
Modellierung und Simulation des Meltblownprozesses

Vortrag auf den Hofer Vliesstofftagen, 10./11. November 2010

Dr. Ferdinand Olawsky

BMBF-Projekt NaBlo

Nano-Meltblown-Fasern für Filtermedien



oerlikon
neumag



INSTITUT FÜR TEXTIL- UND
VERFAHRENSTECHNIK
DENKENDORF 

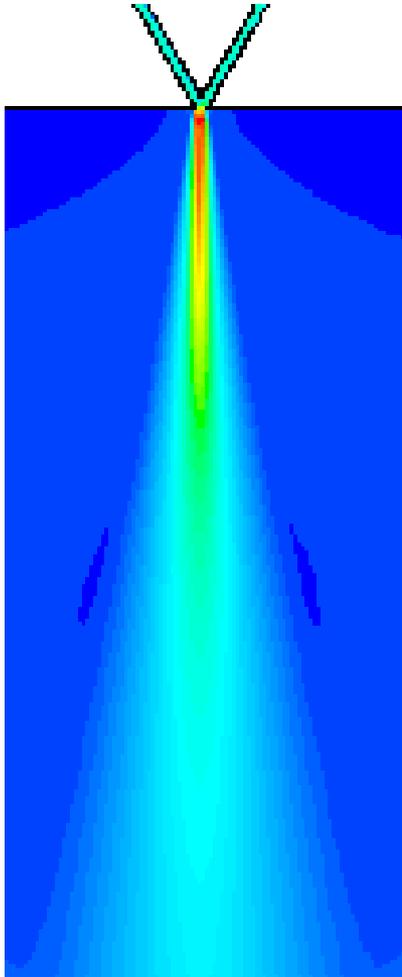
 **Fraunhofer**
ITWM

Modellierung und Simulation des Meltblownprozesses

- Simulation der Luftströmung im Meltblownprozess
 - Modellierung der Strömung
 - Simulation der Versuchsanlage von Oerlikon Neumag

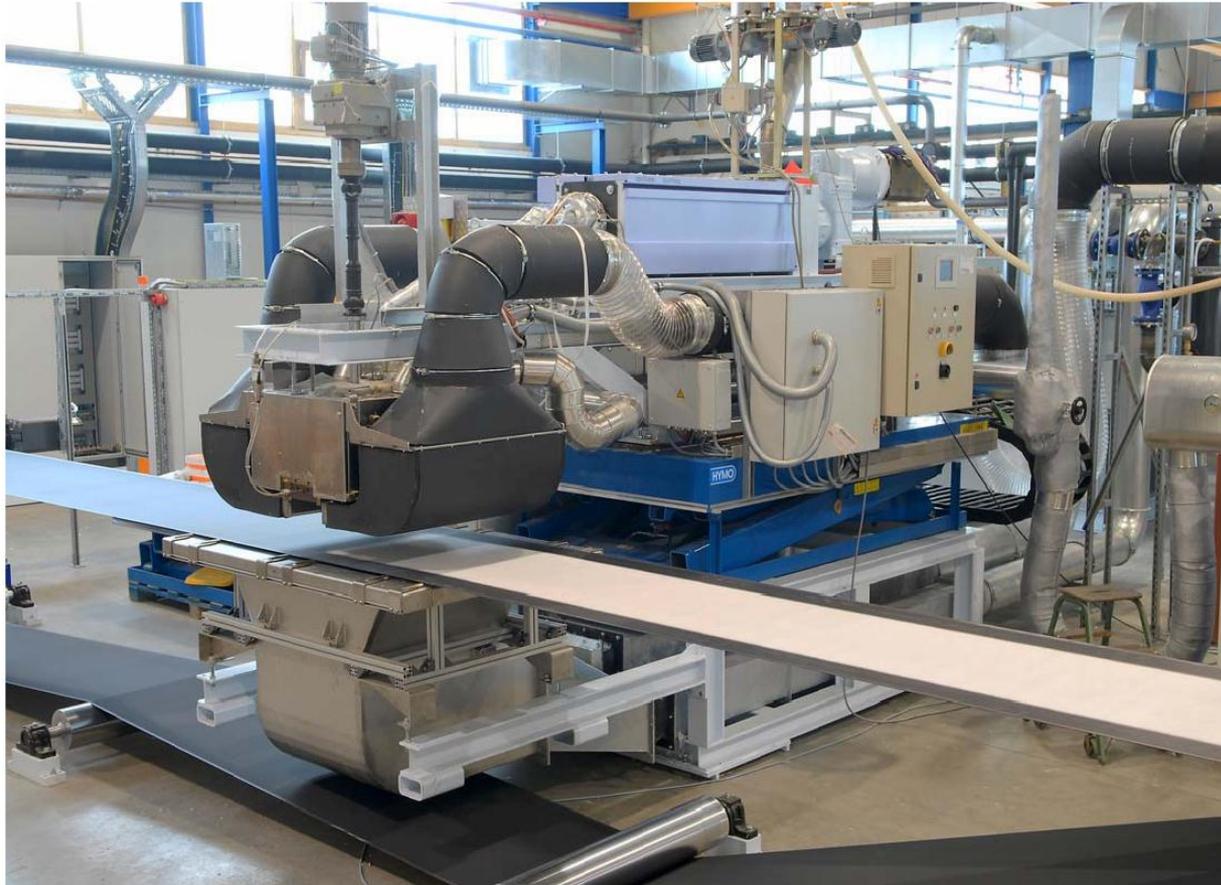
- Simulation der Filamentdehnung
 - Modellierung des Dehnungsprozesses
 - Analyse des Modells
 - Simulation des Meltblownprozesses von Oerlikon Neumag

Simulation der Luftströmung im Meltblownprozess



- Meltblown-Anlage wird exakt in der Strömungssimulation abgebildet.
- Modellierung der Luftströmung über die kompressiblen Navier-Stokes-Gleichungen
 - Massenerhaltung
 - Impulserhaltung
 - Energieerhaltung
- zusätzlich Gleichungen für die Turbulenzmodellierung
- Randbedingungen (Temperaturen, Massenströme, Drücke,...) werden aus den realen Meltblown-Anlagen übernommen.
- Die Rückwirkung der Fäden auf die Strömung kann in den Simulationen vernachlässigt werden.

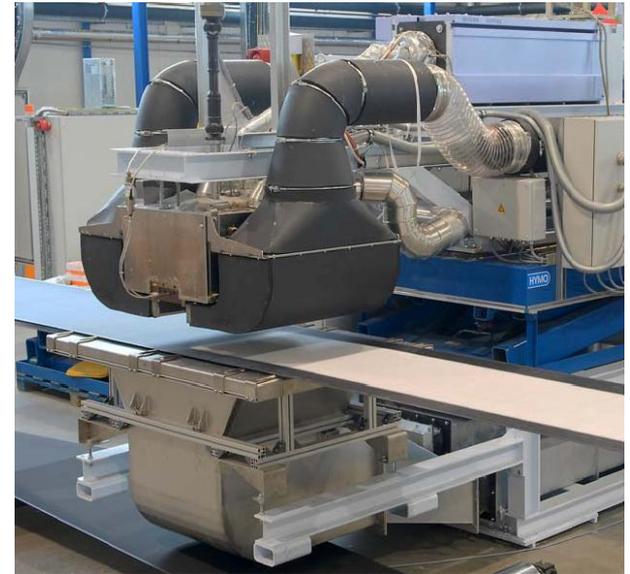
Simulation der Luftströmung in der Meltblown-Versuchsanlage von Oerlikon Neumag



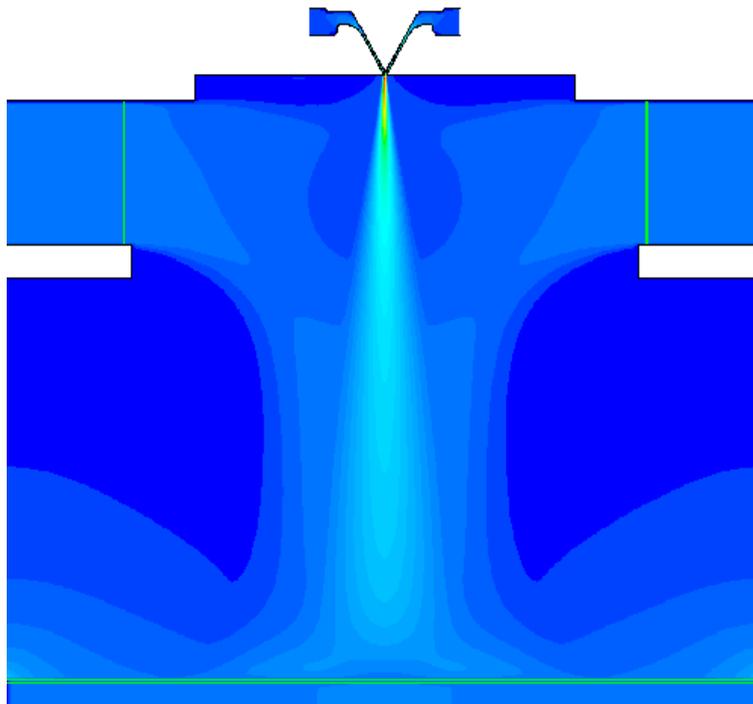
Meltblown-Versuchsanlage von Oerlikon Neumag

Strömungssimulation für die Meltblown-Versuchsanlage von Oerlikon Neumag

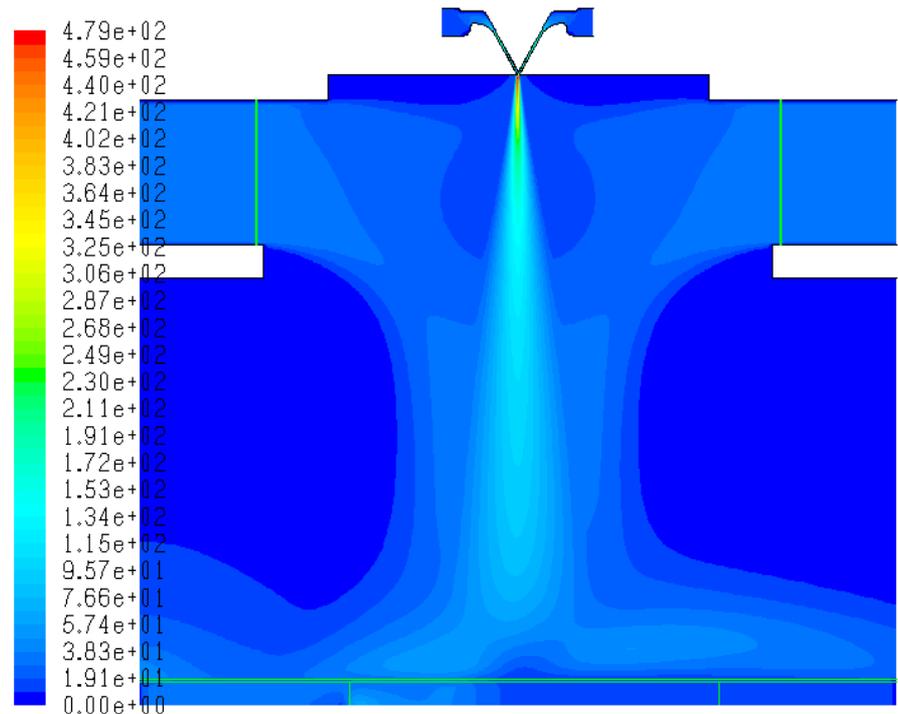
- Berücksichtigung der realen Prozessparameter
 - set back, end gap, air gap der Meltblown-Düse
 - Druck / Massenstrom für Prozessluft und Quenchluf
 - Temperatur der Prozessluft und der Quenchluf
 - Temperatur der Düse
 - Absaugung unter dem Transportband



Beispiel für Strömungssimulationen: Geschwindigkeitsvergleich mit/ohne Versperrung durch Vliesablage

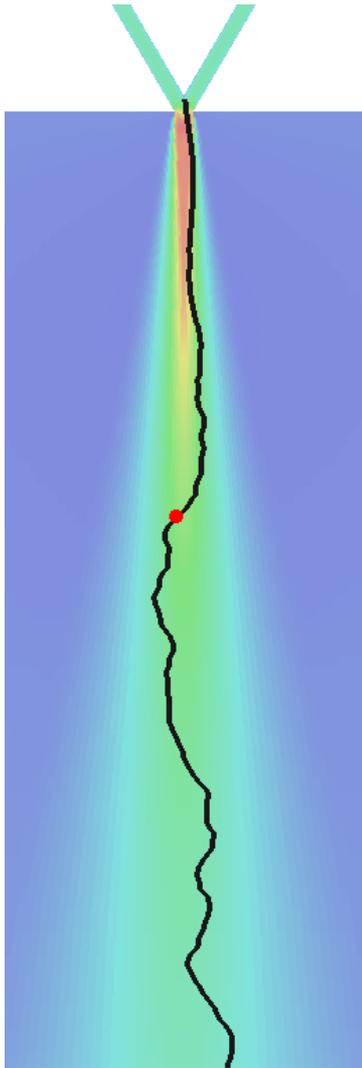


ohne Versperrung



mit Versperrung durch Vliesablage

Simulationsmodell für die Dehnung des Filaments



- Es wird ein Massepunkt auf dem Filament betrachtet:
 - Position x
 - Geschwindigkeit v
 - Dehnung e des Filaments
- Grundannahmen für die Dehnungssimulation:
 - Filament kann gedehnt werden
 - Filament kann **nicht** gestaucht werden



Dehnungsmodell für einen Massepunkt

Dehnung $\dot{e} = \frac{1}{v_{in}} |e^{3/2} \mathbf{f}_{air}|$

Position $\dot{x} = v$

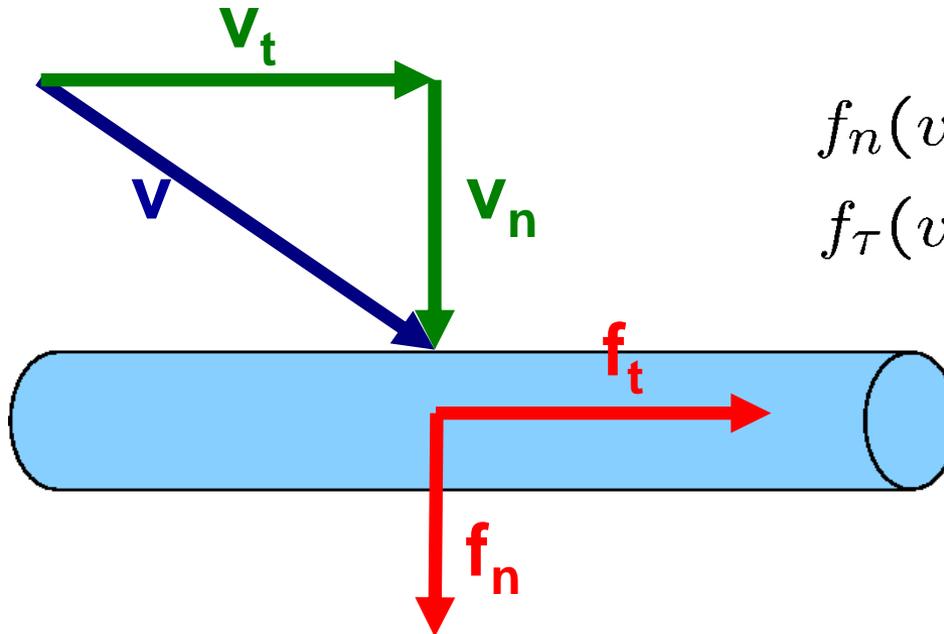
Geschwindigkeit $\dot{v} = e^{3/2} \mathbf{f}_{air}$

■ Luftkräfte \mathbf{f}_{air}

■ Polymergeschwindigkeit in der Düse: v_{in}

Temperatur $\dot{T} = -\frac{1}{t_T} Nu e (T - T_{air})$

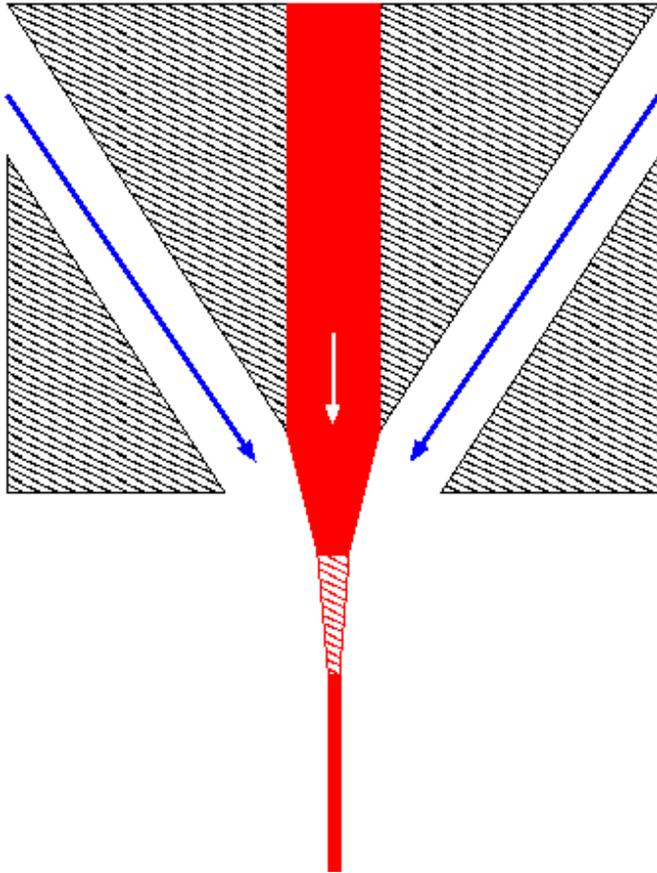
Modellierung der Luftkräfte



$$f_n(v_n, v_T) = v_n^2 c_n(v_n)$$
$$f_T(v_n, v_T) = v_T v_n c_T(v_n)$$

- Modellierung der Turbulenzwirkung (Geschwindigkeitsschwankungen) erfolgt über einen korrelierten stochastischen Prozess.
- Berechnung der Luftkräfte basieren auf den Strömungssimulationen.

Analyse des Meltblownprozesses: Filament in einem konstanten Strömungsfeld



- Durchmesser der Düse: 0.4 mm
- Austrittsgeschwindigkeit des Fadens: 9 mm/s
- Konstante Luftströmung:

$$v = 134 \text{ m/s}$$

$$k = 1260 \text{ m}^2/\text{s}^2$$

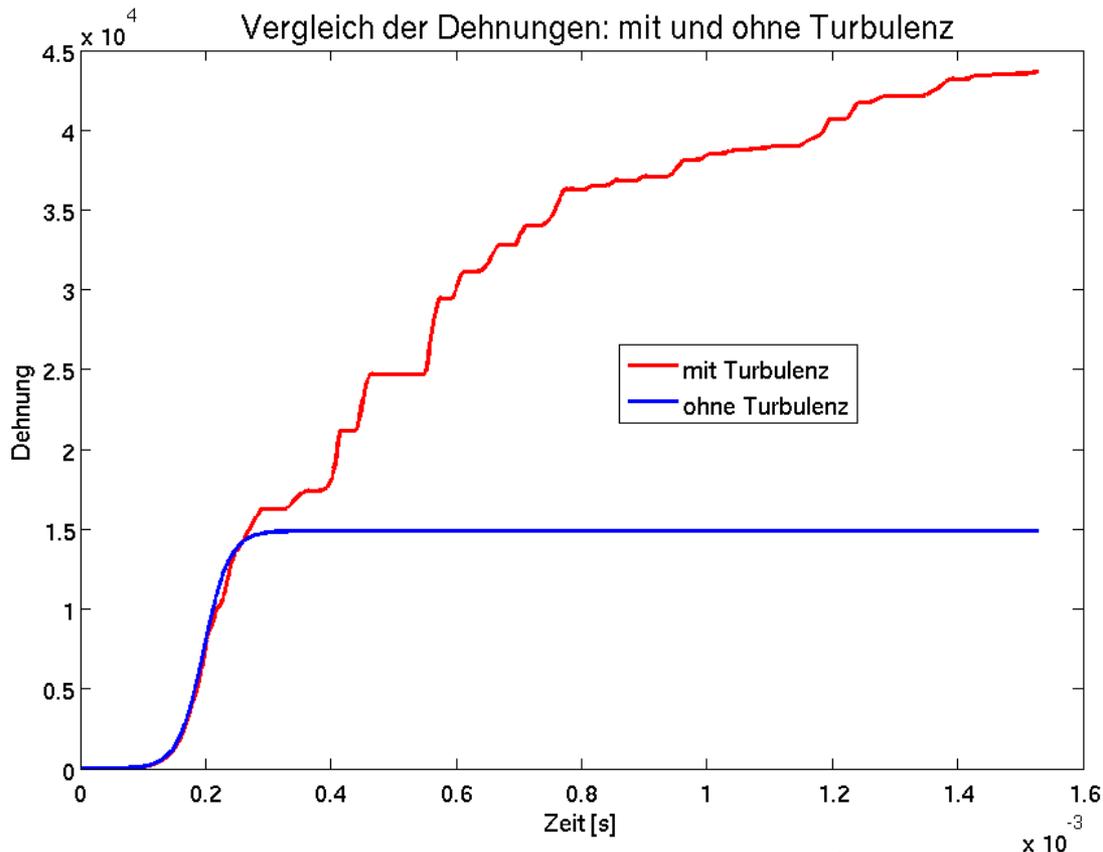
$$\varepsilon = 4.6 \cdot 10^6 \text{ m}^2/\text{s}^3$$

„theoretische“ maximale Dehnung:

$$e_{max} = \frac{134 \text{ m/s}}{0.009 \text{ m/s}} \approx 1.49 \cdot 10^4$$

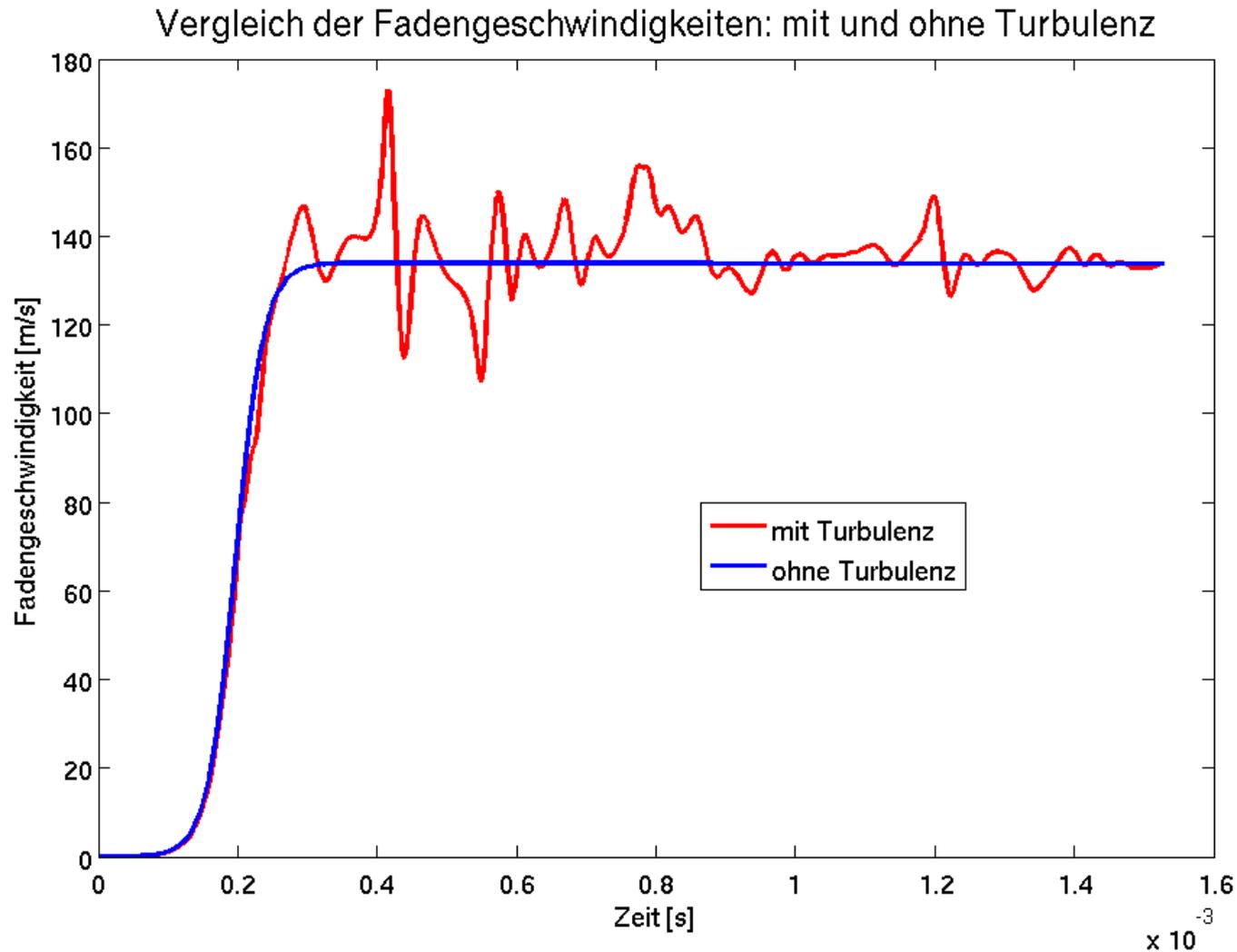
- Simulation mit/ohne Turbulenz

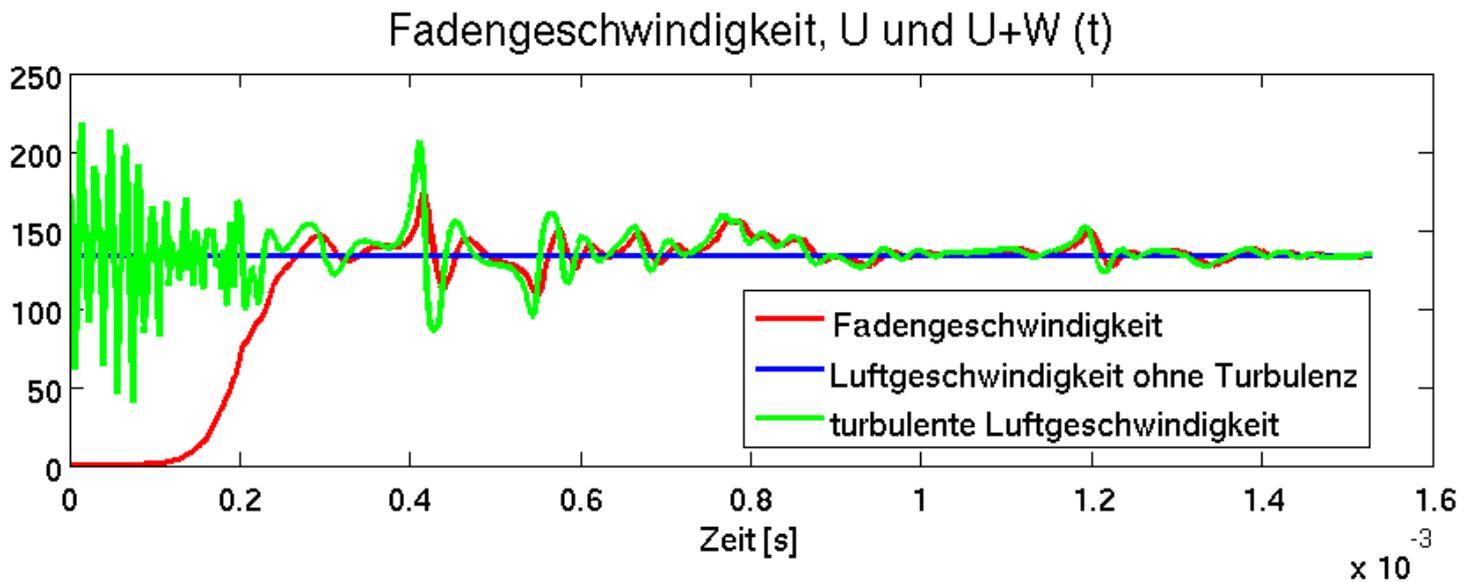
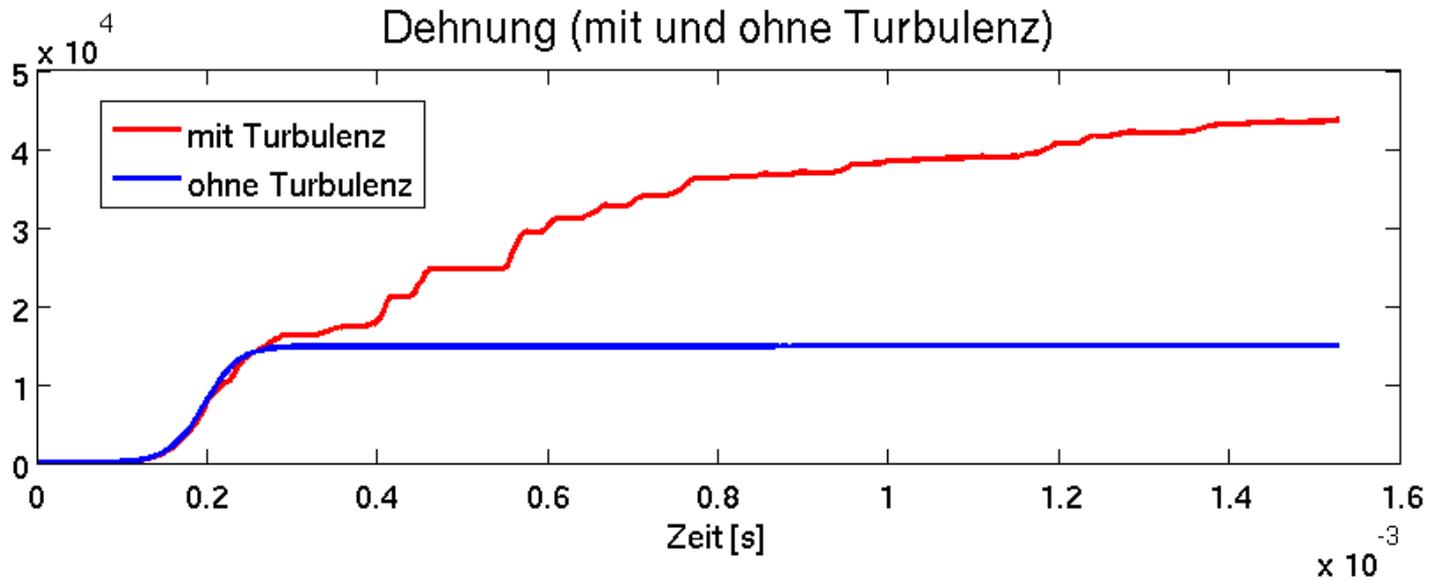
Dehnungsverlauf bei konstantem Strömungsfeld



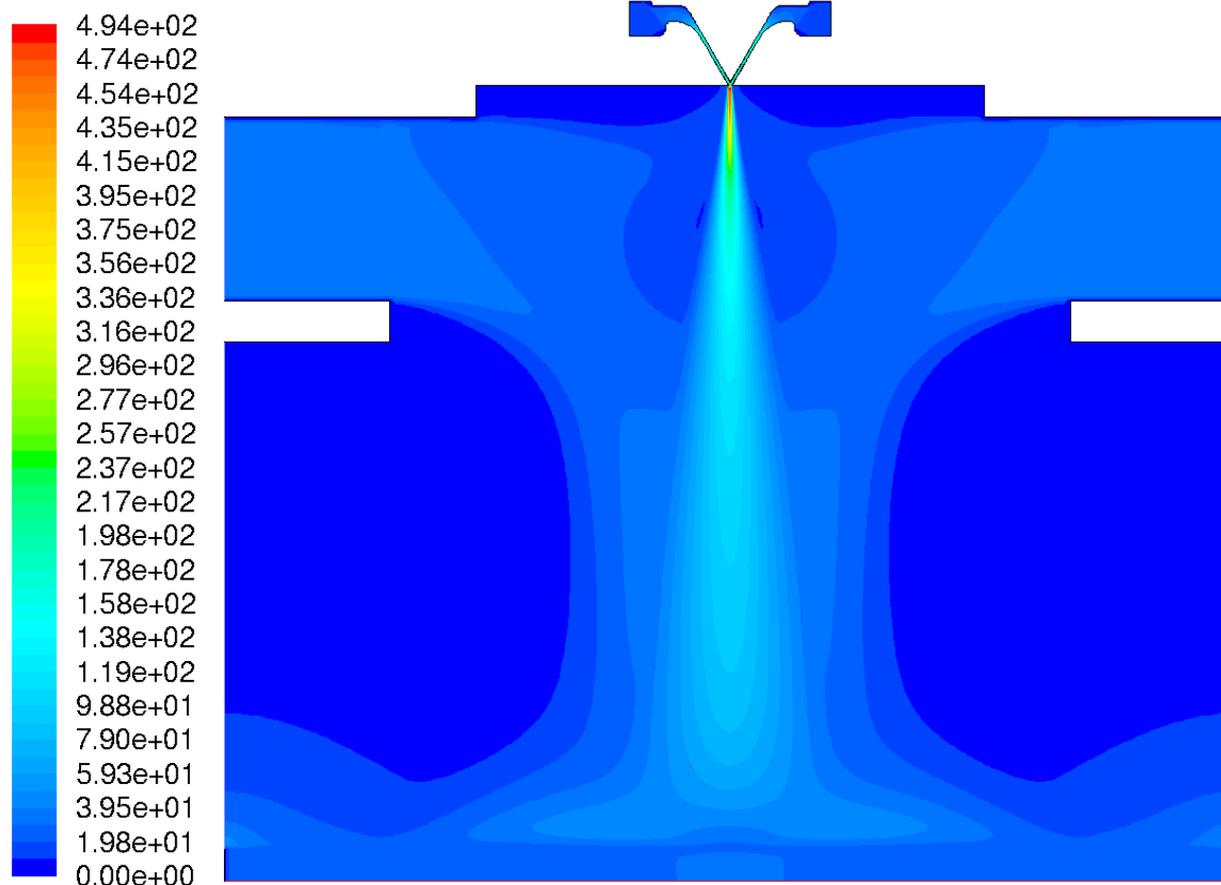
- Filament am Anfang zu dick, um auf turbulente Schwankungen reagieren zu können.
- Erst nach Verzug durch die Hauptströmung kann Faden den turbulenten Schwankungen folgen und wird weiter gedehnt.

Fadengeschwindigkeit bei konstantem Strömungsfeld



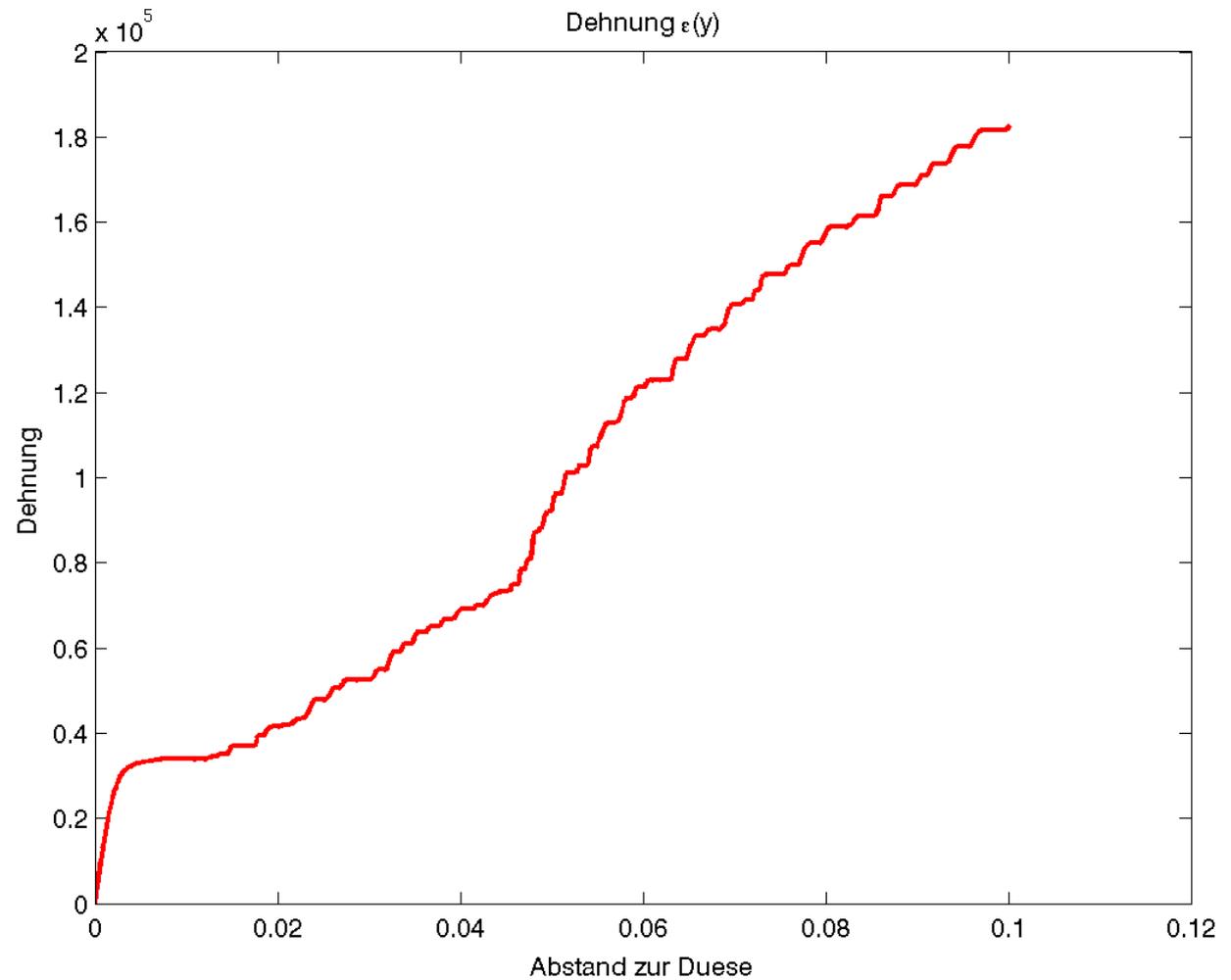
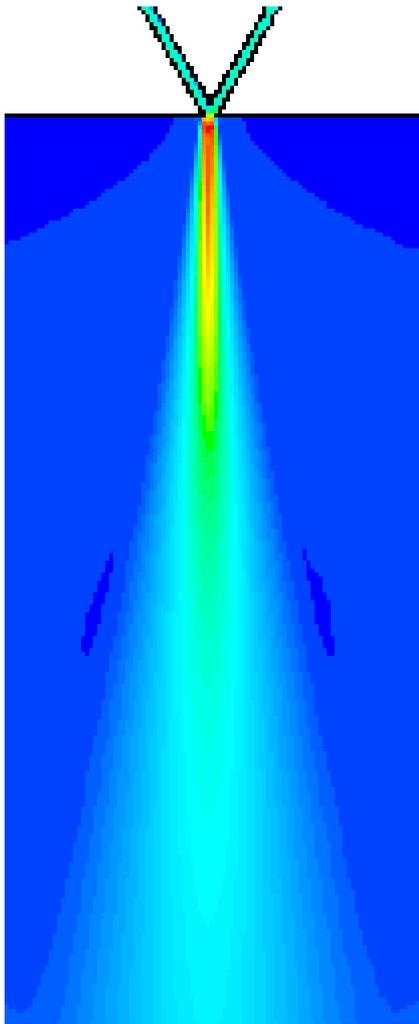


Meltblown-Anlage von Oerlikon Neumag

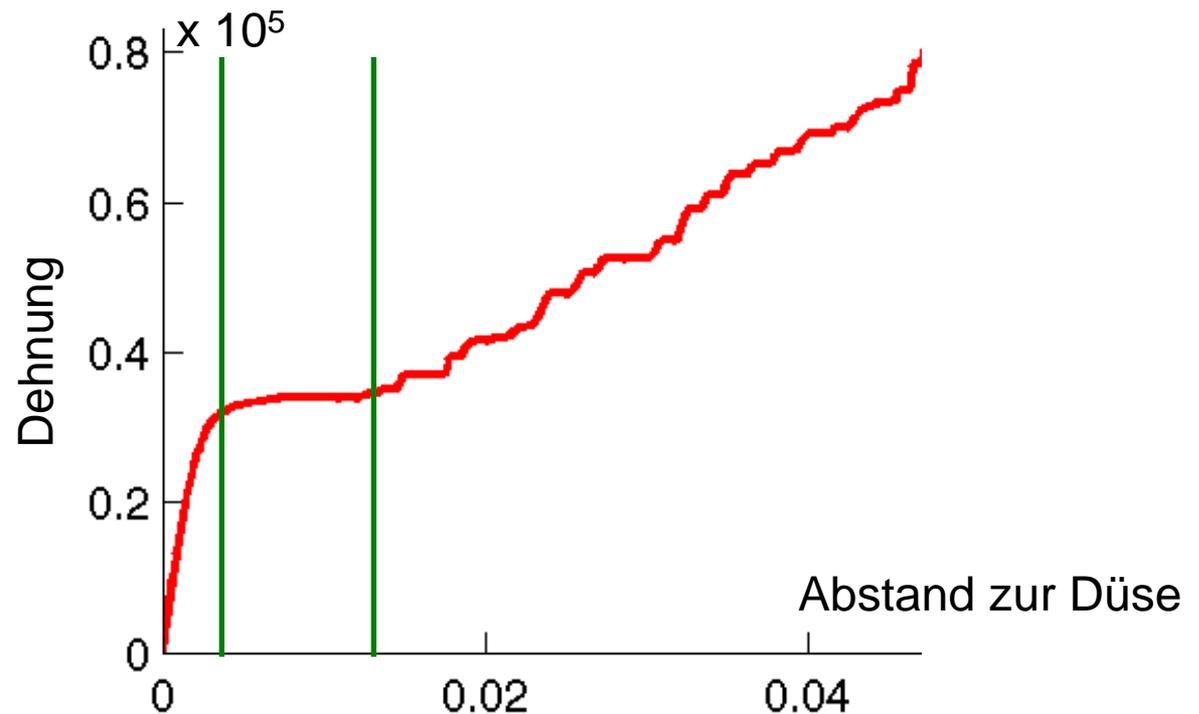
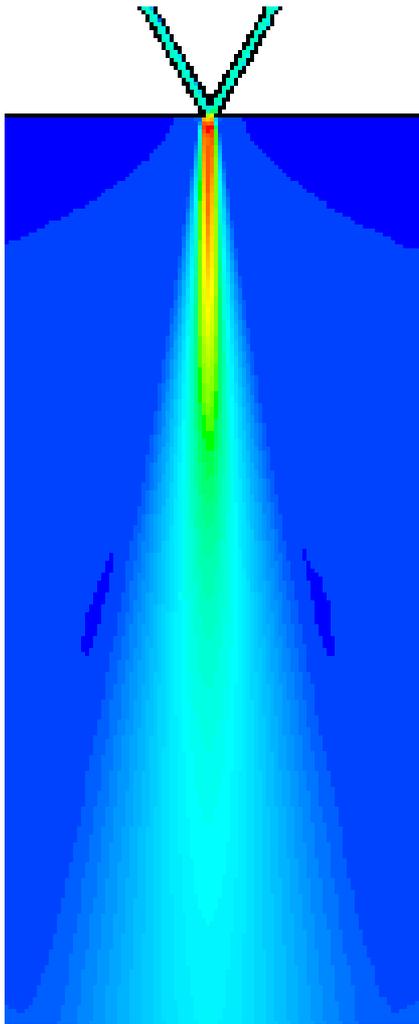


- Lochdurchmesser 0.3 mm
- Massendurchsatz 0.05 g / min / Loch

Dehnungsverlauf eines Massepunktes



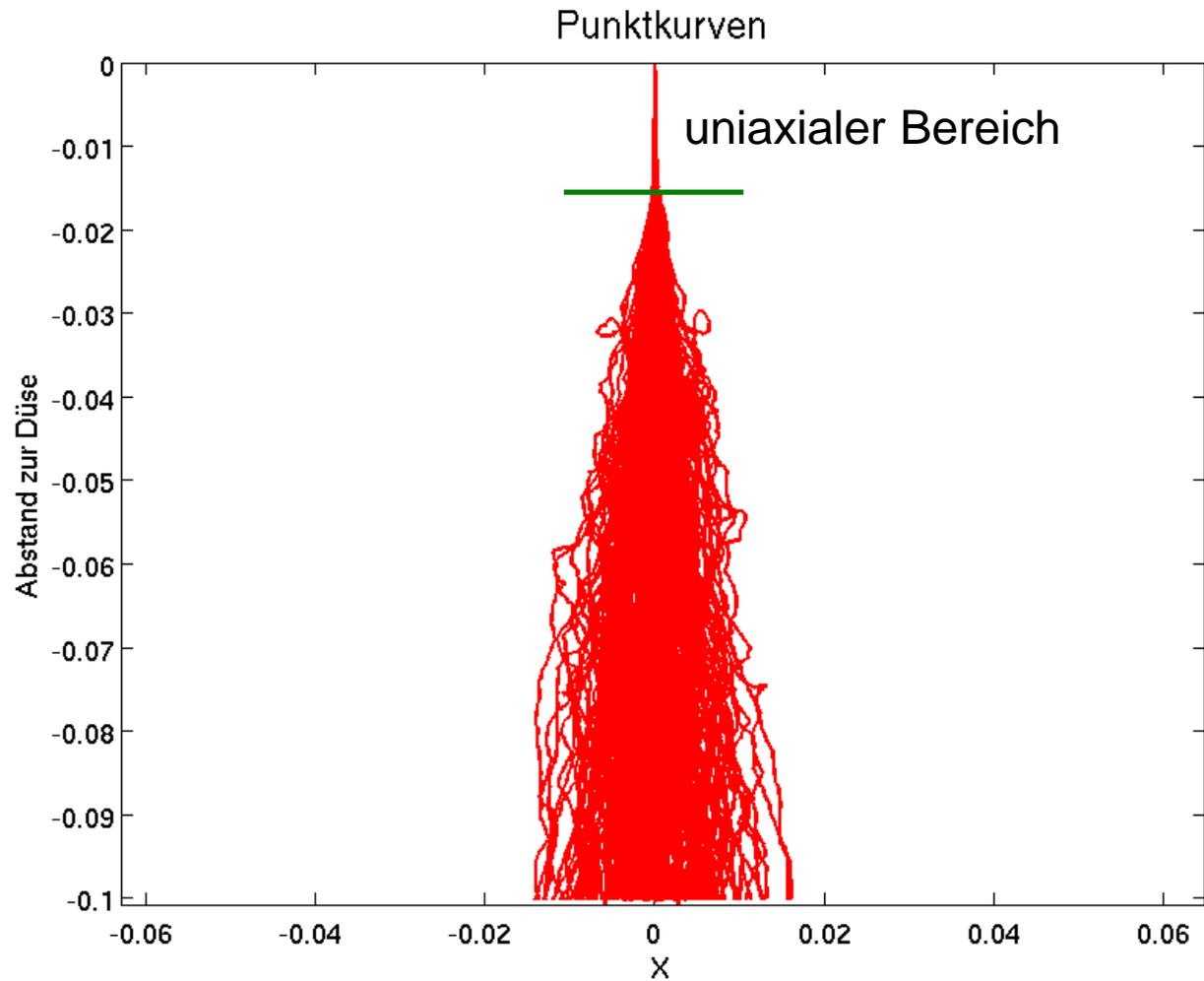
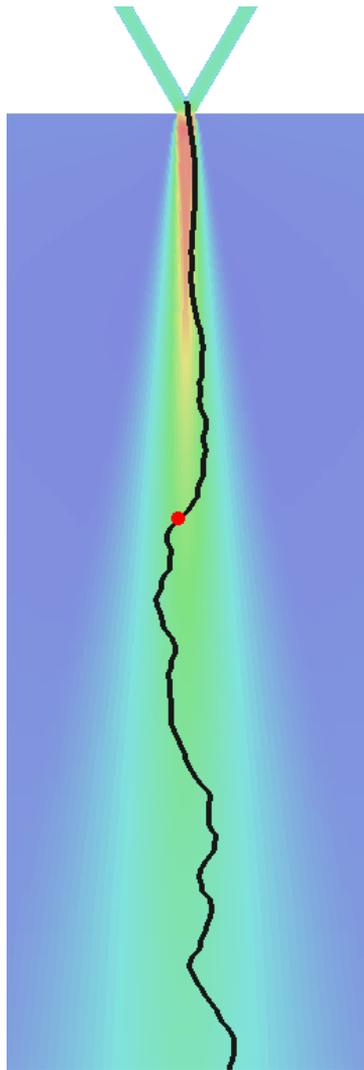
Dehnungsverlauf eines Massepunktes



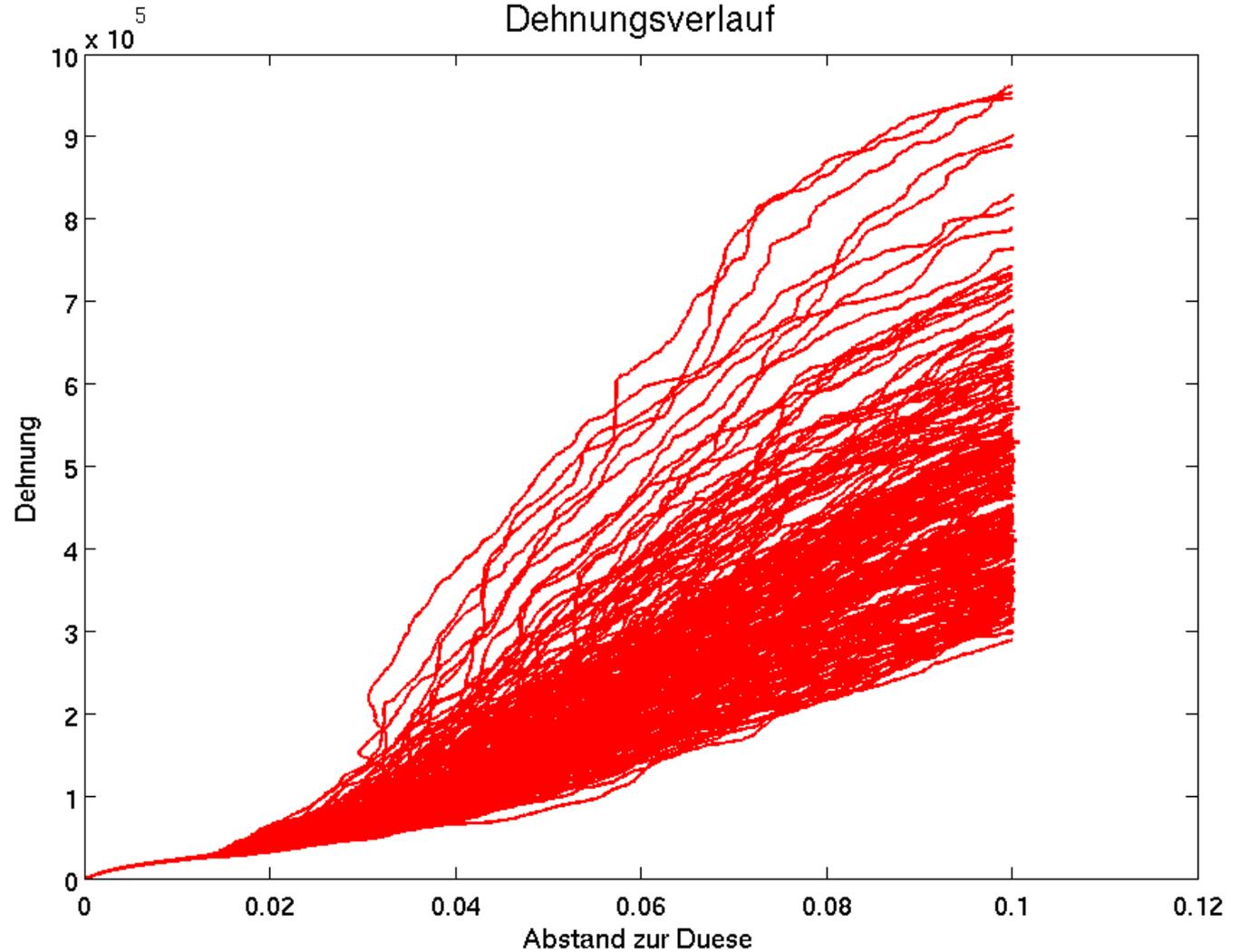
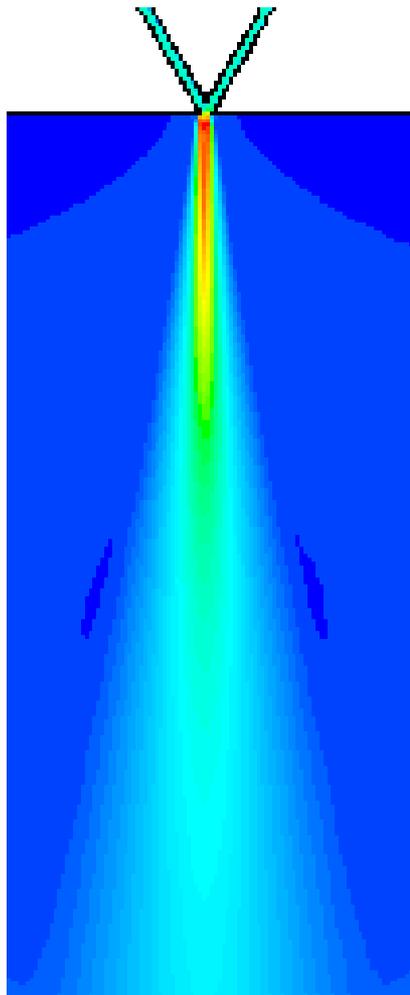
3 Phasen

- Filament wird bis auf Luftgeschwindigkeit beschleunigt.
- Filament hat Luftgeschwindigkeit erreicht und wird nicht weiter gedehnt.
- Turbulenz beginnt das Filament weiter zu dehnen.

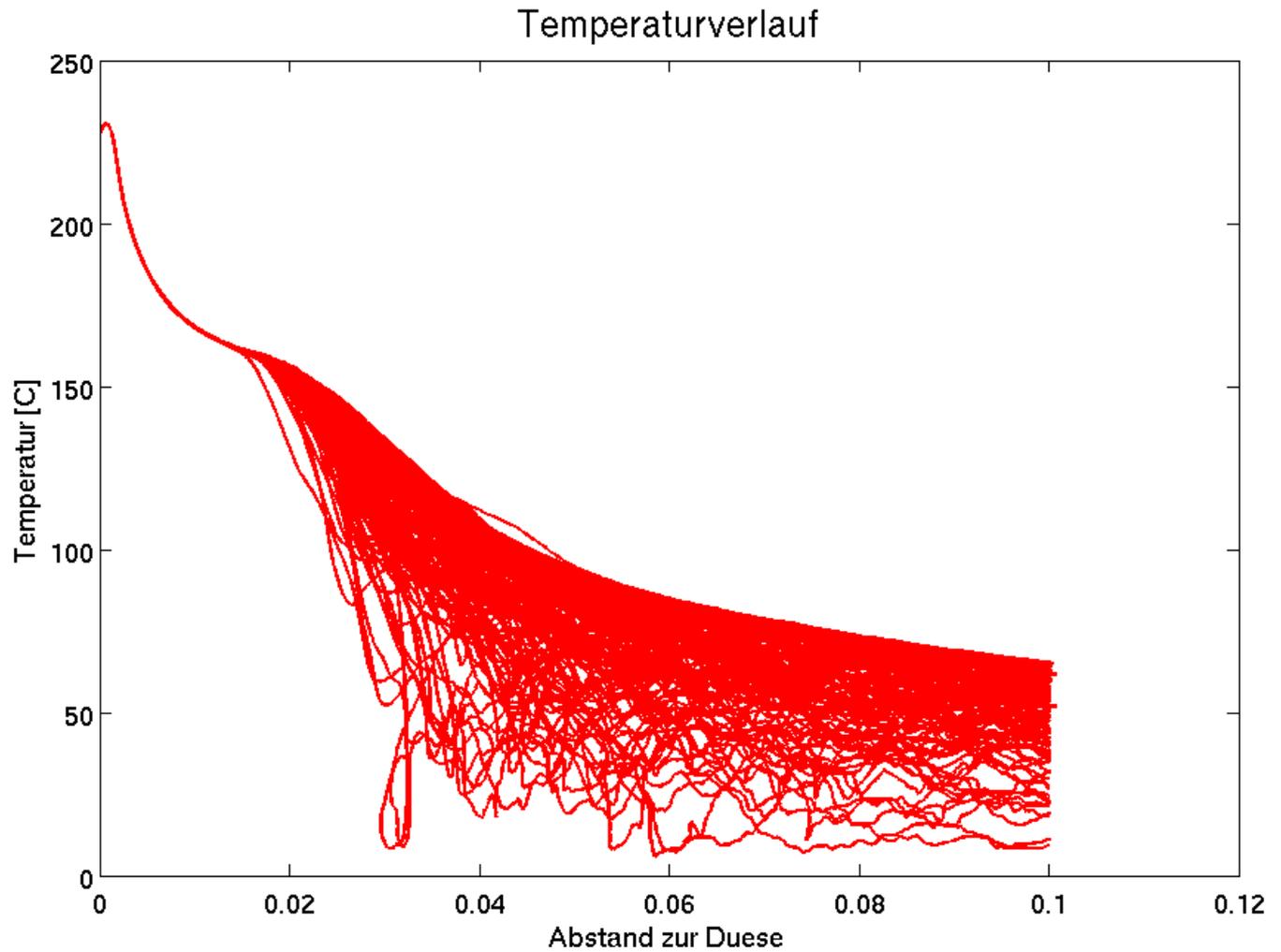
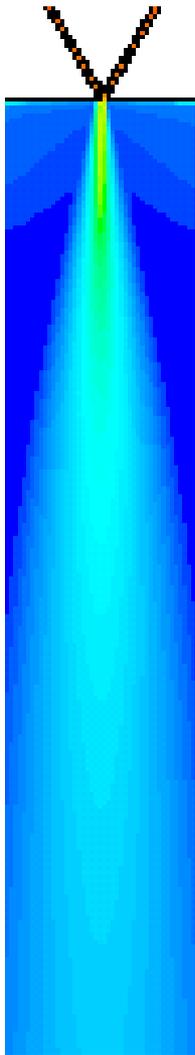
Statistische Auswertung: Punktbahnen



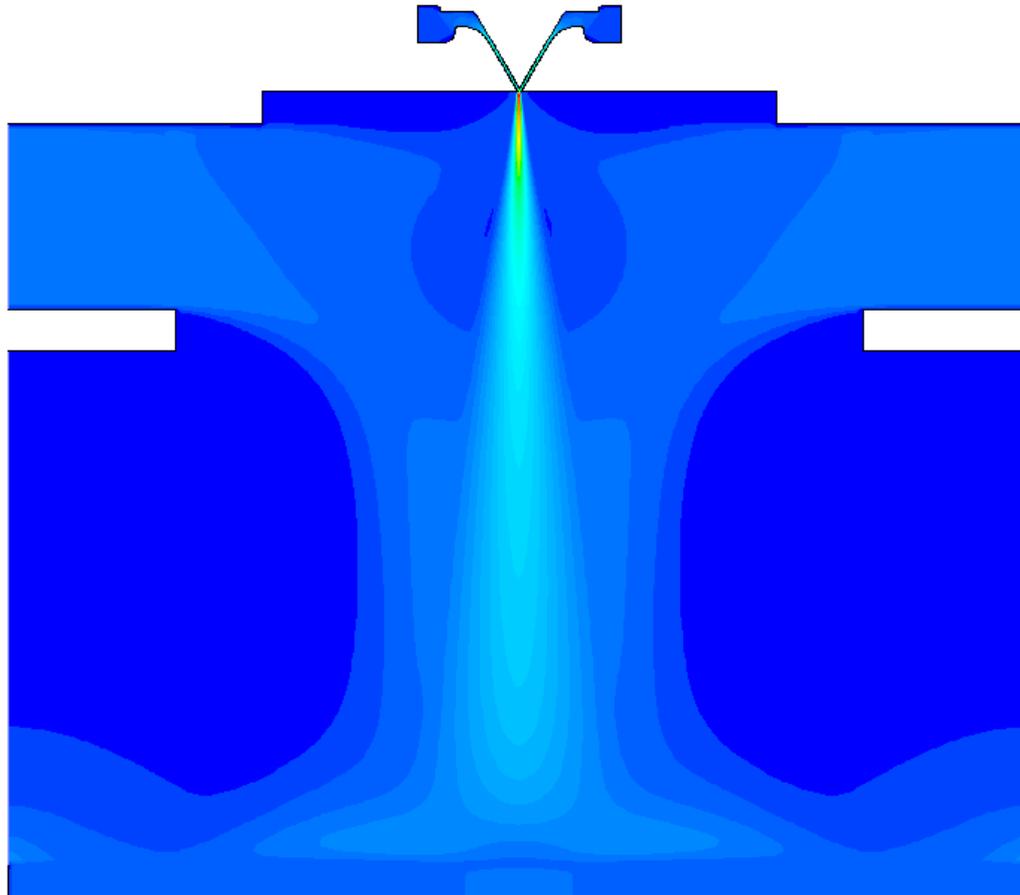
Statistische Auswertung: Dehnung



Temperaturverlauf



Möglichkeiten der Prozessoptimierung durch Parameterstudien



- Prozessluft
 - Druck
 - Massenstrom
 - Temperatur
- Quenchlufte
 - Druck
 - Temperatur
- Düsengeometrie
 - air gap
 - end gap
 - set back

Zusammenfassung und Ausblick

- Simulationsmodelle und Simulationstools

- für die Luftströmung und für
- für den Dehnungsprozess

wurden entwickelt und stehen für weitere Optimierungsschritte zur Verfügung.

- Der Wirkmechanismus der Meltblown-Düse, insbesondere die Bedeutung und Wirkung der Turbulenz, konnte durch Simulationen mit dem Dehnungsmodell besser verstanden werden.
- Die Simulationsergebnisse stimmen qualitativ mit den Versuchsergebnissen der Meltblown-Anlagen am ITV Denkendorf überein.
- Optimierung und Neugestaltung der Meltblown-Düse ist nun simulationsbasiert möglich.

Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit!