
„Nano“-Meltblown-Fasern:



Technologieentwicklung durch Verknüpfung von Simulation und Experiment

Till Batt (ITV Denkendorf)

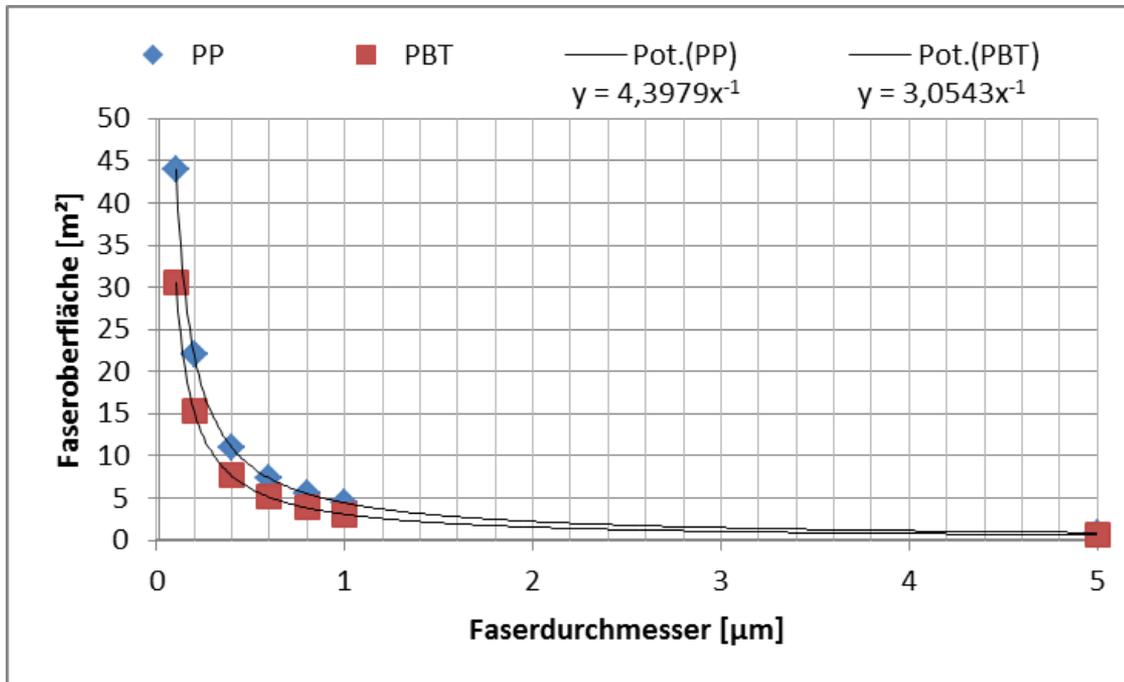
Dr. Dietmar Hietel (Fraunhofer ITWM, Kaiserslautern)

7. November 2012

Inhalt

- Ziele des NaBlo-Projekts
- Konsortium des NaBlo-Projekts
- Der Meltblown-Prozess
- CFD-Analyse des Meltblown-Prozesses
- Experimentelle Untersuchungen
 - Düsengeometrie
 - Polymereigenschaften
- Modell zur Fadenverstreckung in turbulentem Luftstrom
- Ergebnisse der Faserdurchmesser-Analysen
- Simulation der Vliesstrukturen
- Ausblick

Ziele: feine Faserdurchmesser = extrem hohe Faseroberfläche

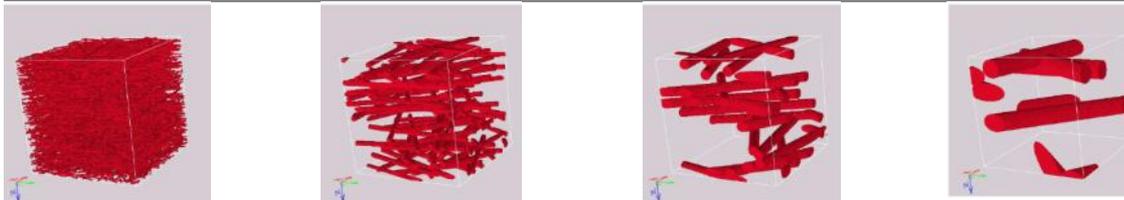


$$S_o = \frac{4}{\rho \cdot d} \left[\frac{m^2}{g} \right]$$

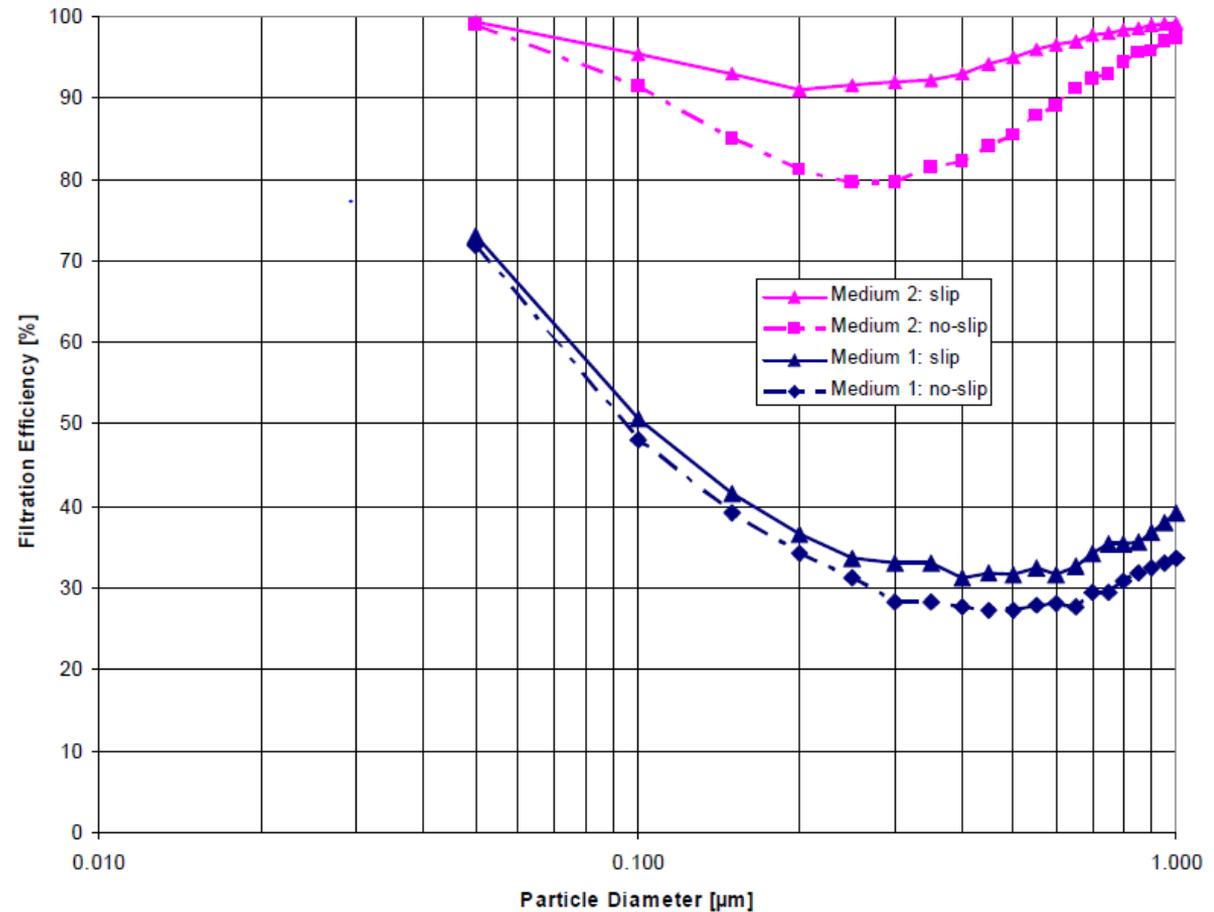
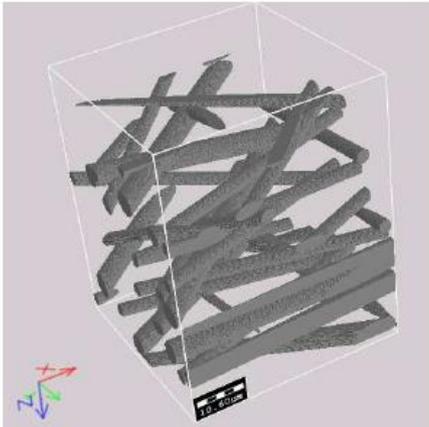
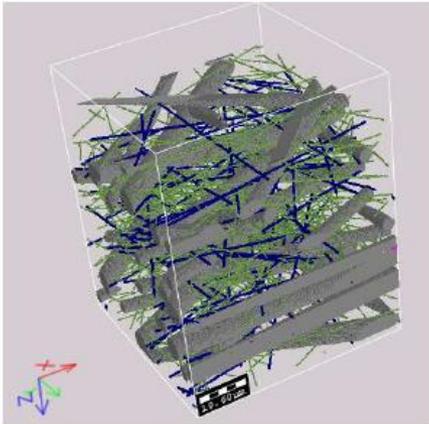
Faseroberfläche:

1 g 5,0 µm Faser = 0,9 m²

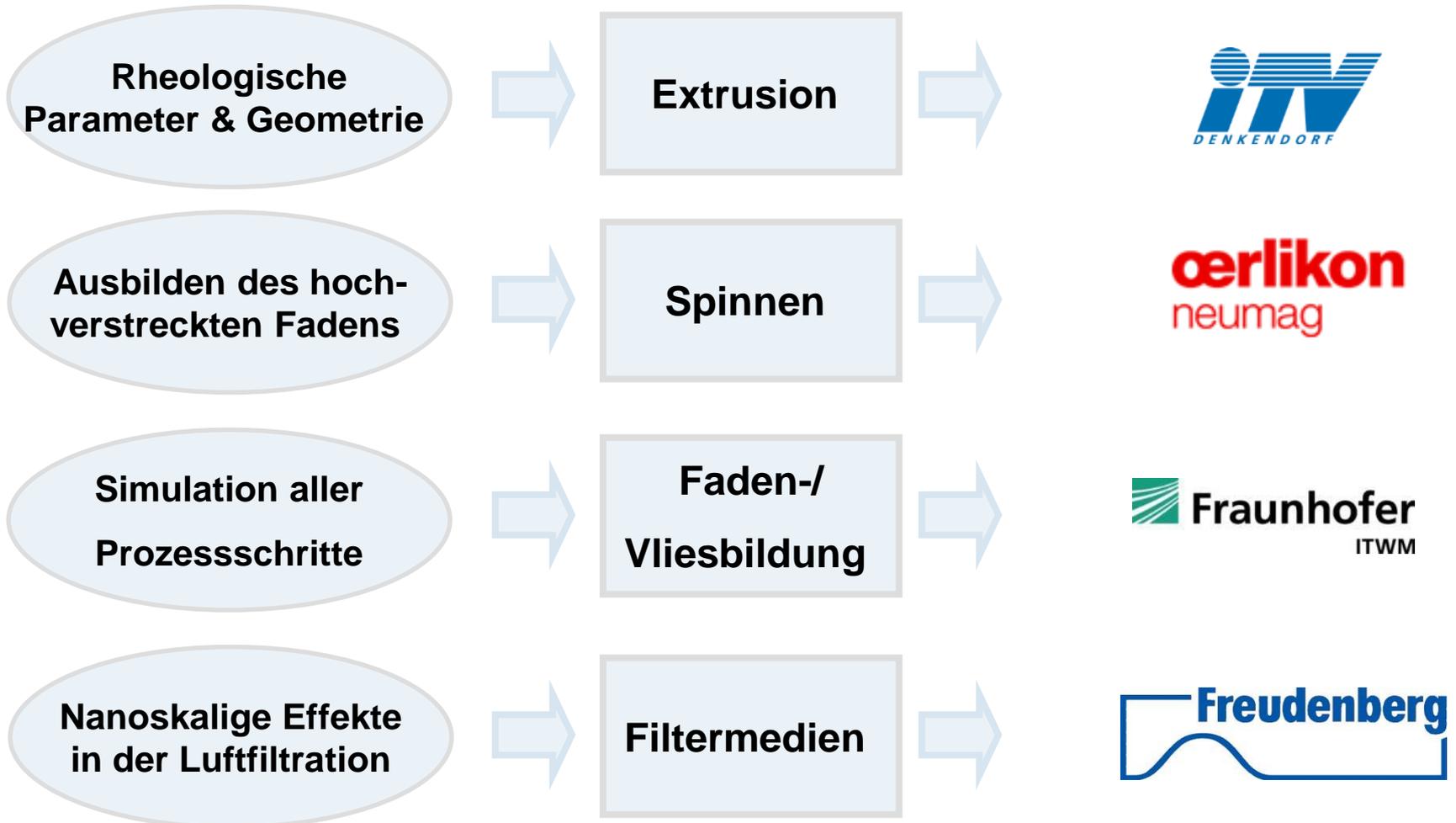
1 g 0,1 µm Faser = 44,0 m²



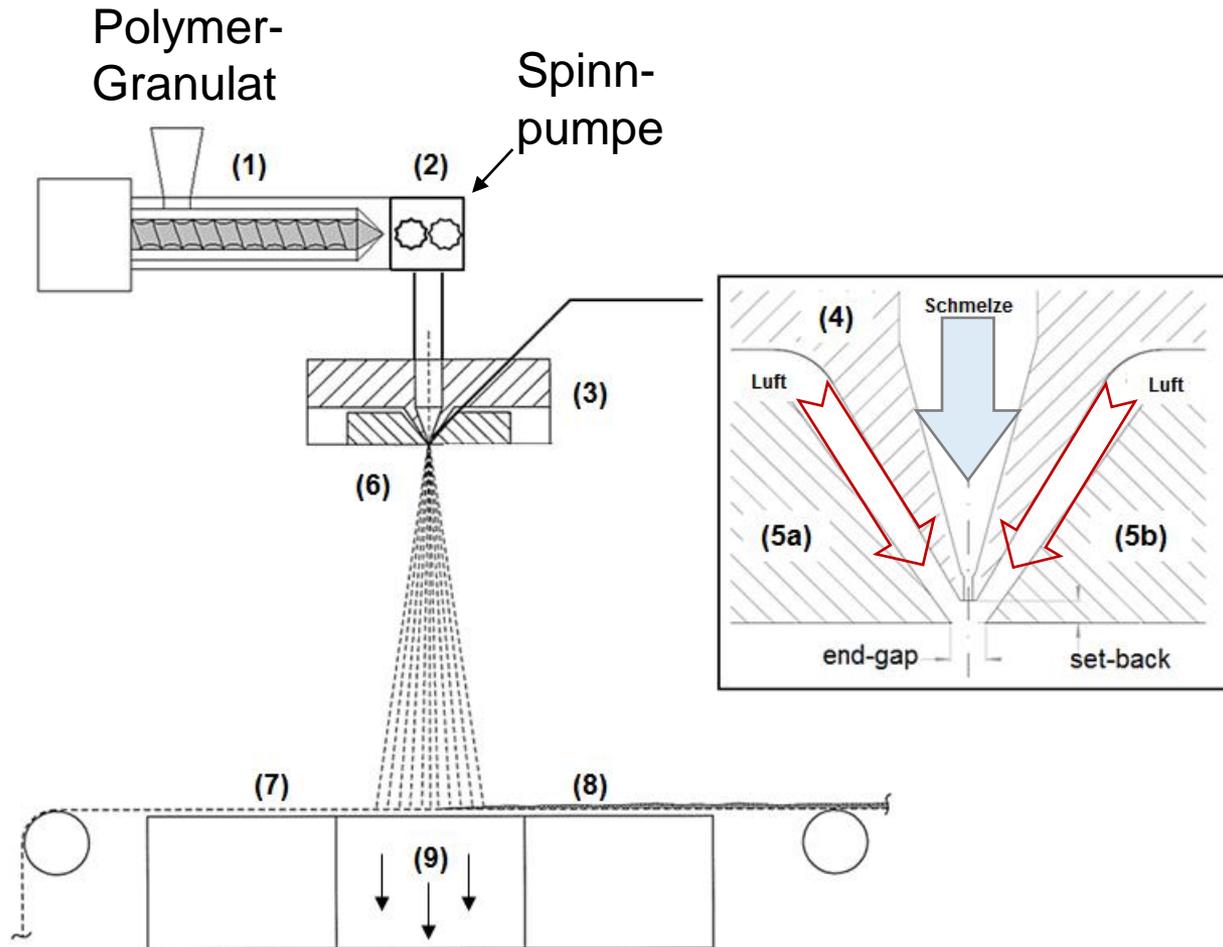
Slip-Flow-Effekt im nanoskaligen Bereich



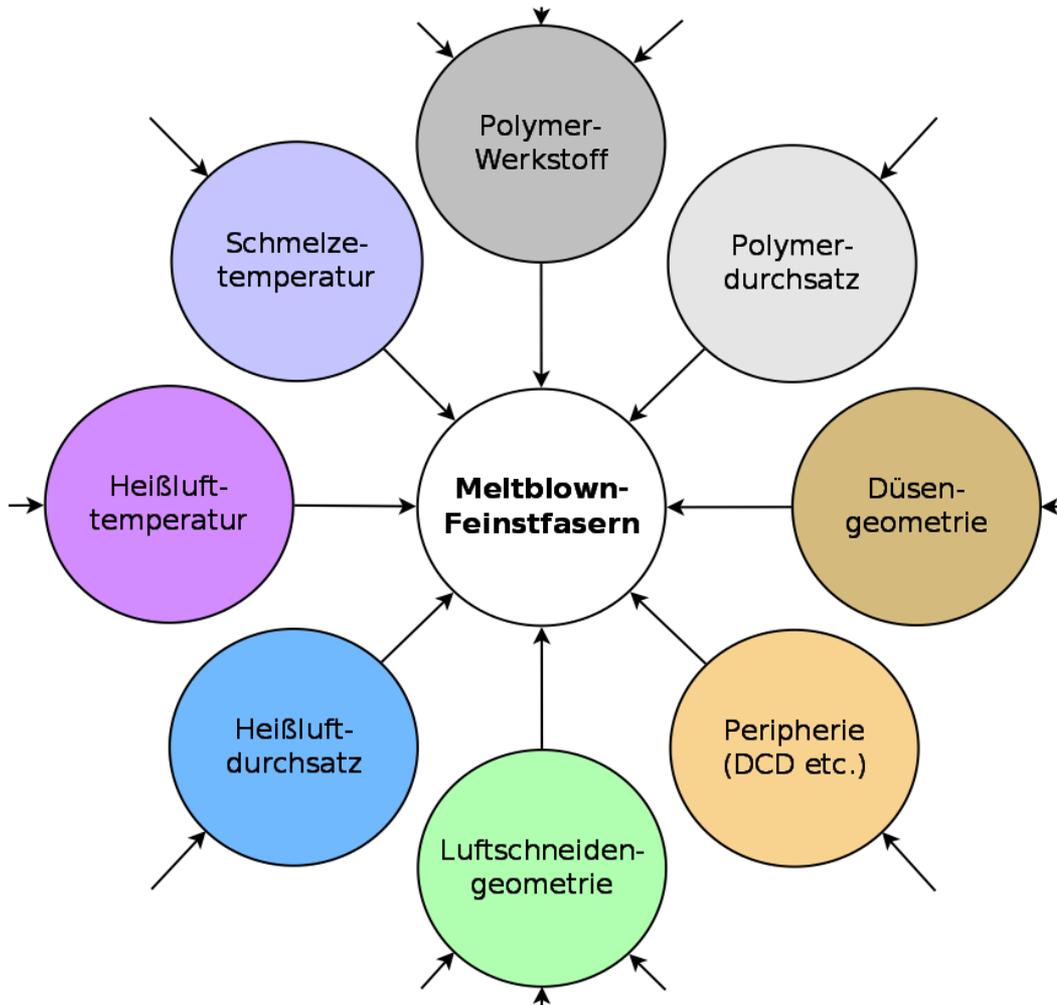
Konsortium des NaBlo-Projekts



Der Meltblown-Prozess



Der Meltblown-Prozess



Theoretische Fadengeschwindigkeit

$$v_f = \frac{\dot{V}_{h^o}}{d_f^2 \cdot \pi \cdot 4}$$

Bezeichnung	Wert	Einheit
Kapillardurchsatz	0,05	g/min
Polymerdichte (PP) 210°C	0,75	g/cm ³
Volumenstrom bei 210°C	0,067	cm ³ /min
Kapillardurchmesser	3E-04	m
Kapillaraustrittsfläche	7E-08	m ²
Austrittsgeschwindigkeit der Schmelze	0,943	m/min
Faserdurchmesser	3E-07	m
Faserquerschnittsfläche	7E-14	m ²
Theoret. Fasergeschwindigkeit	9E+05	m/min

Dabei sind:

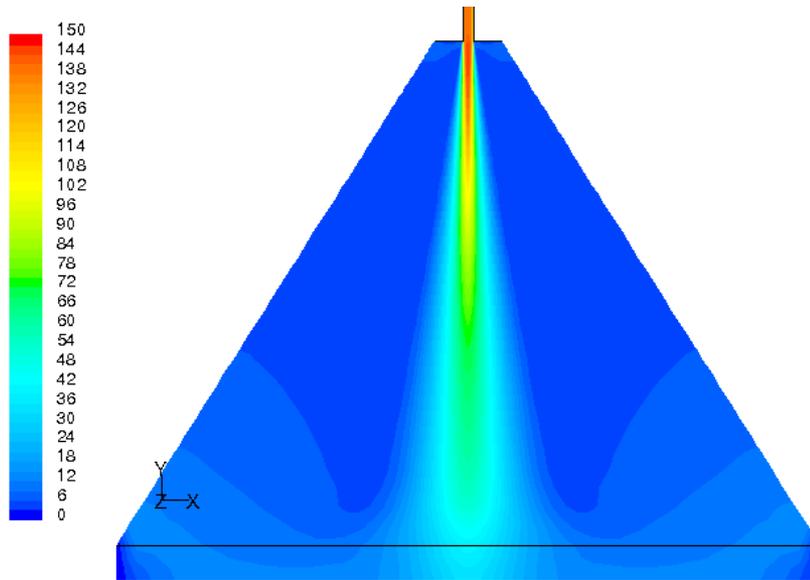
v_f theoretische Fadengeschwindigkeit
 V_{h^o} Volumenstrom des Polymers
 d_f Faserdurchmesser

- „Meltblow-Paradoxon“ – Faserfeinheit mit linearem Modell nicht erklärbar!

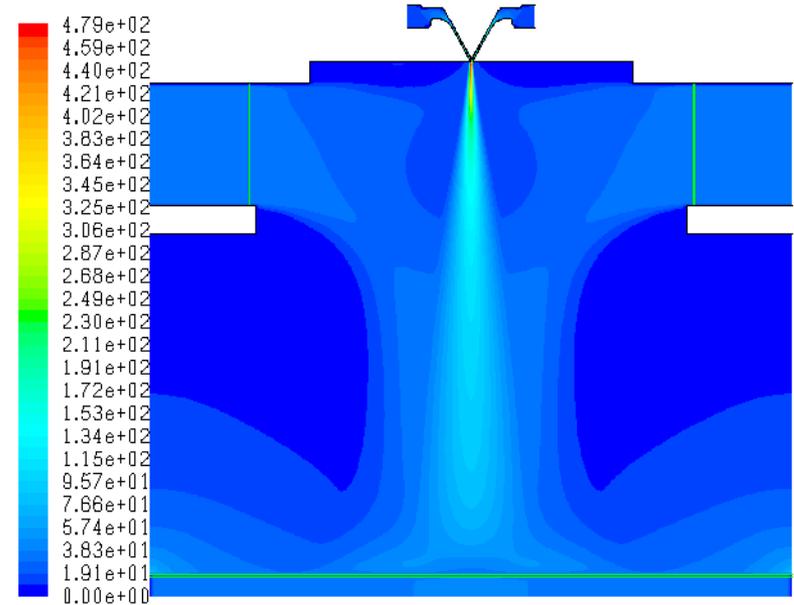
Inhalt

- Ziele des NaBlo-Projekts
- Konsortium des NaBlo-Projekts
- Der Meltblown-Prozess
- **CFD-Analyse des Meltblown-Prozesses**
- Experimentelle Untersuchungen
 - Düsengeometrie
 - Polymereigenschaften
- Modell zur Fadenverstreckung in turbulentem Luftstrom
- Ergebnisse der Faserdurchmesser-Analysen
- Simulation der Vliesstrukturen
- Ausblick

Prinzipieller Unterschied im Freitrag zwischen Spunbond und Meltblown

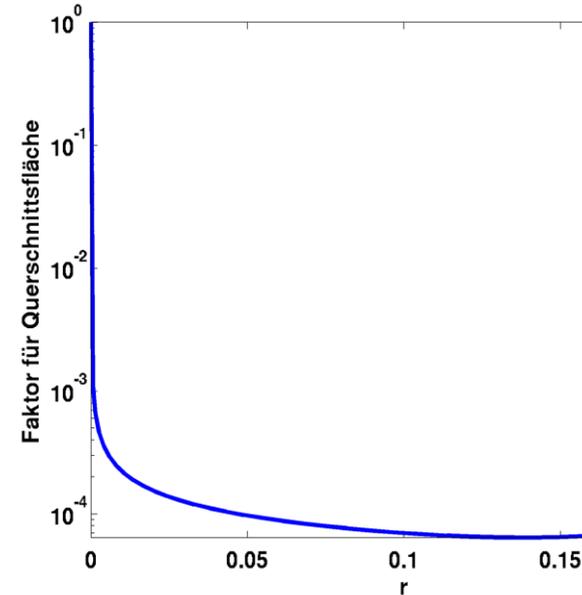
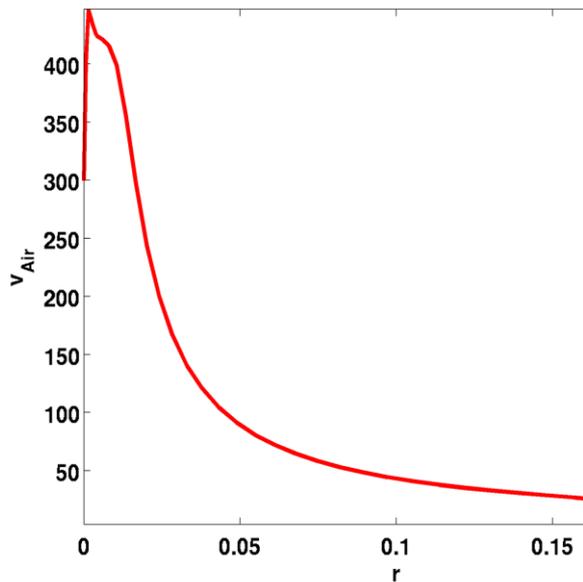


Spunbond: Verwirbelung der zuvor bereits verstreckten und abgekühlten Filamente im Freitrag und Ablage



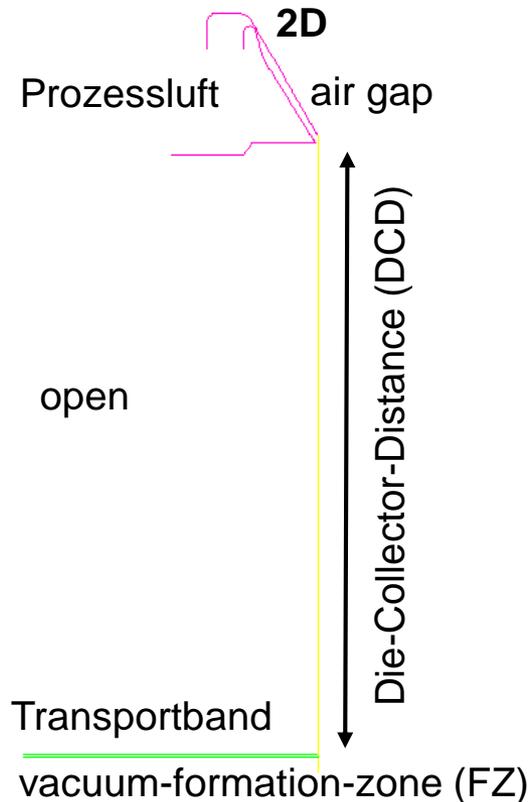
Meltblown: Verstreckung der Polymerschmelze ausgehend von der Düse im Freitrag und Ablage

Meltblown-Paradoxon – uniaxiales Modell

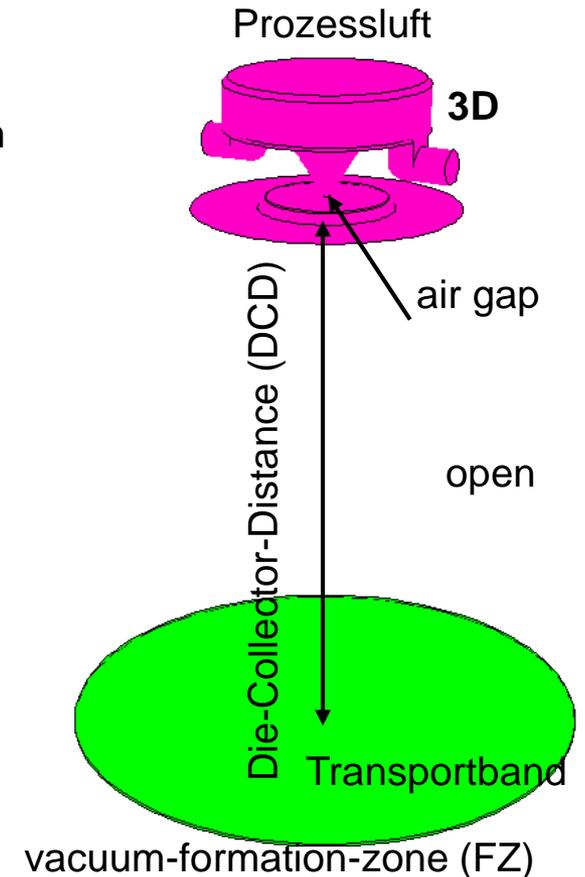


- Der größte Anteil der Verstreckung findet kurz hinter der Düse statt.
- Gesamtverstreckung kann uniaxial aber nicht erklärt werden.
- Hoher Verstreckgrad mit peitschender Filamentbewegung verknüpft.

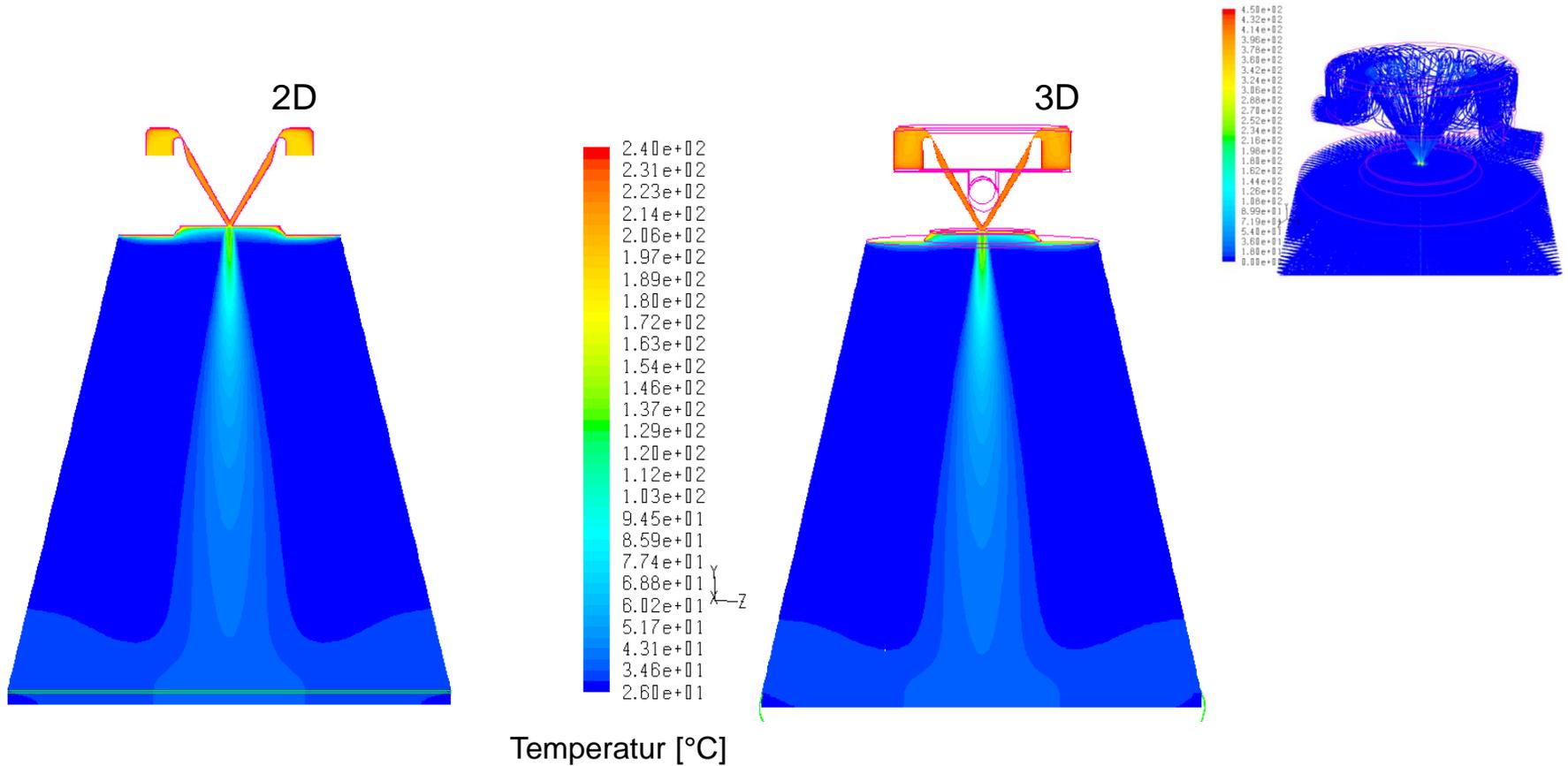
Strömungssimulation Monodüse



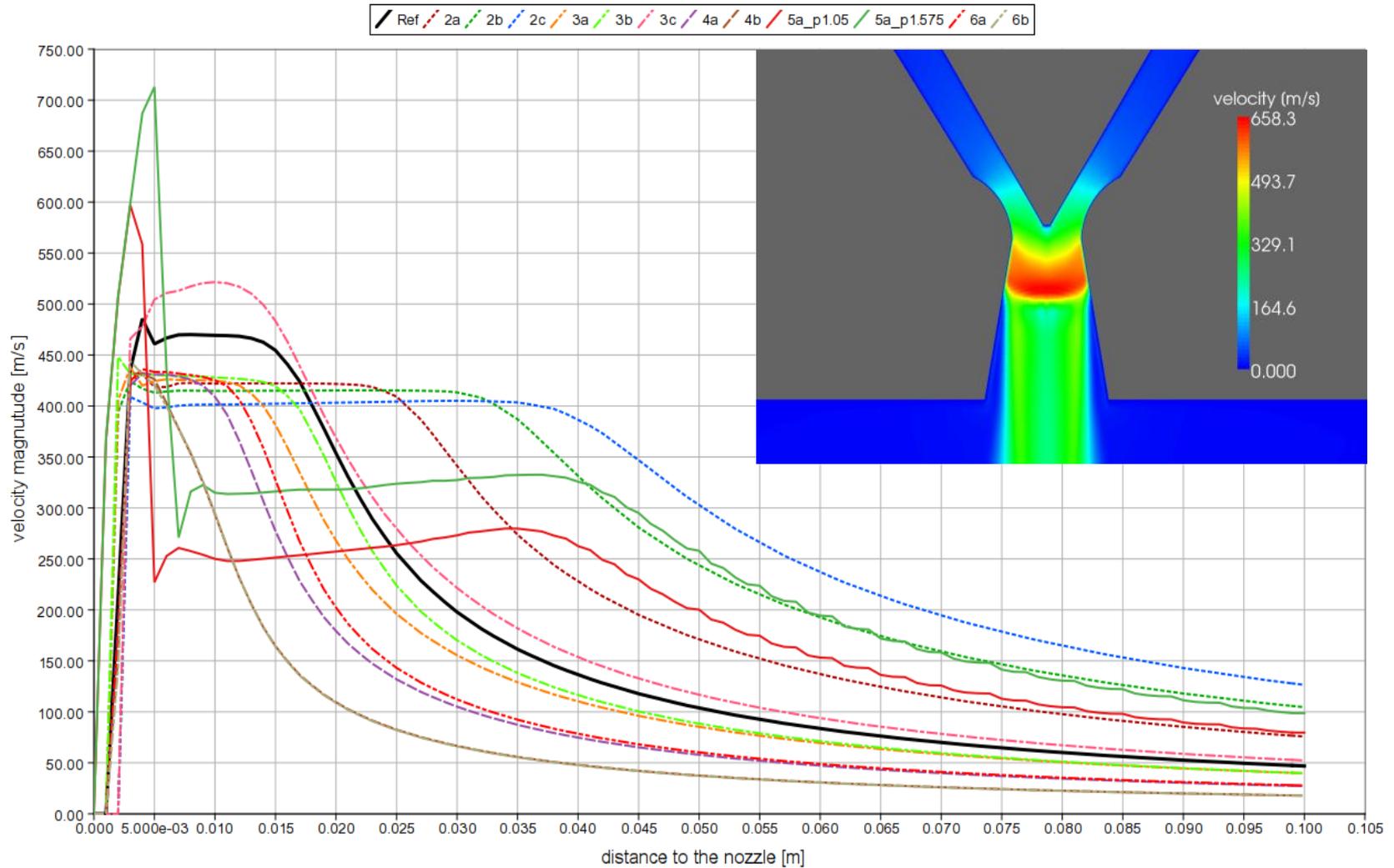
- Air gap 2 mm und DCD 200 mm
- Prozessluft:
Volumenstrom 4 m³/h
- Spindüsentemperatur 240 °C
- Umgebungsdruck 1 bar und
Temperatur 26 °C
- Formation-Zone FZ0 %
- Luftdurchlässigkeit
Transportband 8100 m³/m²/h



Vergleich 3D- und 2D-Simulationen



Spektrum möglicher Luftschneidenvarianten

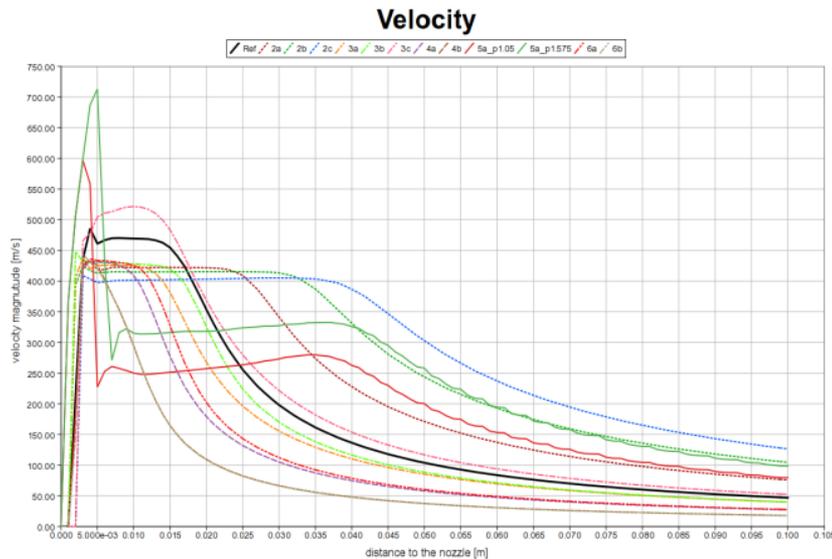


Inhalt

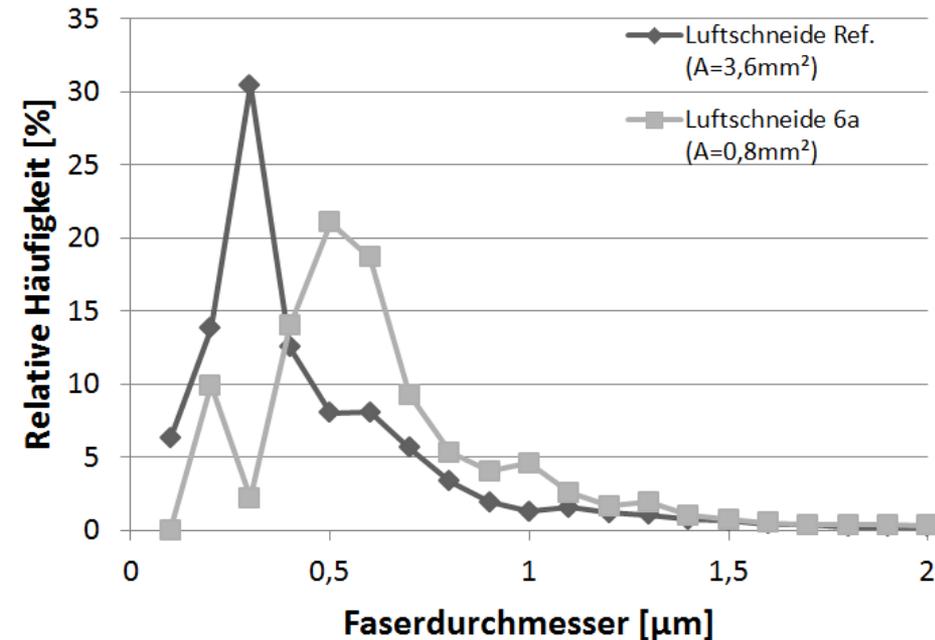
- Ziele des NaBlo-Projekts
- Konsortium des NaBlo-Projekts
- Der Meltblown-Prozess
- CFD-Analyse des Meltblown-Prozesses
- Experimentelle Untersuchungen
 - Düsengeometrie
 - Polymereigenschaften
- Modell zur Fadenverstreckung in turbulentem Luftstrom
- Ergebnisse der Faserdurchmesser-Analysen
- Simulation der Vliesstrukturen
- Ausblick

Einfluss der Luftschneidengeometrie

Strömungssimulation

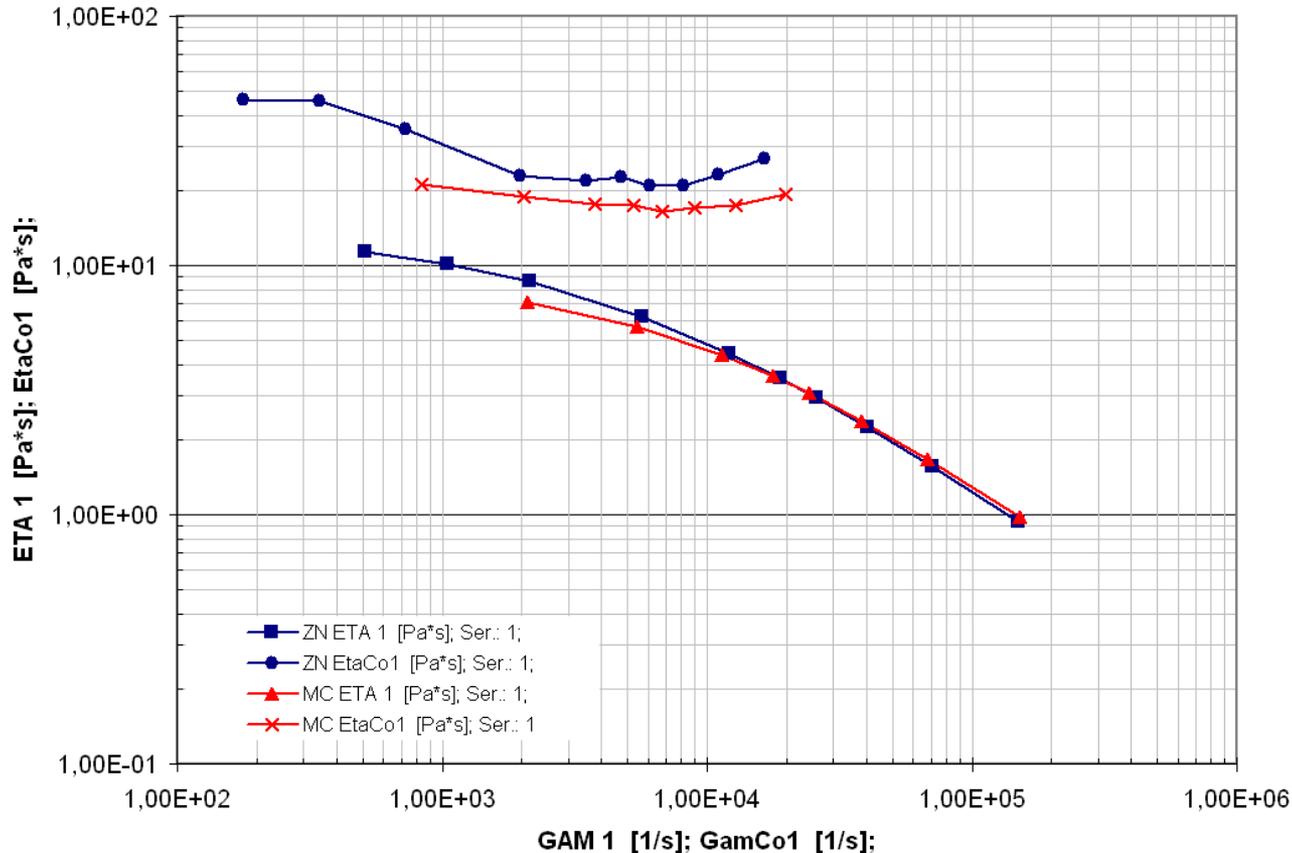


Experimentelle Umsetzung



■ Optimierung der Luftschneidengeometrie: hoher Einfluss auf Faser- \emptyset

Kapillarrheometrie

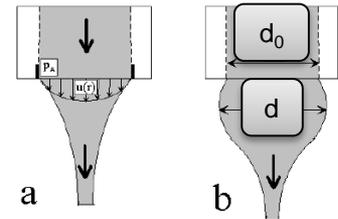
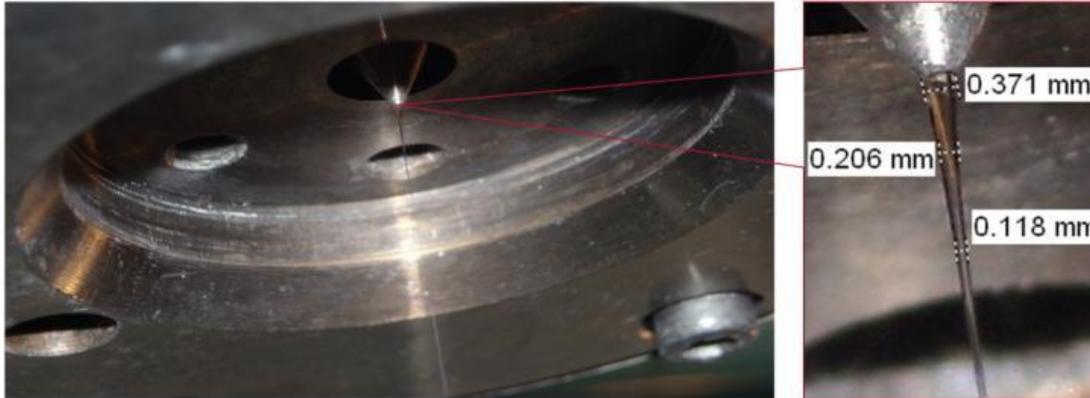


Quelle: *Göttfert*

- Sehr geringe Viskosität: MFR 1200 g/10min ~ < 10 Pa*s, Strukturviskosität & Dehnverfestigung!

Polymereigenschaften

Strangaufweitung



$$\text{Schwellwert} = \frac{d}{d_0}$$

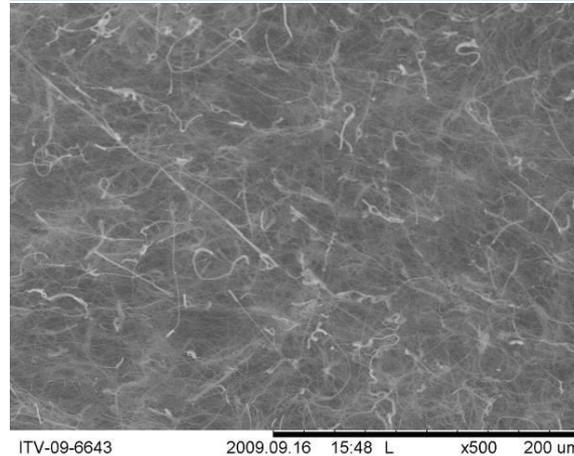
- Strangaufweitung bei geringer Viskosität und Durchsatz nicht relevant!

Polymereigenschaften

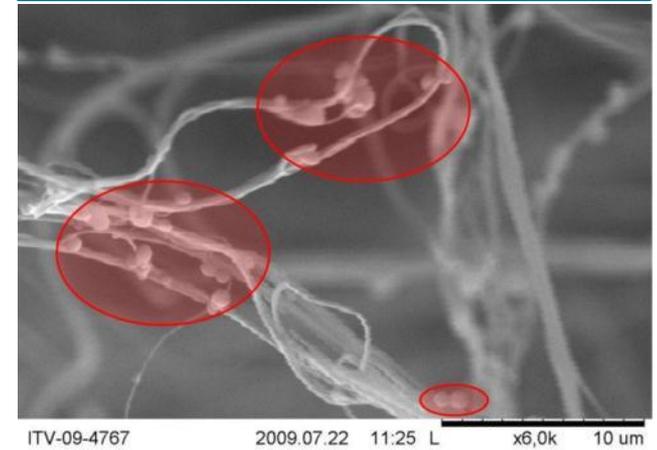
Faserflug



Kurzfasern



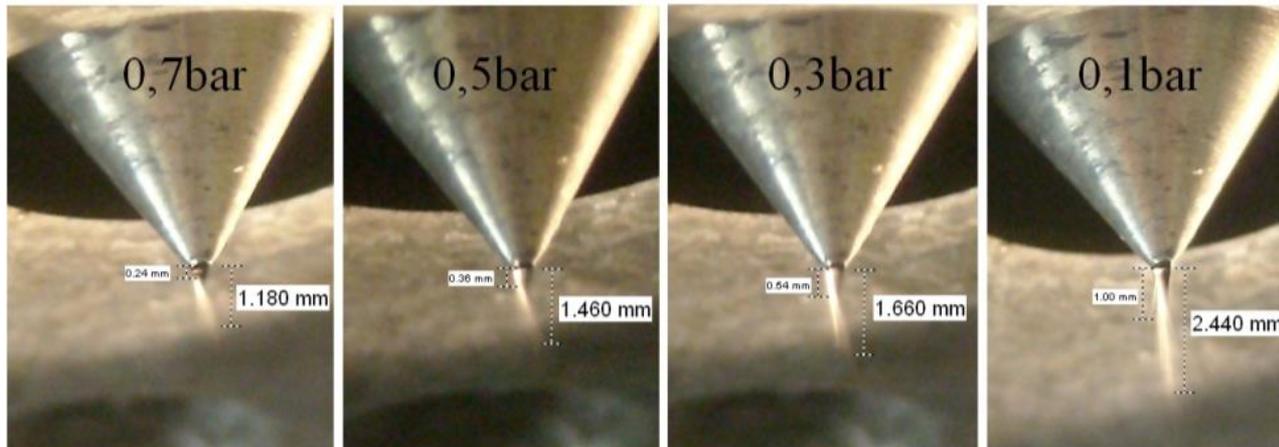
Sphärische Partikel



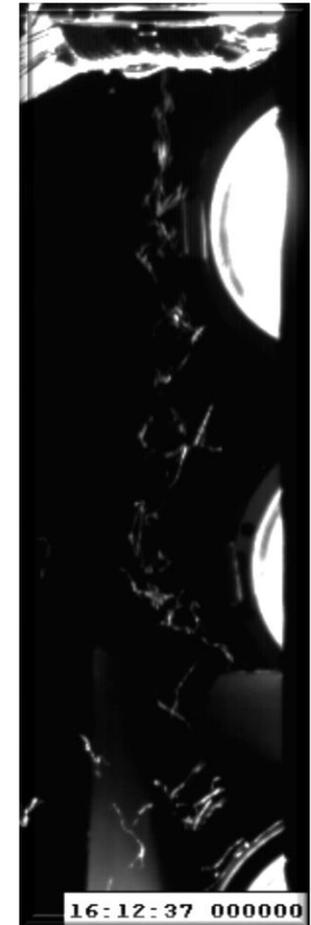
- Kontrolle der Viskosität notwendig, da sonst Prozess massiv gestört!

Foto- und Videotechnik - Monodüsen

Visualisierung des Übergangs von der uniaxialen in die turbulente Fadendynamik in Abhängigkeit der Prozessluft



- Faserbildungsprozess: Abgleich mit Simulation (ITWM)
 - Berechnung der Fadengeschwindigkeit über Belichtungszeit der Hochgeschwindigkeits-Aufnahmen und gemessenen Weg
 - Fadengeschwindigkeiten bis 400 m/s!



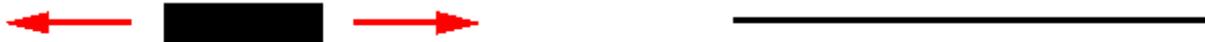
Inhalt

- Ziele des NaBlo-Projekts
- Konsortium des NaBlo-Projekts
- Der Meltblown-Prozess
- CFD-Analyse des Meltblown-Prozesses
- Experimentelle Untersuchungen
 - Düsengeometrie
 - Polymereigenschaften
- **Modell zur Fadenverstreckung in turbulentem Luftstrom**
- Ergebnisse der Faserdurchmesser-Analysen
- Simulation der Vliesstrukturen
- Ausblick

Simulationsmodell für den Spinnprozess

■ Annahmen:

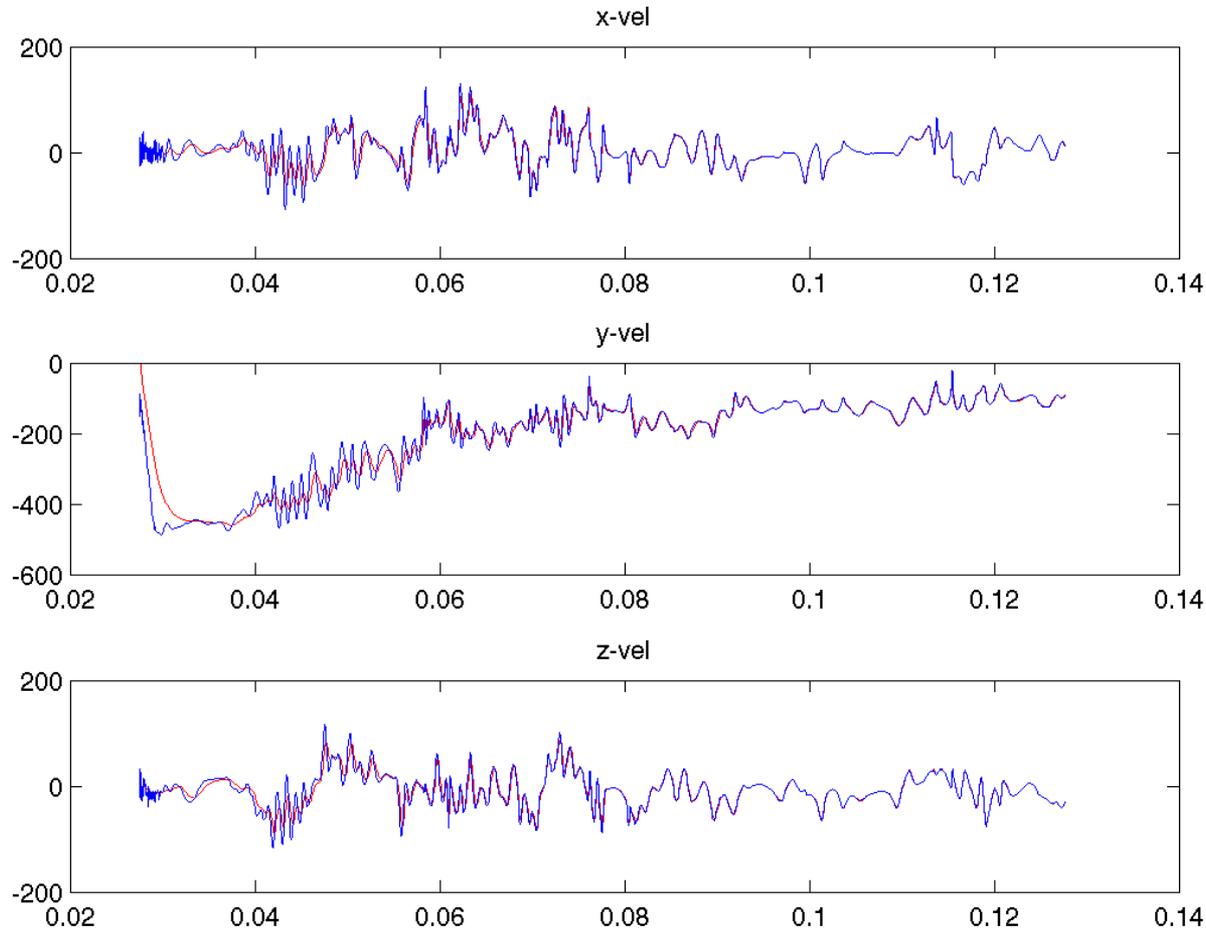
- Verstreckung kann durch die Verfolgung eines Fadenstücks im Luftstrom charakterisiert werden
- Faden kann nur gedehnt, jedoch nicht mehr gestaucht werden:
 - dicker Faden wird gestreckt: Faden wird dünner



- dünner Faden wird zusammengedrückt: Faden wird **nicht** dicker, sondern weicht aus



Luftgeschwindigkeit/Fadengeschwindigkeit

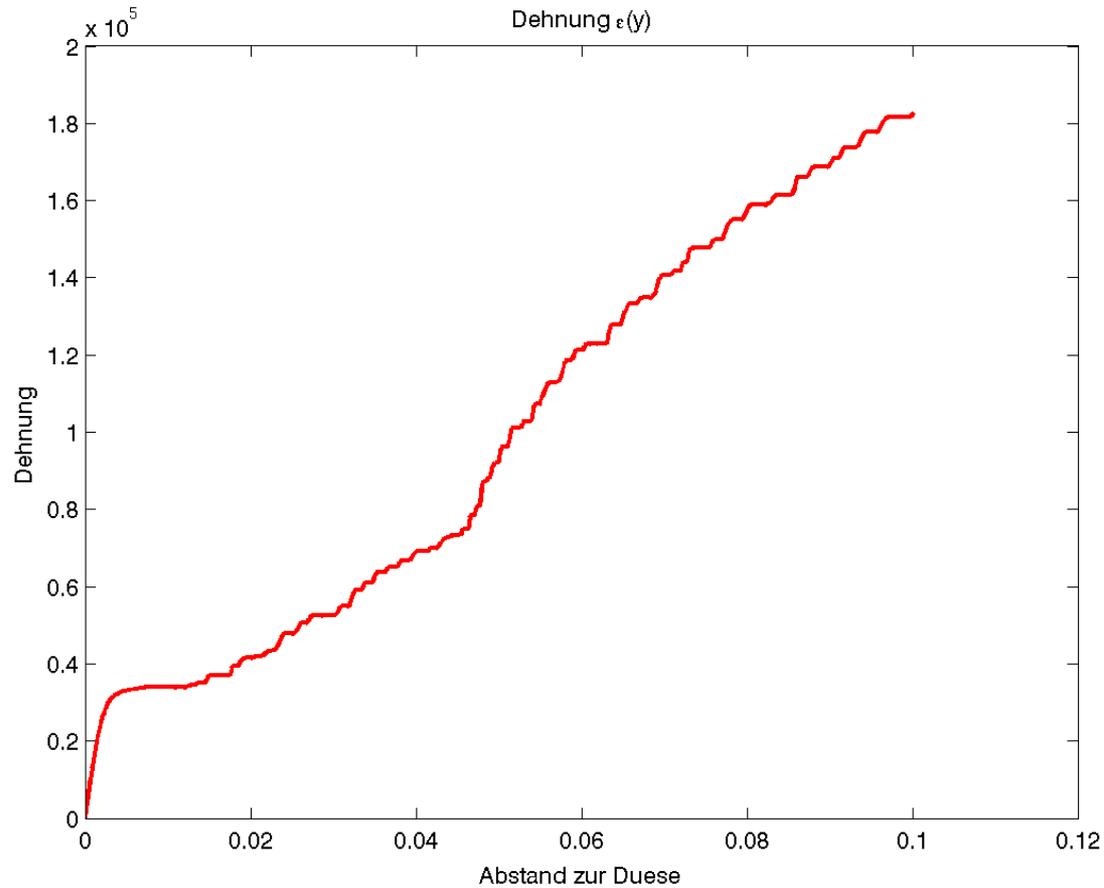


Maschinenrichtung

Höhenrichtung

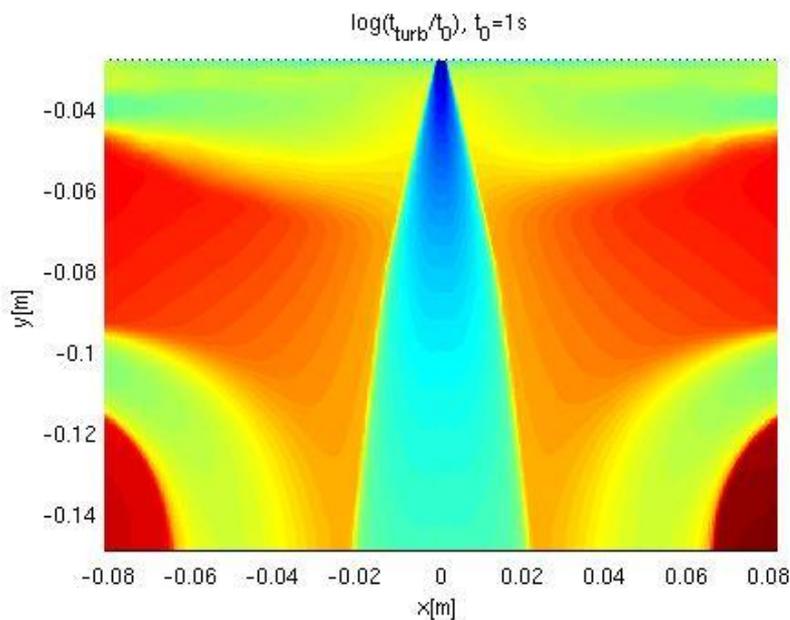
Querrichtung

Simulation der kumulierten Fadendehnung

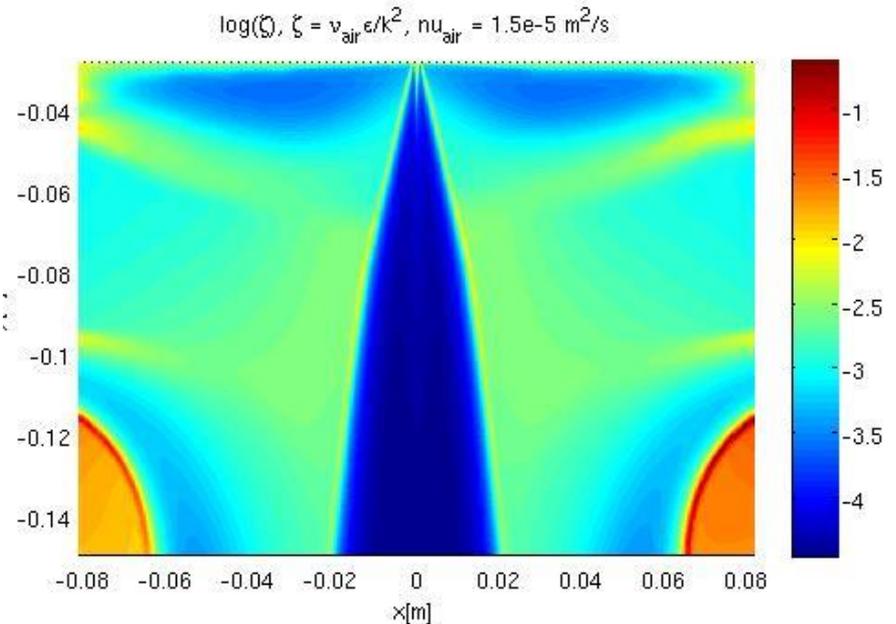


Analyse der Kenngrößen

- Turbulente Zeitskala größer als 10 ms und damit groß für Dynamik
- Turbulente Längenskala im Freistrahel im Bereich von mm und damit relevant für Dynamik

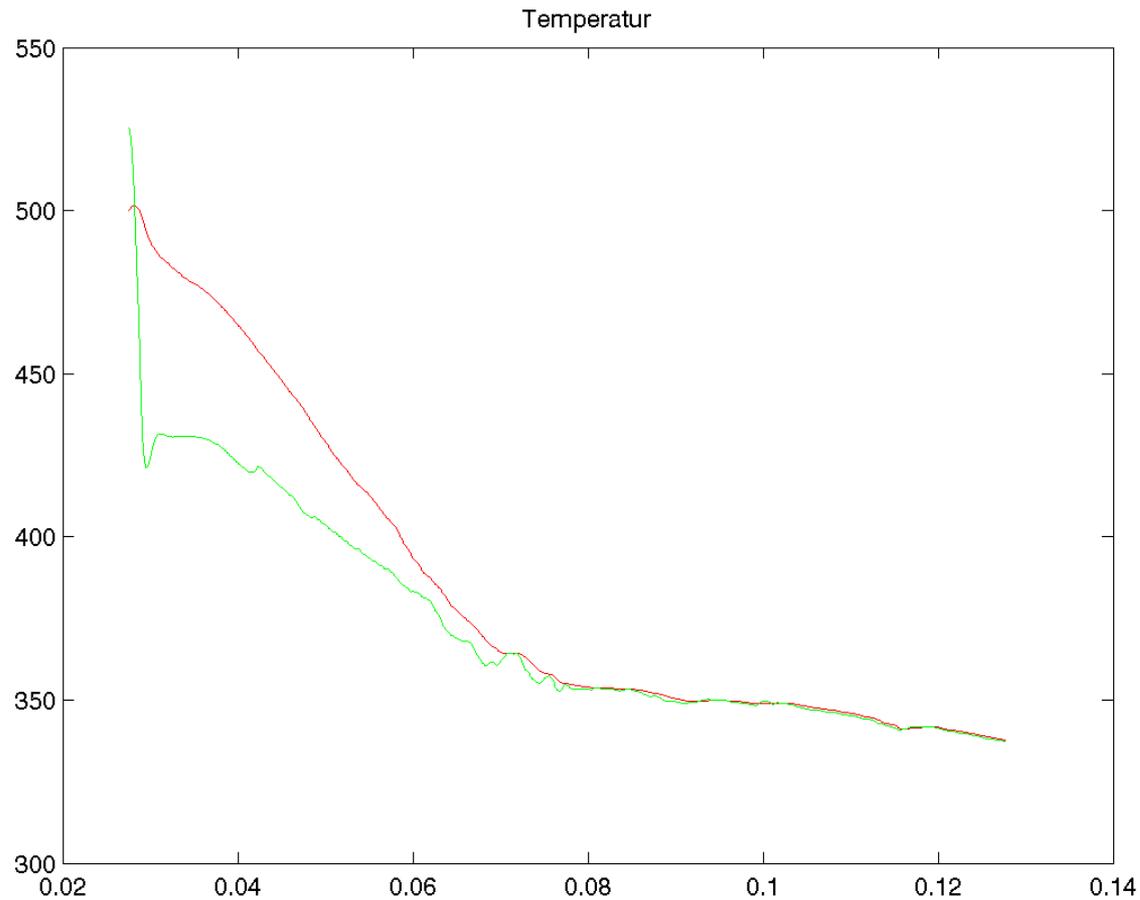


Turbulente Längenskala [Log in m]



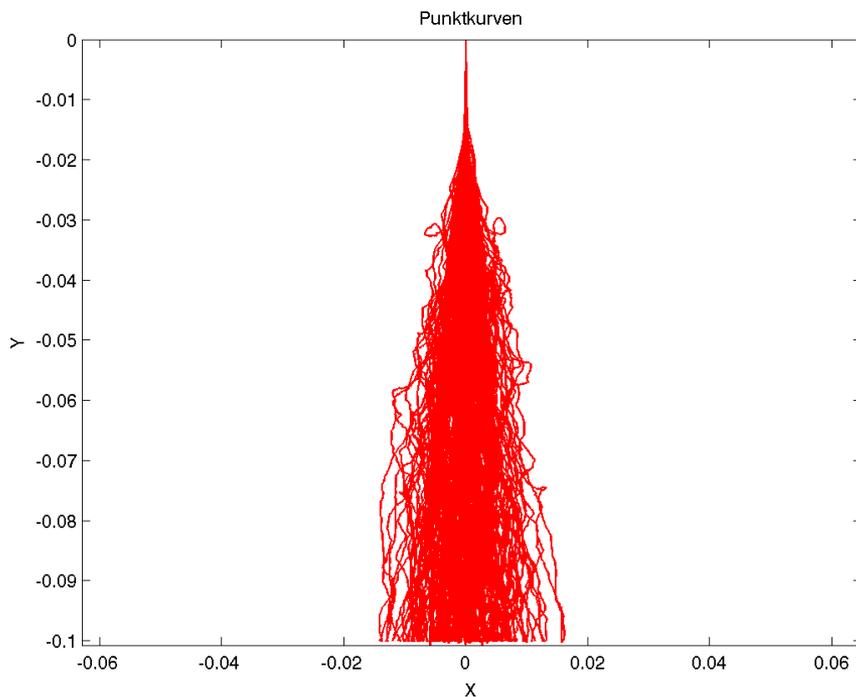
Relation der kleinen zu großen Turbulenzskalen [Log]

Vergleich Lufttemperatur/Fadentemperatur [K]

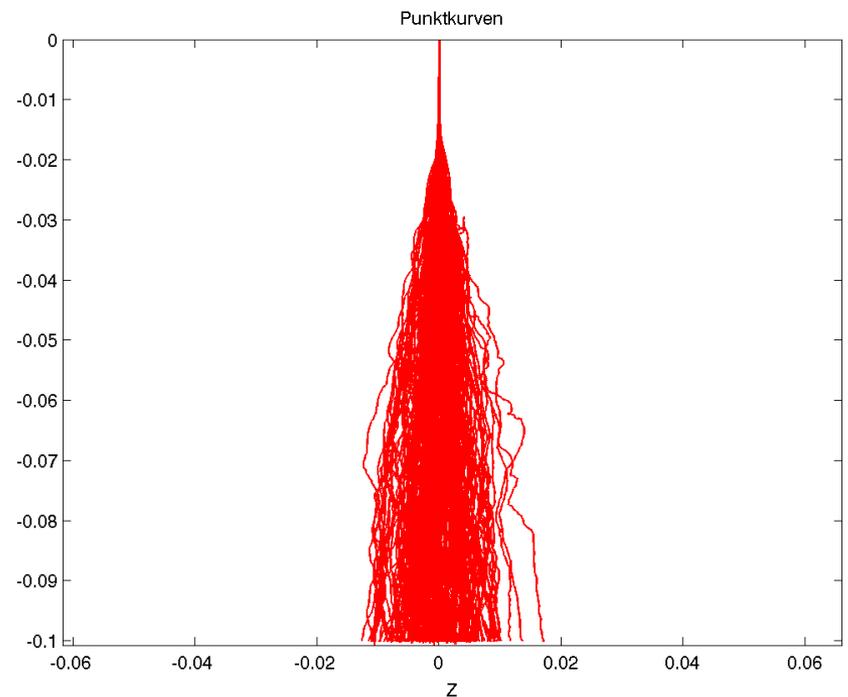


Spektrum der Punktbahnen (Neumag-Ref.)

- Verteilung der Filamente aufgrund stochastischer Schwankung durch Überlagerung vieler Punktbahnen (200 Realisierungen der Verstreckung)



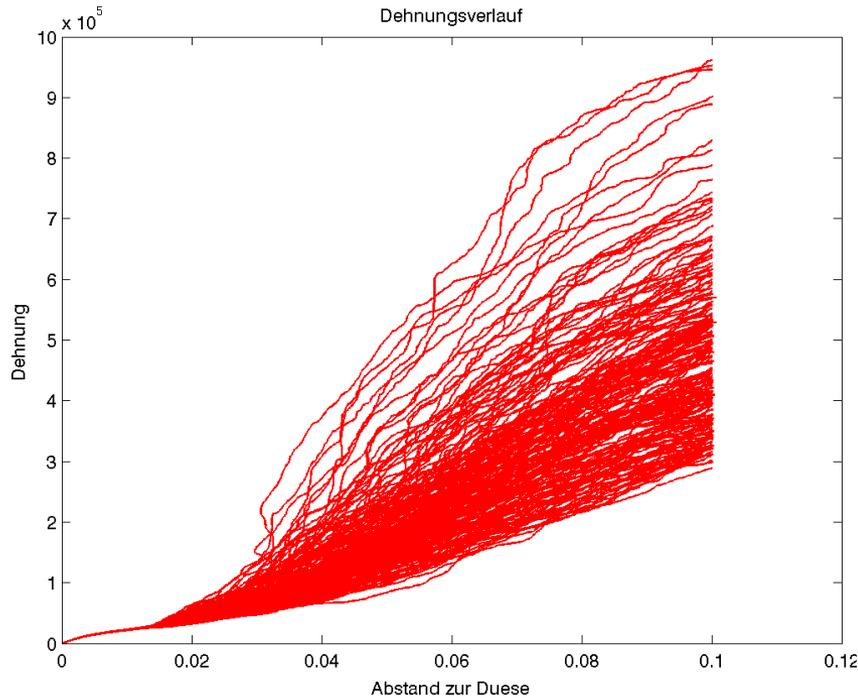
Maschinenrichtung



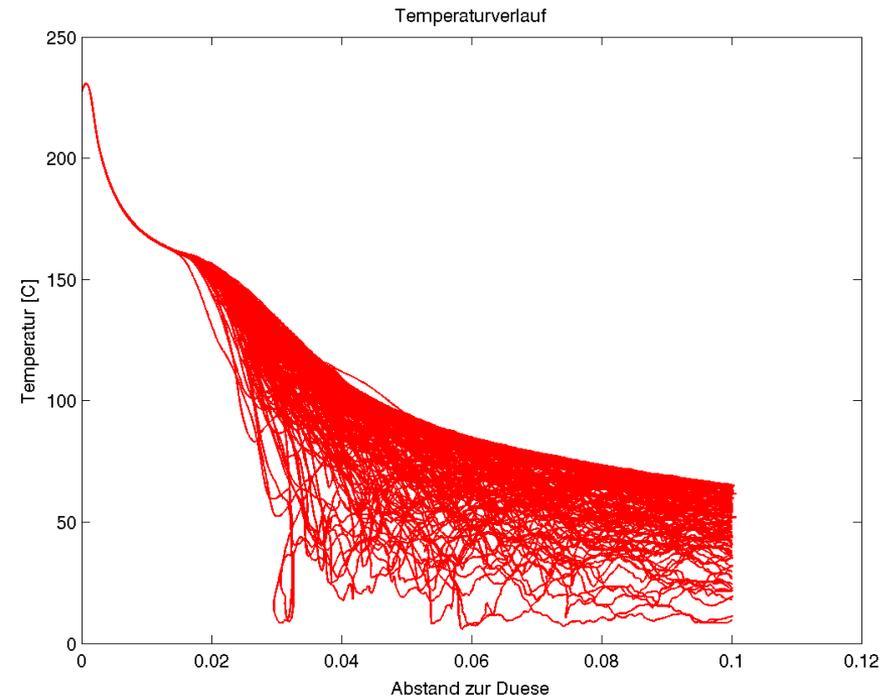
Querrichtung

Dehnung und Temperatur (Neumag-Ref.)

- Dehnungs- und Temperaturverlauf zeigen starke Schwankungen aufgrund der stochastischen Effekte und der resultierenden Lage im Freistrah



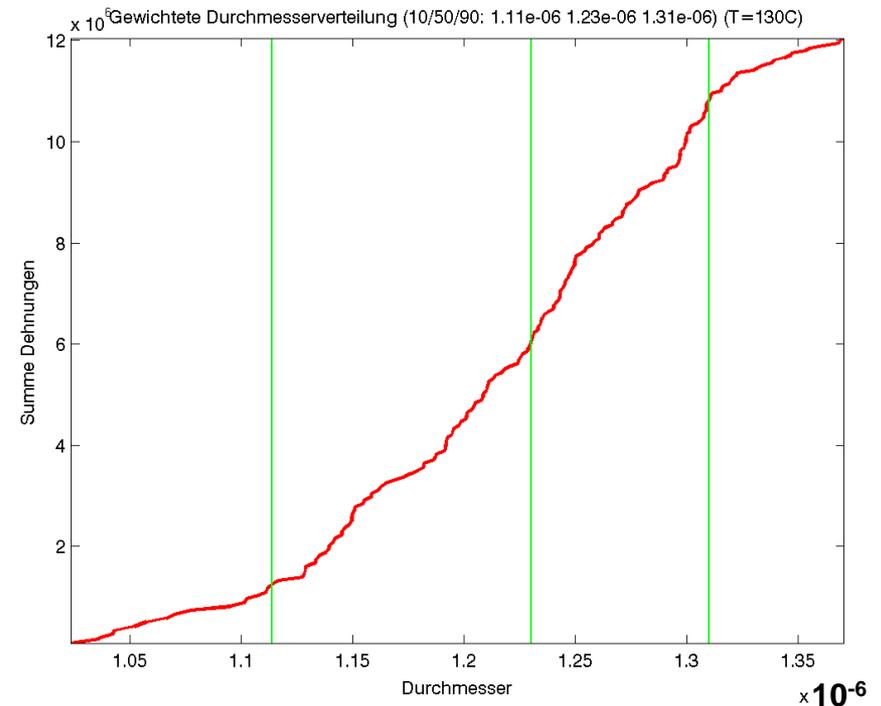
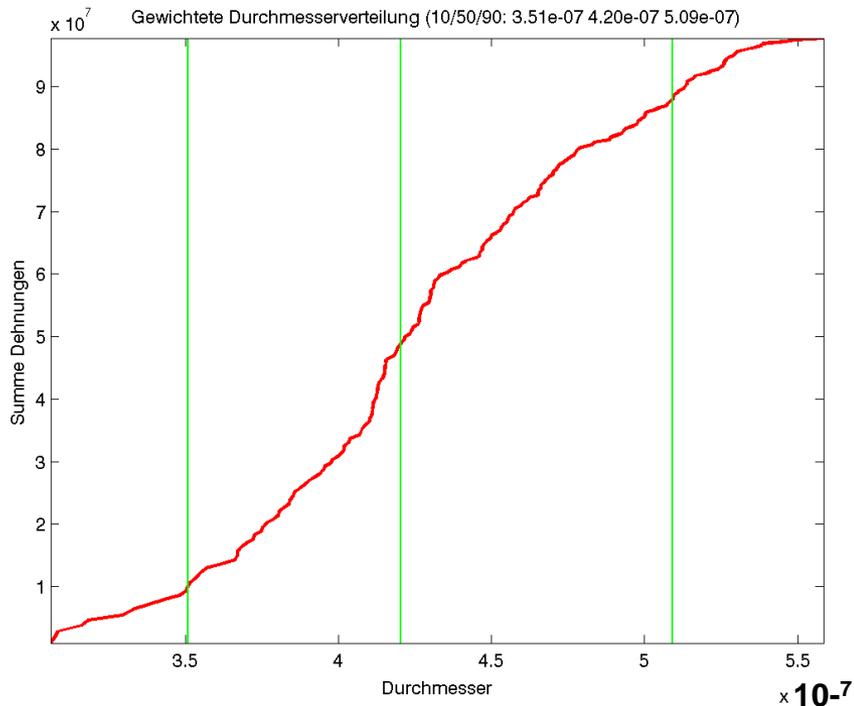
Dehnung



Temperatur

Durchmesserverteilung (Neumag-Ref.)

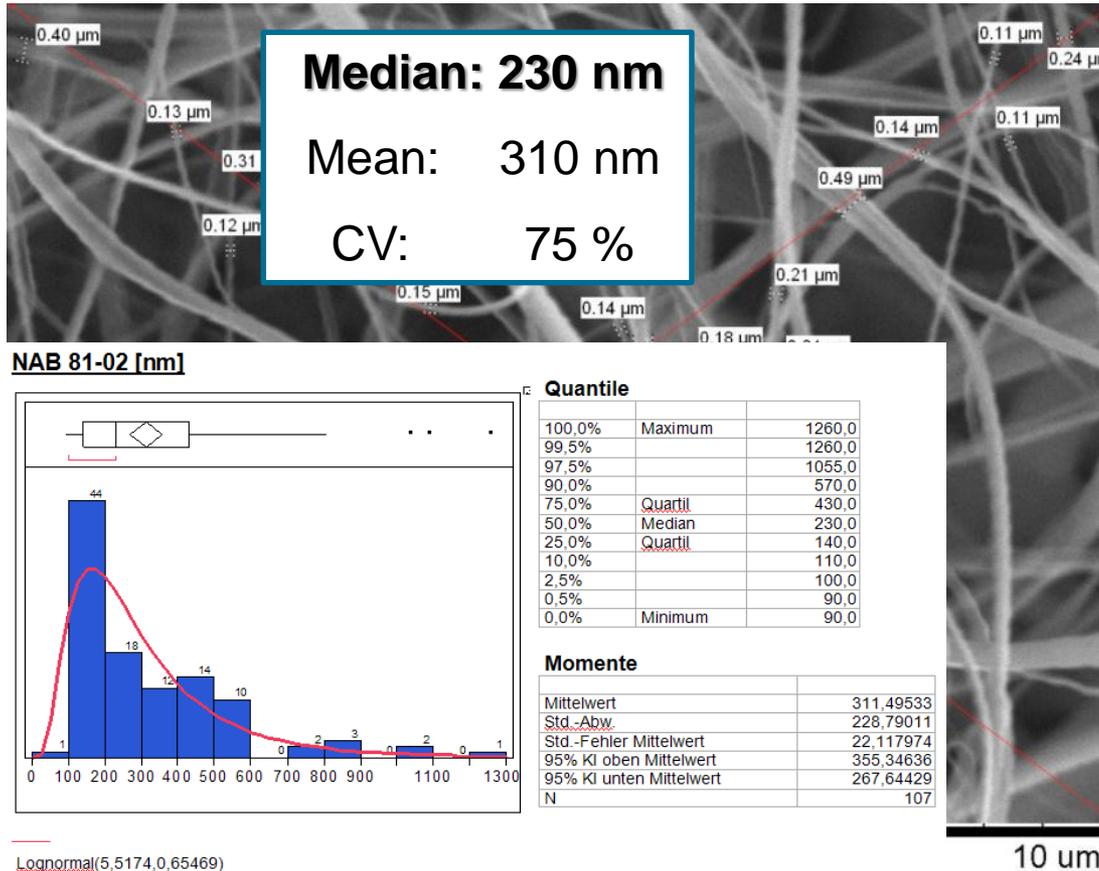
- Statistische Analyse der Realisierungen liefert Aussage zur Durchmesserverteilung (links)
- Abkühlung der Filamente kann Dehnung verringern (rechts)



Inhalt

- Ziele des NaBlo-Projekts
- Konsortium des NaBlo-Projekts
- Der Meltblown-Prozess
- CFD-Analyse des Meltblown-Prozesses
- Experimentelle Untersuchungen
 - Düsengeometrie
 - Polymereigenschaften
- Modell zur Fadenver Streckung in turbulentem Luftstrom
- Ergebnisse der Faserdurchmesser-Analysen
- Simulation der Vliesstrukturen
- Ausblick

Faserdurchmesser-Analyse



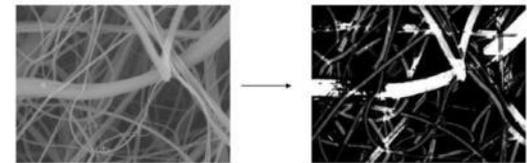
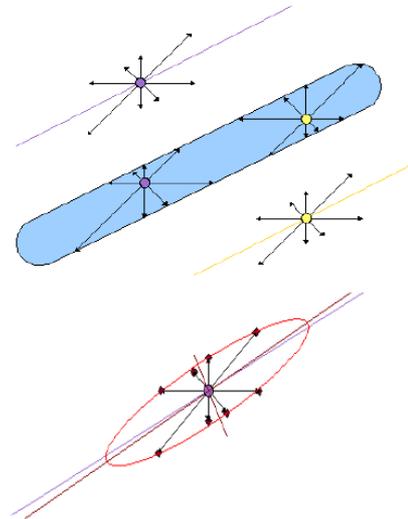
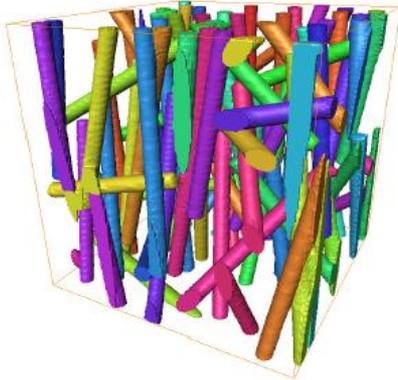
Manuelle Analyse:

- Besputterte Probe (80:20 Au:Pd ca. 15nm)
- Zufällige Wahl der Bildausschnitte (Min.3)
- Auflösung Standard MB-Vlies: x4.000
- Auflösung Feinstfaser MB-Vlies: x10.000
- Manuelle Vermessung aller „scharfen“ Fasern am Schnittpunkt mit den Diagonallinien mittels Software
- Verklebte Fasern = eine grobe Faser

ITWM – Fiber Radius Tool

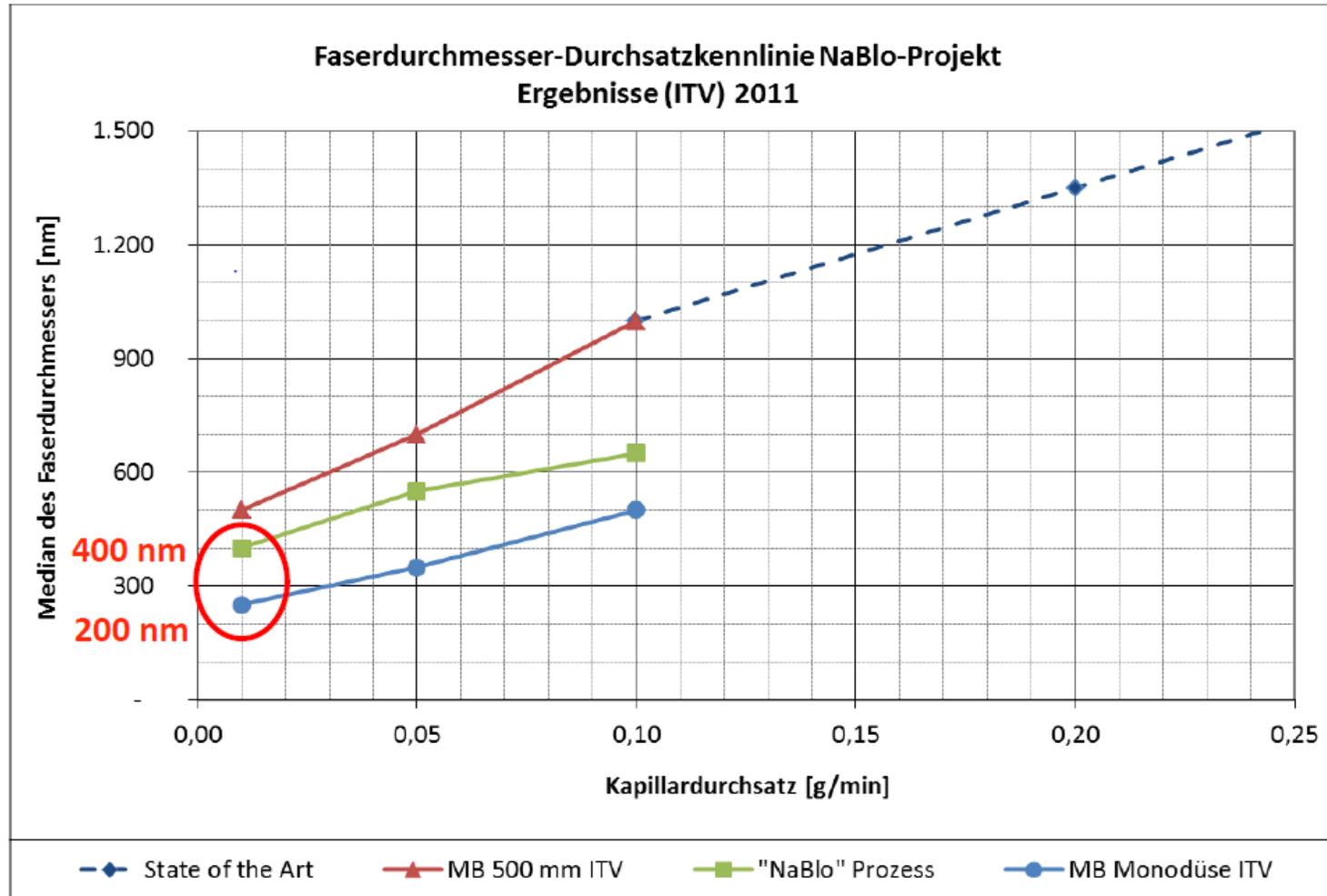
Automatische Bildanalyse:

- Algorithmus liefert Radienschätzung in jedem Pixel innerhalb einer Faser
- Qualität der Resultate vergleichbar zu Auswertung durch Probanden
- 10x schneller zum Ergebnis der Verteilung (Lagen- & Streumaße)



© Dr. S. Didas, H. Altendorf, ITWM

Erzielte Faserfeinheiten im NaBlo-Projekt



Inhalt

- Ziele des NaBlo-Projekts
- Konsortium des NaBlo-Projekts
- Der Meltblown-Prozess
- CFD-Analyse des Meltblown-Prozesses
- Experimentelle Untersuchungen
 - Düsengeometrie
 - Polymereigenschaften
- Modell zur Fadenverstreckung in turbulentem Luftstrom
- Ergebnisse der Faserdurchmesser-Analysen
- Simulation der Vliesstrukturen
- Ausblick

Sie haben es gleich
geschafft 😊

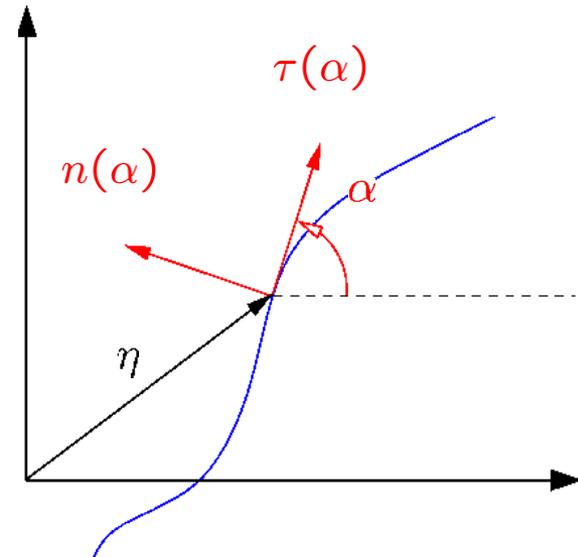
Stochastisches Modell der Vliesbildung

- Ablage eines Fadens in der Vliesproduktion als stochastischer Prozess für den Winkel α bzgl. der Bogenlänge s unter Berücksichtigung der Spurkurve γ

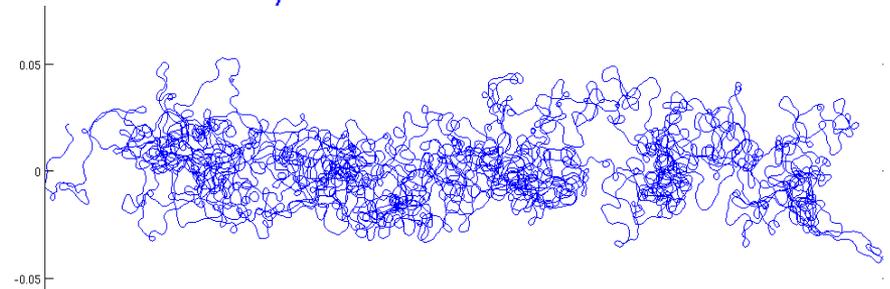
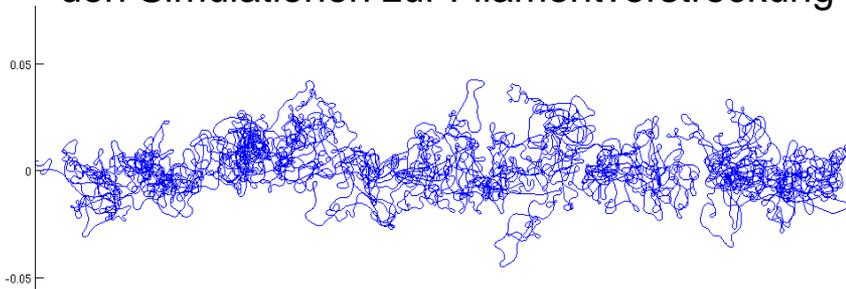
$$d\eta_s = \tau(\alpha_s)ds$$

$$d\alpha_s = -(\eta - \gamma)^T \cdot \begin{pmatrix} \frac{1}{\sigma_1^2} & 0 \\ 0 & \frac{1}{\sigma_2^2} \end{pmatrix} \cdot n(\alpha_s)ds + AdW_s$$

- Spurkurve: $\gamma(s) = -\frac{v_{Band}}{v_{Inlet}} \cdot s$

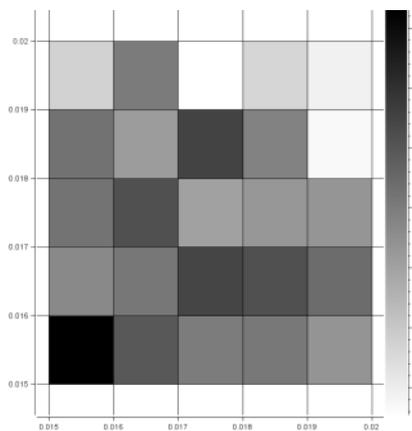


Identifikation der Modellparameter σ_1 und σ_2 aus den Simulationen zur Filamentverstreckung

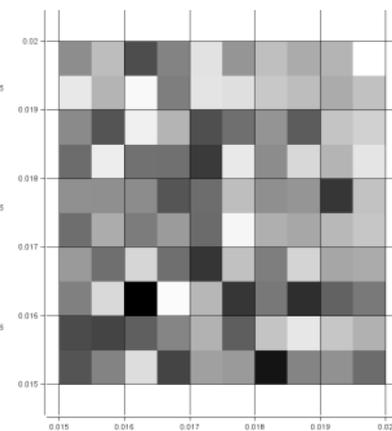


Simulationstool zur Generierung und Bewertung von Vliesstrukturen angewandt auf Meltblown-Prozess

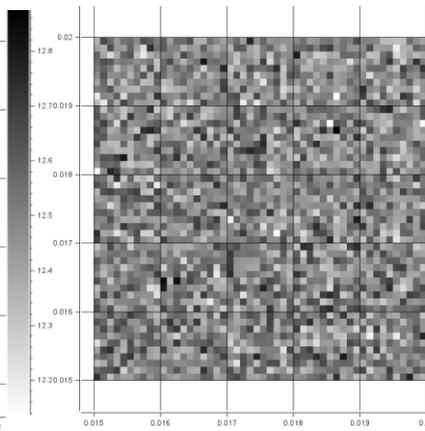
- Vliesstruktur ausgehend von der Ablage der einzelnen Filamente
- Identifikation der Wurfweiten aus ARMA-Prozess oder FIDYST
- Flächengewichtsverteilung in beliebiger Probengröße auswertbar
- Automatische Berechnung der cv-Werte
- Exportmöglichkeit zur Generierung von 3D-Strukturen



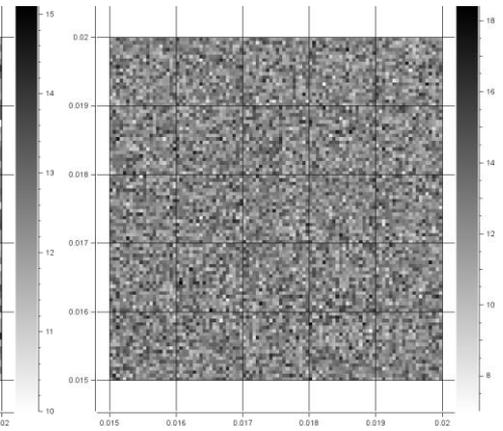
1000x1000 µm
12.2-12.7 g/m²



500x500 µm
12.1-12.9 g/m²



100x100 µm
10.0-15.1 g/m²



50x50 µm
7.0-18.5 g/m²

Ausblick

- Umsetzung durch die Industriepartner
- Erweiterung auf andere Polymere: PBT, PLA, PPS...
- Integration von Feinstfaser-Medien in Filtermaterialien
- Ersatz von Mikroglasfaserpapieren und Elektrogewebenen-Vliesen
- Erschließung zusätzlicher Einsatzgebiete (Hygiene, Medizin etc.)

- Nutzung der Simulations-Tools und Labor-Anlagentechnik der Forschungsinstitute für weitere Untersuchungen der Thematik sowie die Erforschung neuer Anwendungsfelder...

Herzlichen Dank für Ihre Aufmerksamkeit!



**Bundesministerium
für Bildung
und Forschung**

Wir danken dem Bundesministerium für Bildung und Forschung für die Förderung im Verbundprojekt NaBlo.
(BMBF Förderkennzeichen: 13N9861 und 13N9862)

INSTITUT FÜR TEXTIL- UND
VERFAHRENSTECHNIK
DENKENDORF 



Till Batt
Vliesstofftechnologien
Körschtalstrasse 26, D-73770 Denkendorf

E-Mail: Till.batt@itv-denkendorf.de

 **Fraunhofer**
ITWM



Dr. Dietmar Hietel
Stellv. Abteilungsleiter Transportvorgänge
Fraunhofer-Platz 1, D-67663 Kaiserslautern

E-Mail: Dietmar.hietel@itwm.fraunhofer.de