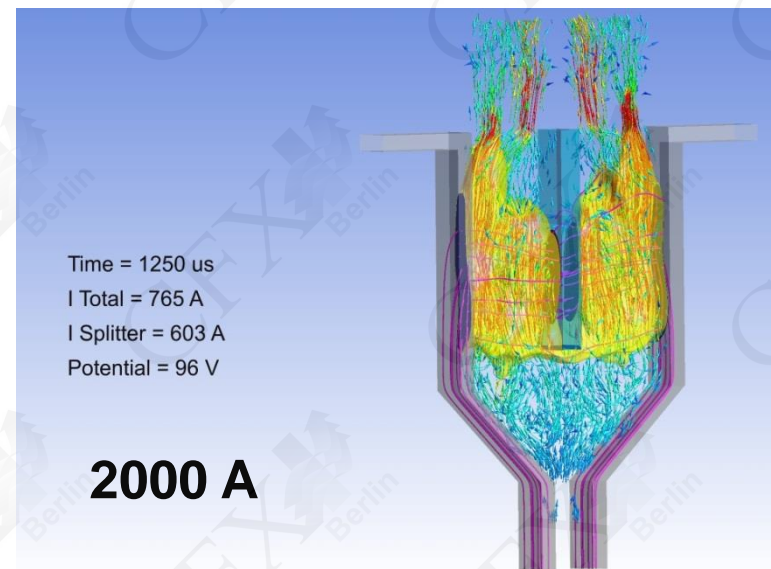
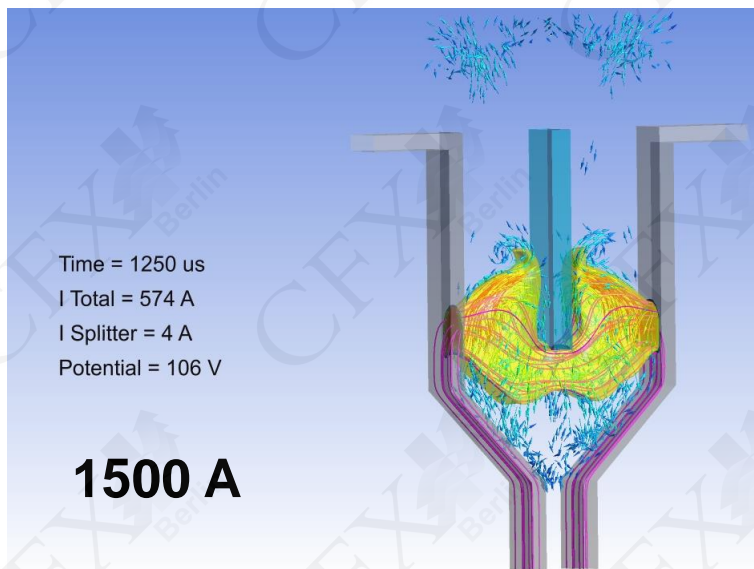
2000 A

Ergebnis

Transientes Ergebnis zu 500 A, 1000 A, 1500 A, 2000 A

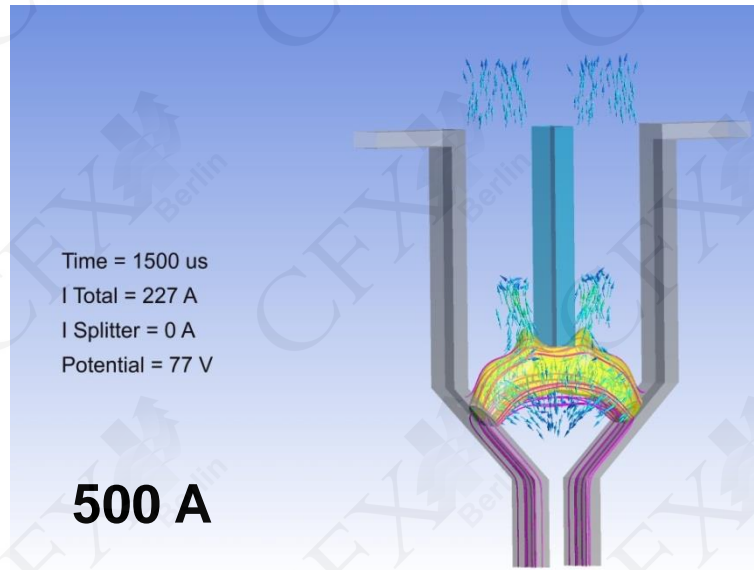


1250 μ s
nach
Stromstart

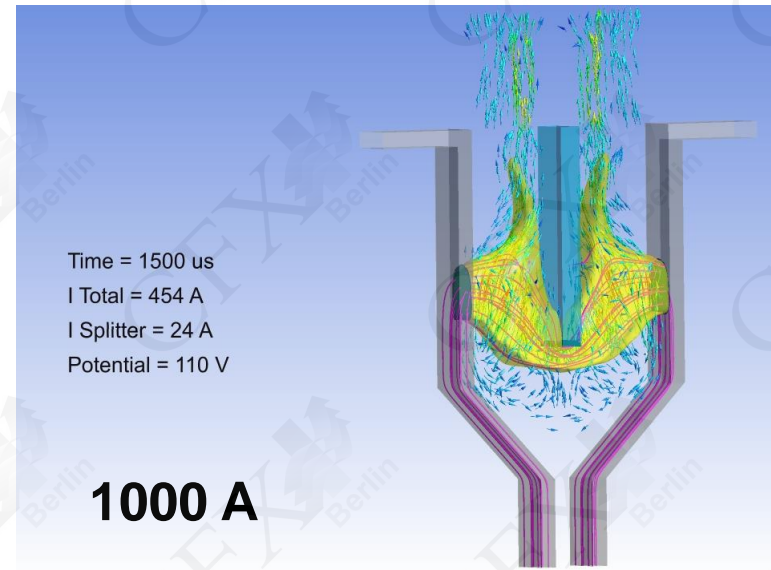


Ergebnis

Transientes Ergebnis zu 500 A, 1000 A, 1500 A, 2000 A

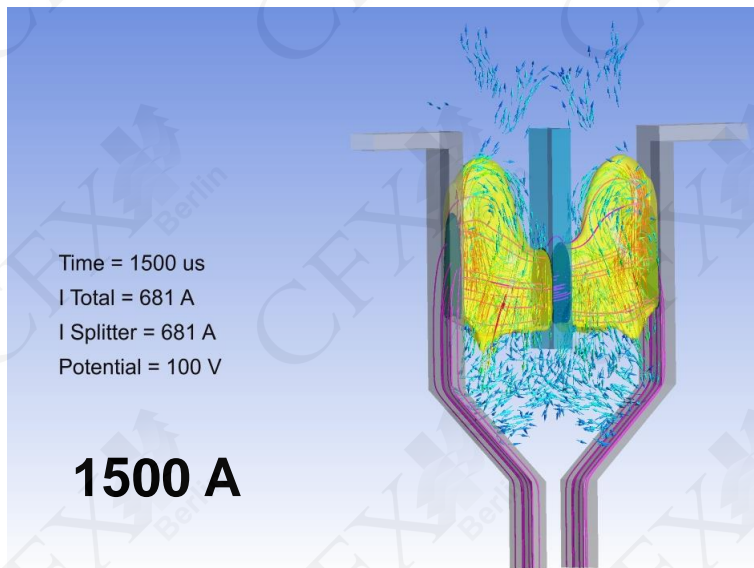


500 A

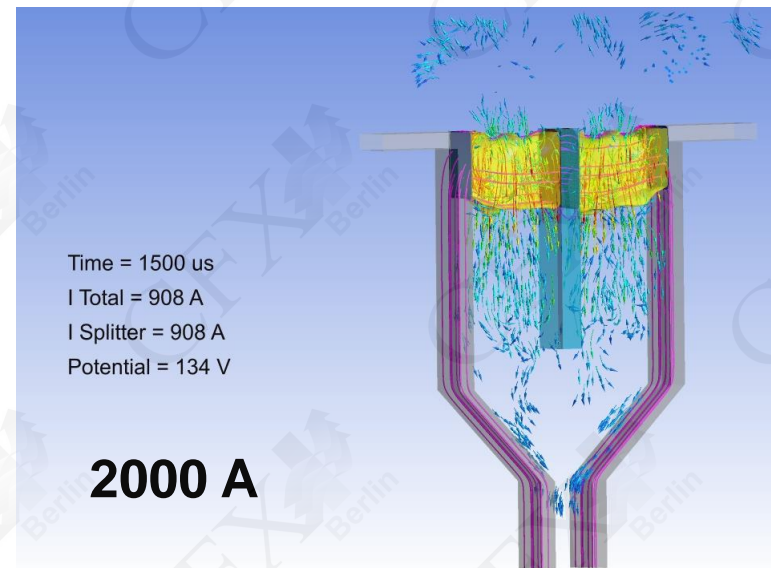


1000 A

**1500 μ s
nach
Stromstart**



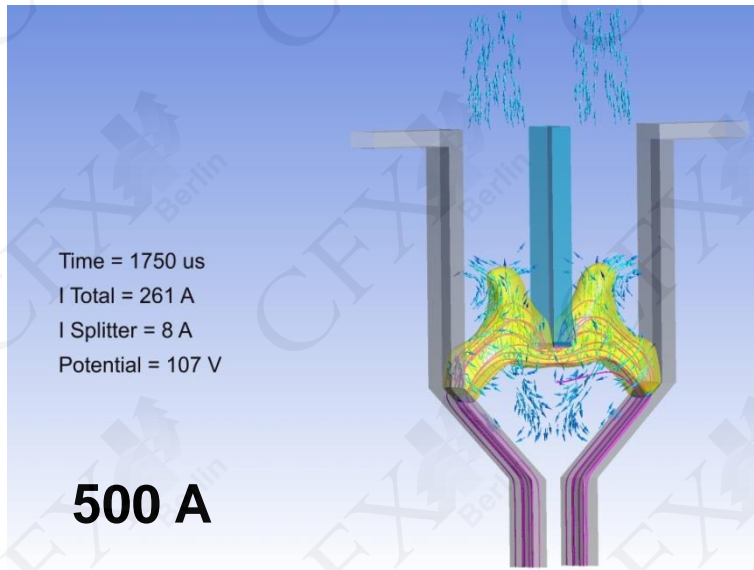
1500 A



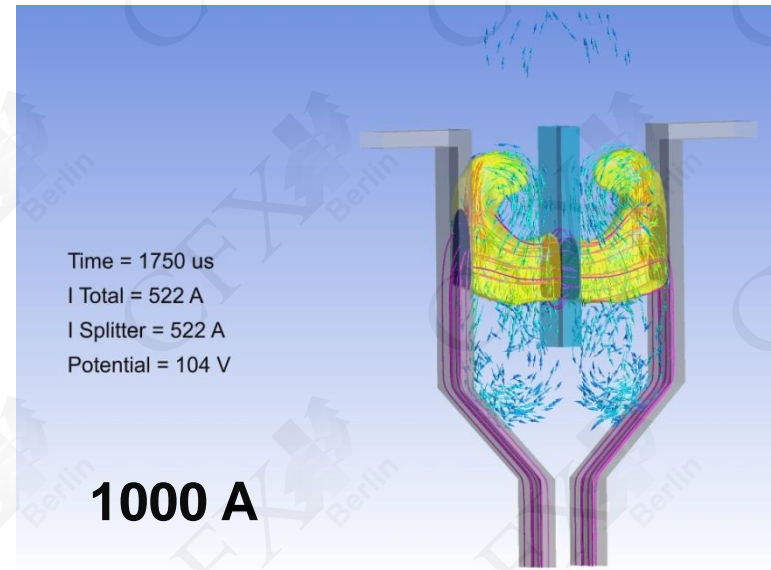
2000 A

Ergebnis

Transientes Ergebnis zu 500 A, 1000 A, 1500 A, 2000 A

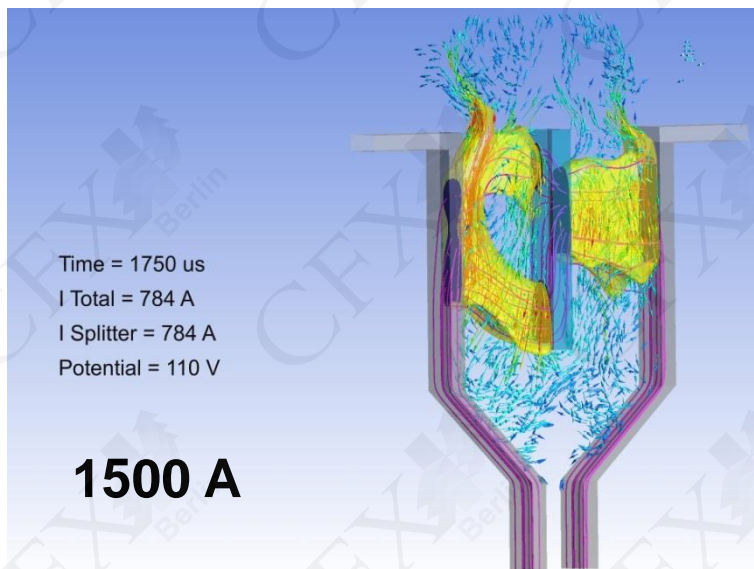


500 A

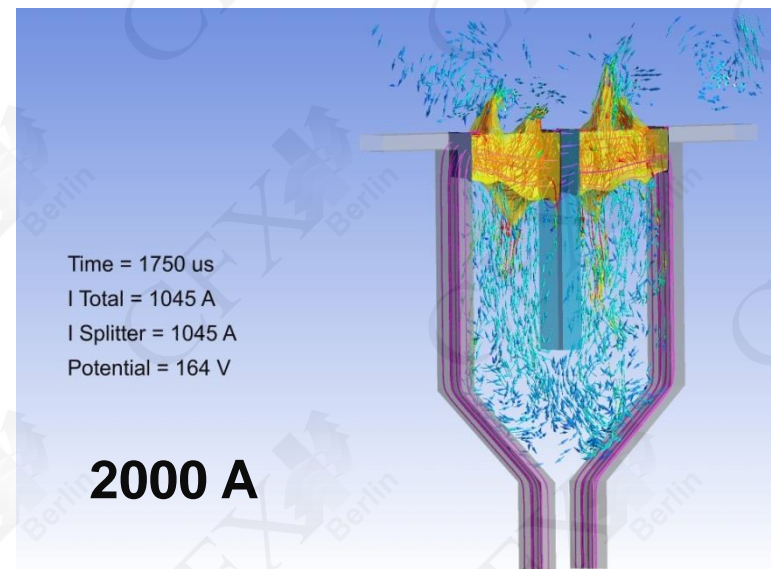


1000 A

**1750 μ s
nach
Stromstart**



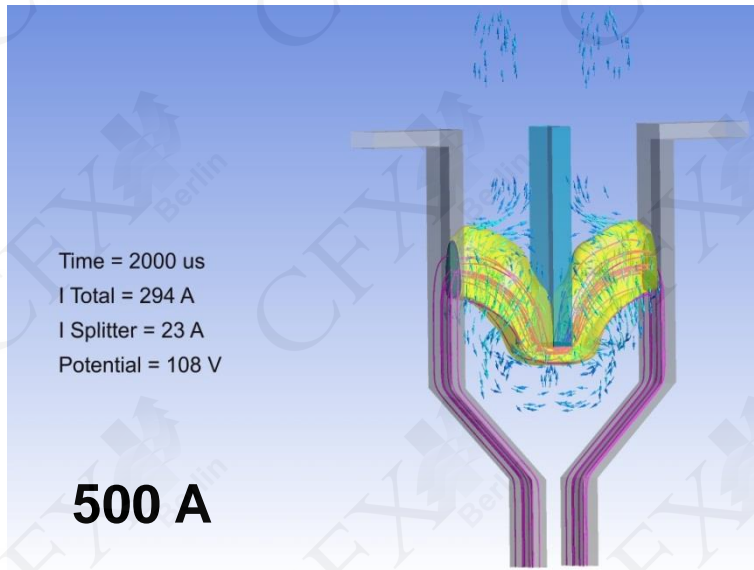
1500 A



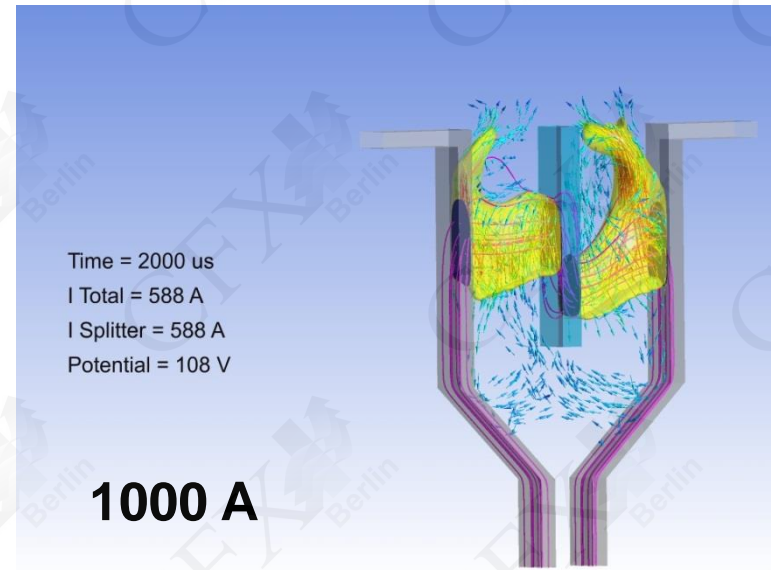
2000 A

Ergebnis

Transientes Ergebnis zu 500 A, 1000 A, 1500 A, 2000 A

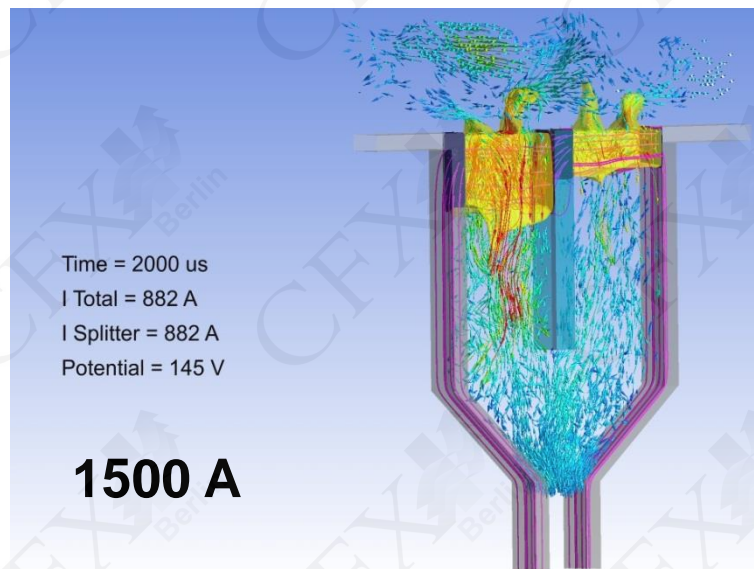


500 A

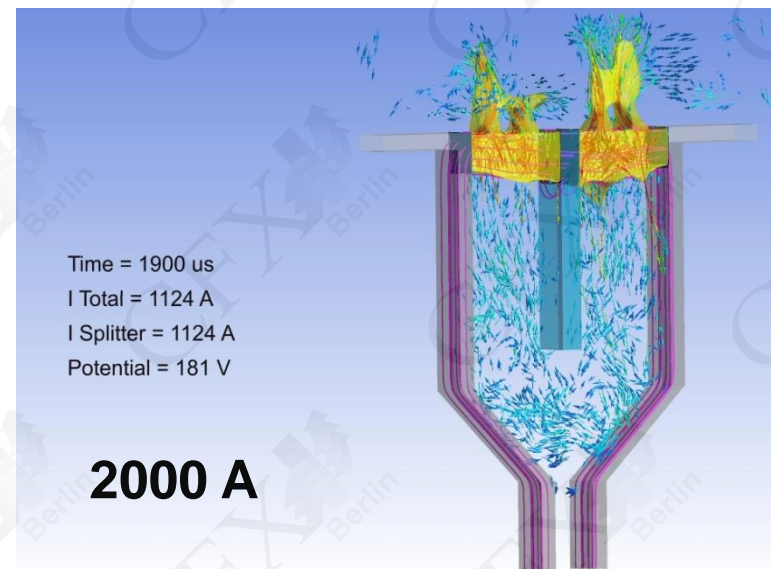


1000 A

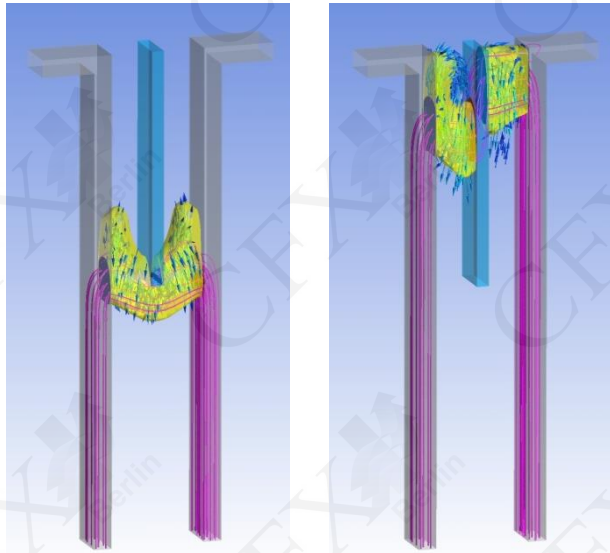
**2000 μ s
nach
Stromstart**



1500 A



2000 A

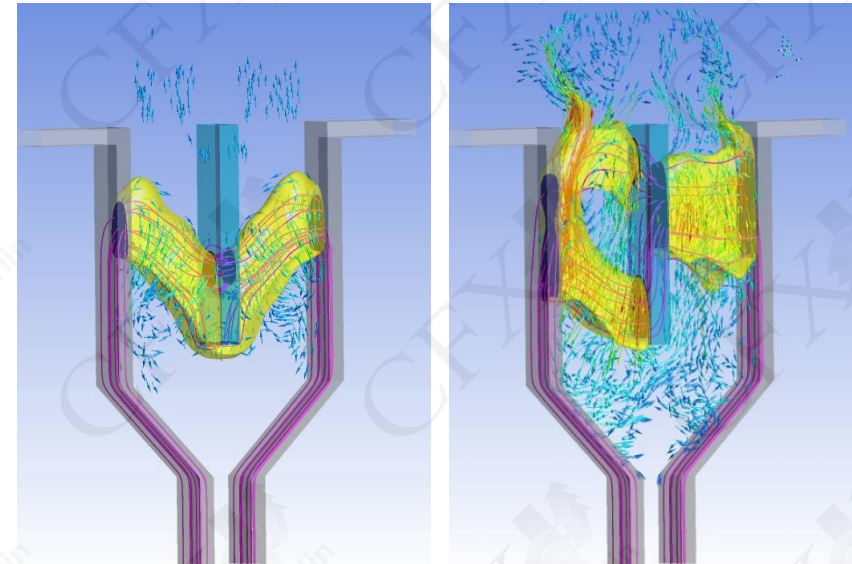


CFD-Simulation eines Schaltlichtbogens

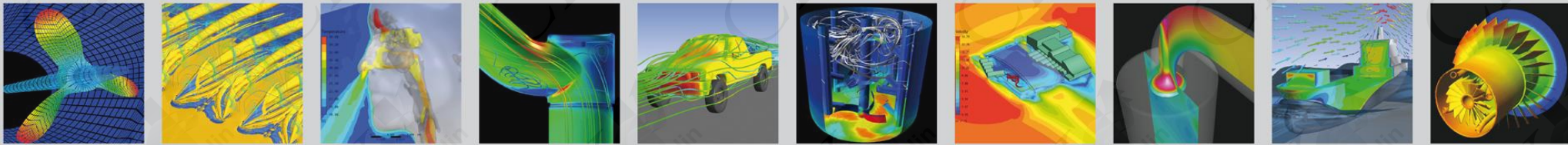
- Strömungsmechanik und Elektromagnetik in **ANSYS CFX** implementiert
- Berücksichtigung plasmaphysikalischer Gaseigenschaften
- keine Kopplung zu externer Software erforderlich

Besondere Herausforderung

- großer Temperaturbereich 20°C – 30 000°C
- starke Wechselwirkung der Strömungsmechanik mit elektromagnetischen Effekten
- Berücksichtigung der Strahlungsverluste mittels Netto-Emissions-Modell
- hohe Dynamik des Lichtbogens



- Anpassung der **Stromdichte-Spannungs-Kennlinie** im vereinfachten Fallgebietsmodell, z.B. zur Berücksichtigung der Polarität, der Elektrodentemperatur oder der Elektrodenoberflächenstruktur.
- komplexere **Fallgebietsmodelle**, um physikalische Effekte im Fallgebiet wie z.B. Ionisation und Rekombination abzubilden
- Komplexere Formulierungen des **Strahlungsmodells** und Berücksichtigung des **Strahlungstransports**, um Strahlungsverluste und Festkörpererwärmung genauer abzubilden
- Berücksichtigung von **Metallverdampfung** und –ausbreitung
- Berücksichtigung **externer Magnetfelder** (Blasfeld) in der Lorentzkraft



ist kompetenter Partner für:

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

