
Technologiesprung durch Simulation von Fadendynamiken

23. Hofer Vliesstofftage

5./6. November 2008

Dr. Dietmar Hietel

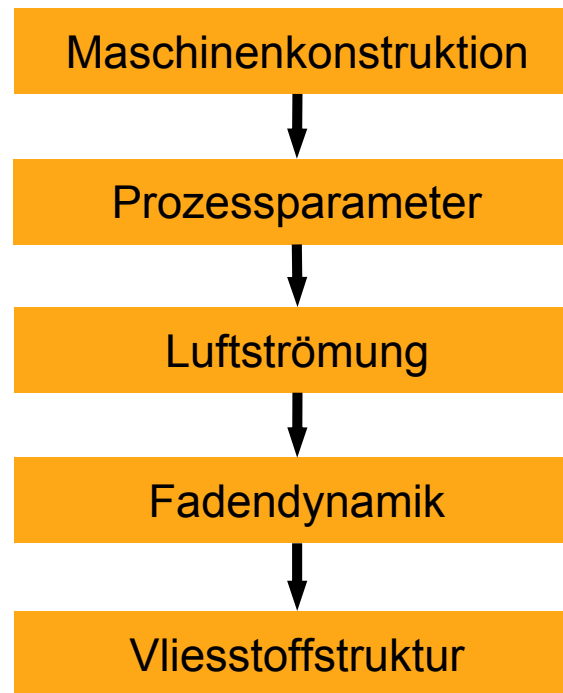
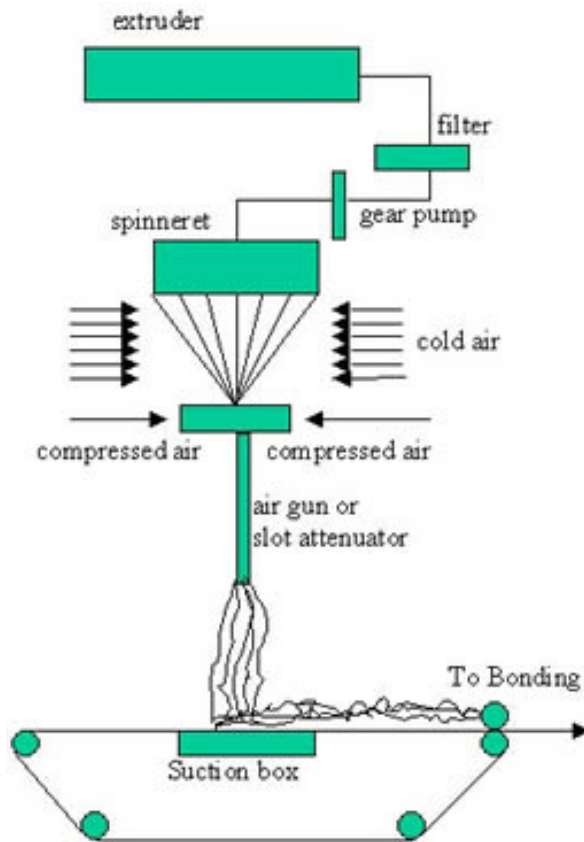
Fraunhofer ITWM, Kaiserslautern



Fraunhofer Institut
Techno- und
Wirtschaftsmathematik

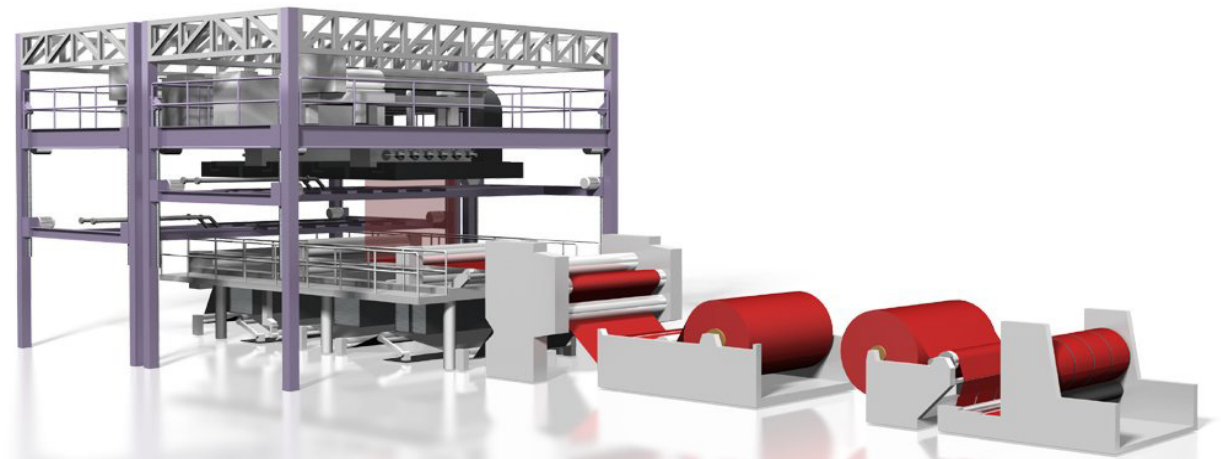
Inhalt

- Aufbau orientiert sich an Ursache-Wirkungs-Kette



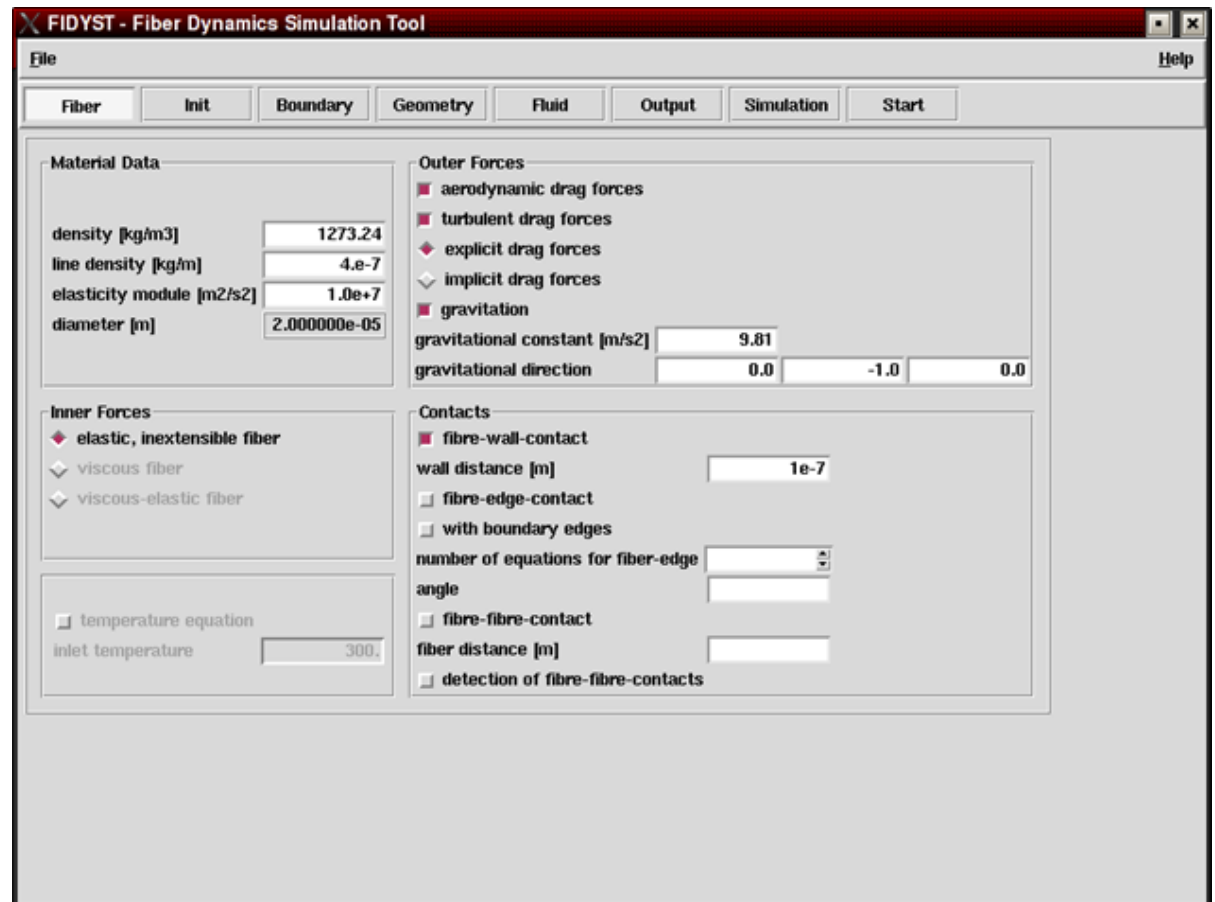
CAD-Daten und Prozessparameter für Luftströmung

- Maschinenkonstruktion durch CAD-Daten
- Strömungsparameter
 - Luftdruck und -temperatur
 - Einströmprofil
 - Massenfluss
 - Absaugung
- Prozessparameter
 - Bandgeschwindigkeit
 - Permeabilität des Bandes



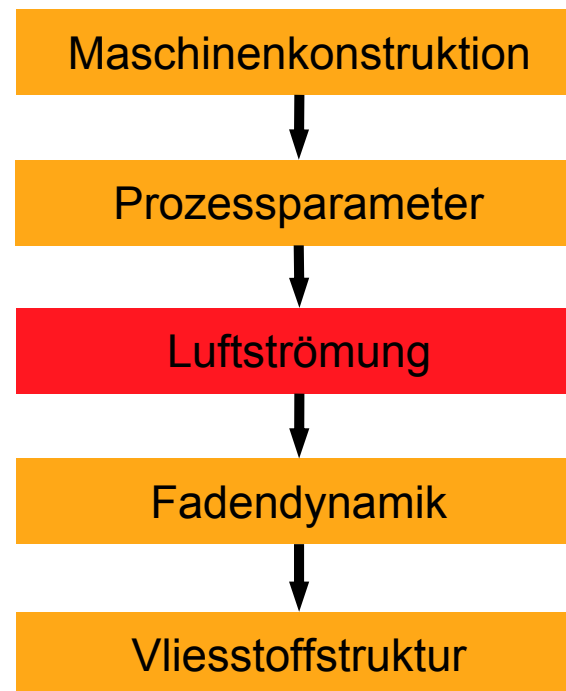
Weitere Prozessparameter für Fadendynamik

- Spinnkopf
 - Anzahl der Löcher
 - Lochmuster
 - Lochdurchsatz
 - Schmelztemperatur
 - Polymereigenschaften



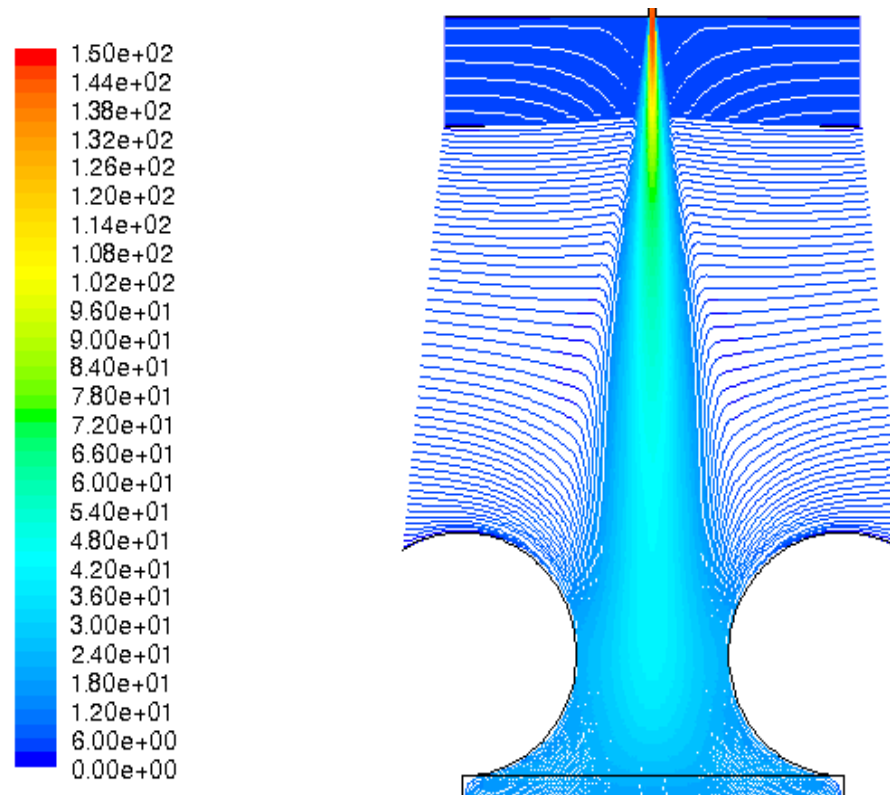
Berechnung der Luftströmung

- Standardwerkzeuge können zur Modellierung und Simulation der Luftströmung genutzt werden



Anwendungsfall zur Berechnung der Luftströmung

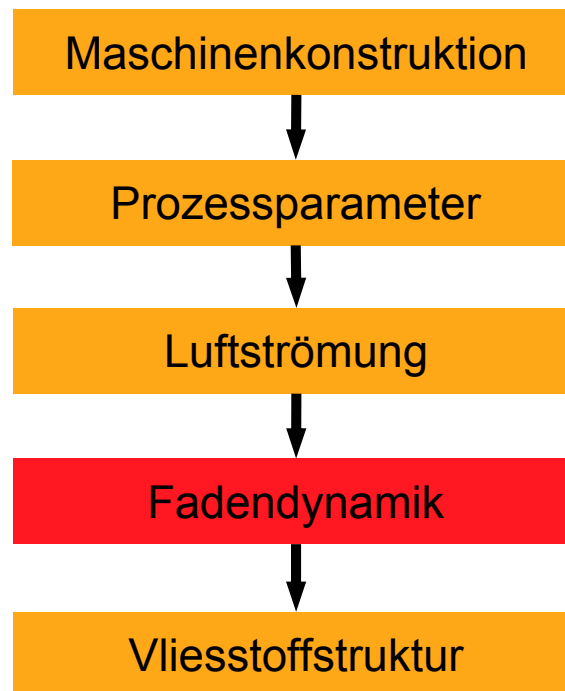
- Modifikation des Spunbondprozesses von Oerlikon Neumag als durchgängiges Beispiel
- Zusätzlicher Diffusor am Slotaustritt und Walzen über dem Band



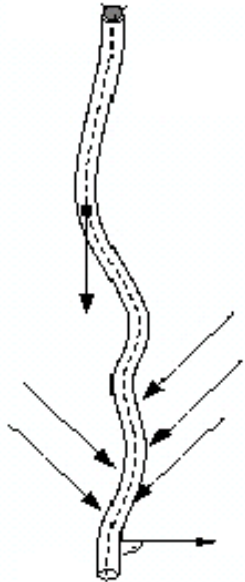
Stromlinien der Luftströmung

Modellierung und Simulation der Fadendynamik

➤ FIDYST – Fiber Dynamics Simulation Tool



Modellierung der Fadendynamik durch Kraftbilanz



- Trägheitskraft Dichte, Querschnittsform
- Innere Kräfte
 - Zugspannung
 - Biegung E-Modul, Flächenträgheitsmom.
 - Torsion Schermodul, polares Moment
 - Oberflächenspannung
 - Viskose Reibung Viskosität
- Äußere Kräfte
 - Gravitation
 - Luftwiderstand Mantelfläche
 - Turbulente Kräfte Turbulenz der Luftströmung
 - Faden-Wand-Kontakt
 - Faden-Faden-Kontakt

Asymptotisches 1D-Modell der Fadendynamik

Rod theory (Antman):

$$\partial_s \mathbf{q} + \mathbf{f} = \rho A \partial_{tt} \mathbf{r}, \quad \text{Impulsbilanz}$$

$$\partial_s \mathbf{m} + \partial_s \mathbf{r} \times \mathbf{q} + \mathbf{l} = \rho I \sum_{i=1}^2 (\partial_{tt} \mathbf{d}_i \times \mathbf{d}_i). \quad \text{Drehimpulsbilanz}$$

viskos

$$\mathbf{q} = 3\nu \rho A \frac{\partial_t \|\partial_s \mathbf{r}\|}{\|\partial_s \mathbf{r}\|} \frac{\partial_s \mathbf{r}}{\|\partial_s \mathbf{r}\|}$$

elastisch, nicht dehnbar

$$\mathbf{d}_3 = \frac{\partial_s \mathbf{r}}{\|\partial_s \mathbf{r}\|_2}, \quad \|\partial_s \mathbf{r}\|_2 = 1$$

$$\mathbf{m} = EI(\kappa_1 \mathbf{d}_1 + \kappa_2 \mathbf{d}_2) + GJ\tau \mathbf{d}_3$$

$$\begin{aligned} \rho A \partial_{tt} \mathbf{r}(s, t) = & \partial_s [T(s, t) \partial_s \mathbf{r}(s, t)] - EI \partial_{ssss} \mathbf{r}(s, t) \\ & + GJ\tau_0 \partial_s \mathbf{r}(s, t) \times \partial_{sss} \mathbf{r}(s, t) + \mathbf{f} \end{aligned}$$

Modellierung der Filament-Turbulenz-Interaktion

Filamentdynamik

- Zugspannung, Biegung, äußere Kräfte

$$\rho A \partial_{tt} \mathbf{r} = \partial_s [T \partial_s \mathbf{r}] - EI \partial_{ssss} \mathbf{r} + \rho A \mathbf{g} + \mathbf{f}^{air}$$



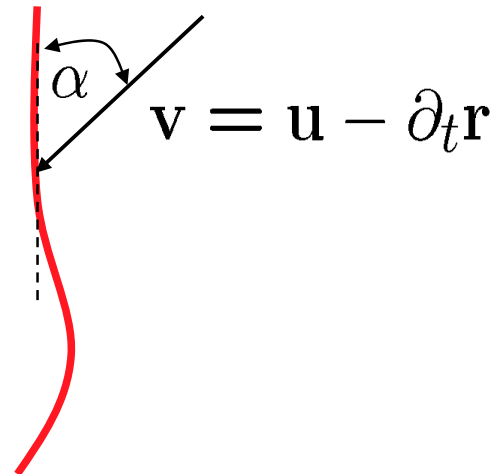
Luftturbulenz

- turbulente Fluktuationen

$$\mathbf{u}(\mathbf{x}, t) = \underbrace{\bar{\mathbf{u}}}_{mean} + \underbrace{\mathbf{u}'}_{fluctuation}$$

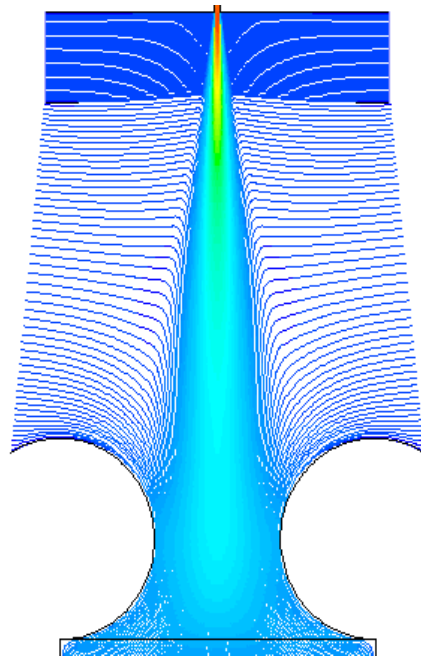


**Interaktion durch
Widerstandskraft**

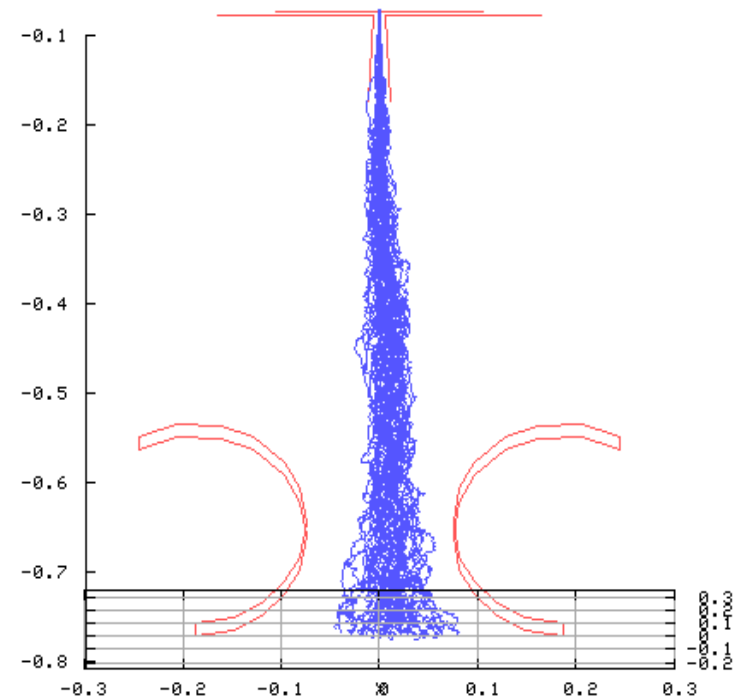


Turbulenzwirkung: Fluktuationen in Fadendynamik

- Fluktuation der Filamente beginnt bereits im Diffusor
- Walzen/Bleche beeinflussen Breite des Filamentvorhangs in MD

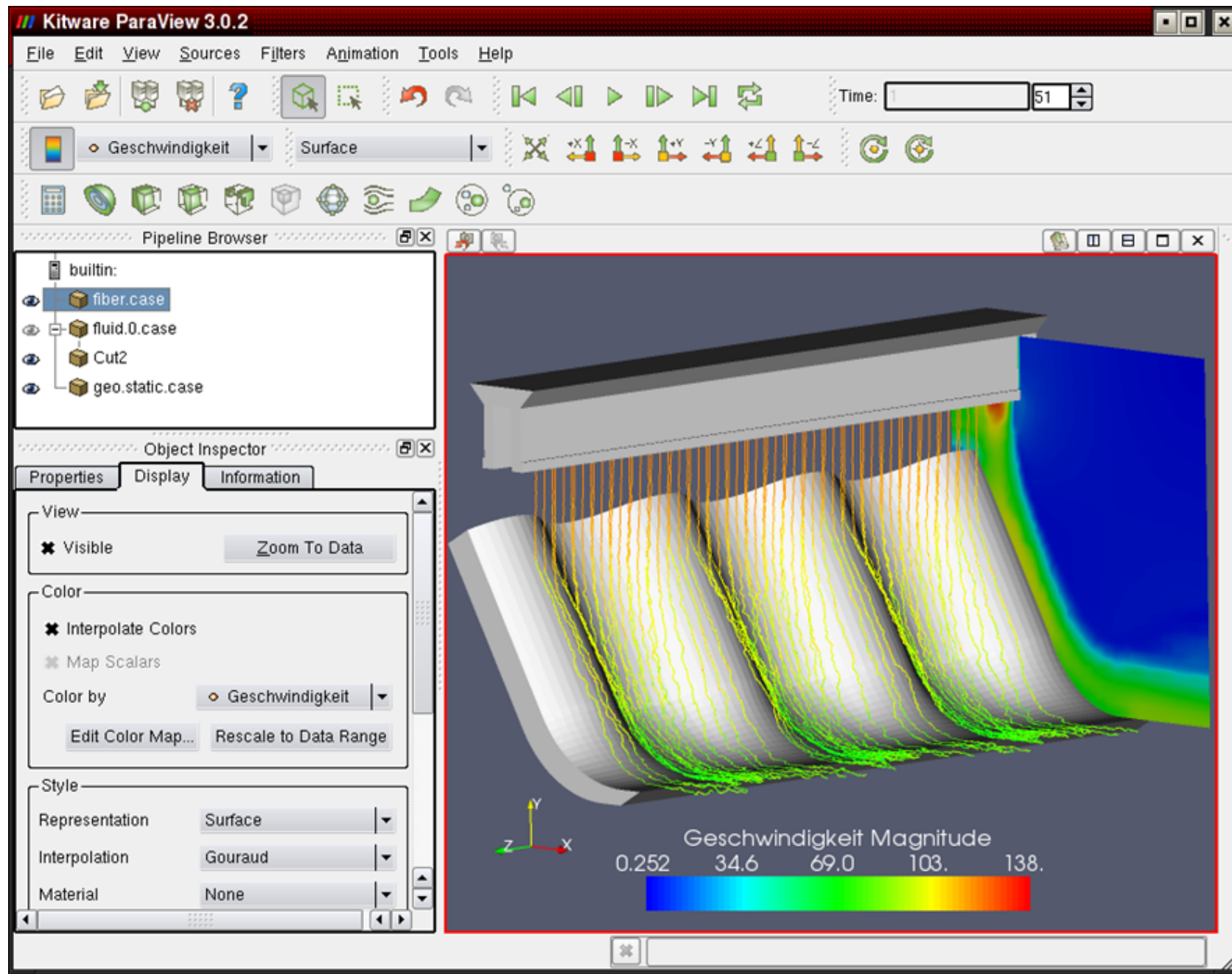


Stromlinien



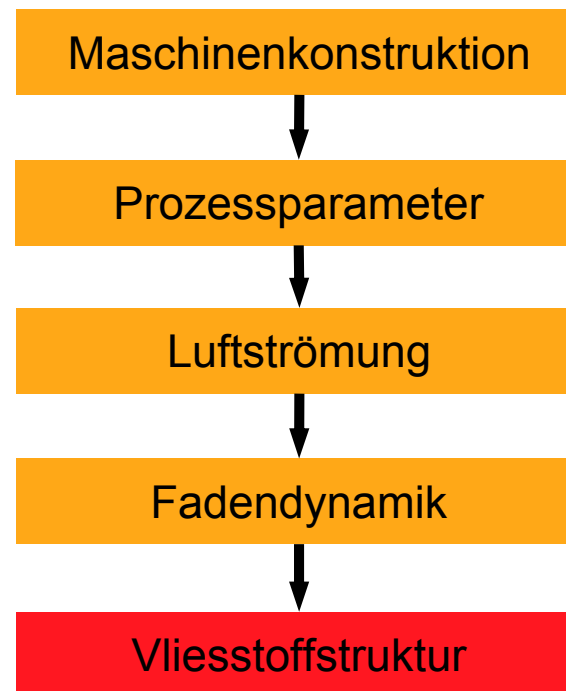
Dynamik des Filamentvorhangs

Kontakt der Filamente mit Wänden



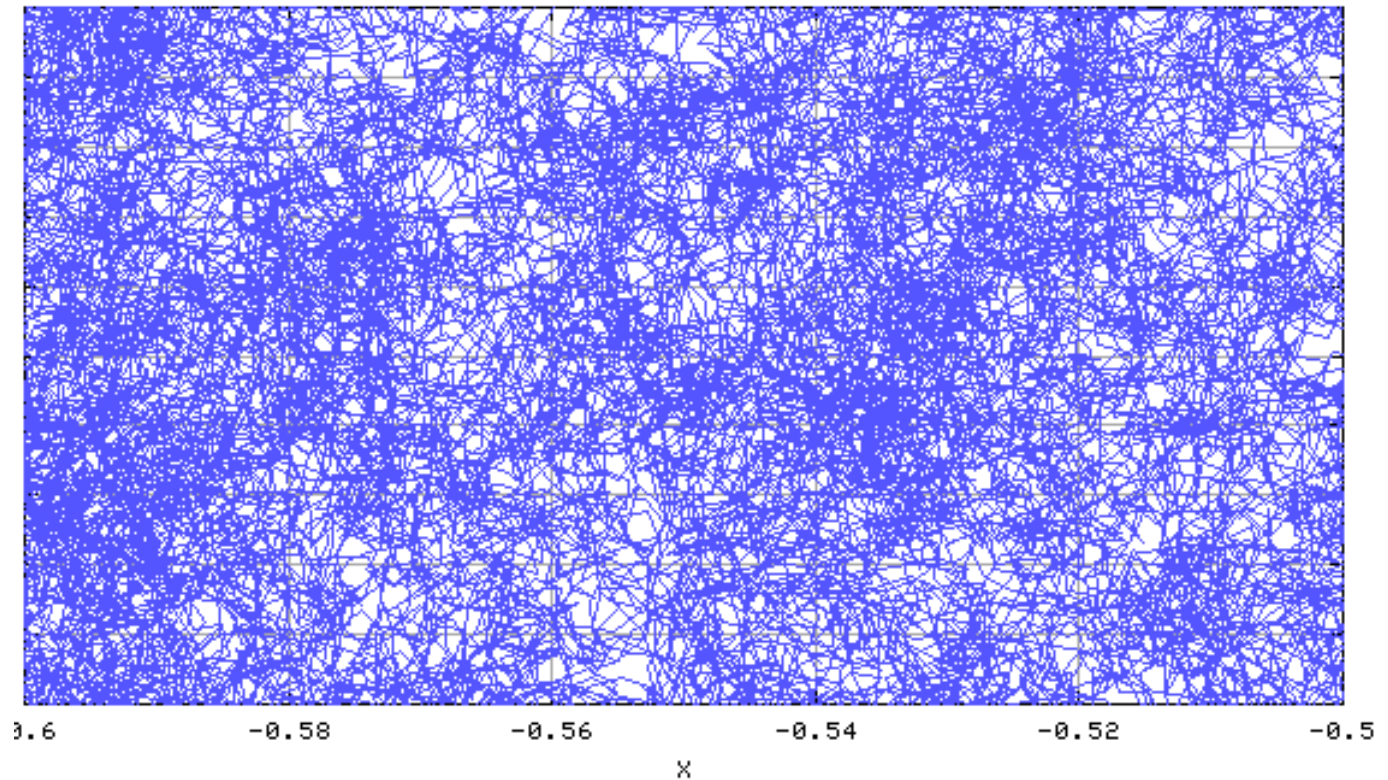
Vliesstoffstruktur aufgrund der Fadendynamik

- Detailanalyse der Filamentstruktur innerhalb des Vliesstoffes



Berechnete Filamentverteilung im Vliesstoff

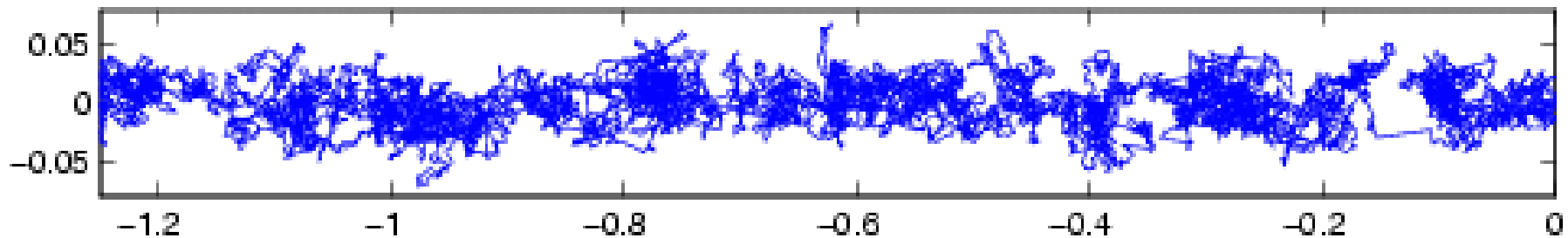
- Typische Wolkigkeit durch Fluktuationen aufgrund der Turbulenzwirkung zwischen Slot und Band



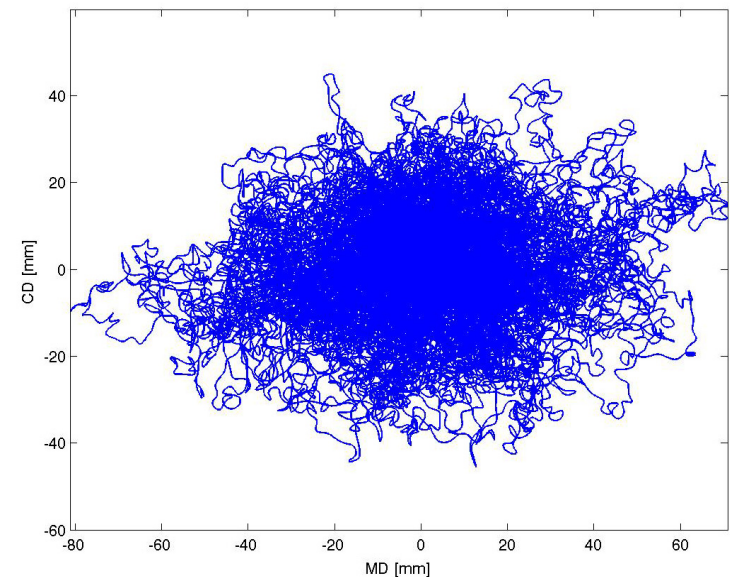
Modifizierter Spunbondprozess

Analyse der Filamentspuren im Vliesstoff

- Spur eines Filaments weist deutliche Dichteschwankungen auf
- Wirkung der Luftturbulenzen zusammen mit Bandbewegung



- Ablagedepot aus Sicht des Slots
- Depot hat Form einer Ellipse
- Normalverteilung in MD und CD
- Standardabweichung in MD and CD als Indikator für Festigkeit



Optimierung der Ablagezone mit Oerlikon Neumag

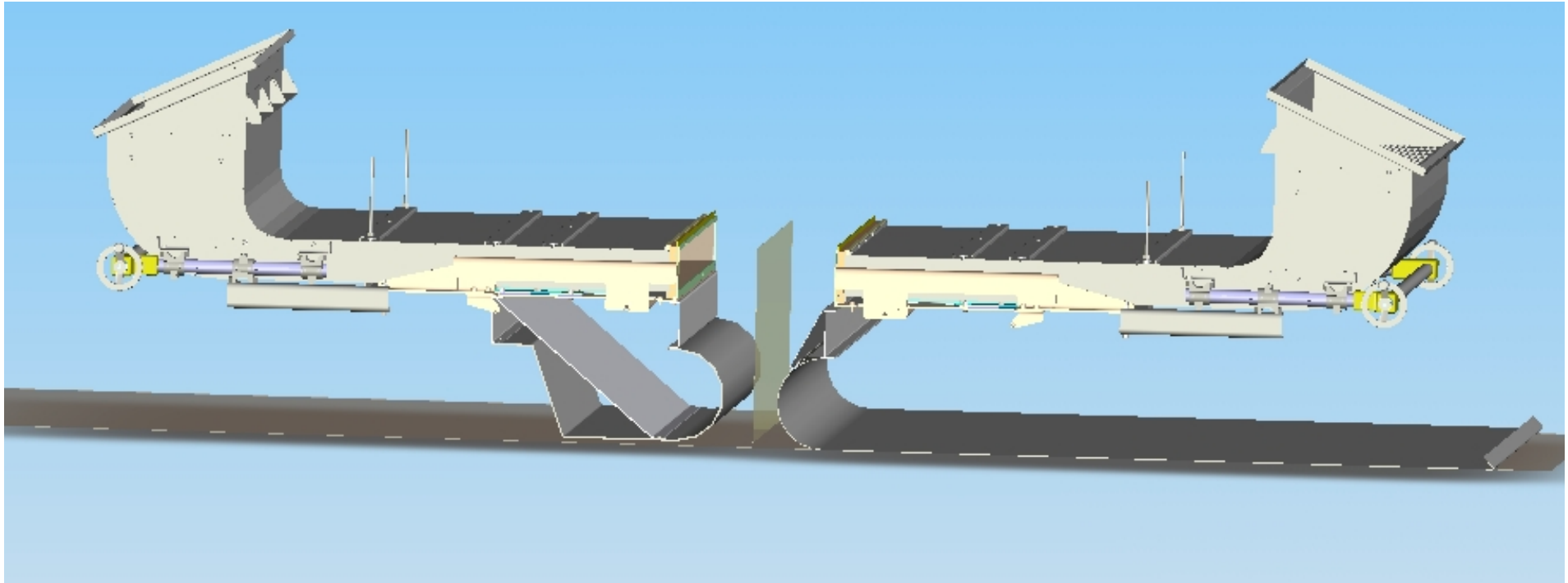
Fiber-simulation: 40 Filaments; webspeed=110 m/min

forming length [mm]	filament speed [m/min]	draw pressure [bar]	Geometry	cv 25x25 mm	standard deviation depot			identifier Faden40.*
					MD [mm]	CD [mm]	ratio	
200	4200	3	no	10%	11	9	1,33	B100
450	4200	3	no	16%	18	13	1,35	B350
700	4200	3	no	27%	28	17	1,64	F600
200	2200	3	no	14%	13	9	1,50	B100FS2200
200	6200	3	no	7%	11	8	1,26	B100FS6200
200	4200	2	no	8%	11	8	1,29	B100p3
200	4200	1	no	9%	10	8	1,24	B100p2
230	4200	3	DoP	10%	11	8	1,39	B130-DoP
230	4200	3	DoP 2	10%	11	8	1,34	B130-DoP2
200	4200	3	DoP(B1)	6%	10	7	1,34	AlbisB1-DoP
200	4200	3	DoP(B2)	6%	9	7	1,29	AlbisB2-DoP
700	4200	3	Diff3 (690)	12%	16	13	1,30	F600Diff3
700	4200	2	Diff3 (690)	11%	16	13	1,28	F600Diff3p3
700	4200	3	Diff3 (450)	14%	16	12	1,37	F600Diff3-450
700	4200	3	Diff3 (100)	15%	23	16	1,46	F600Diff3-100
700	4200	3	Diff3DoP2	11%	10	12	0,88	F600Diff3DoP2x4VB
700	4200	3	Diff3DoP4	10%	11	11	1,03	F600Diff3DoP4x4VB
700	4200	3	Diff3DoP5	13%	18	13	1,38	F600Diff3DoP5
450	4200	3	Diff3 (200)	12%	16	11	1,40	F350Diff3-200
700	4200	3	Roller	19%	26	14	1,90	B600W
700	4200	3	Roller1	20%	24	14	1,70	B600W1
700	4200	3	Roll&Deflector	16%	21	13	1,63	B600WD
700	4200	3	Roll&Def&Diff3	16%	23	13	1,81	B600WDDiff3-200
700	4200	3	RollS&Diff3	18%	25	15	1,70	B600WSDiff3-100
700	4200	3	RollerSmall	15%	25	16	1,56	B600WS
700	4200	3	Roll-Inlet&Def	22%	21	14	1,53	B600WLD
450	4200	3	Abdüse 45	16%	16	15	1,06	B350a45
450	4200	3	Abdüse 30	11%	18	15	1,20	B350a60

Günstige Variante:
kleine Walzen/Bleche +
große Formlänge
führt zu großer Ellipse und
vernünftiger Homogenität

scaling for lower or higher filament speed due to change in base weight

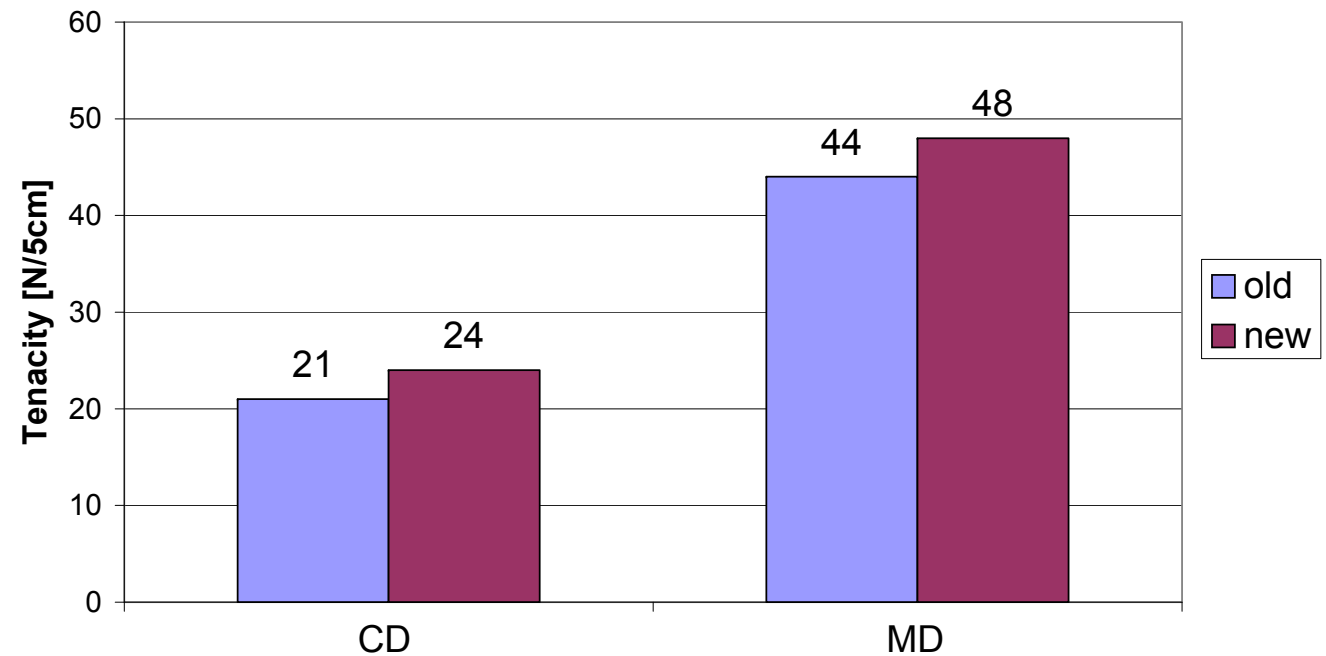
Umsetzung in Neukonstruktion der Ablagezone



- Realisierung durch Bleche anstelle von Walzen
- Stehende Einheiten vermeiden Probleme beim Wandkontakt
- Maschinenbreite konstruktiv nach oben quasi unbegrenzt

Gemessene Verbesserung in neuer Ablagezone

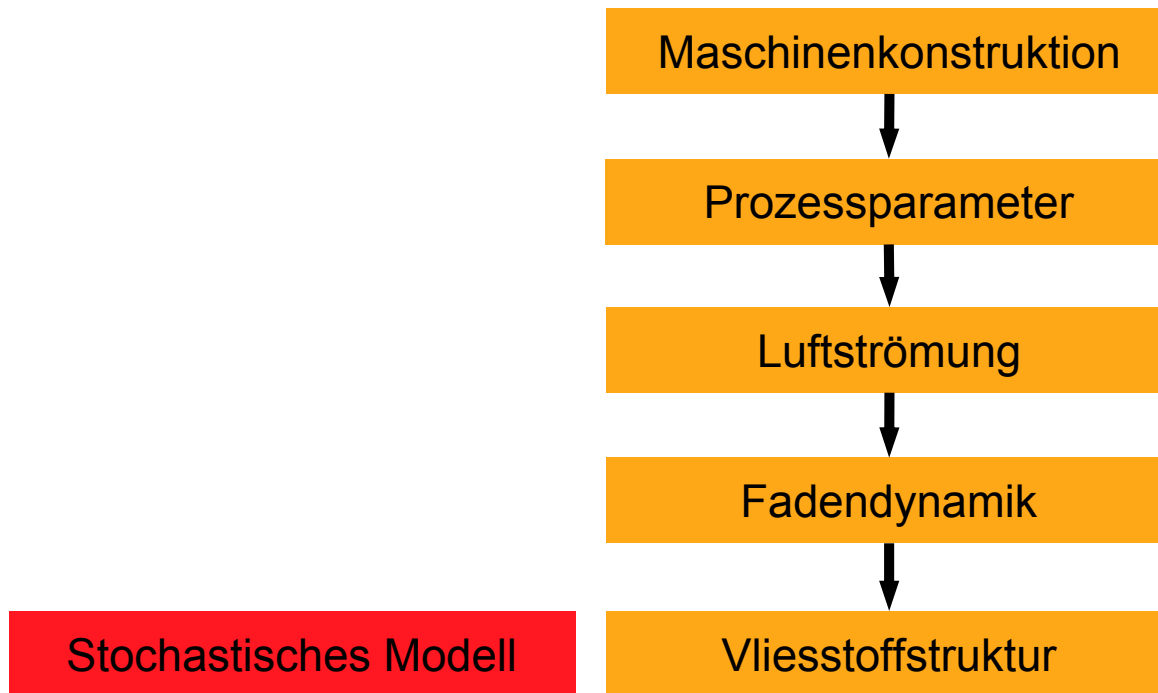
PP, 1,1 dtex 15 gsm



Daten von Dr. H. Rave
(Oerlikon Neumag) bei
EDANA Int. Nonw. Symp.
Mai 2007 in Berlin

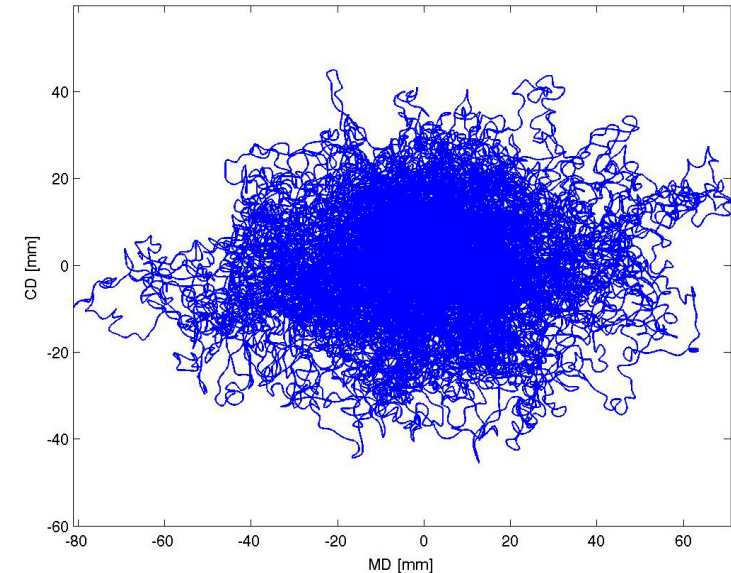
Stochastisches Modell der Ablage

- Beschreibung des Vliesaufbaus als stochastischer Prozess



Stochastisches Modell der Ablage im Vliesstoff

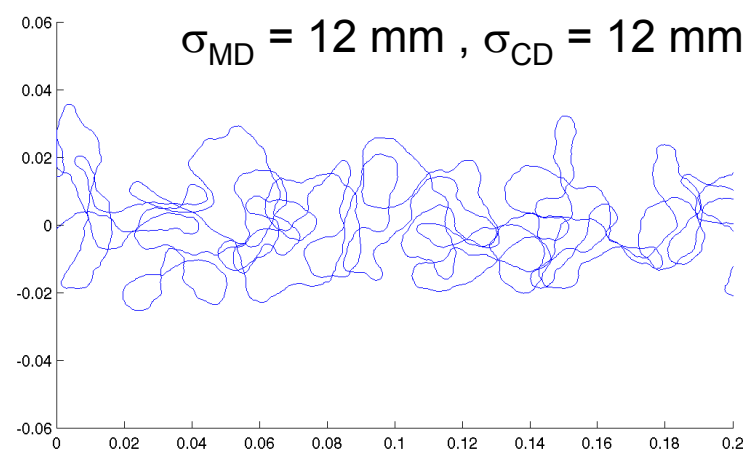
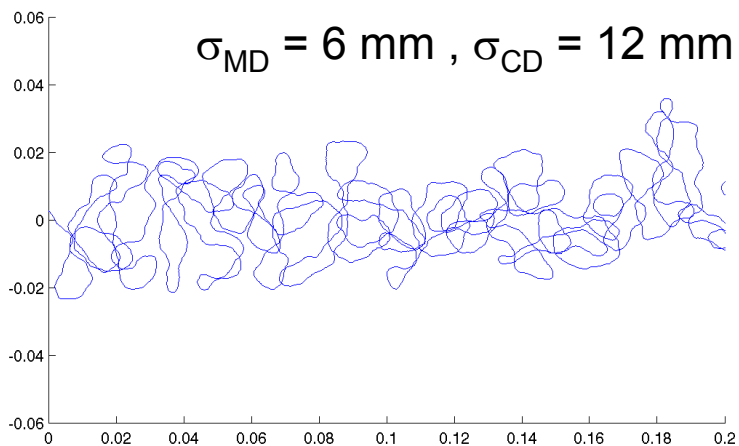
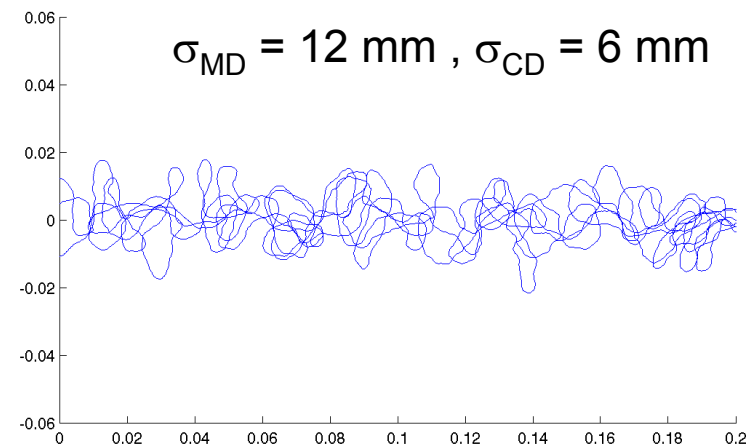
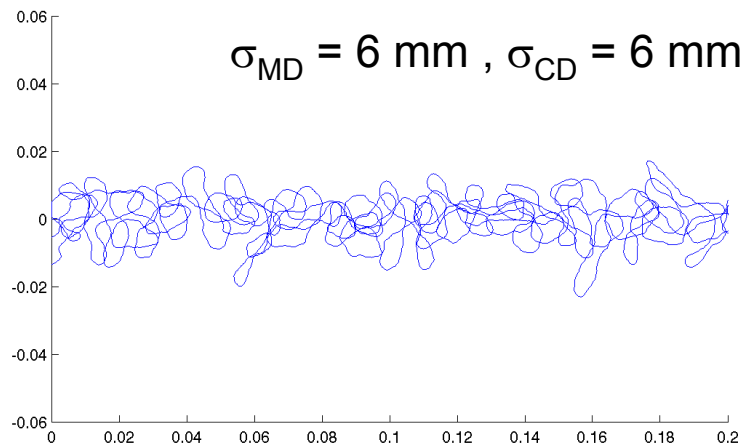
- Ablageellipse charakterisiert Prozess
- Standardabweichungen in MD und CD als Modellparameter (σ_{MD} und σ_{CD})
- Schlaufigkeitsparameter A aufgrund der Biegesteifigkeit



- Identifikation der Modellparameter (σ_{MD} , σ_{CD} , A) aus Simulationen der Filamentdynamik zwischen Slot und Band
- Einbeziehung der Bandgeschwindigkeit als überlagerte Bewegung
- Zusätzliche erzwungene Bewegungsformen können als weitere deterministische Bewegungen mit abgebildet werden

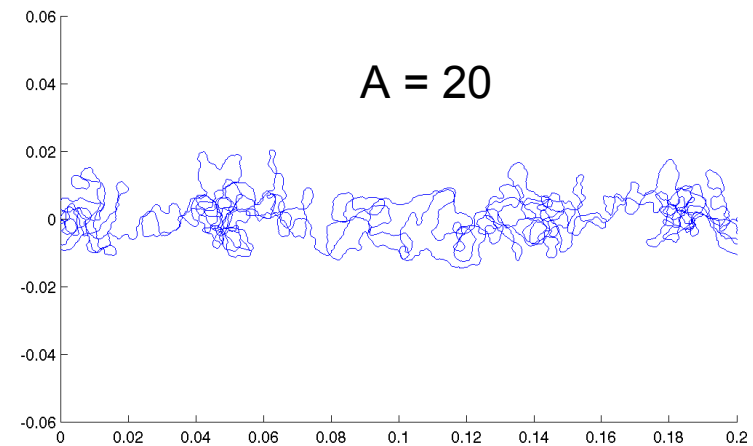
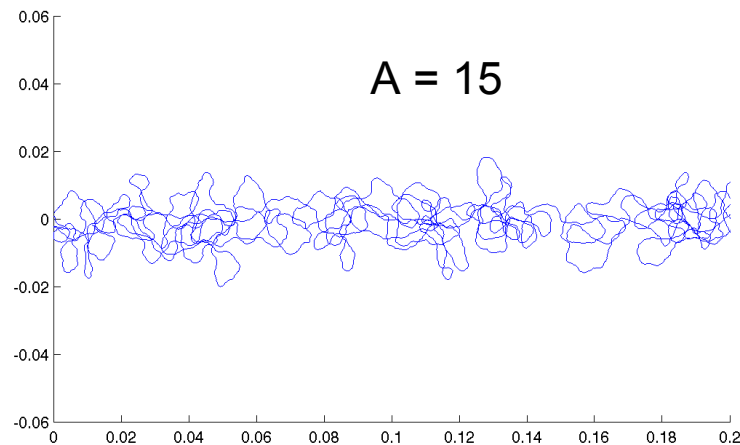
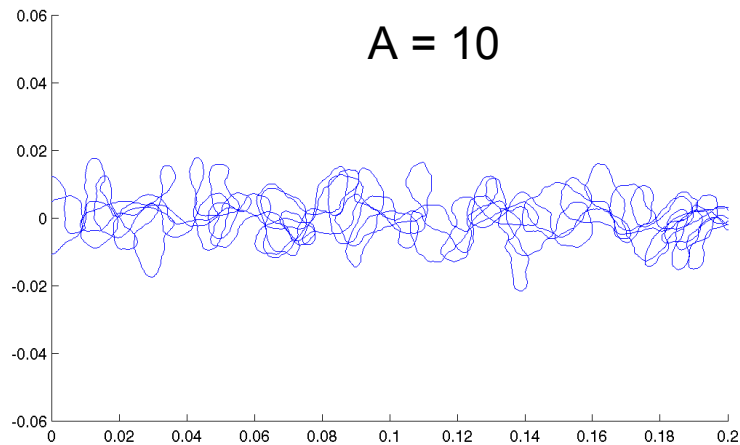
Stochastisches Modell: Einfluss Ellipsengröße

➤ Spinneschw. 4800 m/min, Bandgeschw. 400 m/min, $A = 10$



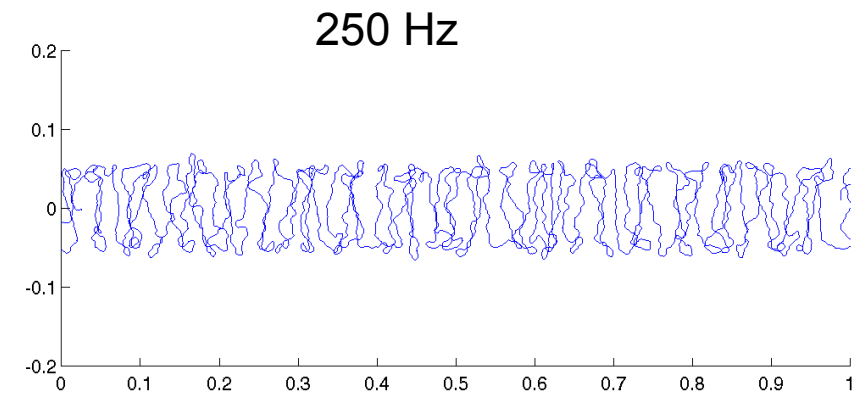
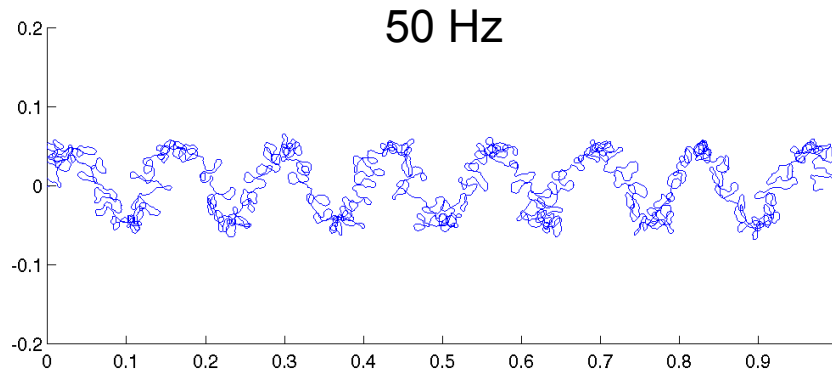
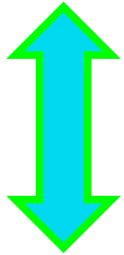
Stochastisches Modell: Einfluss Schlaufigkeit

➤ Spinnen 4800 m/min, Band 400 m/min, $\sigma_{MD} = 12$ mm, $\sigma_{CD} = 6$ mm

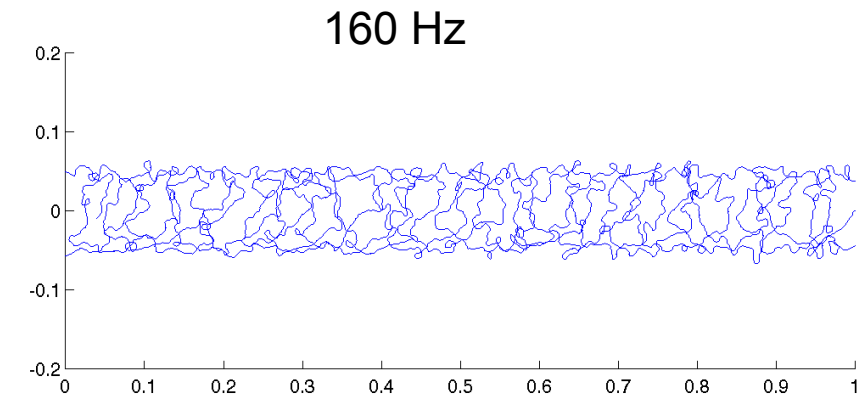
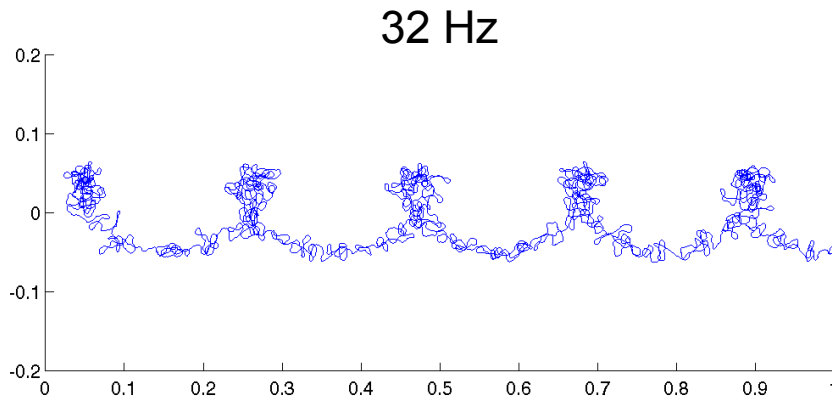
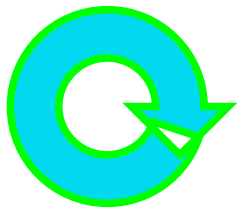


Stochastisches Modell: Überlag. period. Bewegung

➤ Spinnen 4800 m/min, Band 400 m/min, $\sigma_{MD} = 12$ mm, $\sigma_{CD} = 6$ mm, $A = 10$

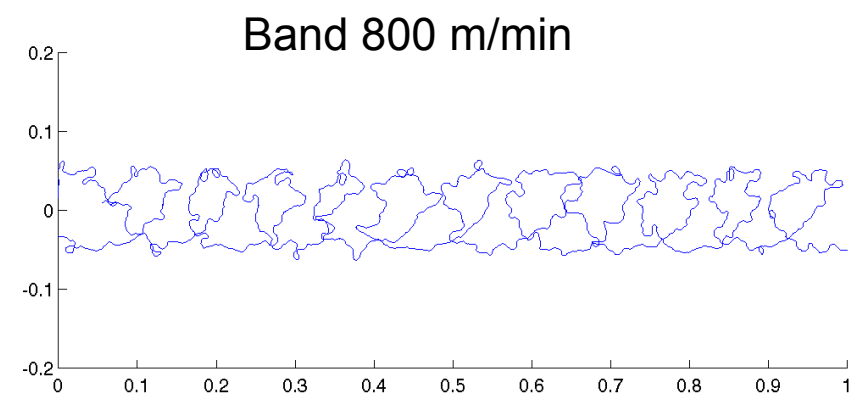
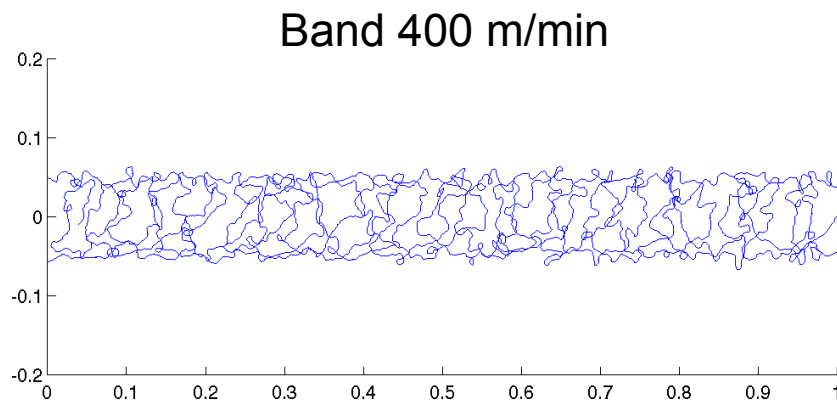
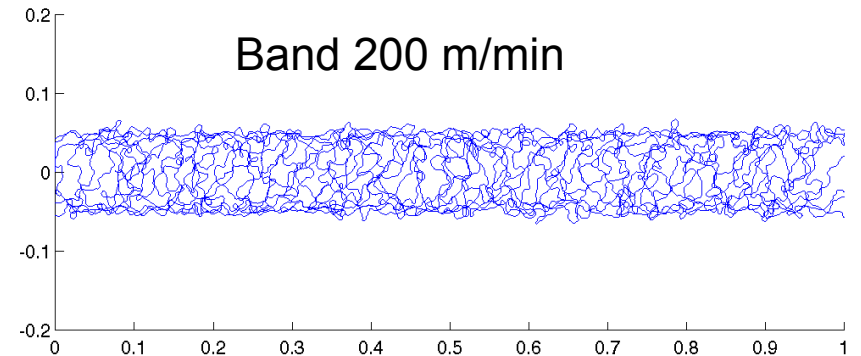
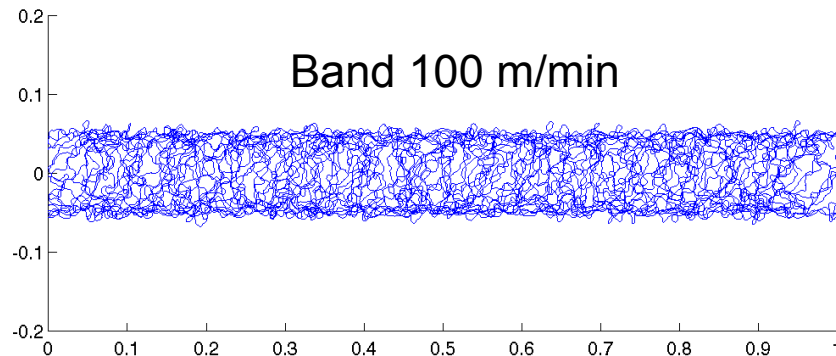
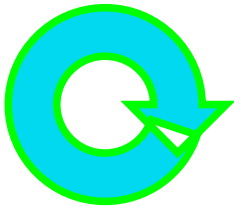


Amplitude ± 50 mm



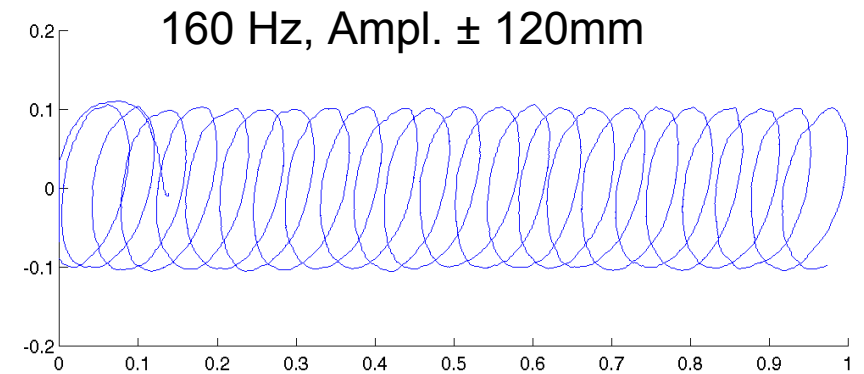
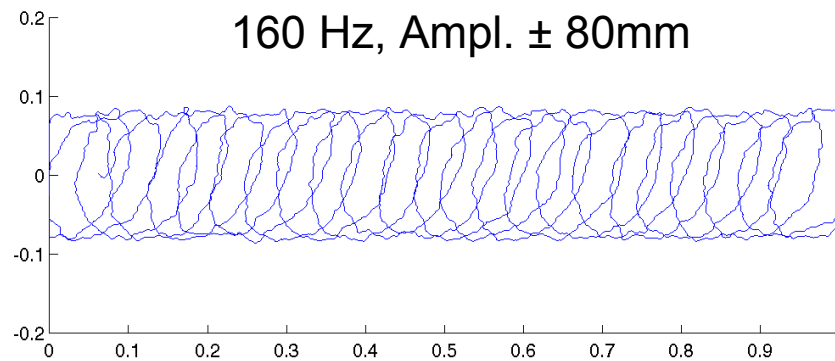
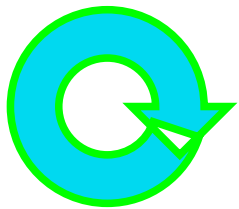
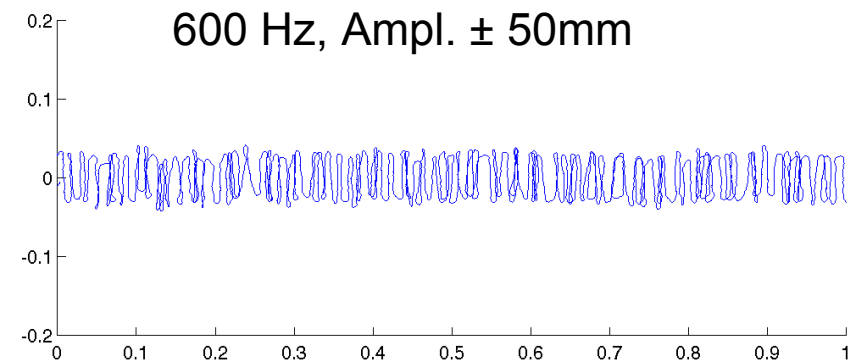
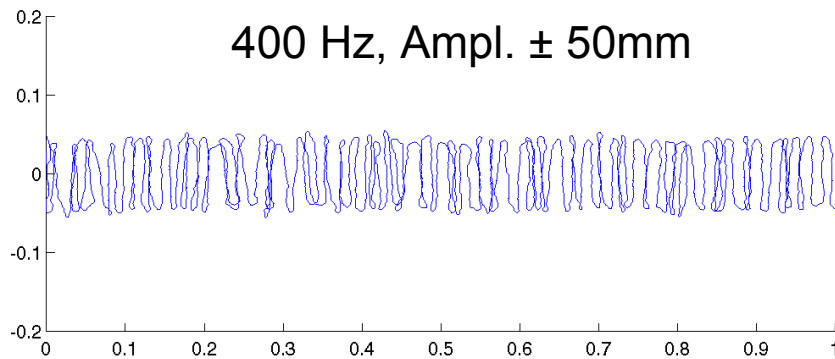
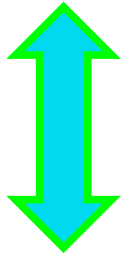
Stochastisches Modell: Einfluss Bandgeschw.

➤ Spinnen 4800 m/min, $\sigma_{MD} = 12$ mm, $\sigma_{CD} = 6$ mm, $A = 10$, 160 Hz, Amplitude ± 50 mm



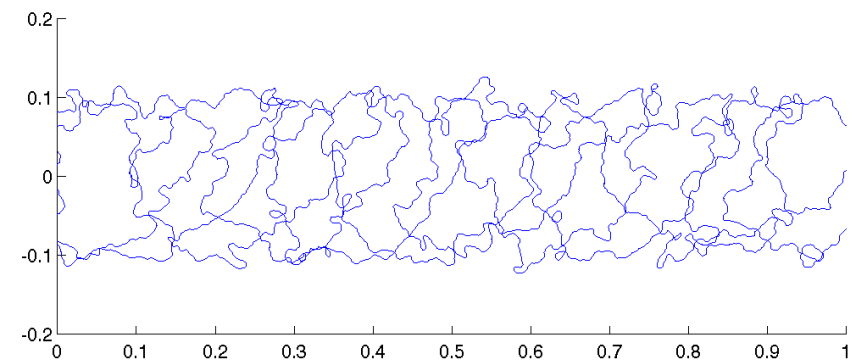
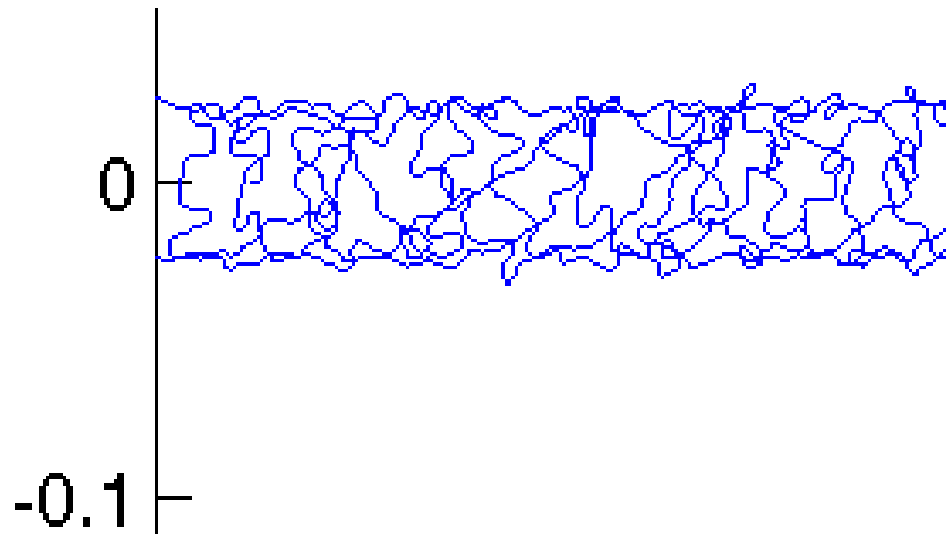
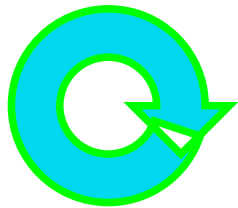
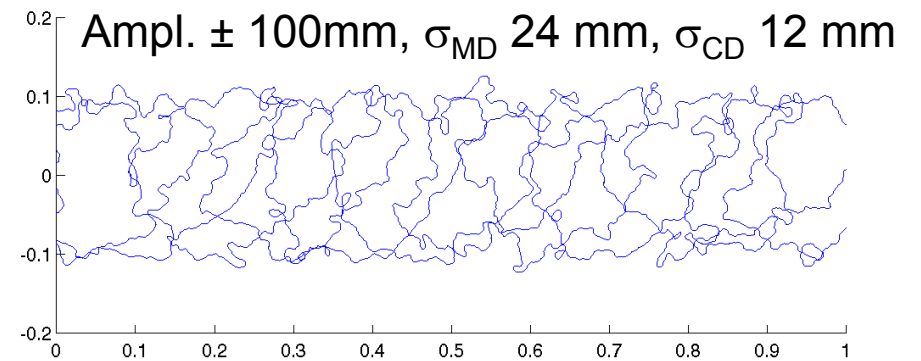
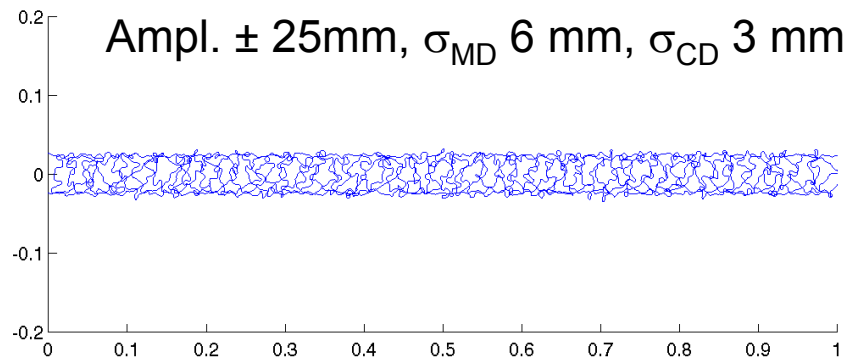
Stochastisches Modell: Überkritische Parameter

➤ Spinnen 4800 m/min, Band 400 m/min, $\sigma_{MD} = 12$ mm, $\sigma_{CD} = 6$ mm, $A = 10$



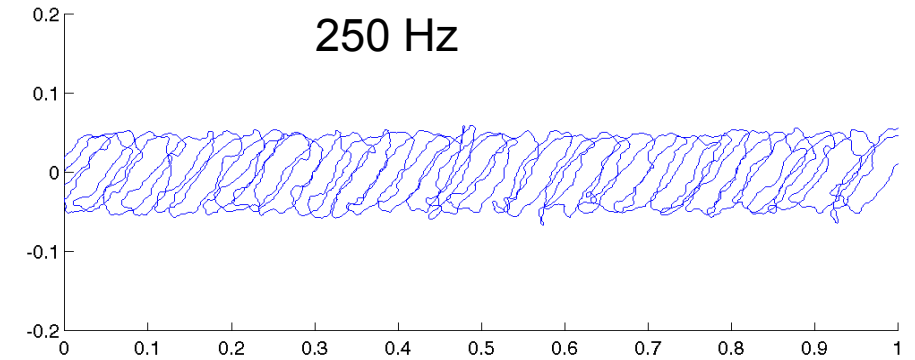
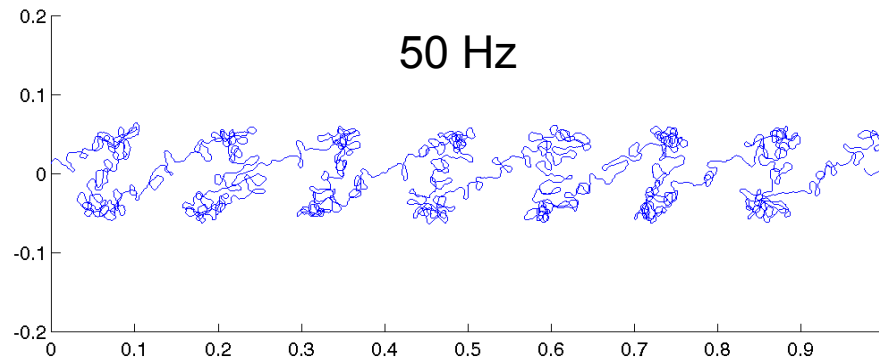
Stochastisches Modell: Skalierungsinvarianz

- Spinnen 4800 m/min, Band 400 m/min, 160 Hz, $A = 10$

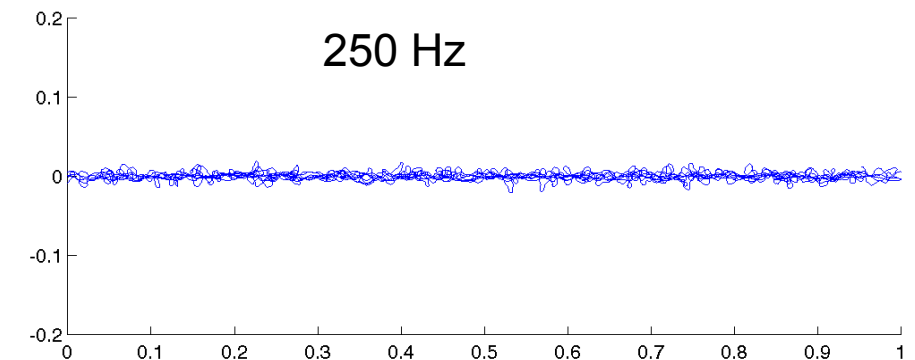
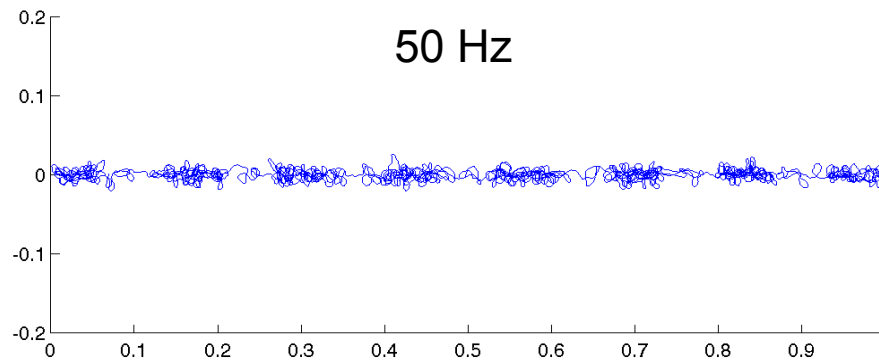
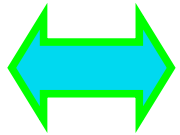


Stochastisches Modell: Einfluss Oszillationsrichtung

➤ Spinnen 4800 m/min, Band 400 m/min, $\sigma_{MD} = 12$ mm, $\sigma_{CD} = 6$ mm, $A = 10$

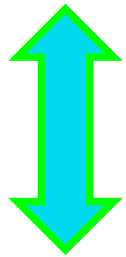


Amplitude ± 50 mm

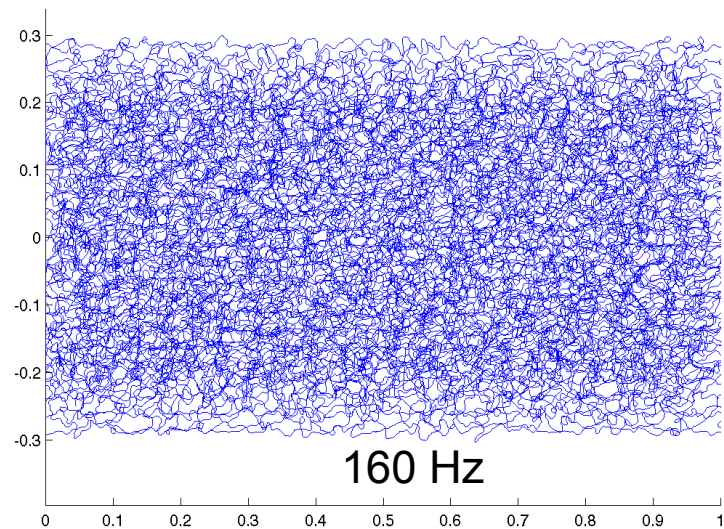
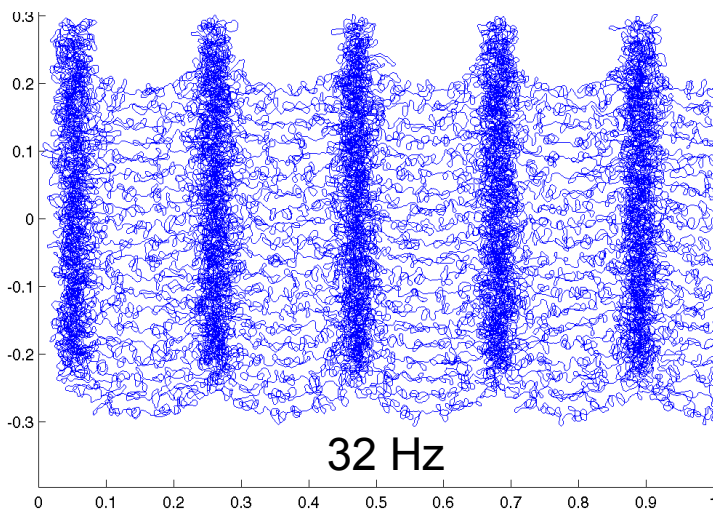
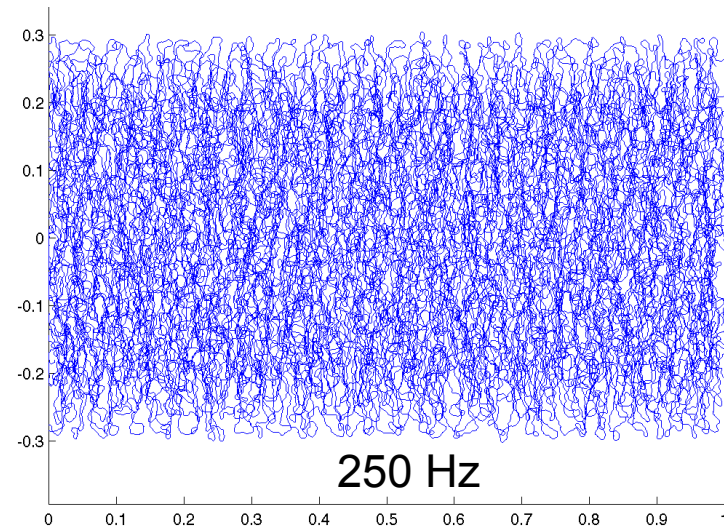
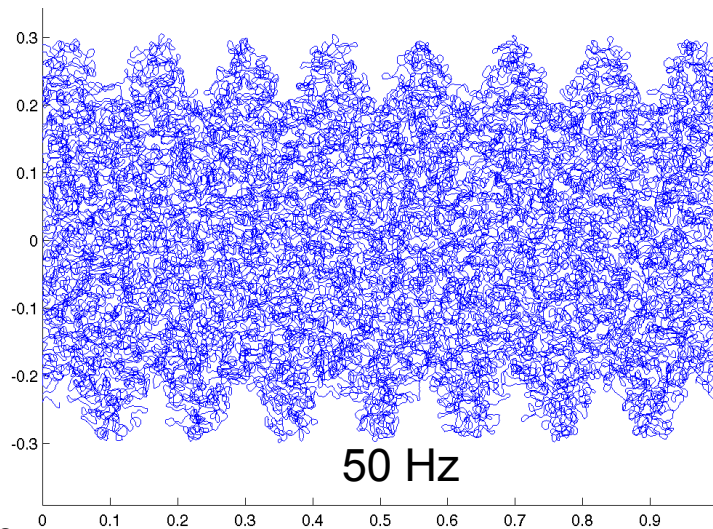
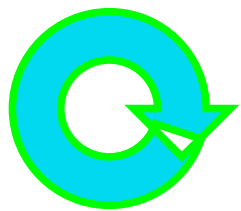


Stochastisches Vlies: Überlagerung period. Bewegung

➤ Spinnen 4800 m/min, Band 400 m/min, $\sigma_{MD} = 12$ mm, $\sigma_{CD} = 6$ mm, $A = 10$

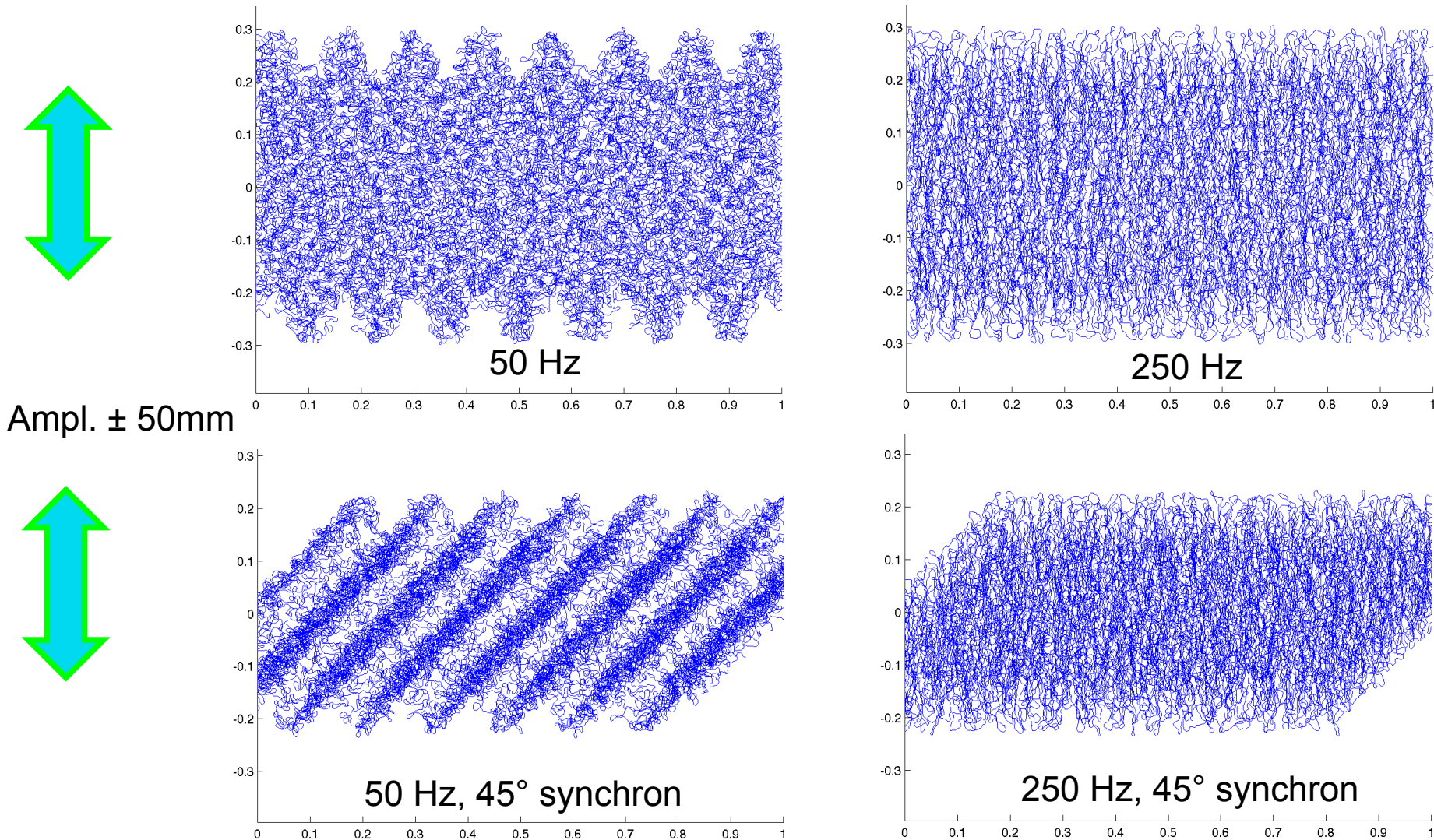


Ampl. ± 50 mm



Stochastisches Vlies: Einfluss Filamentanordnung

➤ Spinnen 4800 m/min, Band 400 m/min, $\sigma_{MD} = 12$ mm, $\sigma_{CD} = 6$ mm, $A = 10$



Zusammenfassung

- Modellierung und Simulation der Fadendynamik unter Einbeziehung der stochastischen Wirkungen
- Entwicklung des Softwarewerkzeugs FIDYST
- Technologiesprung durch simulationsbasierte Neuauslegung des Ablageprozesses
- Identifikation der stochastischen Kenngrößen in der Ablage
- Modellierung der Ablage als stochastischer Prozess
- Bewertung verschiedener Ablagestrategien und der relevanten Einflussfaktoren