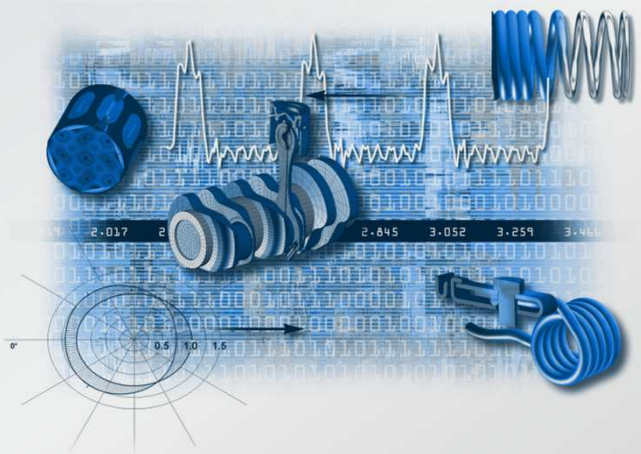


CFD SIMULATION IM INDUSTRIELLEN EINSATZ – EIN MEHRWERT FÜR DIE PRODUKT- UND PROZESSENTWICKLUNG

***SCHERDEL** GRUPPE*

Referent: Dipl.-Ing. Jochen Rühl

Marktredwitz, 21.09.2016

VORWORT

Computational Driven Engineering ist in der heutigen Produkt- und Prozessentwicklung nicht mehr wegzudenken. Gerade im Bereich der CFD (Computational Fluid Dynamics) gewinnt man mittels Simulation einen Einblick in die Wirkungsweise von Produkten bzw. Prozessen, die durch experimentelle Methoden teilweise nur schwer zugänglich und mit einem hohen Zeit- und Kostenbedarf verbunden sind. Diese Herangehensweise kann deutlich dazu beitragen, die Innovation und Wettbewerbsfähigkeit eines Unternehmens zu steigern.

Gilt es Anforderungen wie den Druckverlust zu minimieren, die Betrachtung eines komplexen Wärmeübergangs oder die numerische Umsetzung von Prozessideen durchzuführen – die numerische Strömungs- und Wärmeübertragungssimulation stellt einen Mehrwert für die Produkt- und Prozessentwicklung dar.

Anhand einiger ausgewählter Beispiele aus der Praxis wird dies verdeutlicht.

© Alle Rechte bei SCHERDEL siment GmbH, auch für den Fall von Schutzrechtsanmeldungen. Jede Verfügungsbefugnis, wie Kopier- und Weitergaberecht bei uns.

EINE EINFÜHRUNG IN DIE THEMATIK

AM BEISPIEL DES KLASSISCHEN SCHWEBEBANDOFENS

Am Beispiel des Schwebebandofens

aus: GASWÄRME International Vol. 52 (2003) Nr. 5

© Alle Rechte bei SCHERDEL siment GmbH, auch für den Fall von Schutzrechtsanmeldungen. Jede Verfügungsbefugnis, wie Kopier- und Weitergaberecht bei uns.

Am Beispiel des Schwebebandofens

- Mechanische Fragestellungen (Konstruktion, Lebensdauer)
- Thermische Fragestellungen (Wärmeübertragung, Energiebedarf)
- Strömungstechnische Fragestellungen (Druckfelder)
- Werkstoffmechanische Fragestellungen (Gefügezustand Bandmaterial)

© Alle Rechte bei SCHERDEL siment GmbH, auch für den Fall von Schutzrechtsanmeldungen. Jede Verfügungsbefugnis, wie Kopier- und Weitergaberecht bei uns.

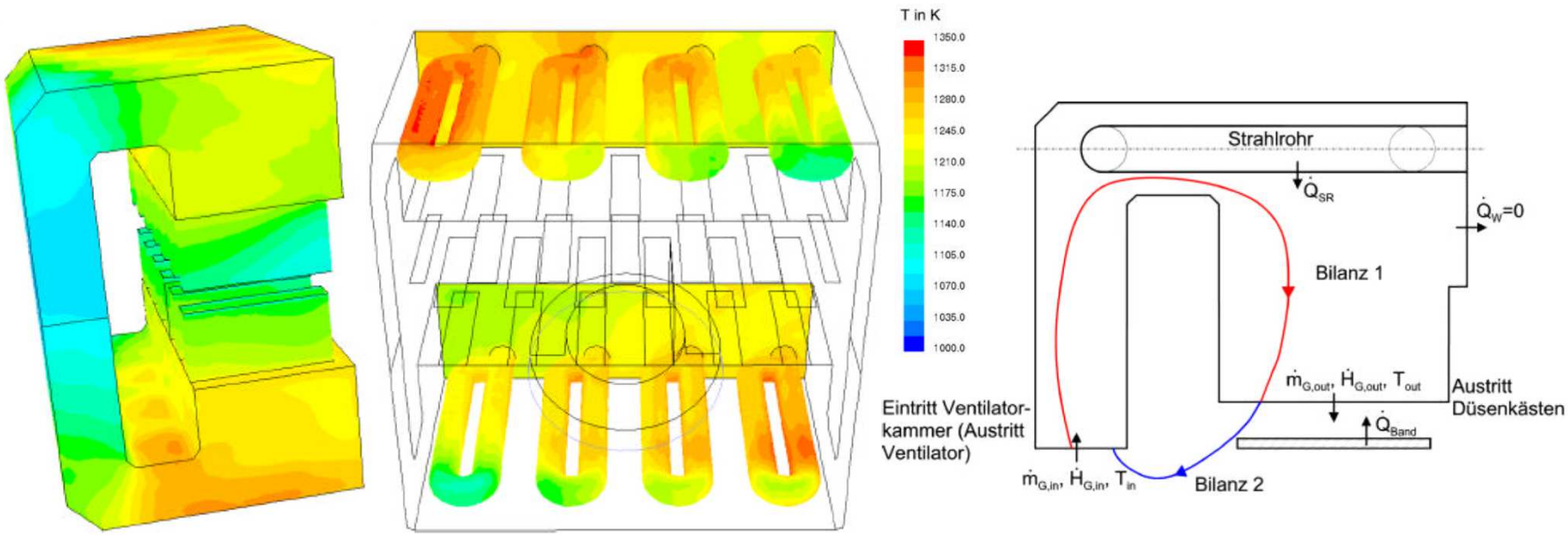
Am Beispiel des Schwebebandofens

- Mechanische Fragestellungen (Konstruktion, Lebensdauer)
- Thermische Fragestellungen (Wärmeübertragung, Energiebedarf)
- Strömungstechnische Fragestellungen (Druckfelder)
- Werkstoffmechanische Fragestellungen (Gefügezustand Bandmaterial)

© Alle Rechte bei SCHERDEL siment GmbH, auch für den Fall von Schutzrechtsanmeldungen. Jede Verfügungsbefugnis, wie Kopier- und Weitergaberecht bei uns.

Am Beispiel des Schwebebandofens

- Thermische Fragestellungen (Wärmeübertragung, Energiebedarf)

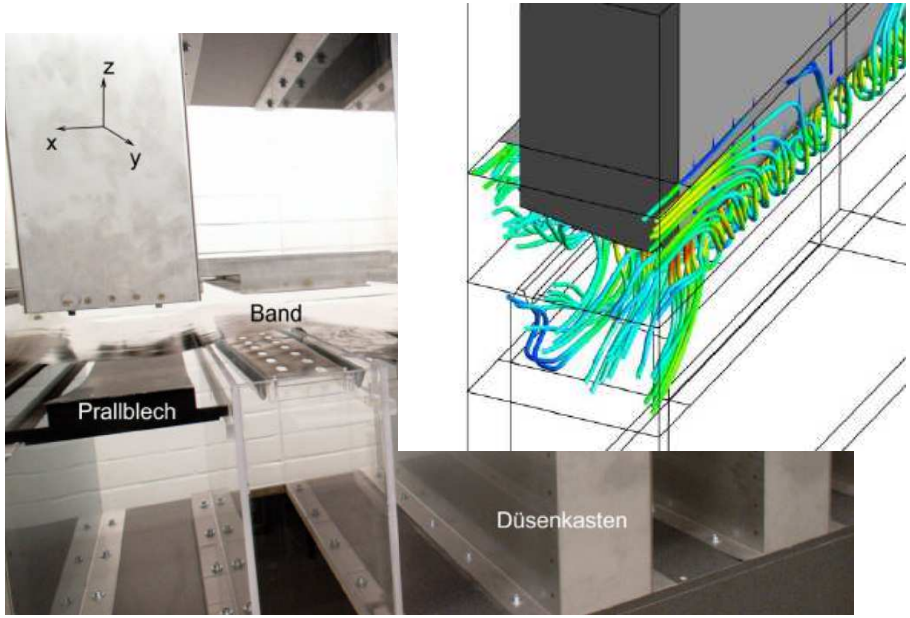


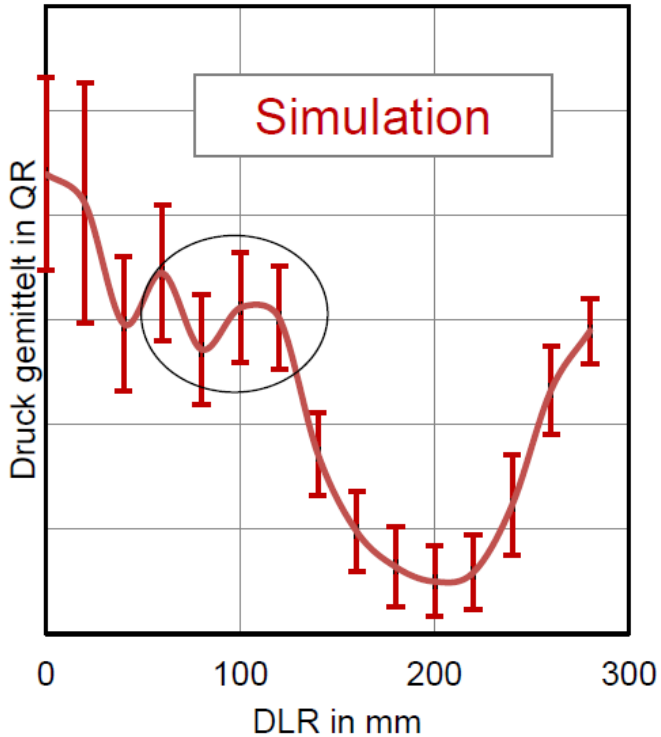
aus: GASWÄRME International Vol. 52 (2203) Nr. 5

© Alle Rechte bei SCHERDEL siment GmbH, auch für den Fall von Schutzrechtsanmeldungen. Jede Verfügungsbefugnis, wie Kopier- und Weitergaberecht bei uns.

Am Beispiel des Schwebebandofens

- Strömungstechnische Fragestellungen (Druckfelder)



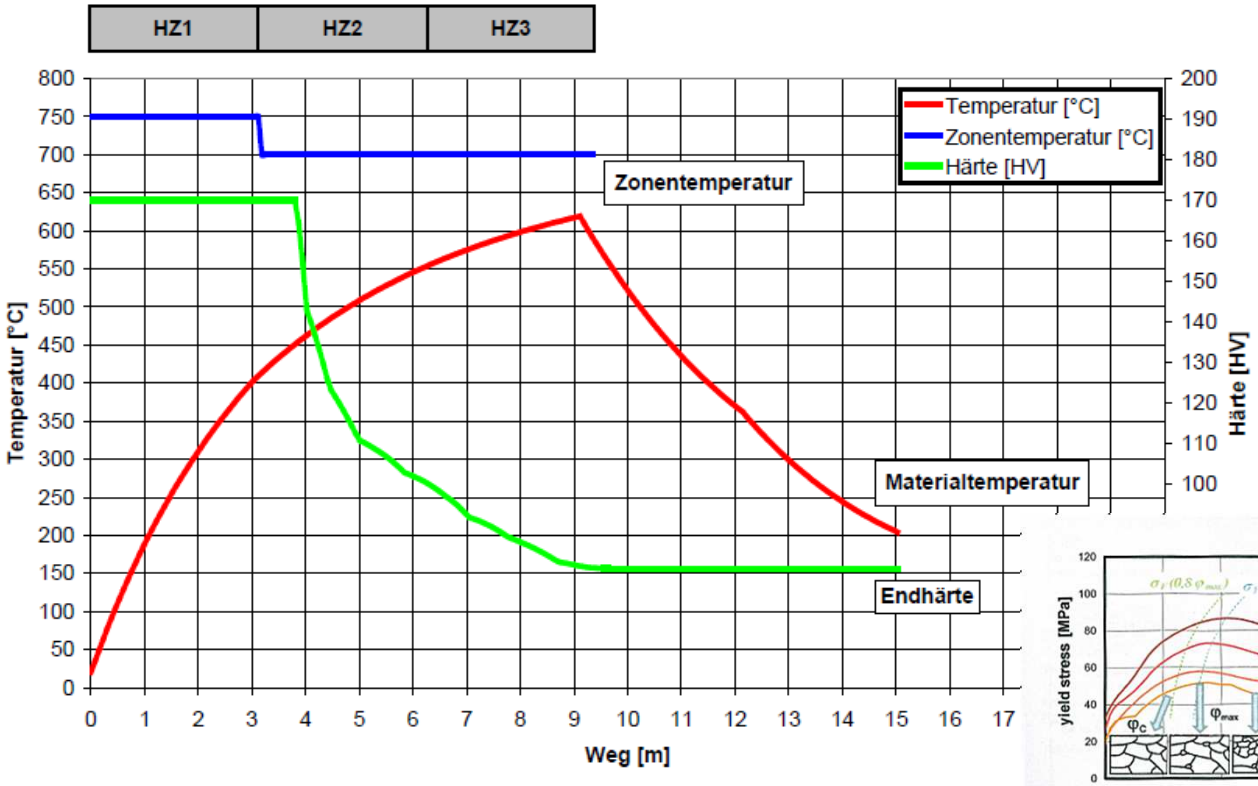


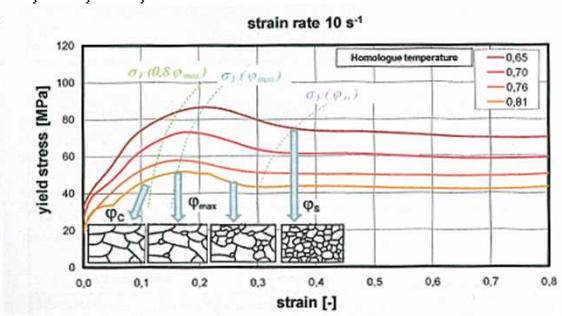
aus: C.v.d.Heide, Numerische Untersuchung zur Beurteilung des Bandverhaltens in Schwebebandöfen, ACUM 2013

© Alle Rechte bei SCHERDEL siment GmbH, auch für den Fall von Schutzrechtsanmeldungen. Jede Verfügungsbefugnis, wie Kopier- und Weitergaberecht bei uns.

Am Beispiel des Schwebebandofens

- Werkstoffmechanische Fragestellungen (Gefügezustand Bandmaterial)





aus: Otto Junker GmbH, Kompetenz in Kupfer

© Alle Rechte bei SCHERDEL siment GmbH, auch für den Fall von Schutzrechtsanmeldungen. Jede Verfügungsbefugnis, wie Kopier- und Weitergaberecht bei uns.

SCHERDEL
s:ment

DIE GRUNDLAGEN DER CFD-SIMULATION

UND IMPLEMENTIERTE MODELLANSÄTZE FÜR TECHNISCHE ANWENDUNGSFÄLLE

Grundgleichungen der numerischen Strömungsmechanik und Wärmeübertragung

- **Erhaltungsgleichungen**

- Massenerhaltung → Kontinuitätsgleichung
- Impulserhaltung → Navier-Stokes-Gleichungen
- Energieerhaltung → Energiegleichung

$$\frac{\partial}{\partial t}\int_V \rho\phi\, dV + \oint_A \vec{n}\cdot\vec{U}\rho\phi\, dA = \oint_A \vec{n}\cdot\vec{J}\, dA + \int_V S_\phi\, dV$$

Erhaltung im Volumen:

Fluss hinein + Änderung im Volumen = Fluss hinaus

- **Weitere Differentialgleichungen u. a. für**

- Turbulenz
- Transport skalarer Größen (Konzentrationen, chemische Spezie, etc.)
- Phasenanteile (Mehrphasenrechnungen)

- **Materialeigenschaften** (zumeist nichtlineare Gleichungen)

→ **System von gekoppelten, nichtlinearen, partiellen Differentialgleichungen**

© Alle Rechte bei SCHERDEL siment GmbH, auch für den Fall von Schutzrechtsanmeldungen. Jede Verfügungsbefugnis, wie Kopier- und Weitergaberecht bei uns.

GRUNDLAGEN

NUMERISCHE STRÖMUNGSMECHANIK/WÄRMEÜBERTRAGUNG

- Turbulenz (Null-, Ein- und Zweigleichungsmodelle, SST, DES, LES)
- Poröse Domains, poröse Medien
- Partikelmodelle (DEM)
- Mehrphasen Euler – Euler (Langrange)
- Freie Oberflächen
- Chemische Reaktionen
- Strahlung (P1, DTM, Monte Carlo, etc)

- Realgas
- Rotor-Stator Wechselwirkung
- Phasenwechsel (Kavitation, Erstarrung, Schmelzen, etc.)
- Wärmeübergang
- Gitterdeformation
- Fluid-Struktur Wechselwirkung (1-Wege Kopplung, 2-Wege Kopplung)
- Elektromagnetik
- Akustik
- ….

© Alle Rechte bei SCHERDEL siment GmbH, auch für den Fall von Schutzrechtsanmeldungen. Jede Verfügungsbefugnis, wie Kopier- und Weitergaberecht bei uns.

GRUNDLAGEN

NUMERISCHE STRÖMUNGSMECHANIK/WÄRMEÜBERTRAGUNG

- Turbulenz (Null-, Ein- und Zweigleichungsmodelle, SST, DES, LES)
- Poröse Domains, poröse Medien
- Partikelmodelle (DEM)
- Mehrphasen Euler – Euler (Langrange)
- Freie Oberflächen
- Chemische Reaktionen
- Strahlung (P1, DTM, Monte Carlo, etc)

- Realgas
- Rotor –Stator Wechselwirkung
- Phasenwechsel (Kavitation, Erstarrung, Schmelzen, etc.)
- Wärmeübergang
- Gitterdeformation
- Fluid-Struktur Wechselwirkung (1-Wege Kopplung, 2-Wege Kopplung)
- Elektromagnetik
- Akustik
- ….

Leistungsspektrum von

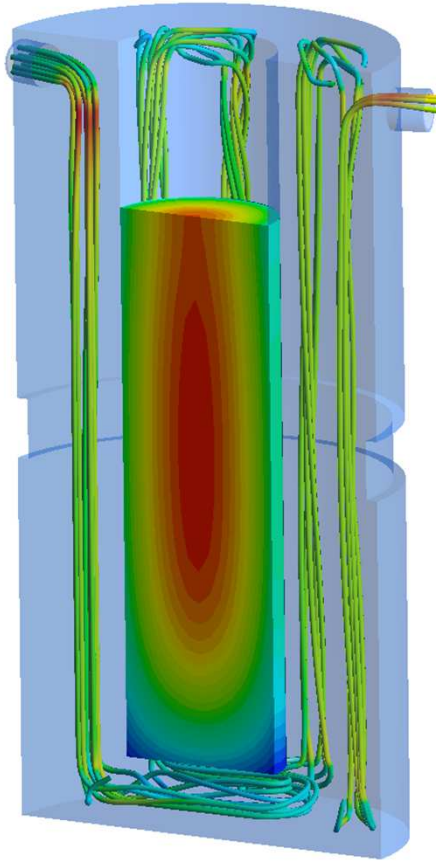
© Alle Rechte bei SCHERDEL siment GmbH, auch für den Fall von Schutzrechtsanmeldungen. Jede Verfügungsbefugnis, wie Kopier- und Weitergaberecht bei uns.

BEISPIELE AUS DER PRAXIS

Erstarrung von Edelmetallschmelzen

BEISPIELE AUS DER PRAXIS

ERSTARREN VON EDELMETALL SCHMELZEN

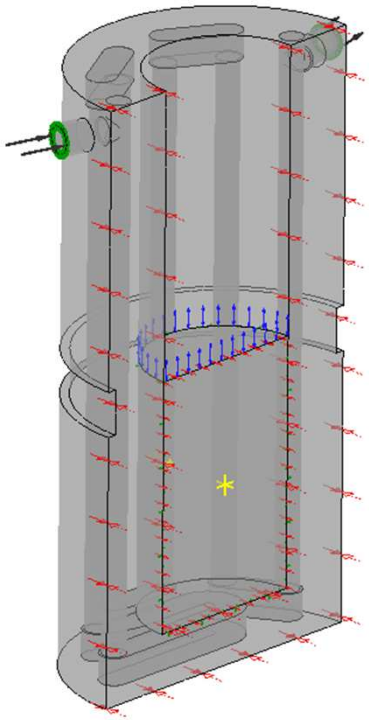


Herausforderungen:

- Abbildung des Materialverhaltens
- Bewertung Kokillenmaterials während des Erstarrungsvorgangs
- Bewertung des Kühlkreislaufs

© Alle Rechte bei SCHERDEL siment GmbH, auch für den Fall von Schutzrechtsanmeldungen. Jede Verfügungsbefugnis, wie Kopier- und Weitergaberecht bei uns.

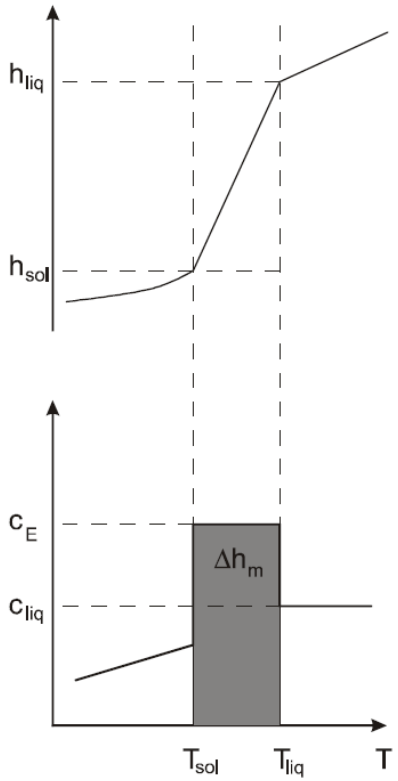
Festlegen der Randbedingungen und Beschreibung der Materialeigenschaften



Domain Schmelze:
- Fluid
- $T_{initial}$
  Pt-Schmelze 2200 °C (2473 K)
  Ir-Schmelze 2700 °C (2973 K)
- T_{end}
  Pt-Schmelze 1769 °C (2042 K)
  Ir-Schmelze 2466 °C (2739 K)
- Grenzschicht zu Kupfer mit Wärmeübergang
- Freie Fläche Schmelze relative Druckdifferenz
- 0 bar

Domain Kupfer:
- Solid
- $T_{initial}$ = 27 °C (300 K)
- Grenzschichten zu Stahl und Wasser mit Wärmeübergang
- weitere Wände adiabat

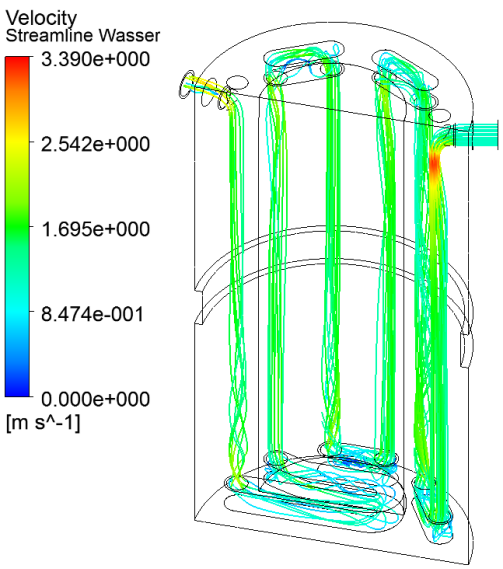
Domain Wasser:
- Fluid
- $T_{initial}$ = 35 °C (308 K)
- Grenzschicht zu Kupfer mit Wärmeübergang
- weitere Wände adiabat
- Einlass Volumenstrom
  Pt-Schmelze: 12 l/min
  Ir-Schmelze: 36 l/min
- Auslass mittlerer statischer Druck



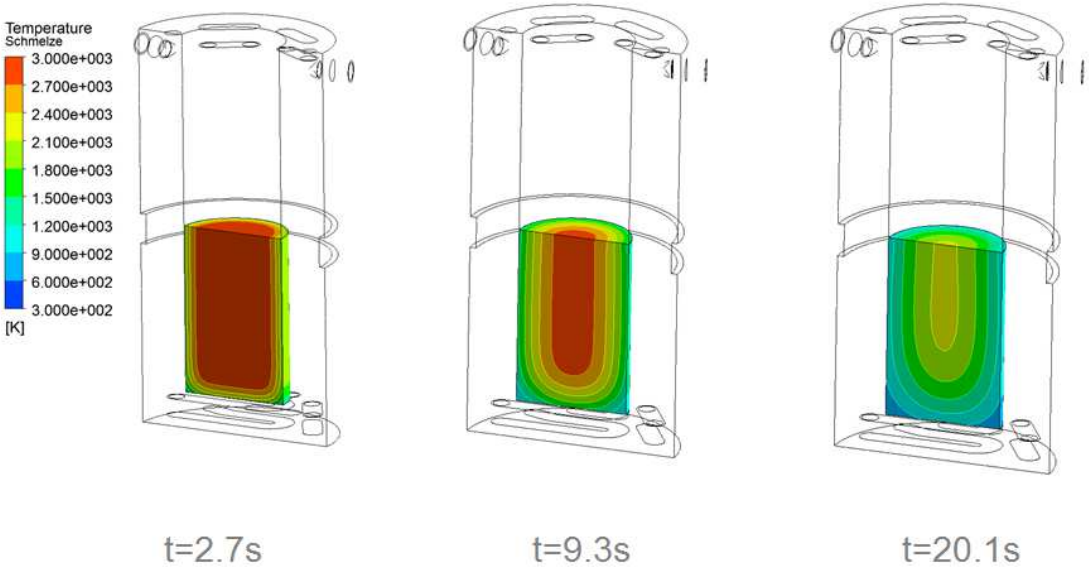
© Alle Rechte bei SCHERDEL siment GmbH, auch für den Fall von Schutzrechtsanmeldungen. Jede Verfügungsbefugnis, wie Kopier- und Weitergaberecht bei uns.

BEISPIELE AUS DER PRAXIS

ERSTARREN VON EDELMETALL SCHMELZEN



Kühlkreislauf



Schmelze (zeitliche Temperaturentwicklung)

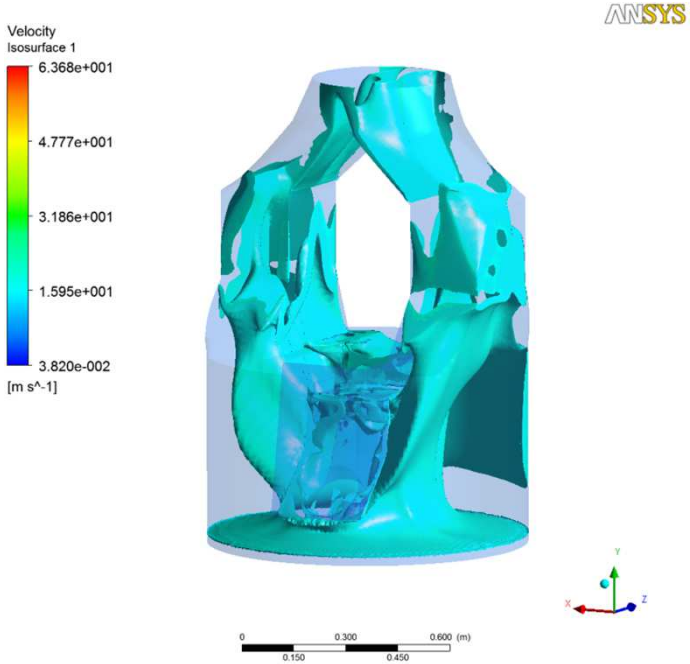
© Alle Rechte bei SCHERDEL siment GmbH, auch für den Fall von Schutzrechtsanmeldungen. Jede Verfügungsbefugnis, wie Kopier- und Weitergaberecht bei uns.

BEISPIELE AUS DER PRAXIS

Optimierung Absaugung 5-Achs Fräsportal

BEISPIELE AUS DER PRAXIS

OPTIMIERUNG ABSAUGUNG 5-ACHS FRÄSPORTAL



IST:

- Standard Absaughaube wird geliefert – kundenseitig kein zufriedenstellendes Ergebnis bedingt durch wechselnde Materialklassen
- nahezu kein Absaugvermögen
- extrem hoher Stromverbrauch

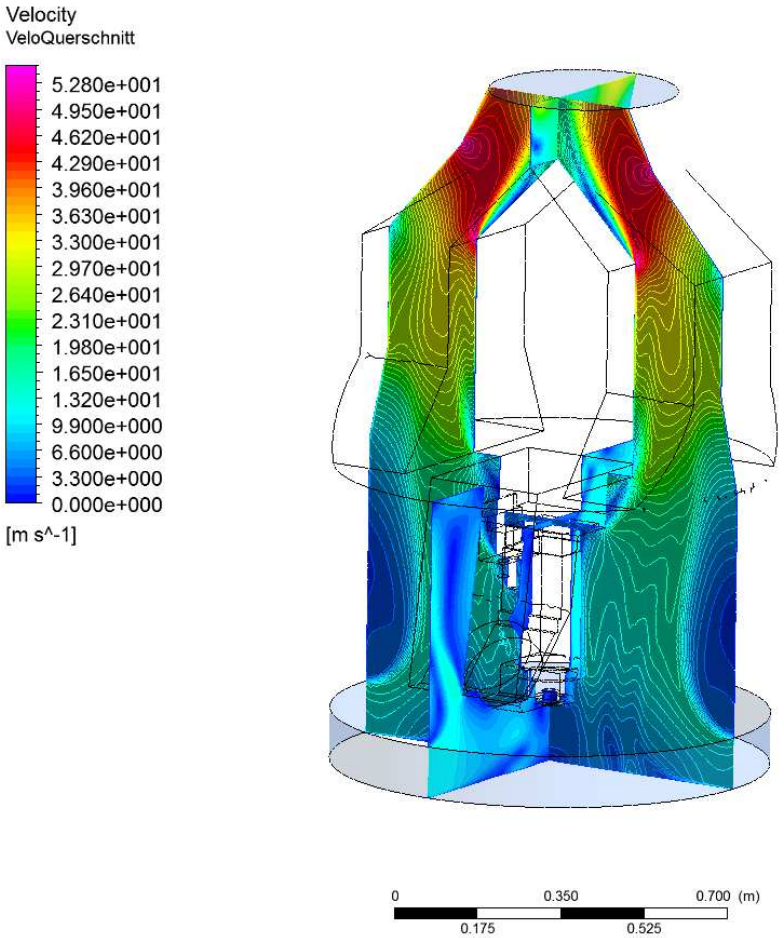
SOLL:

- Optimierung von Absaugvermögen (Strömungsgeschwindigkeiten v>15 m/s)
- Reduktion der Betriebskosten

© Alle Rechte bei SCHERDEL siment GmbH, auch für den Fall von Schutzrechtsanmeldungen. Jede Verfügungsbefugnis, wie Kopier- und Weitergaberecht bei uns.

BEISPIELE AUS DER PRAXIS

OPTIMIERUNG ABSAUGUNG 5-ACHS FRÄSPORTAL



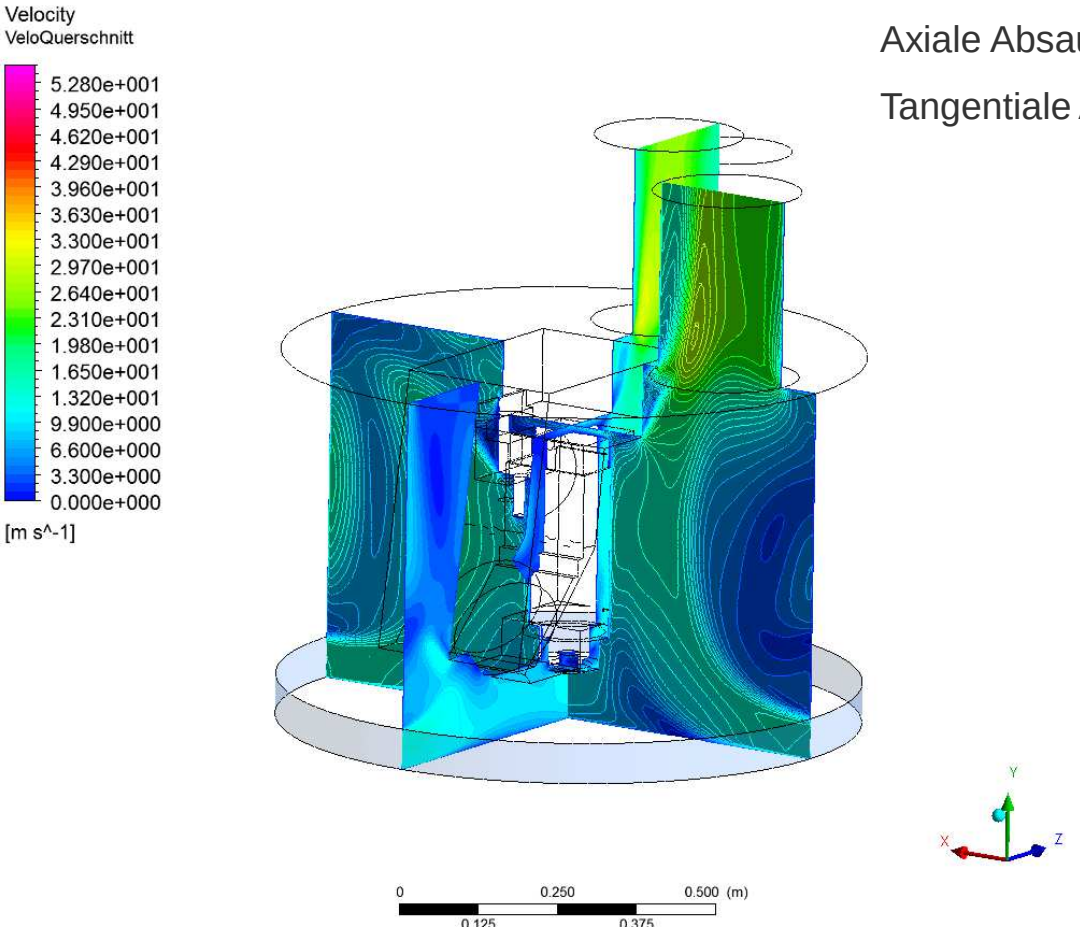
Massenströme:

Axiale Absaugung:	m_{oben}: 4,4 [kg/s]
Tangentiale Absaugung:	m_{tang}: 0 [kg/s]

© Alle Rechte bei SCHERDEL siment GmbH, auch für den Fall von Schutzrechtsanmeldungen. Jede Verfügungsbefugnis, wie Kopier- und Weitergaberecht bei uns.

BEISPIELE AUS DER PRAXIS

OPTIMIERUNG ABSAUGUNG 5-ACHS FRÄSPORTAL



Massenströme:

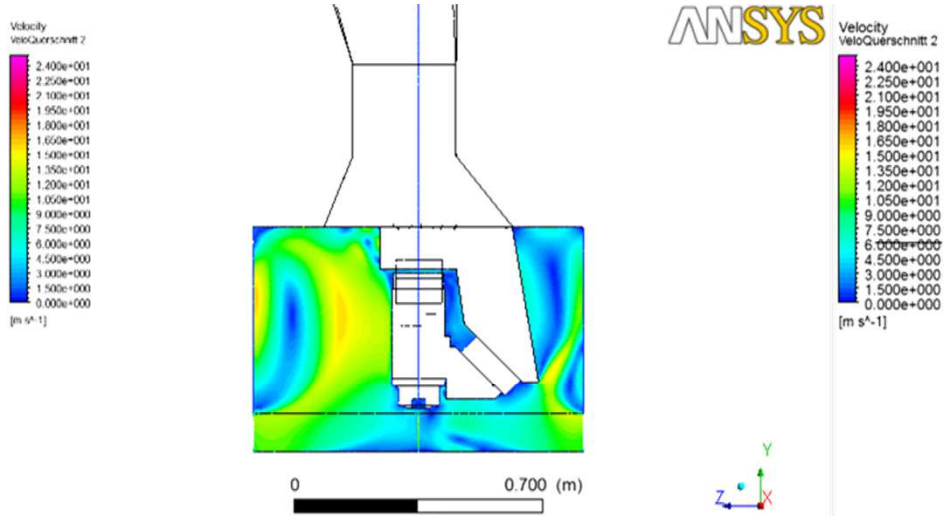
Axiale Absaugung (gesamt): m_{oben}: 2,2 [kg/s]

Tangentiale Absaugung: m_{tang}: 1,1 [kg/s]

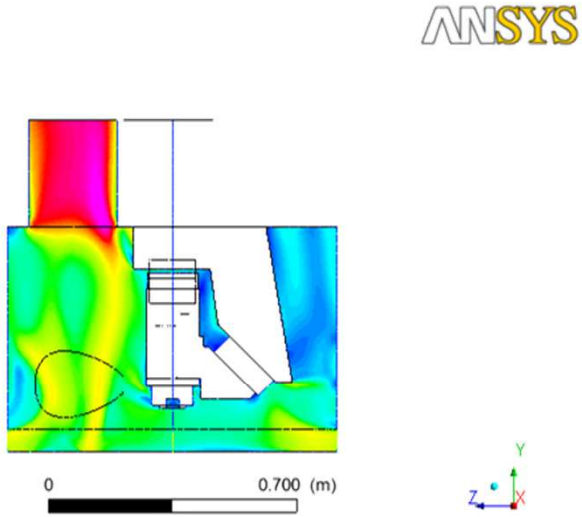
© Alle Rechte bei SCHERDEL siment GmbH, auch für den Fall von Schutzrechtsanmeldungen. Jede Verfügungsbefugnis, wie Kopier- und Weitergaberecht bei uns.

BEISPIELE AUS DER PRAXIS

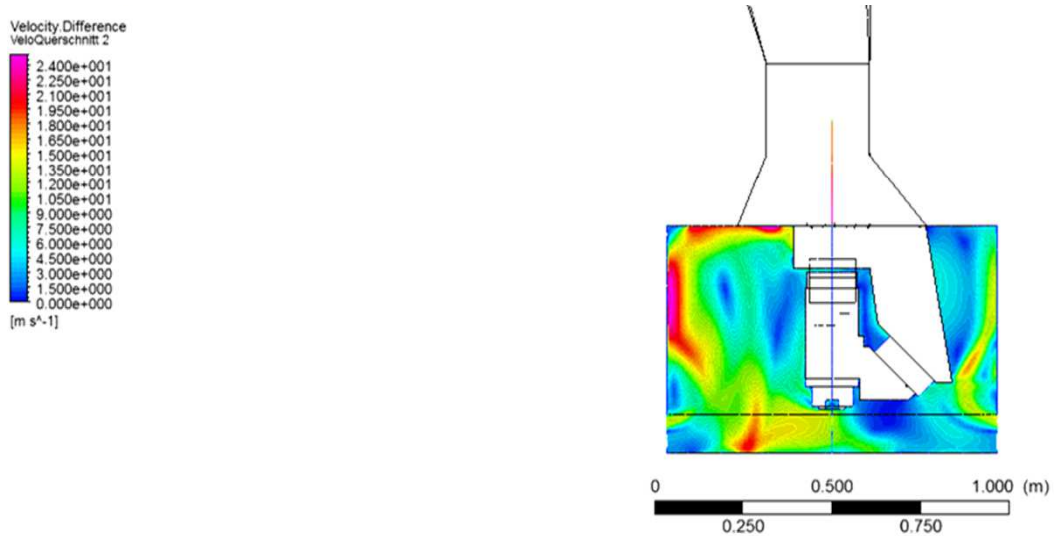
OPTIMIERUNG ABSAUGUNG 5-ACHS FRÄSPORTAL



Istzustand



Optimierung

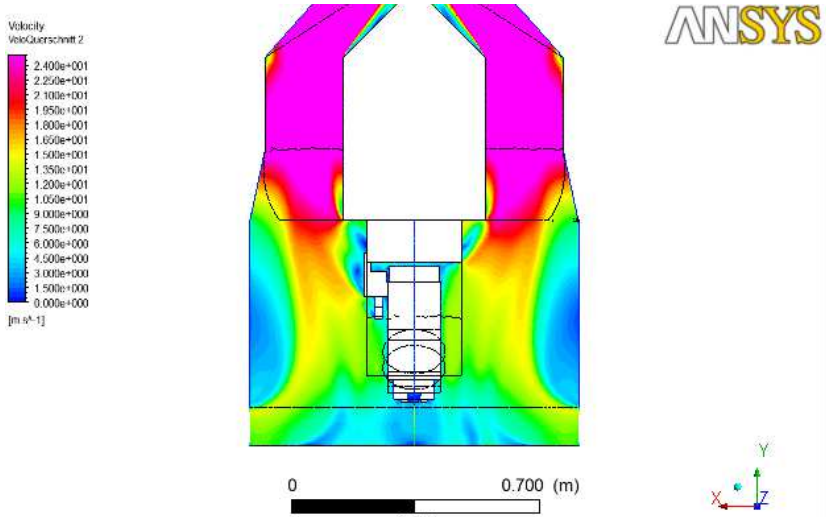


Vergleich

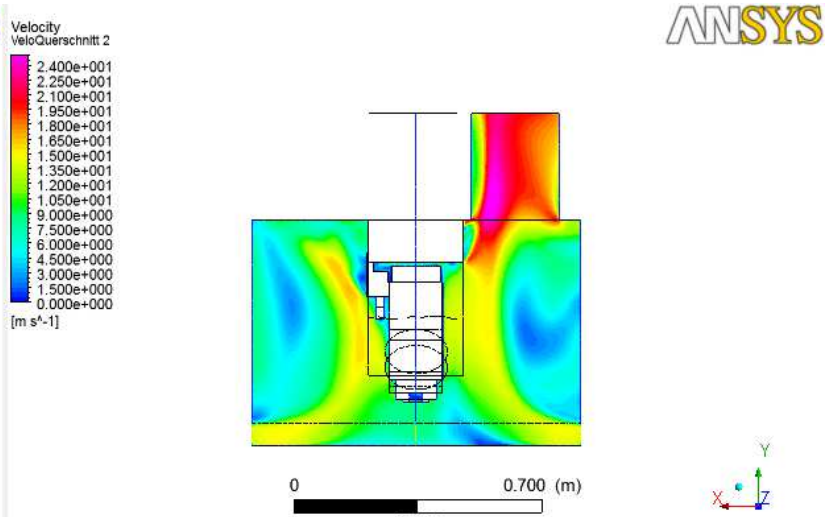
© Alle Rechte bei SCHERDEL siment GmbH, auch für den Fall von Schutzrechtsanmeldungen. Jede Verfügungsbefugnis, wie Kopier- und Weitergaberecht bei uns.

BEISPIELE AUS DER PRAXIS

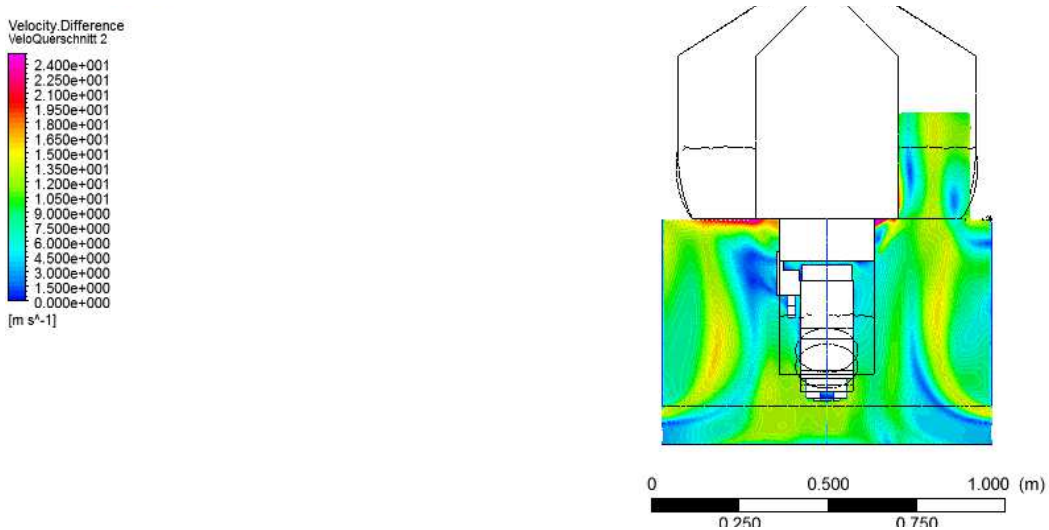
OPTIMIERUNG ABSAUGUNG 5-ACHS FRÄSPORTAL



Istzustand



Optimierung

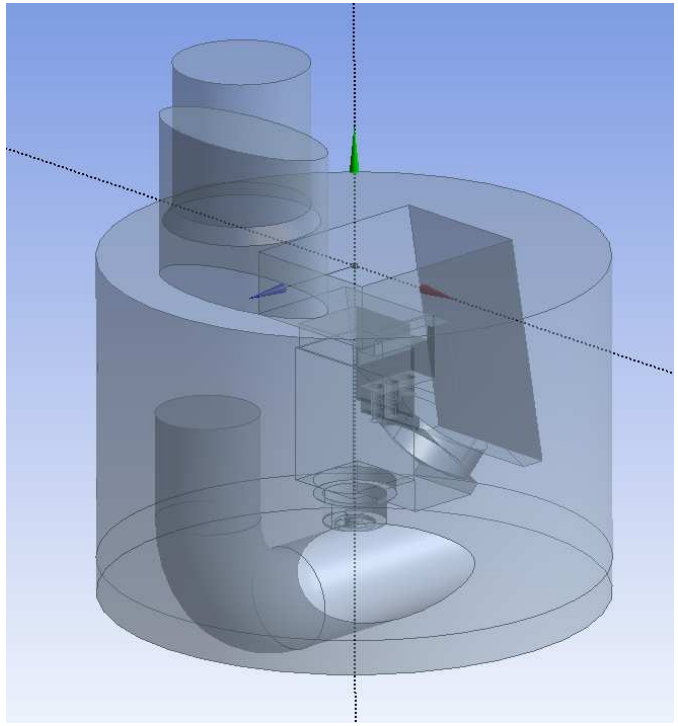


Vergleich

© Alle Rechte bei SCHERDEL siment GmbH, auch für den Fall von Schutzrechtsanmeldungen. Jede Verfügungsbefugnis, wie Kopier- und Weitergaberecht bei uns.

BEISPIELE AUS DER PRAXIS

OPTIMIERUNG ABSAUGUNG 5-ACHS FRÄSPORTAL



- neue Rohrsysteme (zwei axiale Absaugstutzen/ein tangentialer Absaugstutzen)
- zwei tangentiale Absaugstutzen sind maschinenseitig nicht realisierbar
- neue Bürsteneinheit (Lufteinzugsbereich)

→ verbesserte Absaugleistung (höhere Strömungsgeschwindigkeiten)

→ geringere Energiekosten (Massenfluss um 25 % reduziert)

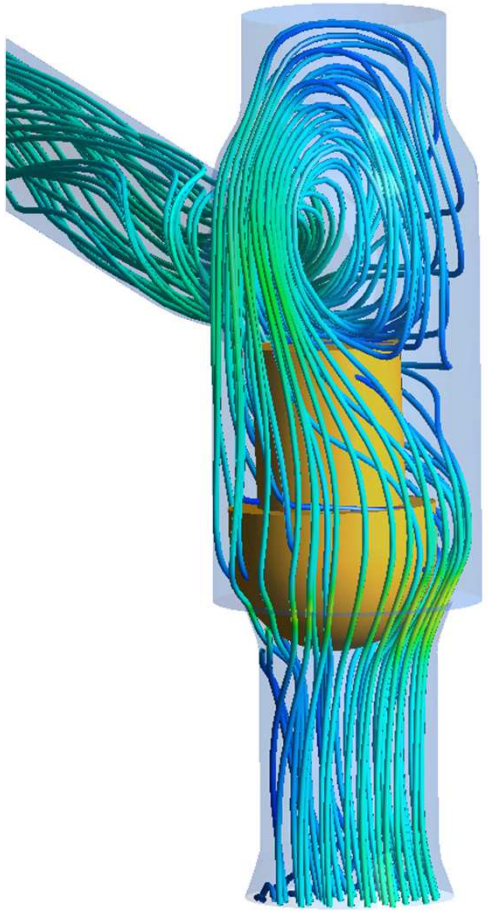
© Alle Rechte bei SCHERDEL siment GmbH, auch für den Fall von Schutzrechtsanmeldungen. Jede Verfügungsbefugnis, wie Kopier- und Weitergaberecht bei uns.

BEISPIELE AUS DER PRAXIS

Bewertung von Ventilen

BEISPIELE AUS DER PRAXIS

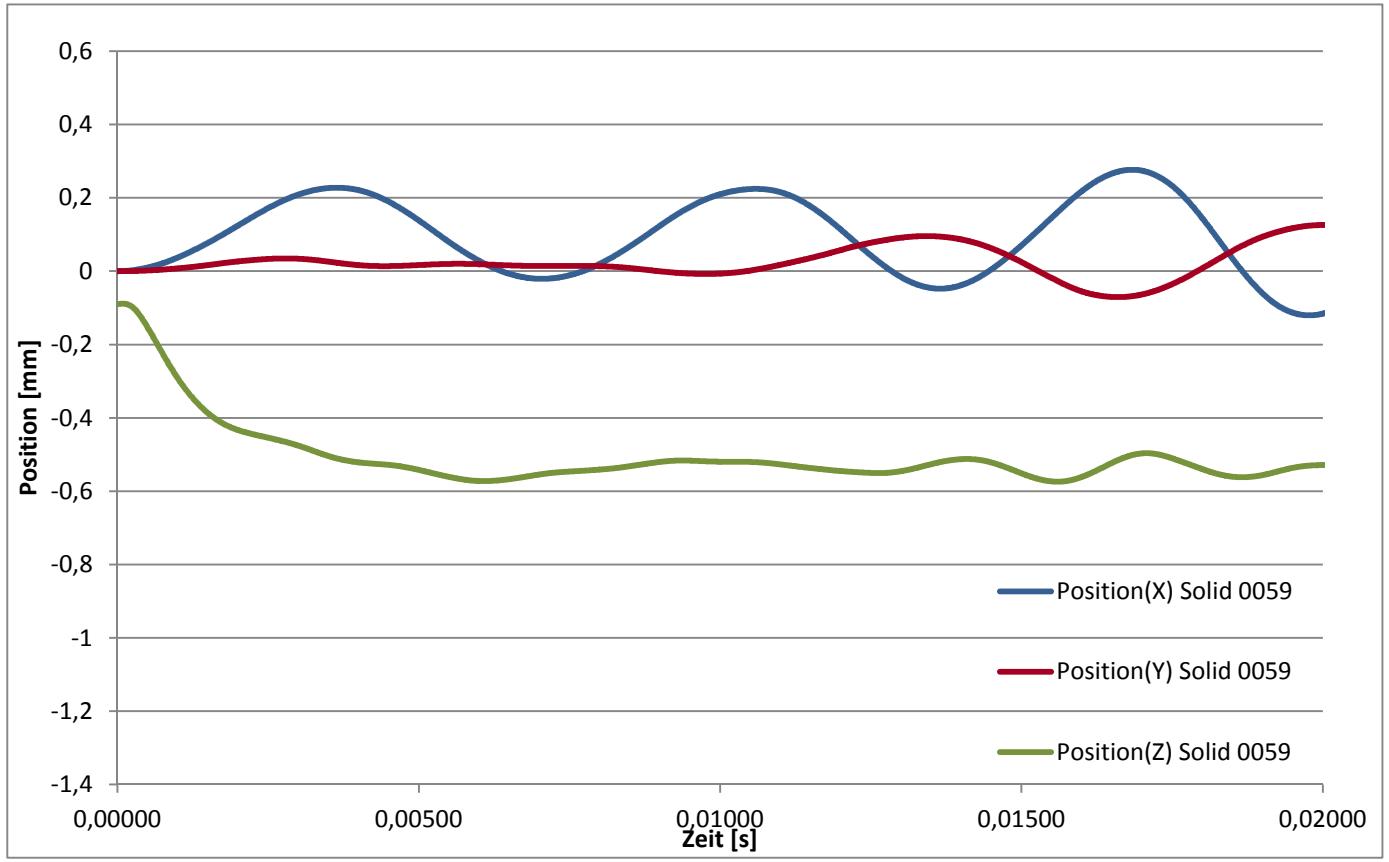
BEWERTUNG VON VENTILEN



Wesentliche Fragestellungen:

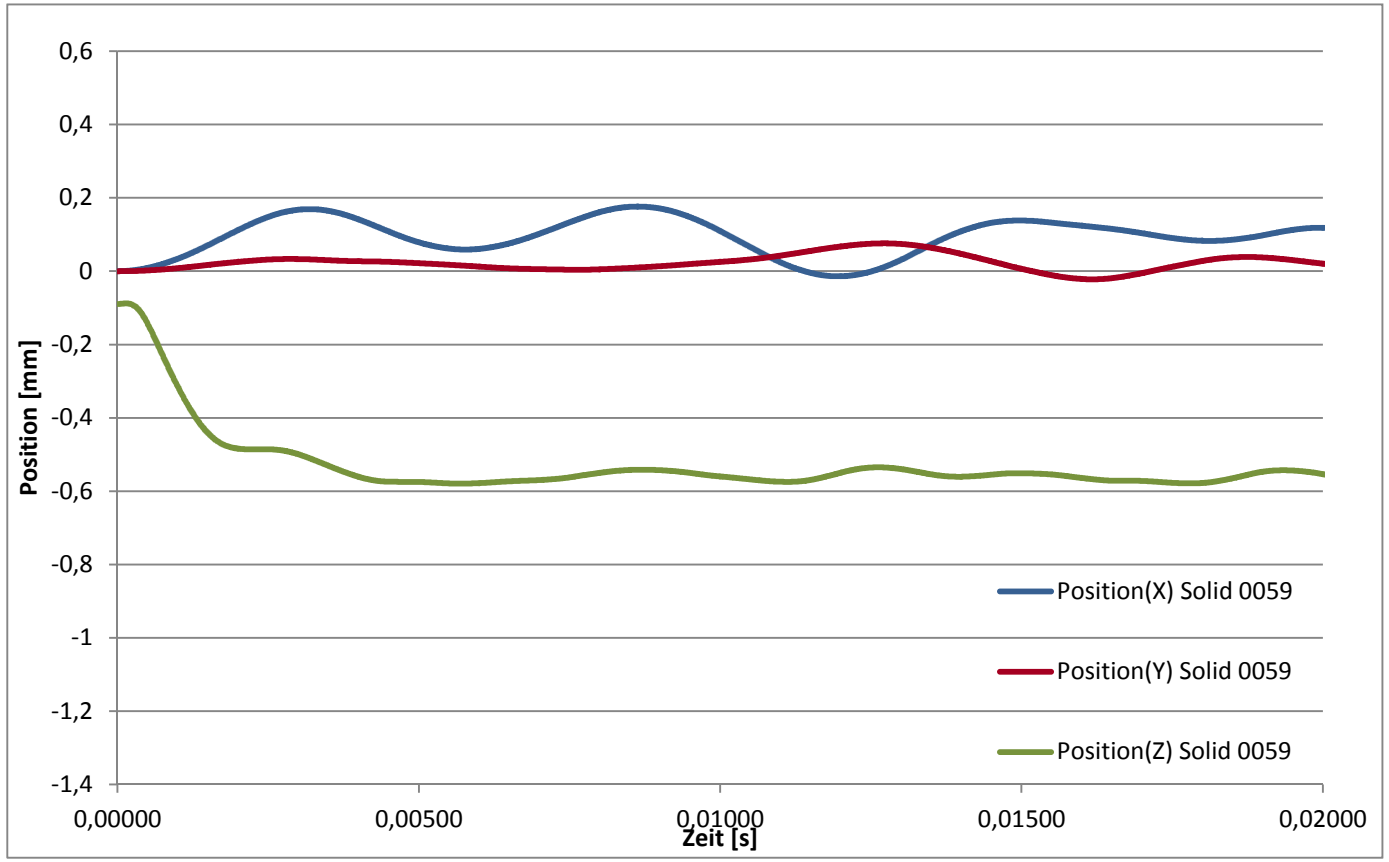
- Optimierung von Massenfluss
- Optimierung von Verschleißverhalten Ventilsitz
- Optimierung Schaltcharakteristik des Ventils
- Bewertung der Eigenfrequenzen mit und ohne Öl

© Alle Rechte bei SCHERDEL siment GmbH, auch für den Fall von Schutzrechtsanmeldungen. Jede Verfügungsbefugnis, wie Kopier- und Weitergaberecht bei uns.



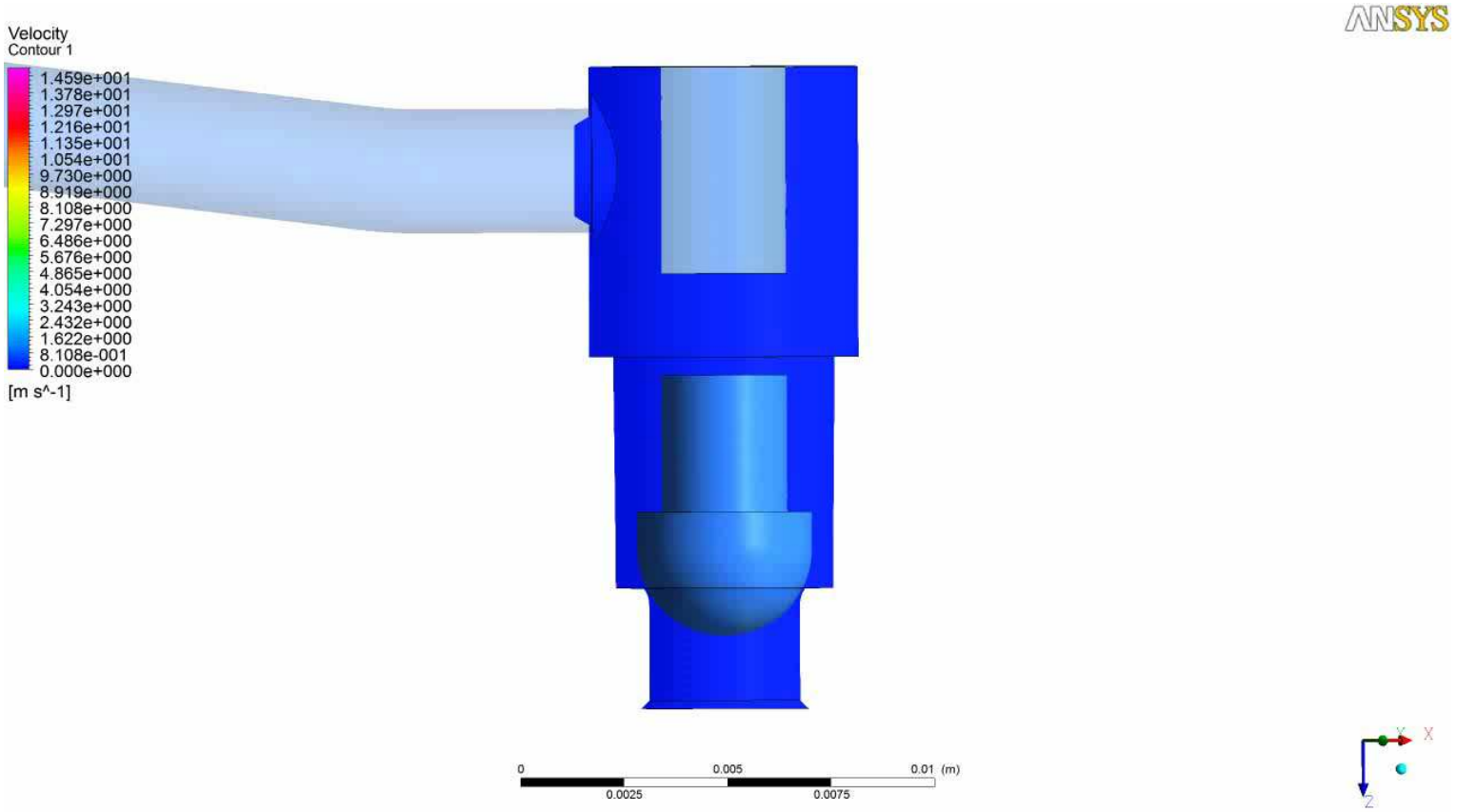
Ausgangssituation Ventilverhalten

© Alle Rechte bei SCHERDEL siment GmbH, auch für den Fall von Schutzrechtsanmeldungen. Jede Verfügungsbefugnis, wie Kopier- und Weitergaberecht bei uns.



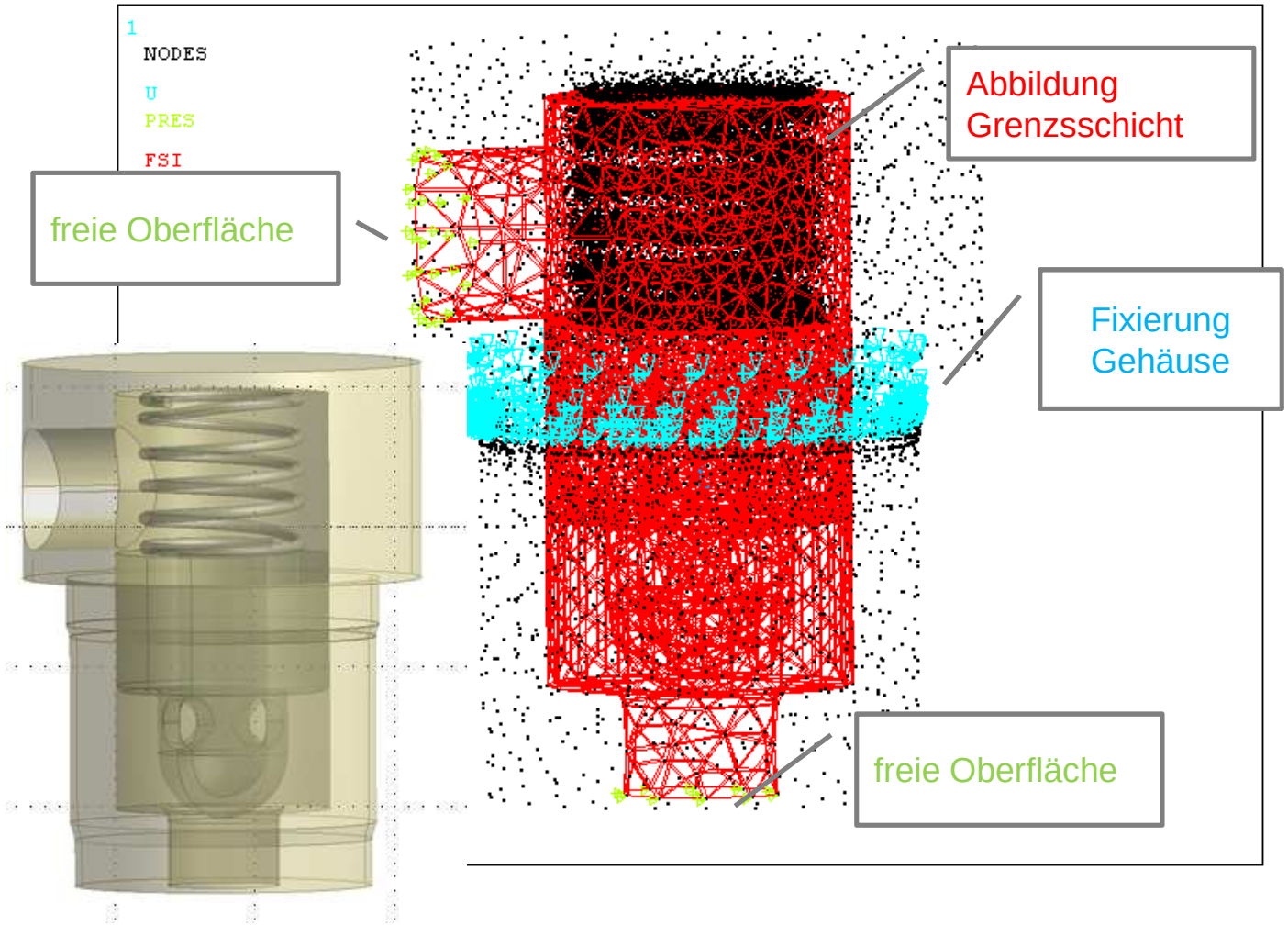
optimiertes Ventil

© Alle Rechte bei SCHERDEL siment GmbH, auch für den Fall von Schutzrechtsanmeldungen. Jede Verfügungsbefugnis, wie Kopier- und Weitergaberecht bei uns.



optimiertes Ventil – Animation

© Alle Rechte bei SCHERDEL siment GmbH, auch für den Fall von Schutzrechtsanmeldungen. Jede Verfügungsbefugnis, wie Kopier- und Weitergaberecht bei uns.



Berechnung von Eigenfrequenzen mit Fluid

© Alle Rechte bei SCHERDEL siment GmbH, auch für den Fall von Schutzrechtsanmeldungen. Jede Verfügungsbefugnis, wie Kopier- und Weitergaberecht bei uns.

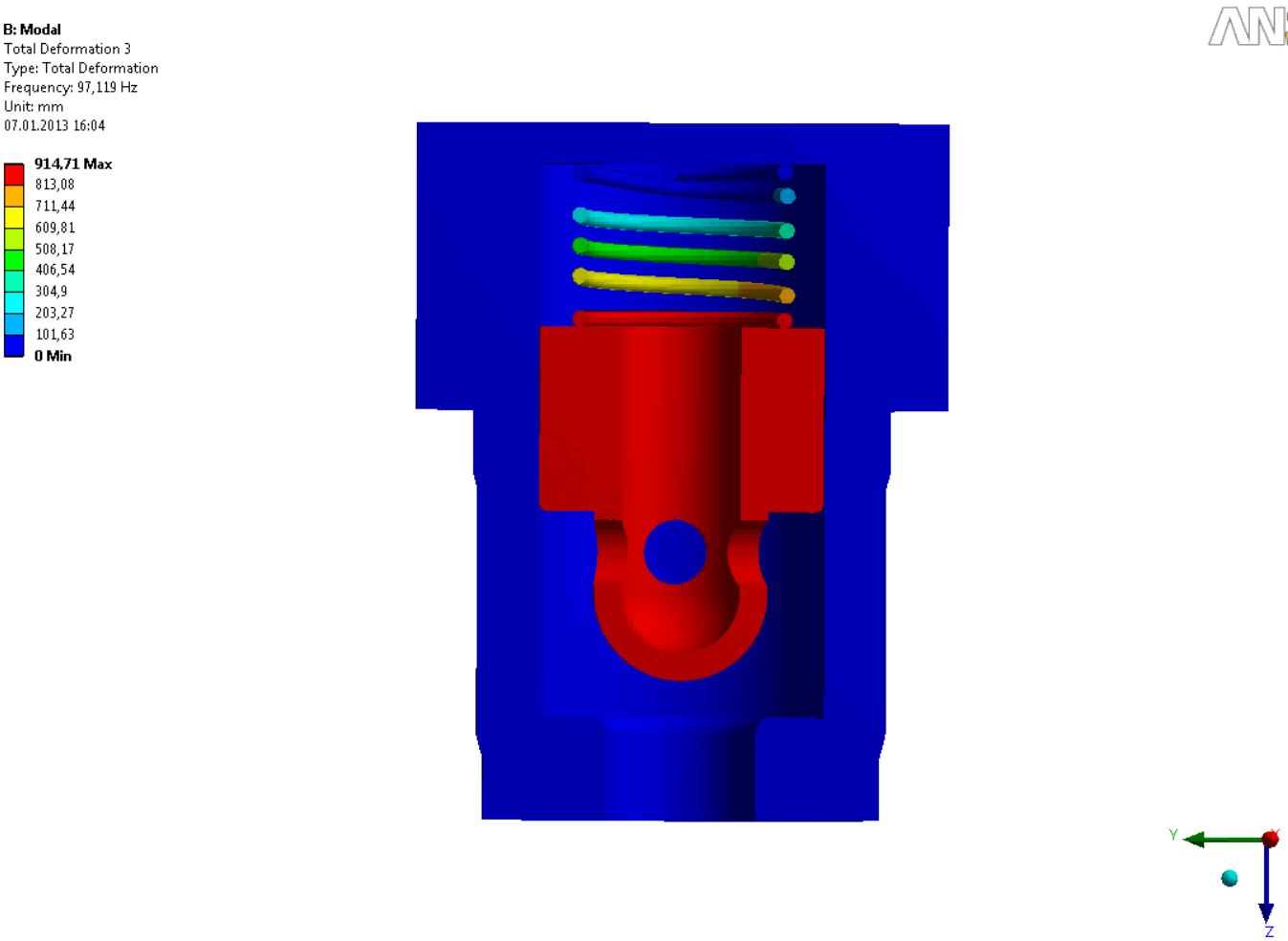
BEISPIELE AUS DER PRAXIS

BEWERTUNG VON VENTILEN

SCHERDEL siment

Eigenfrequenz	ohne Prüföl [Hz]	mit Prüföl [Hz] (25°C)	mit Prüföl [Hz] (150°C)	Abweichung [%] bzgl. 25°C
1	41,1	29	29,7	k.A.
2	41,5	30	30,5	k.A.
3	97	85	86	14
4	110	109	109	0,9
5	285	249	251	k.A.
6	288	253	254	k.A.
7	1369	1319	1323	3,8
8	1559	1547	1547	0,8
9	1956	1893	1897	3,3
10	2033	1961	1965	3,7

© Alle Rechte bei SCHERDEL siment GmbH, auch für den Fall von Schutzrechtsanmeldungen. Jede Verfügungsbefugnis, wie Kopier- und Weitergaberecht bei uns.



Mode 3 – 85 Hz – relevant

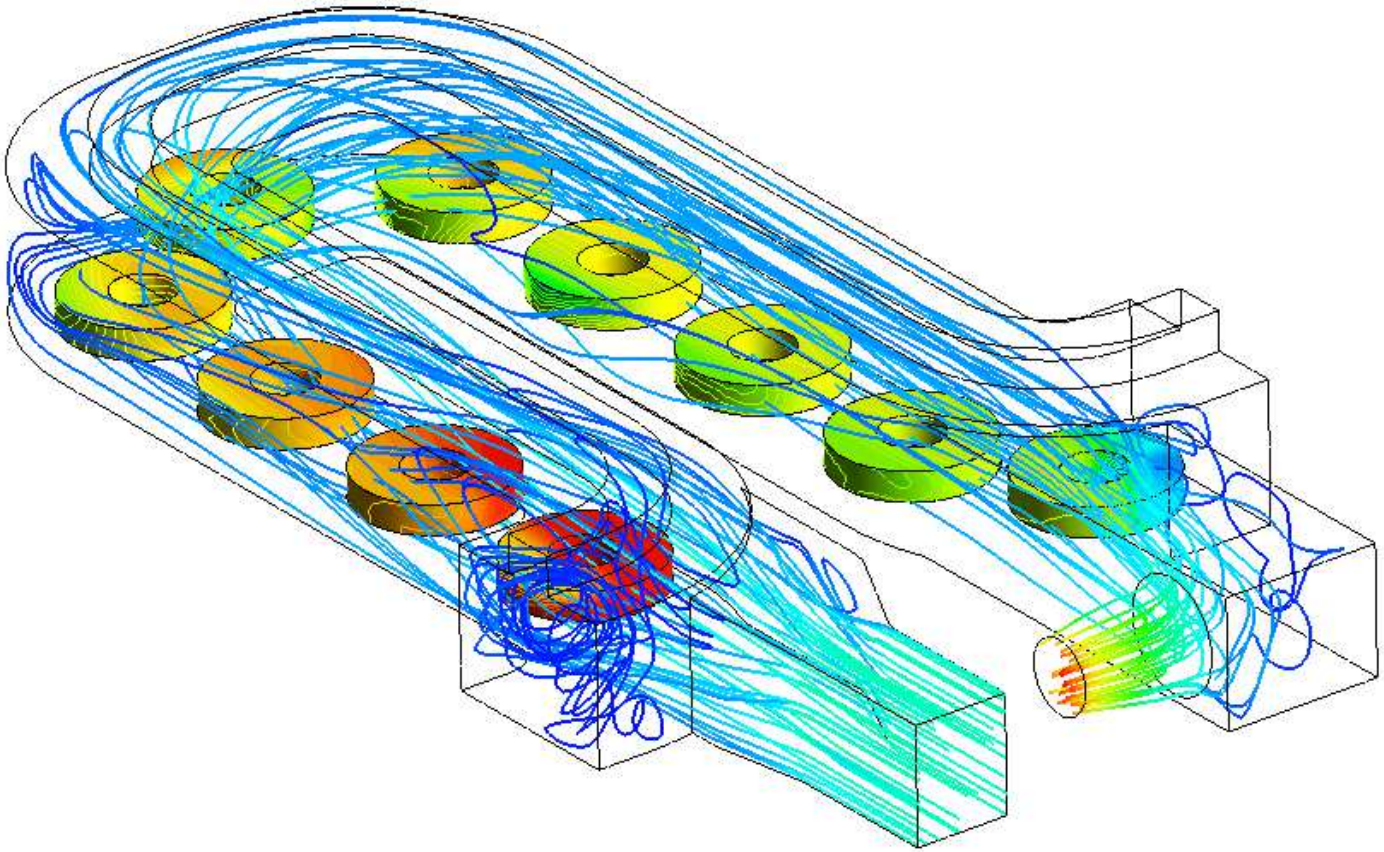
© Alle Rechte bei SCHERDEL siment GmbH, auch für den Fall von Schutzrechtsanmeldungen. Jede Verfügungsbefugnis, wie Kopier- und Weitergaberecht bei uns.

BEISPIELE AUS DER PRAXIS

Auslegung Durchlaufofen

BEISPIELE AUS DER PRAXIS

AUSLEGUNG DURCHLAUFOFEN



© Alle Rechte bei SCHERDEL siment GmbH, auch für den Fall von Schutzrechtsanmeldungen. Jede Verfügungsbefugnis, wie Kopier- und Weitergaberecht bei uns.

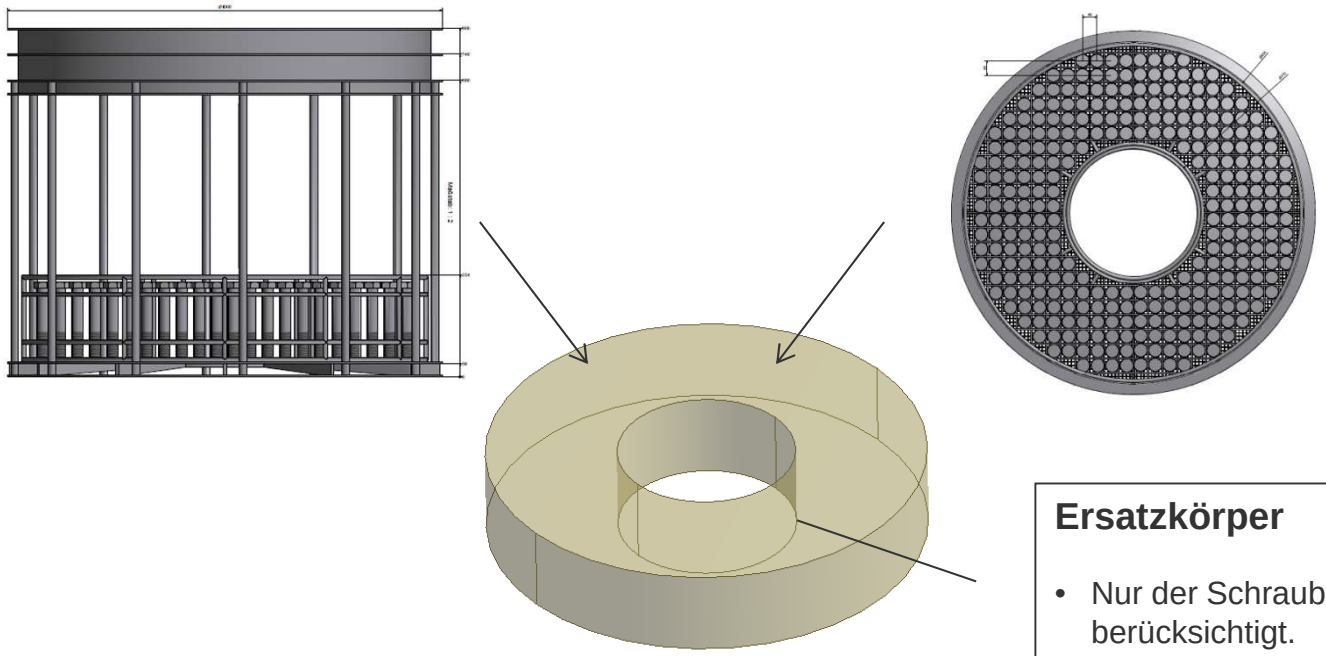
Anforderungen

- Abbildung eines Konzepts mit entsprechenden Einflussgrößen zur Erwärmung unterschiedlicher Ware
- Kopplung von Strömungsmechanik und Wärmeübertragung
- **besondere Anforderungen:** zeitabhängiger **Wärmeübergang im Schüttgut** (Schrauben, Gestellware oder Federn)
- parallel zu theoretischen Überlegungen und Erfahrungswerten für den Wärmeübergang im Schüttgut soll das Konzept mit bestehenden Anlagen korreliert werden

© Alle Rechte bei SCHERDEL siment GmbH, auch für den Fall von Schutzrechtsanmeldungen. Jede Verfügungsbefugnis, wie Kopier- und Weitergaberecht bei uns.

BEISPIELE AUS DER PRAXIS

AUSLEGUNG DURCHLAUFOFEN



Ersatzkörper

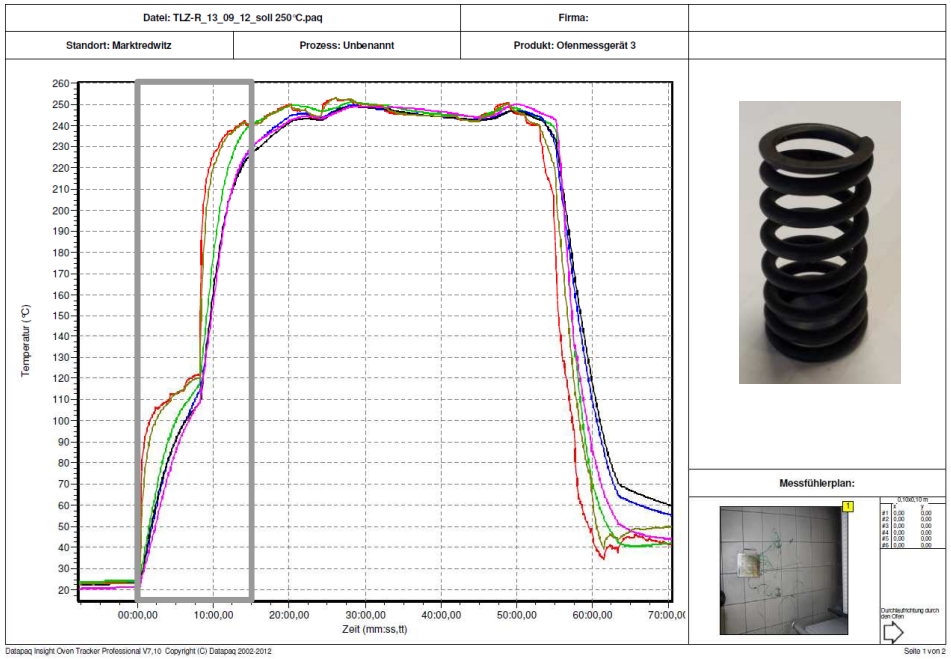
- Nur der Schraubenanteil wird berücksichtigt.
- Die Masse des Korbes geht nicht mit in die Wärmebilanz ein.
- Die Geometrie des Korbes nicht in den Druckverlust.

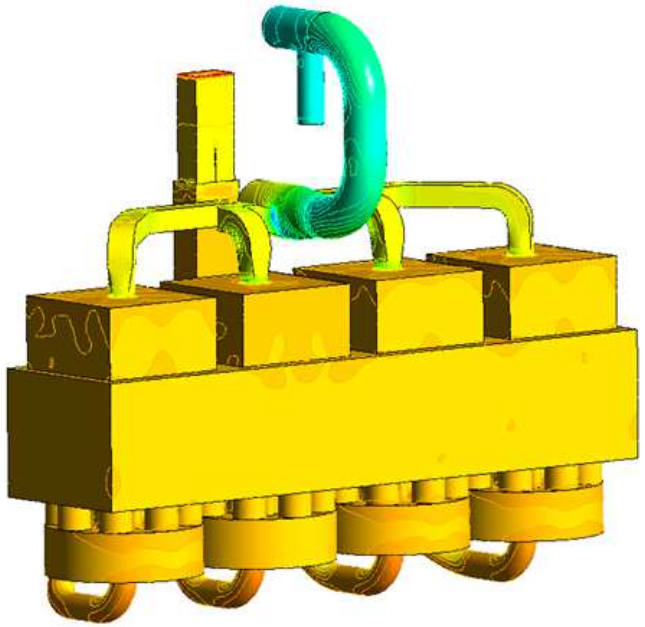
- Schrauben (Stahl, 304 Stück zu je 0,7 kg → 213 kg pro Korb)
- Volumenanteil Schrauben 25 %
- Druckverlust wird isotrop betrachtet
- Grenzflächendichte zwischen Luft und Ware 46 m-1
- mittlerer Wärmeübergangskoeffizient innerhalb der Ware 25 Wm-2K-1
- grundsätzlich wird der verwendete Modellansatz an einer bestehenden Anlage mit ähnlicher Ware validiert

© Alle Rechte bei SCHERDEL siment GmbH, auch für den Fall von Schutzrechtsanmeldungen. Jede Verfügungsbefugnis, wie Kopier- und Weitergaberecht bei uns.

Vergleich Berechnung/Messung zur Validierung des Modellansatzes Wärmeübergang im Schüttgut

- Messung einer Ofenfahrt mit Schüttgut (Versuchsfedern)

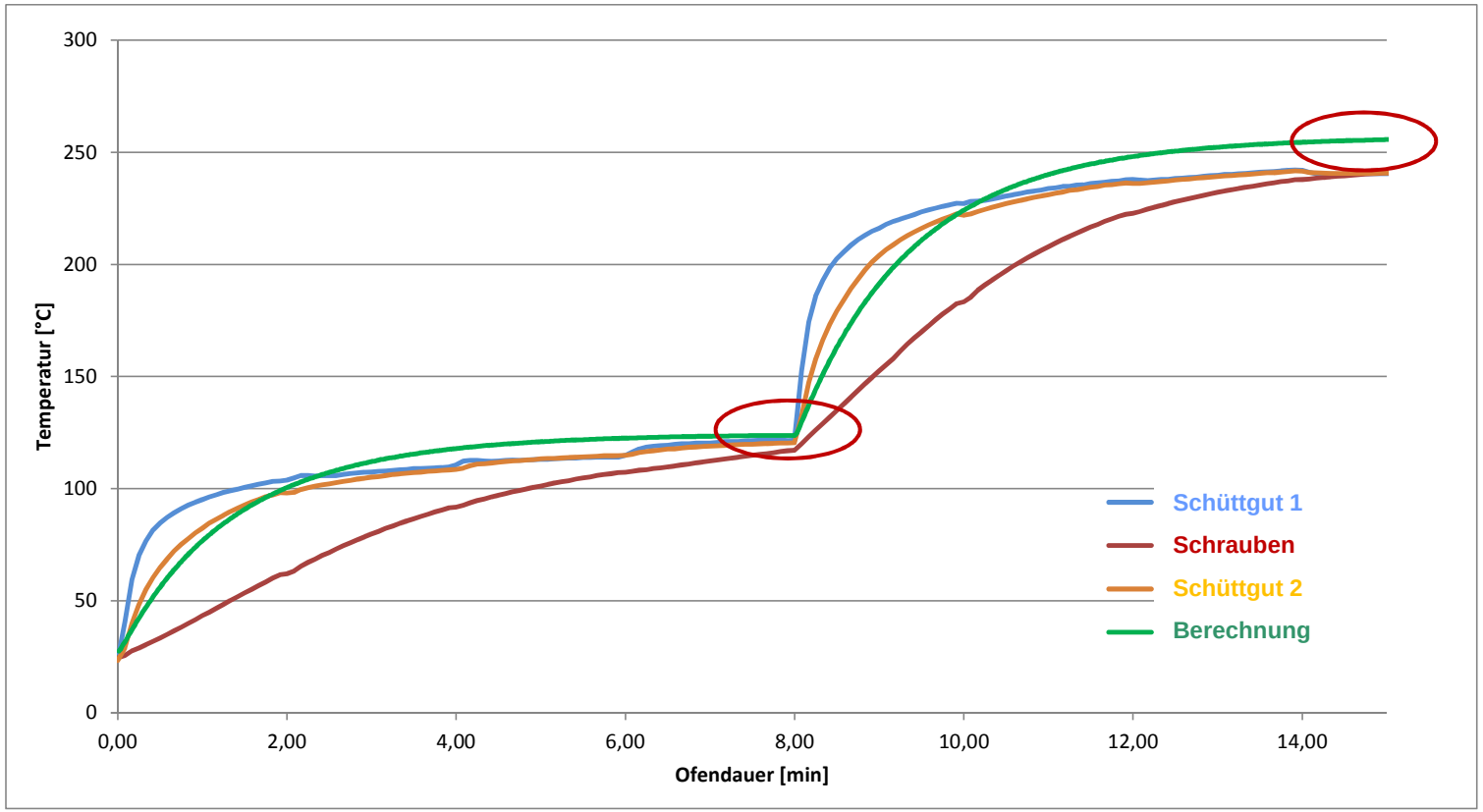




© Alle Rechte bei SCHERDEL siment GmbH, auch für den Fall von Schutzrechtsanmeldungen. Jede Verfügungsbefugnis, wie Kopier- und Weitergaberecht bei uns.

BEISPIELE AUS DER PRAXIS

AUSLEGUNG DURCHLAUFOFEN

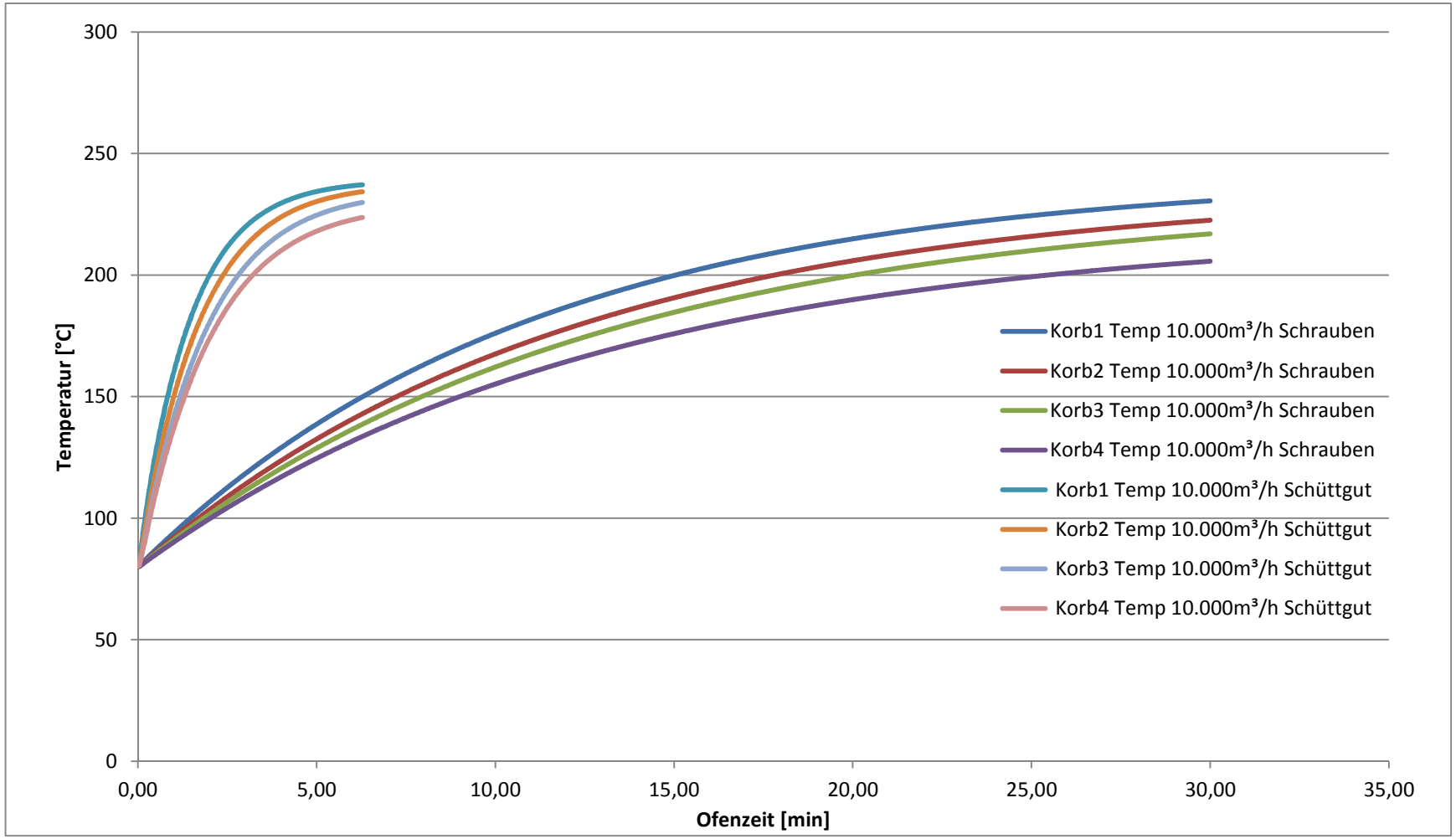


- die Annahmen für die Abbildung des transienten Wärmeübergangs im Schüttgut werden durch die Messung bestätigt
- die Abweichungen in den beiden Heizabschnitten hinsichtlich Zieltemperatur sind kleiner als 6 %
- weitere Verbesserungen im verwendeten Modellansatz können durch Druckmessungen erreicht werden

© Alle Rechte bei SCHERDEL siment GmbH, auch für den Fall von Schutzrechtsanmeldungen. Jede Verfügungsbefugnis, wie Kopier- und Weitergaberecht bei uns.

BEISPIELE AUS DER PRAXIS

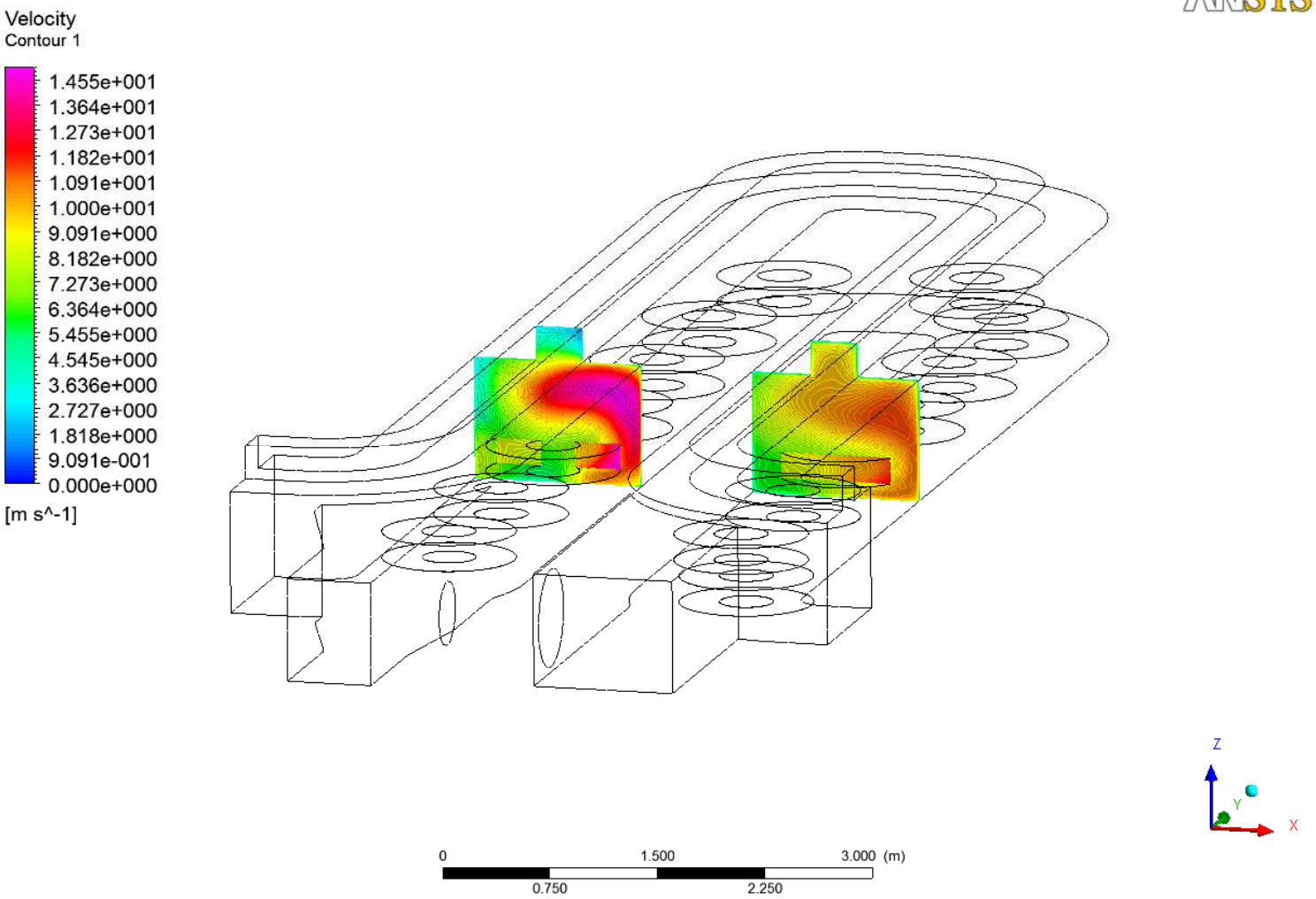
AUSLEGUNG DURCHLAUFOFEN



© Alle Rechte bei SCHERDEL siment GmbH, auch für den Fall von Schutzrechtsanmeldungen. Jede Verfügungsbefugnis, wie Kopier- und Weitergaberecht bei uns.

BEISPIELE AUS DER PRAXIS

AUSLEGUNG DURCHLAUFOFEN



© Alle Rechte bei SCHERDEL siment GmbH, auch für den Fall von Schutzrechtsanmeldungen. Jede Verfügungsbefugnis, wie Kopier- und Weitergaberecht bei uns.

SCHERDEL
s:ment

VIELEN DANK FÜR IHRE AUFMERKSAMKEIT!

Thank you! obrigado! 谢谢! *Děkuji!* **Merci!** ありがとう! **Gracias!** спасибо! **ďakujem!** *dankjewel!* teşekkür ederim! **köszönjük! tack!** *dziękuję!* /धन्यवाद !