

---

# Simulation der Wechselwirkung Fäden-Luft in Filamentprozessen

---

21. Hofer Vliesstofftage

8. / 9. November 2006

Marco Günther

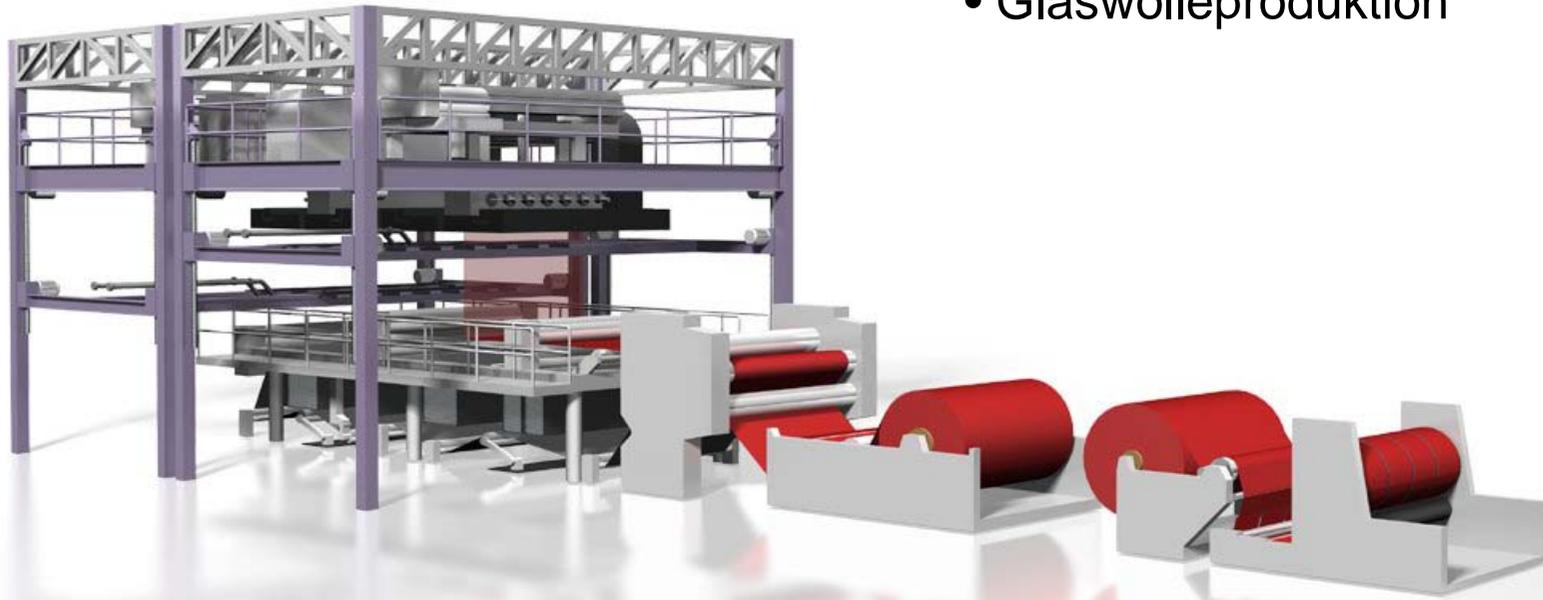


Fraunhofer  
Institut  
Techno- und  
Wirtschaftsmathematik

---

# Übersicht

- Fadenmodellierung und -dynamik
- Wechselwirkung Fäden-Luft
- Glaswolleproduktion



Neumag | Saurer

# Fadenmodellierung und Fadendynamik

## Materialmodelle

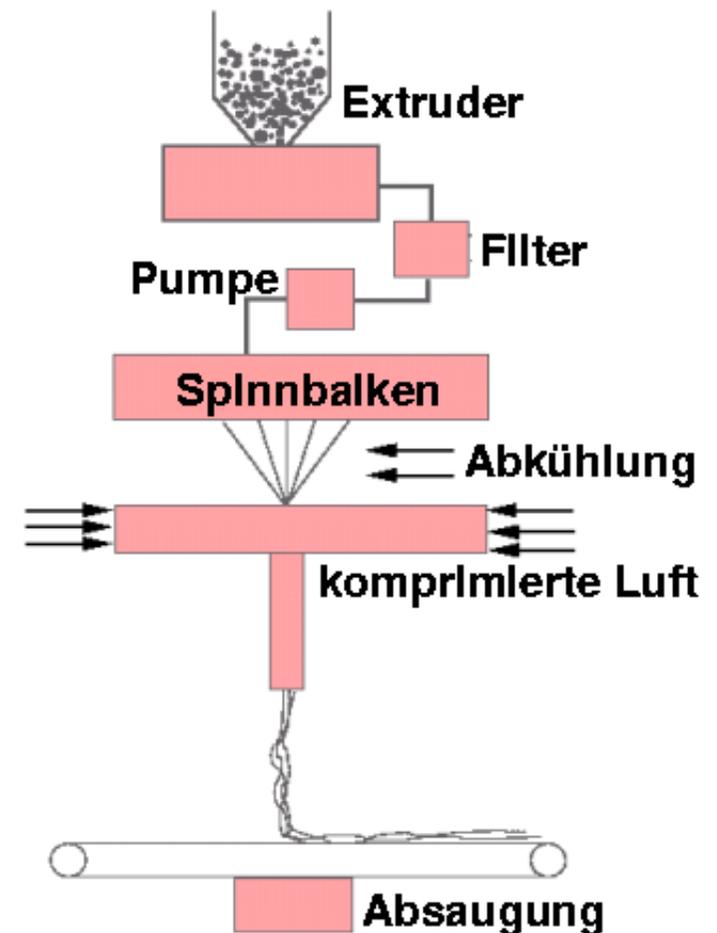
- Fadenziehen: viskos (in der Entwicklung visko-elastisch)
- Fadenablage: elastisch

## Fadendynamik durch Kräftebilanzierung

- innere Kräfte: Dehnung, Spannung, Biegung
- äußere Kräfte: Gravitation, Luftwiderstand
- Stochastische Modellierung der Turbulenz

## Fadentypen

- Endlosfasern, Stapelfasern
- rund, hohl, trilobal



# Fadenmodellierung und Fadendynamik

Newtonsche Bewegungsgleichung

$$\rho A \partial_{tt} \mathbf{r}(s, t) = \partial_s [\mathbf{T} \partial_s \mathbf{r}(s, t)] + \mathbf{E} I \partial_{ssss} \mathbf{r}(s, t) + \rho A \mathbf{g} + \mathbf{f}^{air}$$

Trägheit
Spannung
Biegung
Gravitation
Luftwiderstand

$$(\partial_s \mathbf{r}(s, t))^2 = 1$$

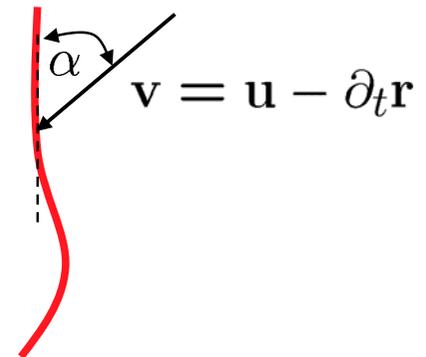
Konstante Fadenlänge

Turbulente Strömung:

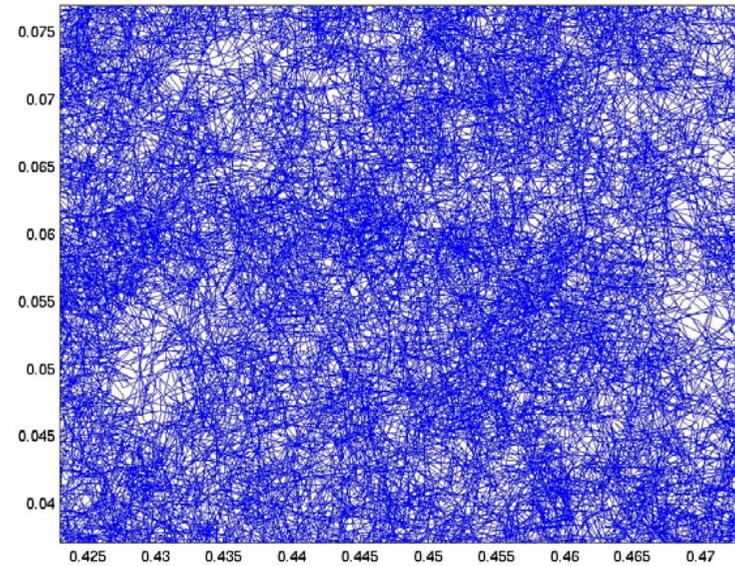
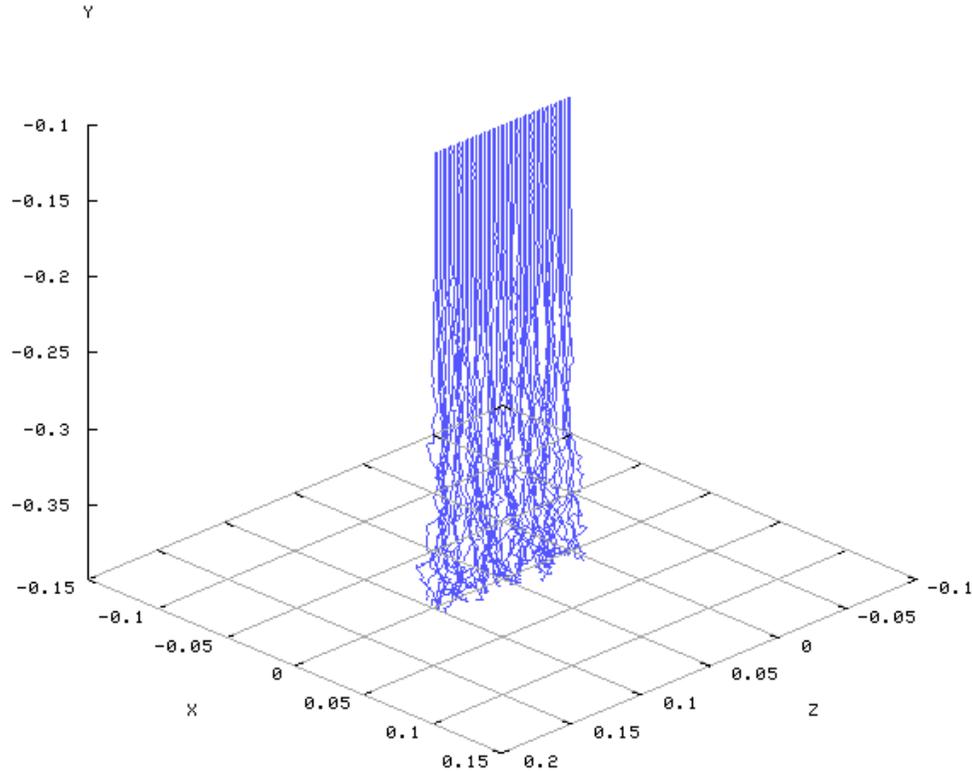
$$\mathbf{u}(\mathbf{x}, t) = \underbrace{\bar{\mathbf{u}}}_{\text{Mittel}} + \underbrace{\mathbf{u}'}_{\text{Fluktuation}}$$
  

$$\mathbf{f}^{air} \approx \underbrace{\bar{\mathbf{f}}^{air}(\bar{\mathbf{v}}, \partial_s \mathbf{r})}_{\bar{\mathbf{f}} \text{ deterministisch}} + \underbrace{\mathbf{L}^{air}(\bar{\mathbf{v}}, \partial_s \mathbf{r}, k) \mathbf{u}'}_{\mathbf{f}' \text{ stochastisch}}$$

Interaktion durch  
Luftwiderstand

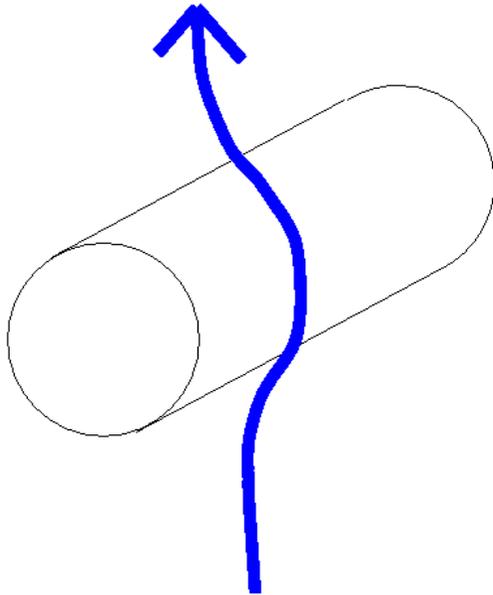


# Fadendynamik Ablageprozess



---

# Wechselwirkung Fäden-Luft



## Wechselwirkung in 2 Richtungen:

- Strömung wirkt auf Fäden
- Viele Fäden haben Wirkung auf Strömung

## Arten der Wechselwirkungen:

- Strömungswiderstand
- Wärmetransport zwischen Fäden und Strömung

---

# Wechselwirkung Fäden-Luft

Problem: Strömung und Fadenbewegung nicht gleichzeitig berechenbar  
→ Iteration zwischen Strömung (FLUENT) und Fadendynamik (FIDYST)

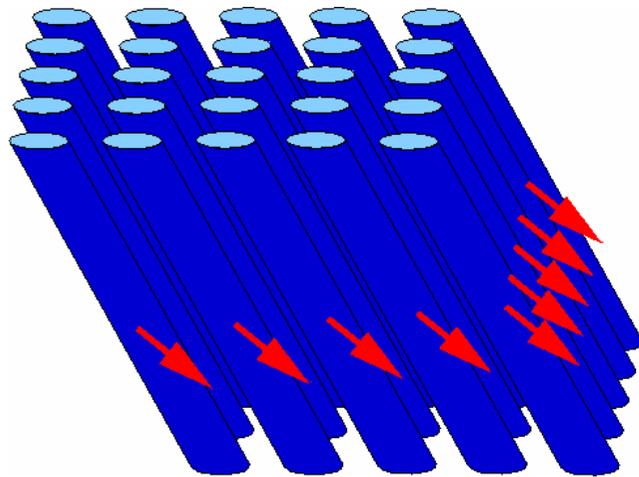


Problem: Wie kann die Wirkung der Fäden auf die Strömung realisiert werden?  
→ Homogenisierung von Impuls und Wärmeübergang

---

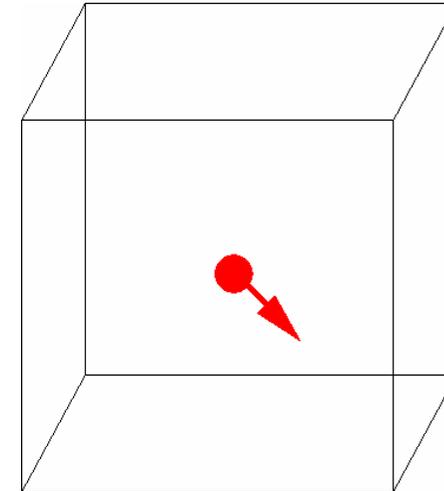
## Wechselwirkung Fäden-Luft

### Homogenisierung



$$f_i(t, x), \quad i = 1, \dots, n$$

Mittelung



$$f(t, x) = \frac{1}{V_x} \sum_{i=1}^n \int_{V_x} f_i(t, x') dx'$$

- Umsetzung im Software Tool FLUENT mittels »User Defined Functions«
- Erweiterung des Strömungsmodells (Impuls- und Energiegleichung)



# Fadenspinnen

- 5000 Fäden  
10 Reihen á 500 Fäden

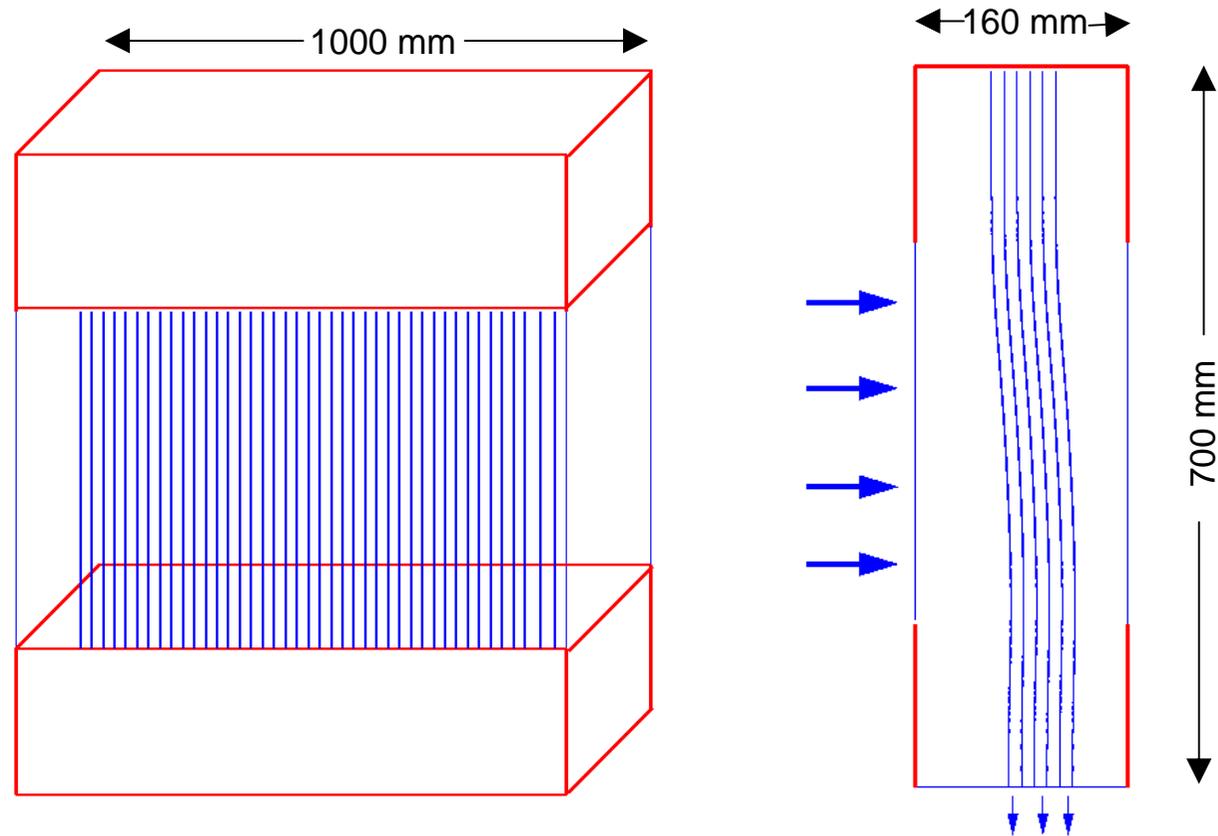
- Durchmesser 40  $\mu\text{m}$

- Spinnengeschwindigkeit  
20 m/s = 1200 m/min

Luftgeschwindigkeit  
1.9 m/s

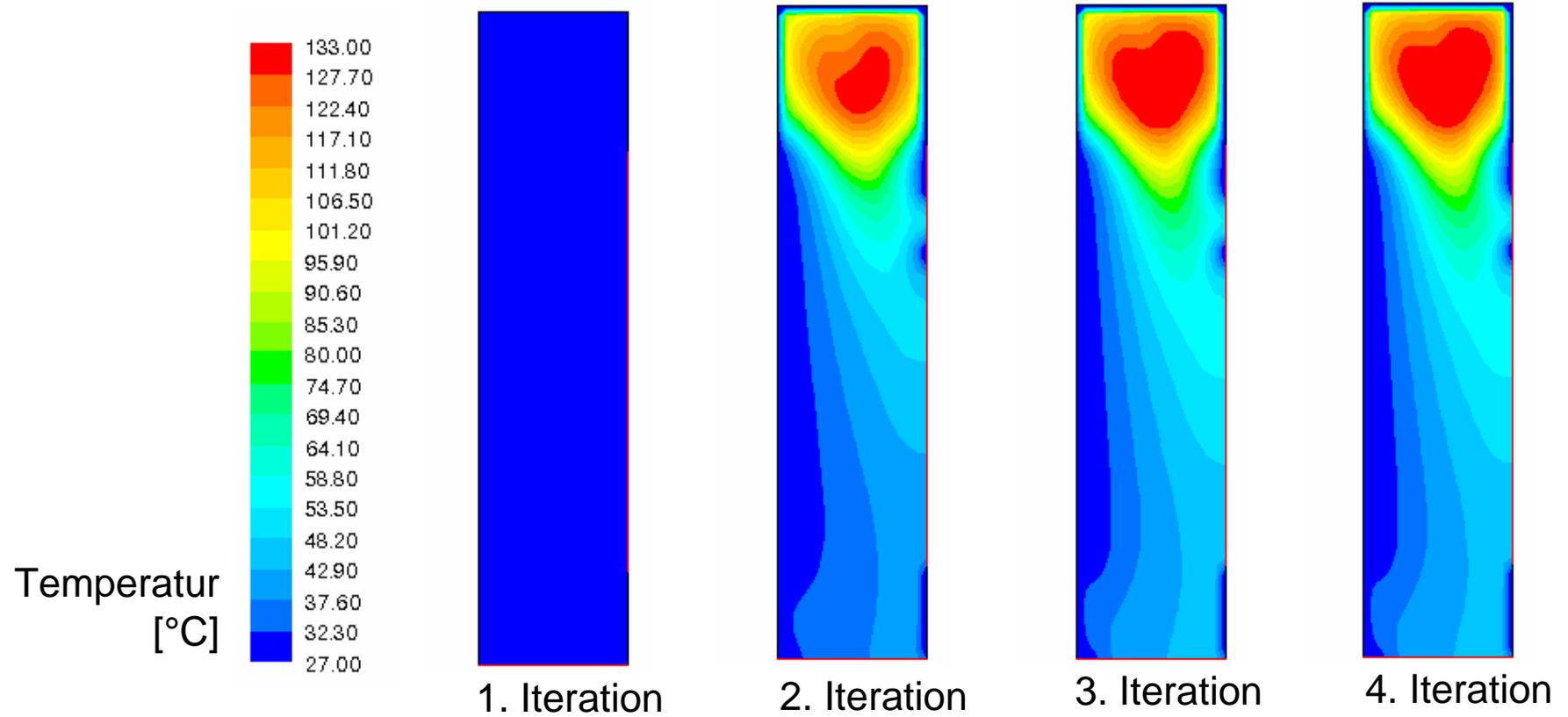
- Fadentemperatur oben  
250  $^{\circ}\text{C}$

Lufttemperatur Einlass  
27  $^{\circ}\text{C}$



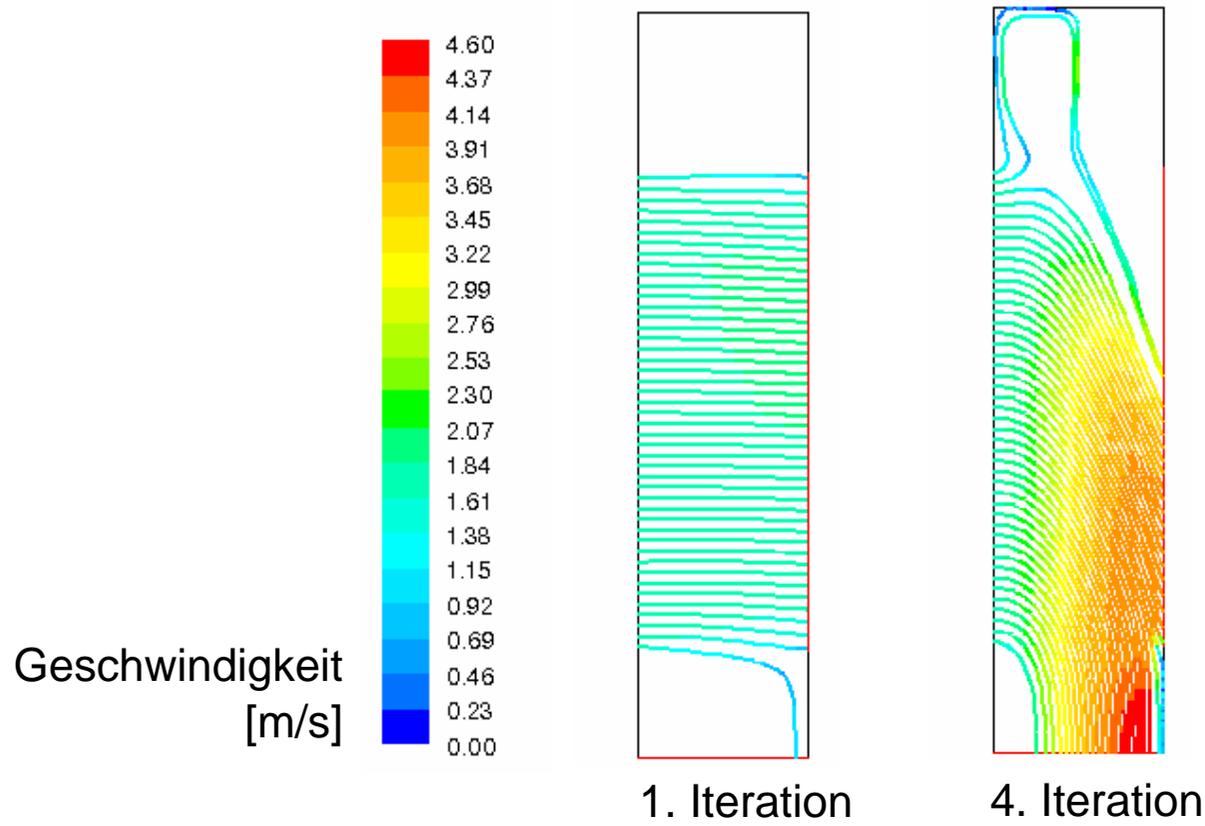
# Fadenspinnen

## Temperatur



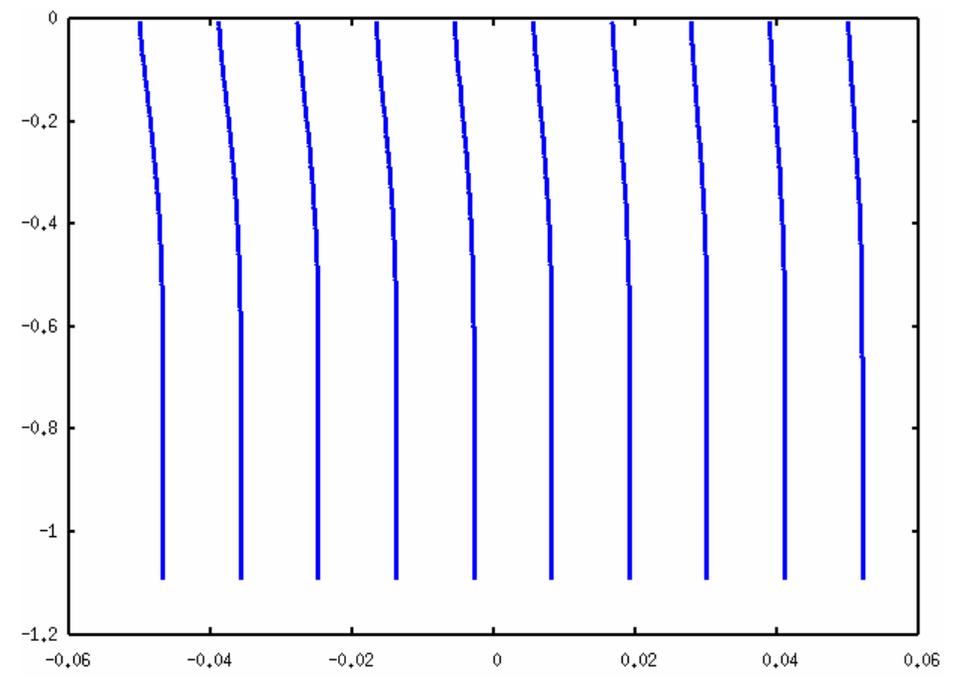
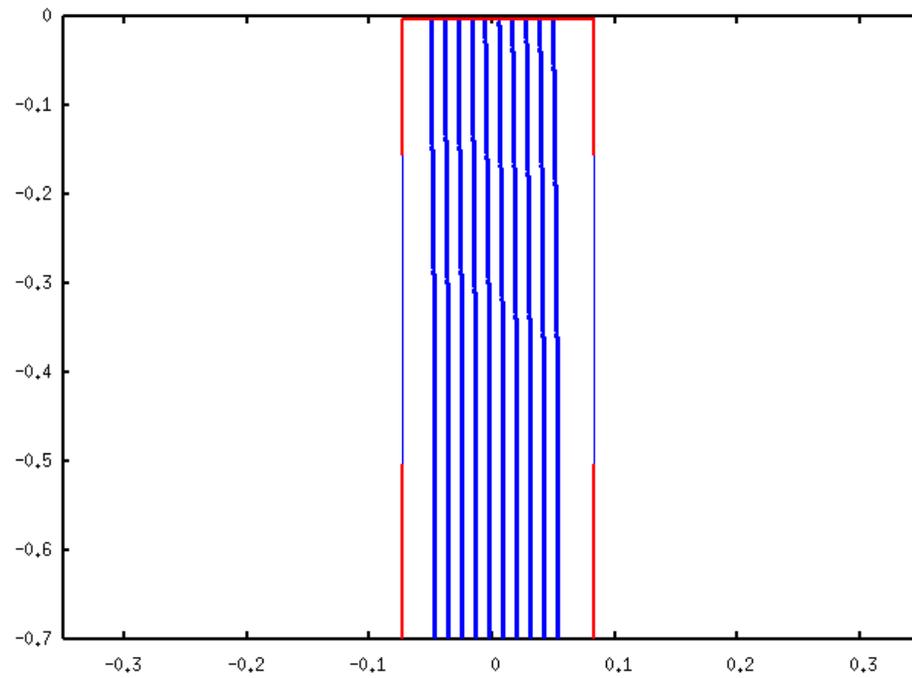
# Fadenspinnen

## Stromlinien



# Fadenspinnen

## Faserpositionen



---

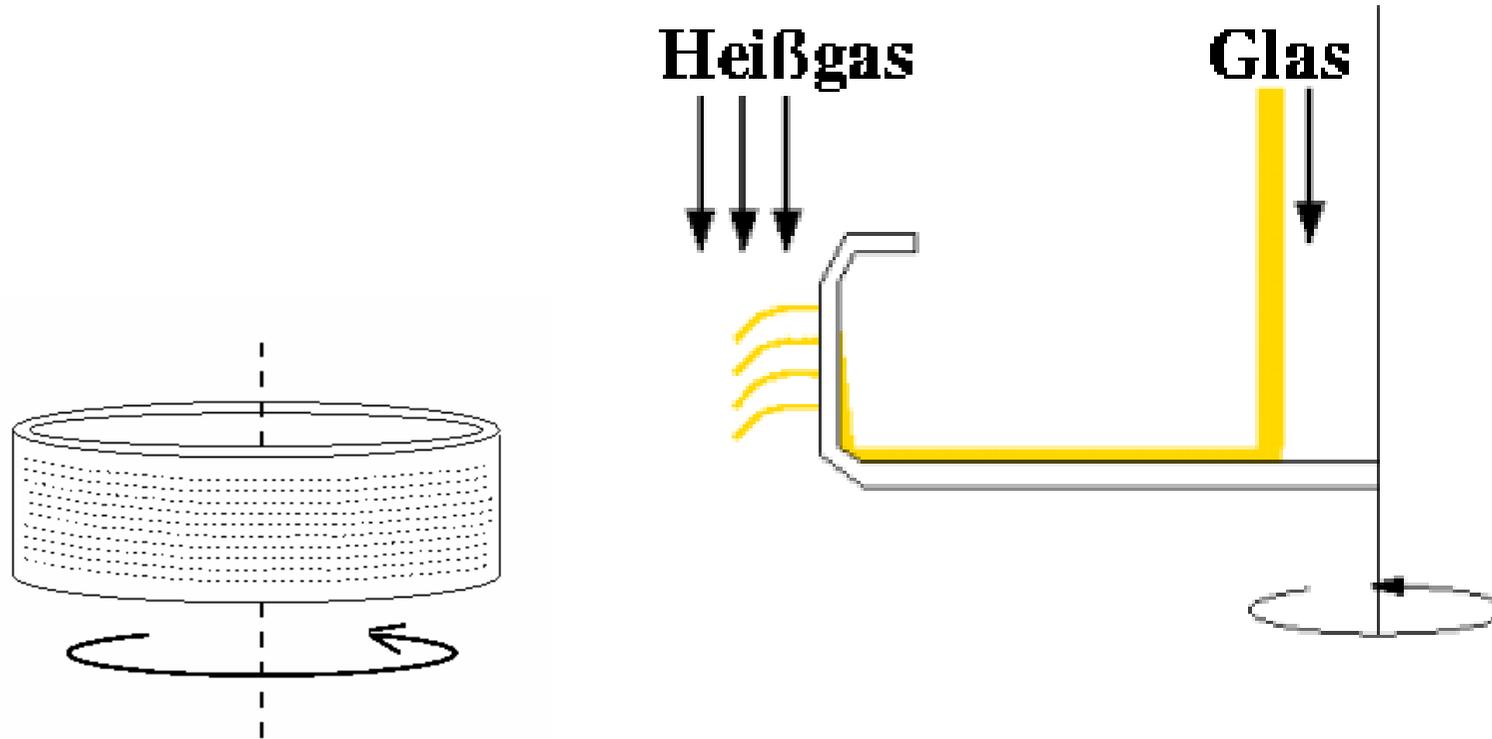
# Glaswolleherstellung



---

# Spinnprozess bei der Glaswolleherstellung

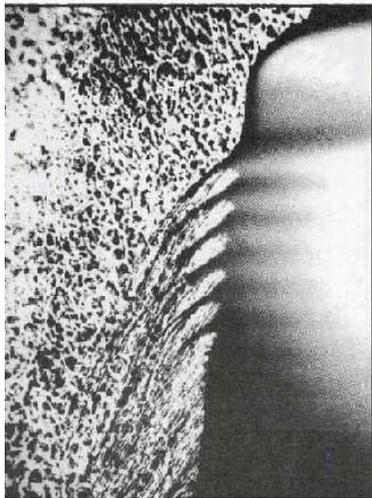
## Verfahren



---

# Spinnprozess bei der Glaswolleherstellung

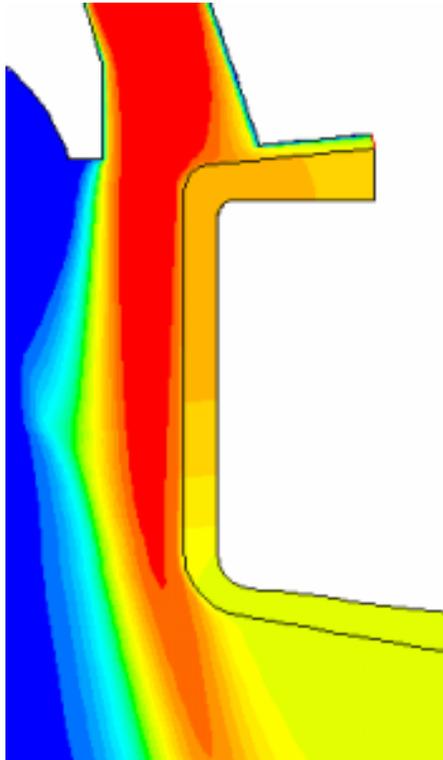
## Spinnprozess



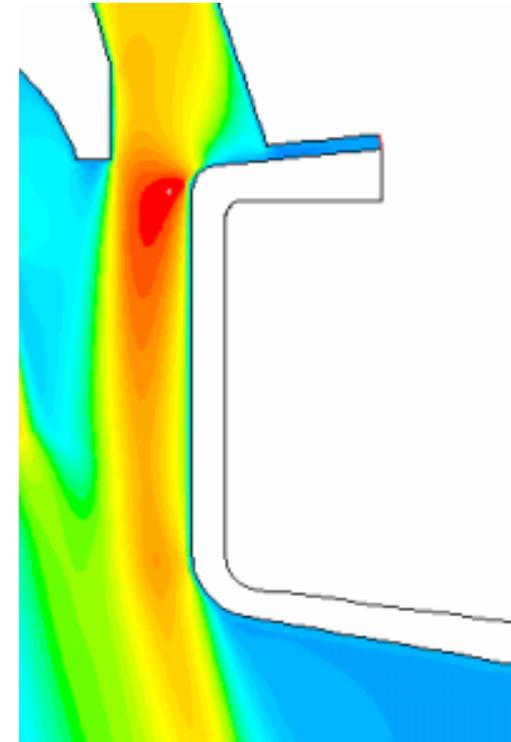
---

# Spinnprozess bei der Glaswolleherstellung

## Strömungssimulationen



Temperatur



Vertikale Geschwindigkeit

---

# Spinnprozess bei der Glaswolleherstellung

Impulsbilanz:

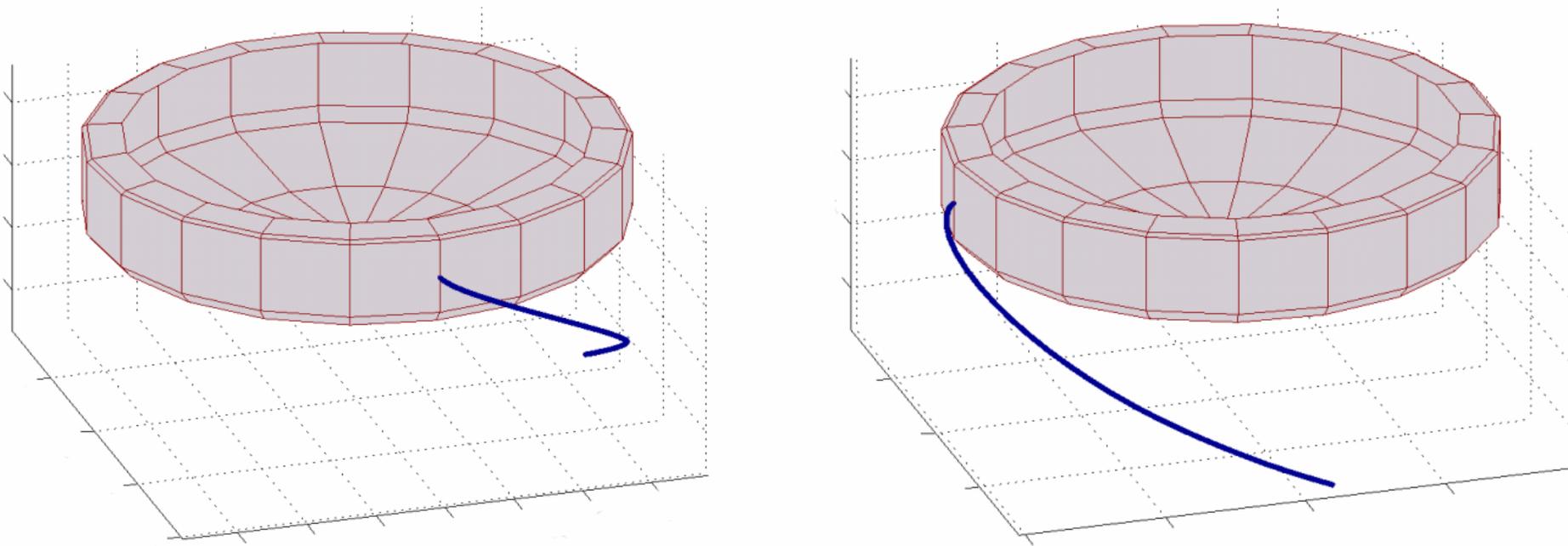
$$\begin{aligned} \rho \mathbf{A}(s) \|\mathbf{v}(s)\| \partial_s \mathbf{v}(s) &= \partial_s \mathbf{F}_\sigma(s) + \partial_s \mathbf{F}_S(s) + \mathbf{f}_g + \mathbf{f}_{air} \\ \text{Trägheit} & \quad \text{Spannung} \quad \text{Oberflächen-} \quad \text{Gravitation} \quad \text{Luftwiderstand} \\ & \quad \quad \quad \text{spannung} \\ & \quad \quad \quad + \mathbf{f}_{cor} + \mathbf{f}_{cent} \\ & \quad \quad \quad \text{Coriolis-} \quad \text{Zentrifugal-} \\ & \quad \quad \quad \text{kraft} \quad \quad \text{kraft} \end{aligned}$$

Wärmeenergiebilanz:

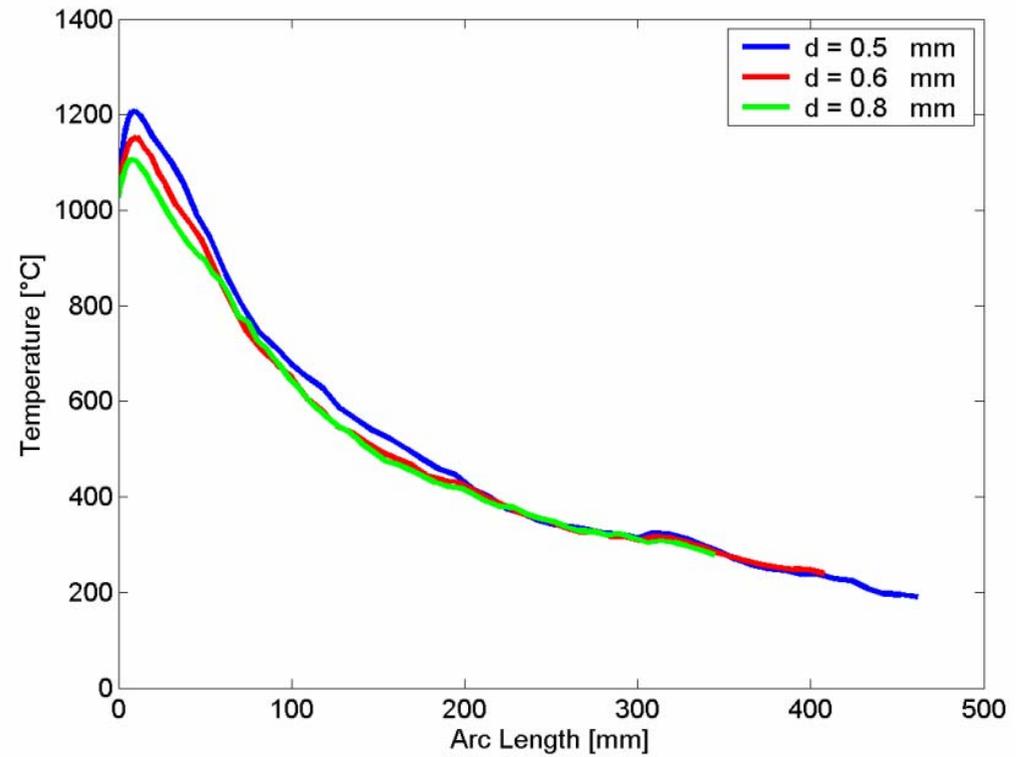
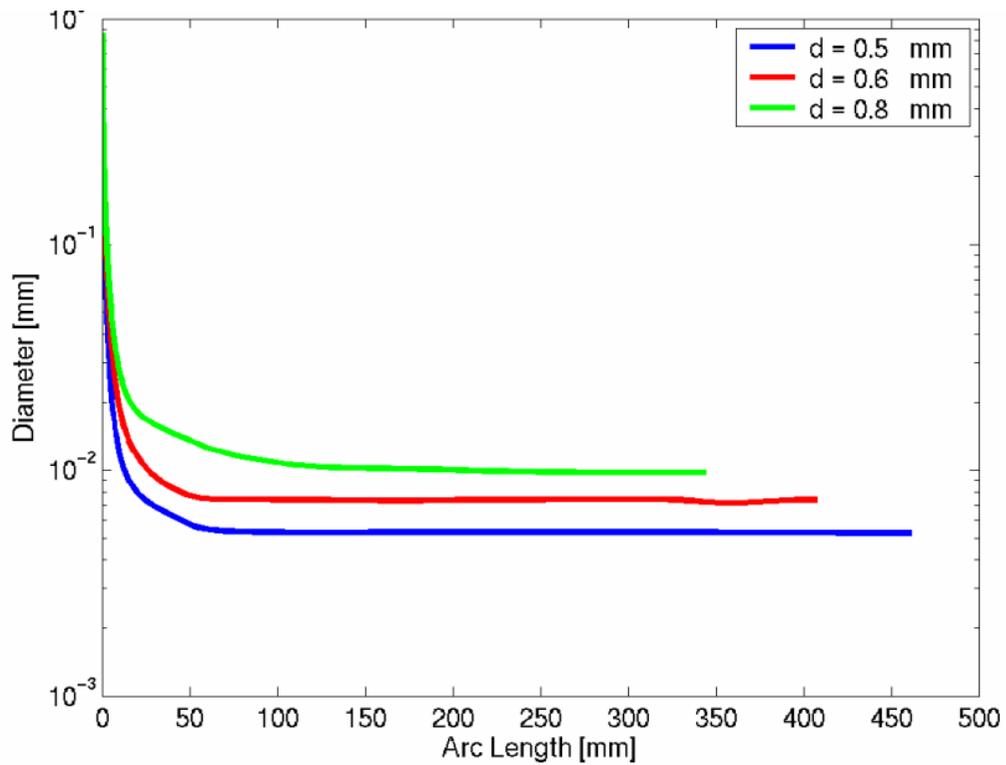
$$\|\mathbf{v}(s)\| \partial_s \mathbf{T}(s) = \text{Wärmekonvektion} + \text{Wärmestrahlung}$$

---

# Spinnprozess bei der Glaswolleherstellung



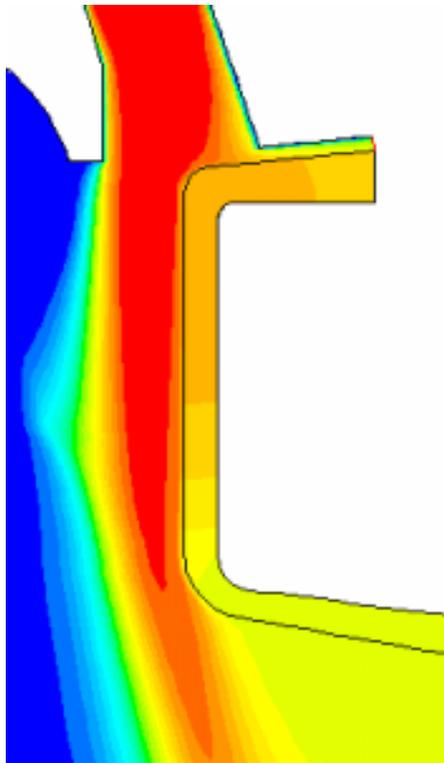
# Spinnprozess bei der Glaswolleherstellung



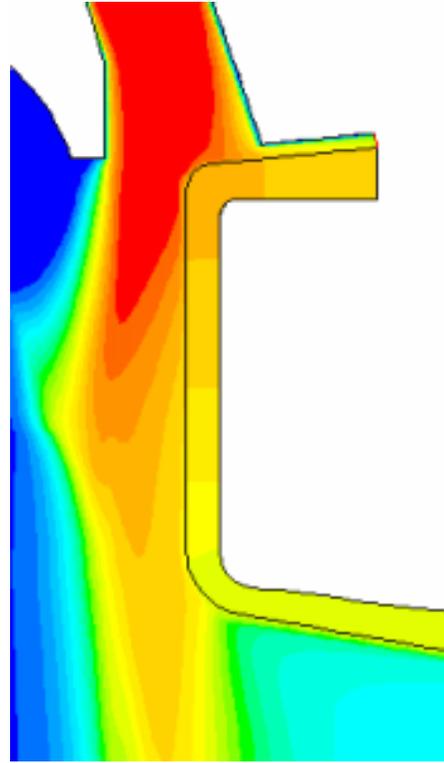
---

# Spinnprozess bei der Glaswolleherstellung

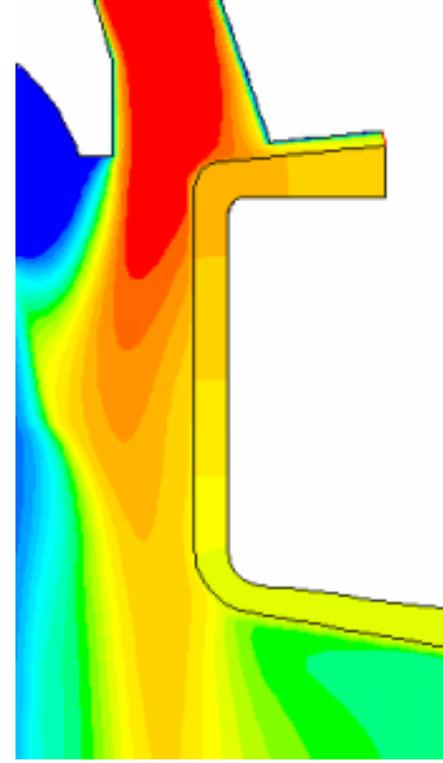
## Numerisches Ergebnis



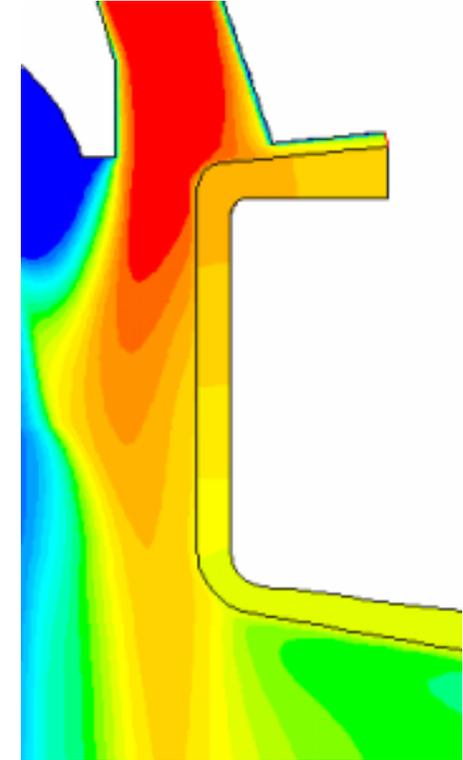
1. Iteration



2. Iteration



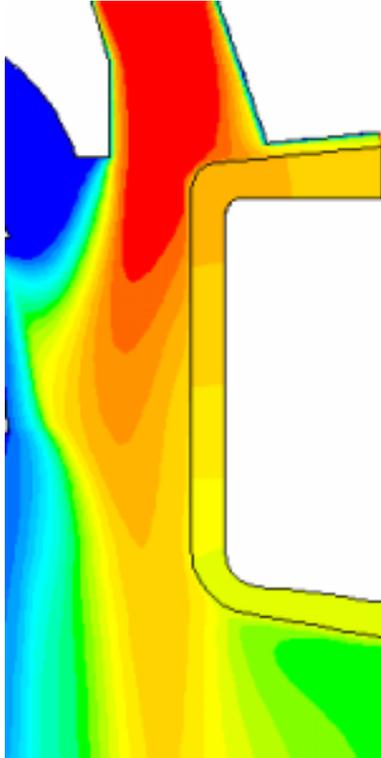
3. Iteration



4. Iteration

---

# Zusammenfassung



- Schmelzspinnen numerisch erfassbar
- Vollständige Kopplung zwischen Fäden und Luft
- Optimierung von Schmelzspinnprozessen hinsichtlich gleichmäßiger Abkühlung und Auslenkung möglich
- FIDYST (Fiber Dynamics Simulation Tool) erlaubt Simulation von Spinn- und Ablageprozessen

# Zukunftsszenario: Simulierte Realität für technische Textilien

## Zukünftige Ziele:

- Abbildung der gesamten Kette vom Spinnprozess bis Einsatzszenario
- Übergreifendes Reverse Engineering: von Produkteigenschaften zum Prozess und damit zu innovativen Produkten

## Zukünftige Möglichkeiten:

- Integriertes Prozess- und Materialdesign für neue Produkte

