
Simulationsbasierte Analyse von Vliesstoffstrukturen: Stochastik birgt reelle Chance

Dr. Dietmar Hietel,
Dr. Simone Gramsch,
Dr. Raimund Wegener

Fraunhofer-Institut für Techno-
und Wirtschaftsmathematik,
Kaiserslautern

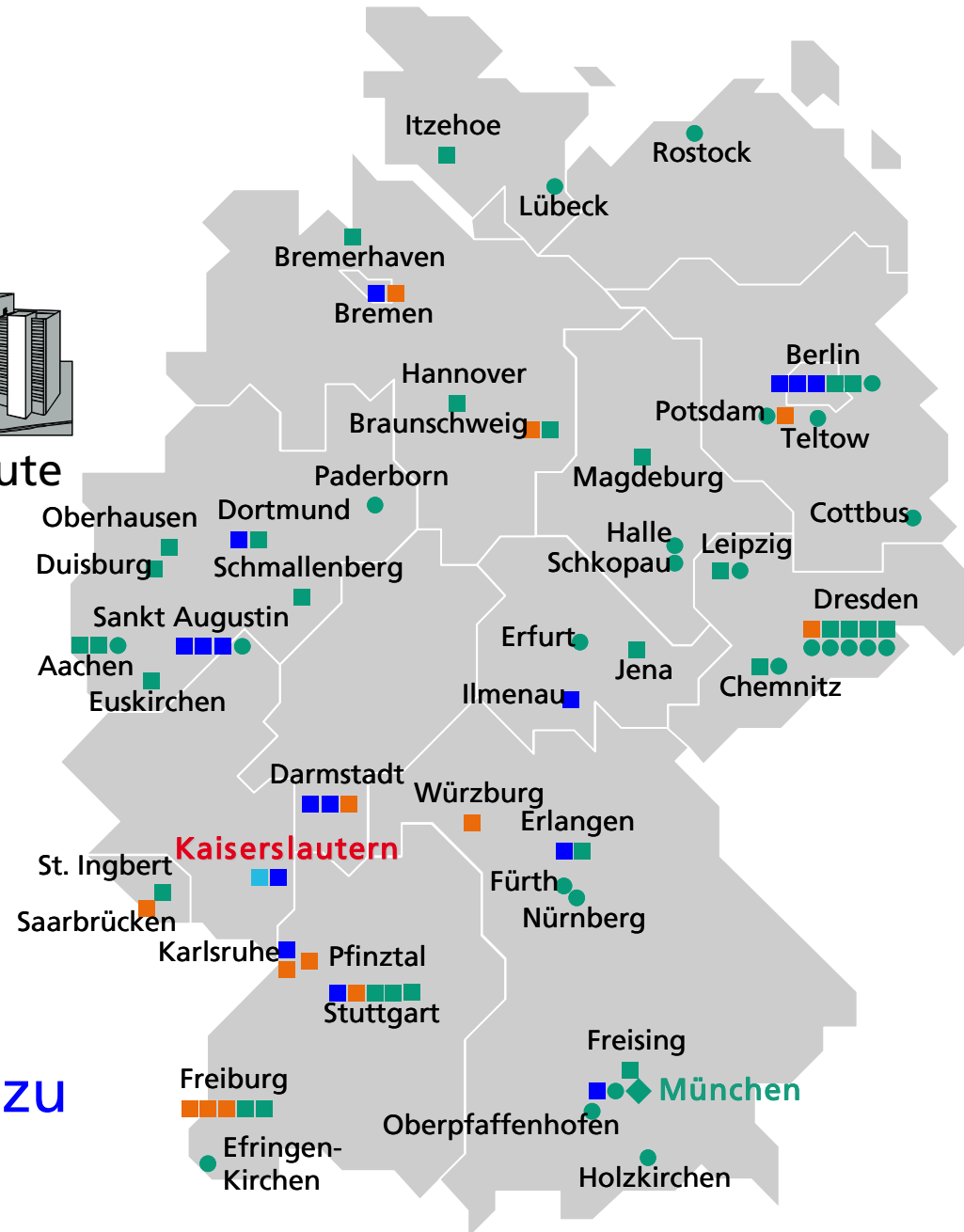
30. Hofer Vliesstofftage,
5. November 2015



67 Institute

2 Milliarden €
Budget

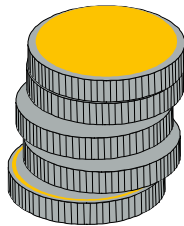
Fraunhofer Mission:
Brückenschlag von
angewandter Forschung zu
industrieller Anwendung



Fraunhofer-Institut für Techno- und Wirtschaftsmathematik ITWM Profile 2014



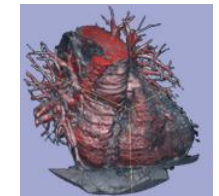
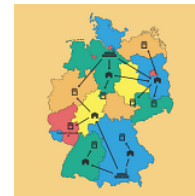
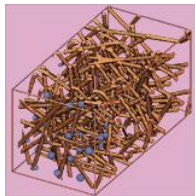
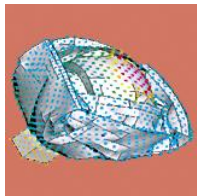
250
Mitarbeiter



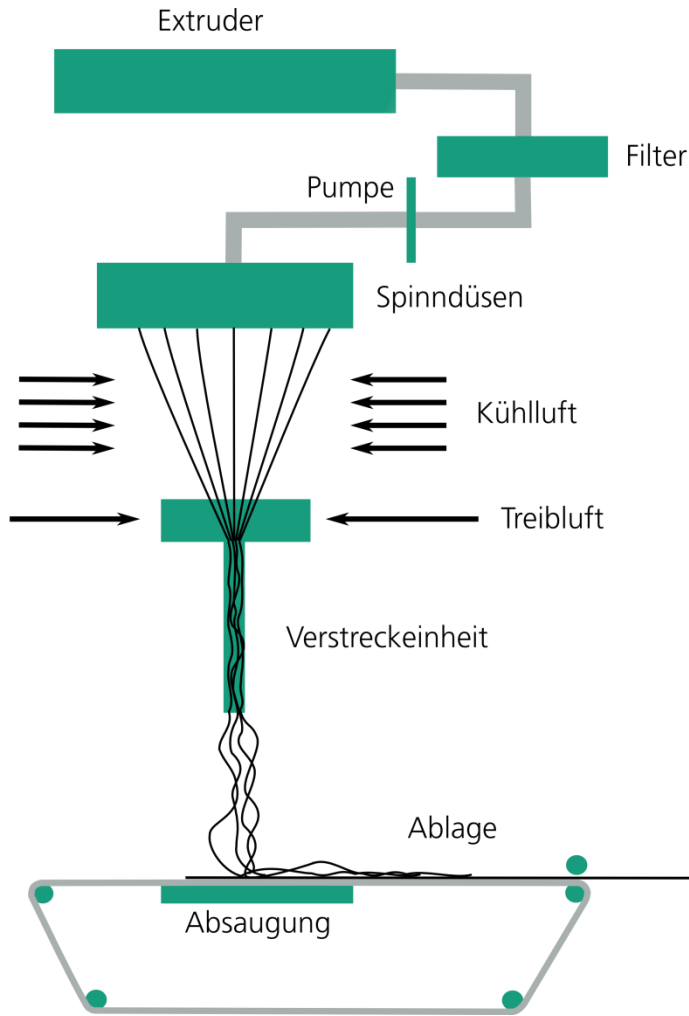
22 Millionen €
Budget



ITWM Mission: Mathematik ist Technologie



Modellhierarchie für Spinnen, Verwirbeln und Ablegen



Virtuelle Produktion von Vliesstoffen
R. Wegener, N. Marheineke, D. Hietel in
Mathematik im Fraunhofer-Institut,
Problemgetrieben – Modellbezogen –
Lösungsorientiert, 105-165, Springer, 2015.



Fadenbildung im Spinnprozess

N. Marheineke, R. Wegener. Asymptotic Model for the Dynamics of Curved Viscous Fibers with Surface Tension. J. of Fluid Mechanics, 622:345-369, 2009.

Filamentdynamik in turbulenten Strömungen

N. Marheineke, R. Wegener. Modeling and Application of a Stochastic Drag for Fibers in Turbulent Flows. International Journal of Multiphase Flow. 37(2), 136-148, 2011.

Stochastische Ablagemodelle

A. Klar, N. Marheineke, R. Wegener. Hierarchy of Mathematical Models for Production Processes of Technical Textiles. ZAMM. 89(12), 941-961, 2009.

Simulation von Fadendynamiken mit FIDYST: Vliesablage

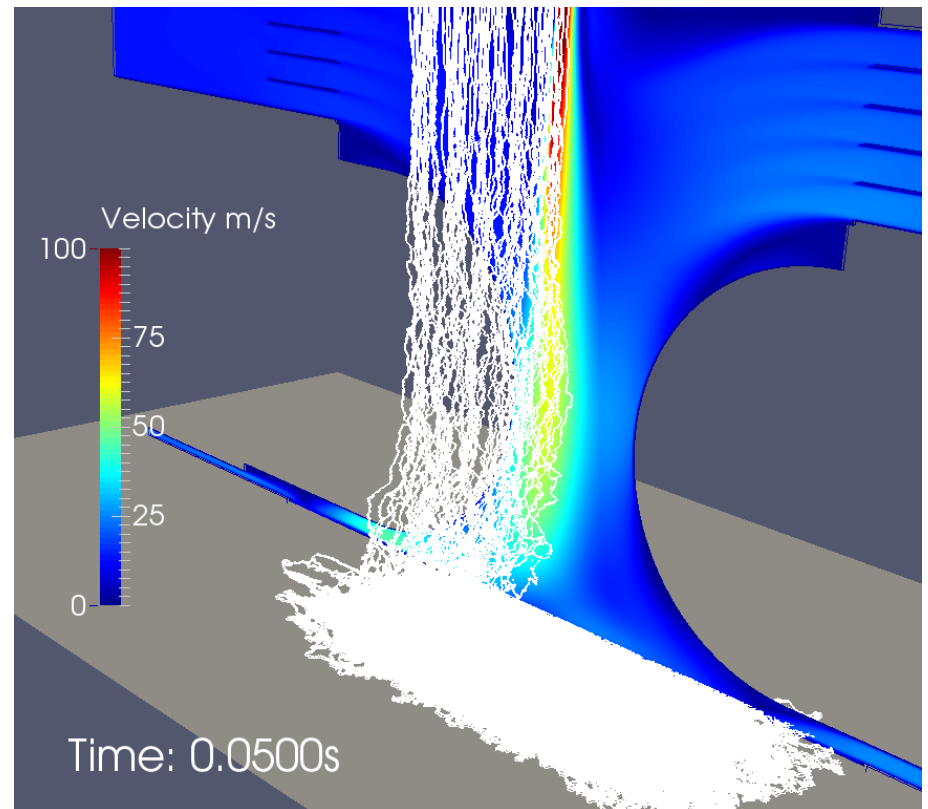
Verallgemeinertes String-Modell für einen elastischen, längentreuen Faden:

$$(\rho A)\partial_{tt}\mathbf{r} = \partial_s(T\partial_s\mathbf{r}) - \partial_{ss}((EI\partial_{ss}\mathbf{r}) + \mathbf{f}$$

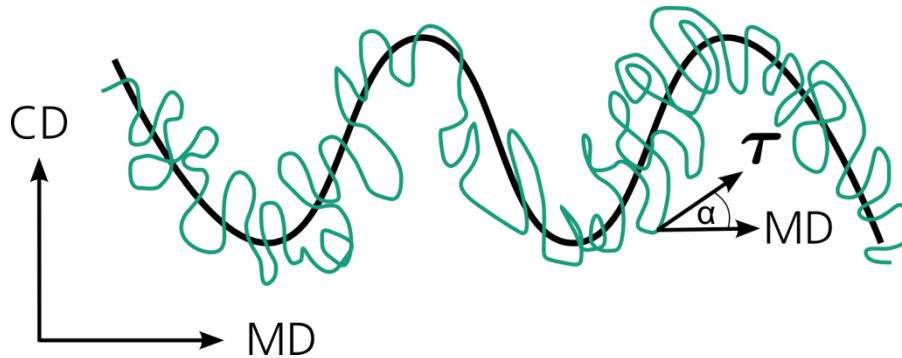
$$\|\partial_s\mathbf{r}\| = 1$$

mit den Kräften

- Trägheit
- Zugspannung
- Biegesteifigkeit
- Gravitation
- Luftkräfte
- Turbulenzwirkung als lokale stochastische Kräfte
- Kontakt- und Reibungskräfte
- Ablage auf bewegtem Band

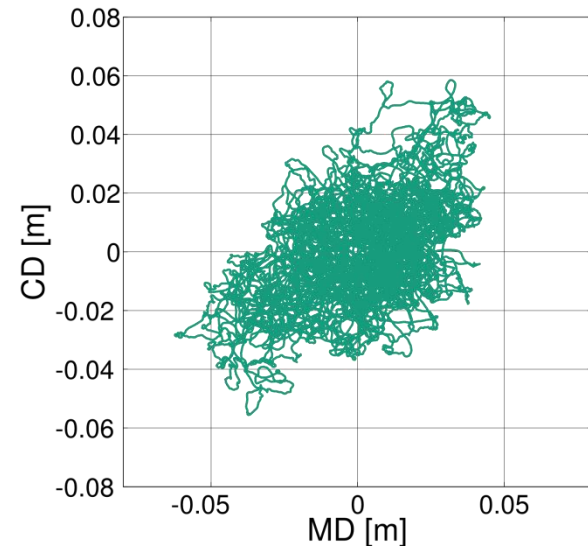


Simulation und Bewertung der Vliesablage



$$d\xi_t = \tau(\alpha_t)dt - d\gamma_t$$

$$d\alpha_t = -\nabla B(\xi_t) \cdot \tau^\perp(\alpha_t)dt + AdW_t$$



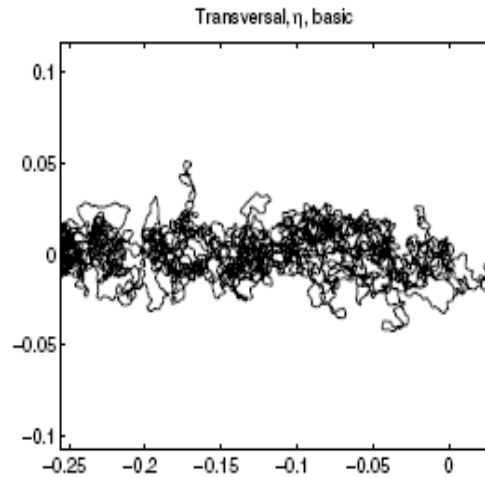
Idee des stochastischen Ersatzmodells*:

- Filamentablage = Spurkurve + stochastischer Prozess
- Identifizierung der stochastischen Parameter aus einer FIDYST-Simulation
- Standardabweichung in MD/CD sind Indikator für Festigkeit (Wurfweiten)

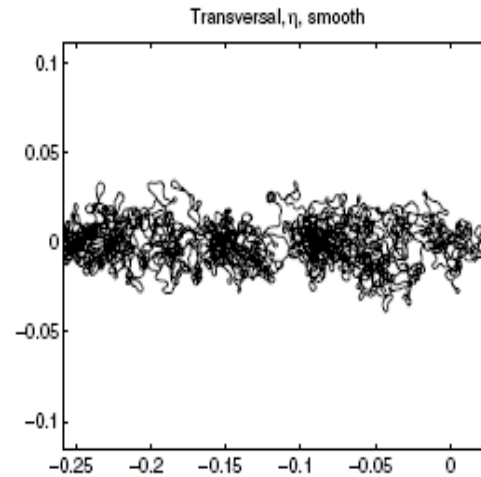
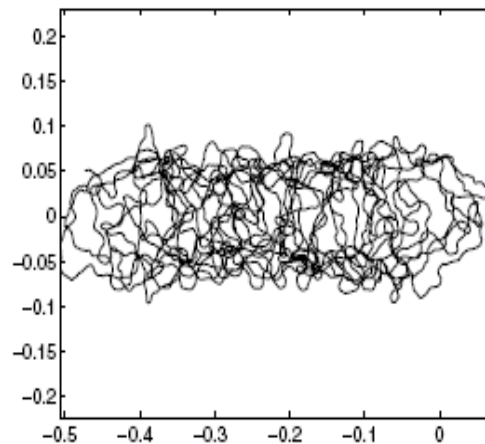
* A. Klar, N. Marheineke, R. Wegener. Hierarchy of Mathematical Models for Production Processes of Technical Textiles. ZAMM. 89(12), 941-961, 2009.

Simulation der Filamentablage als stochastischer Prozess

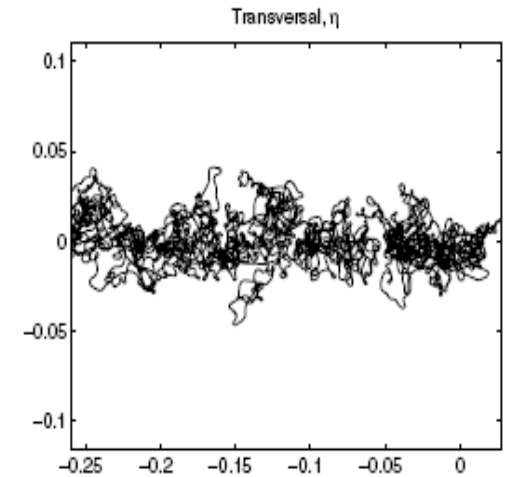
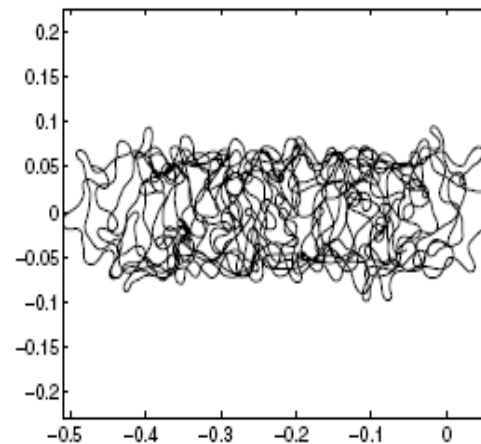
- Simulation der Fadendynamik in der Formingzone liefert Input zur Identifikation der Parameter für das stochastische Ablagemodell



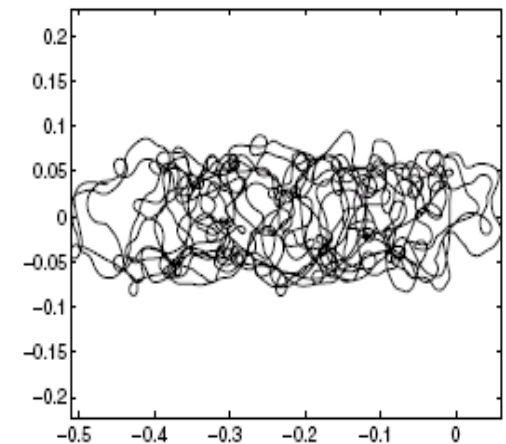
Basismodell



Glattes Modell



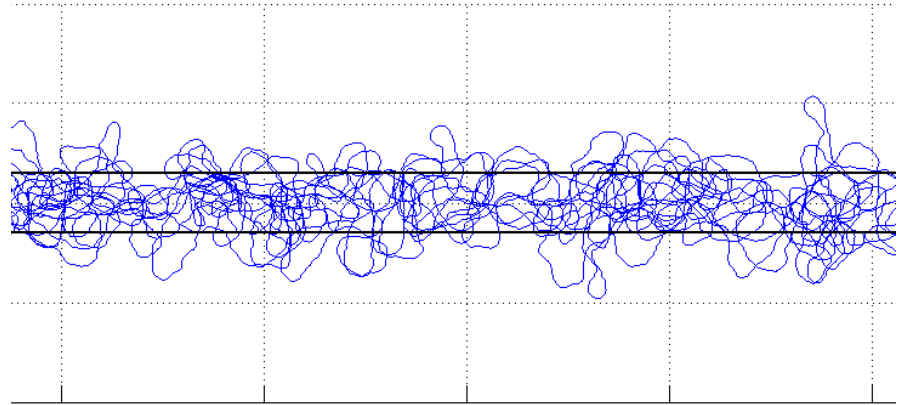
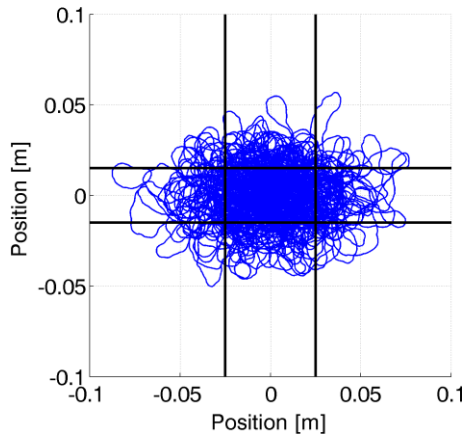
FIDYST



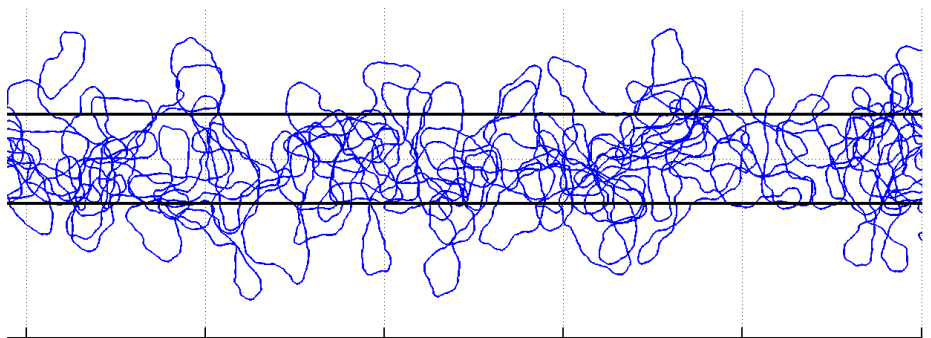
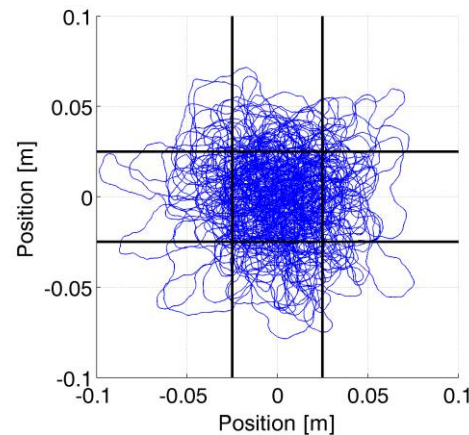
Einfluss der Wurfweiten

- Wurfweiten unterscheiden sich bedingt durch die Struktur der Strömung
- Typischerweise ist Wurfweite in MD bis zu doppelt so groß wie in CD

MD 25 mm
CD 15 mm

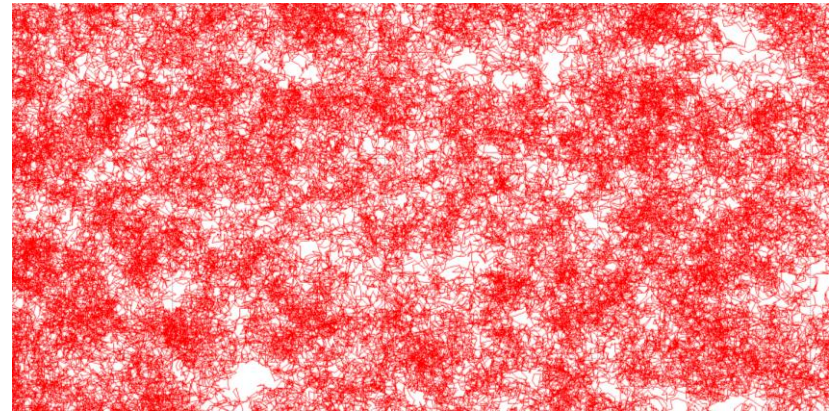
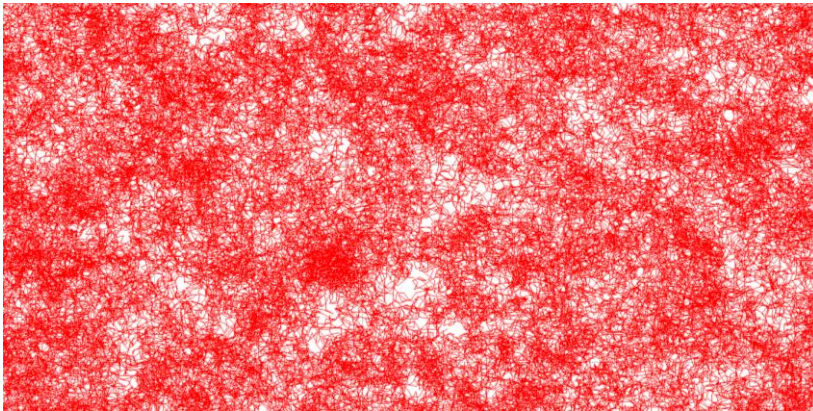
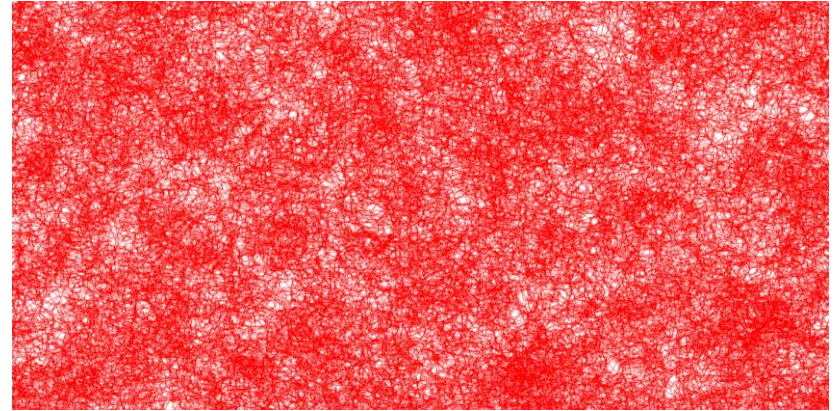
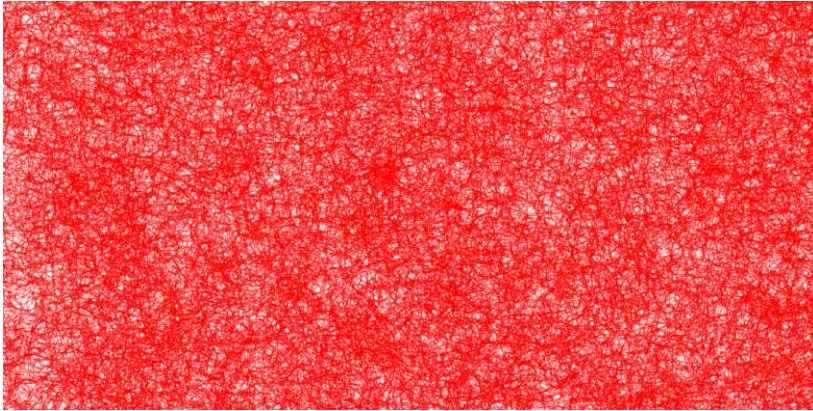


MD 25 mm
CD 25 mm



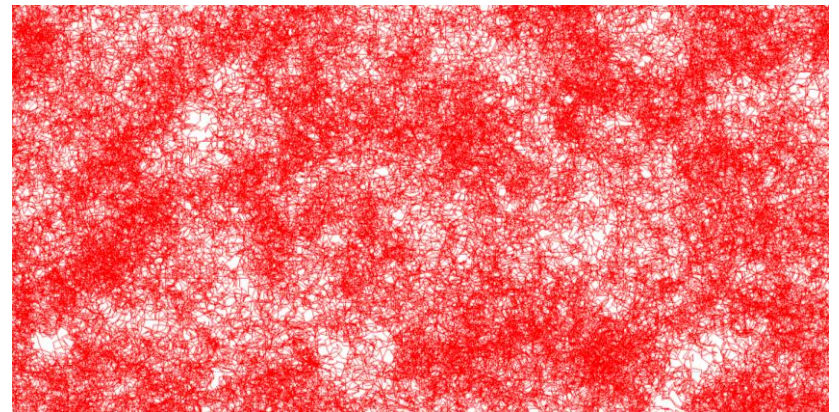
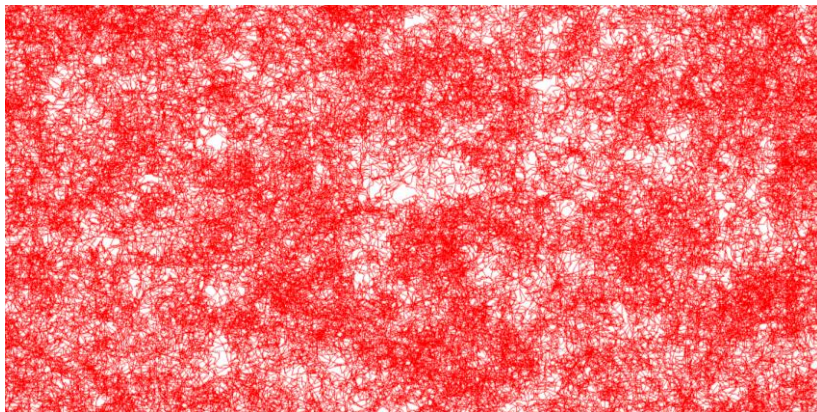
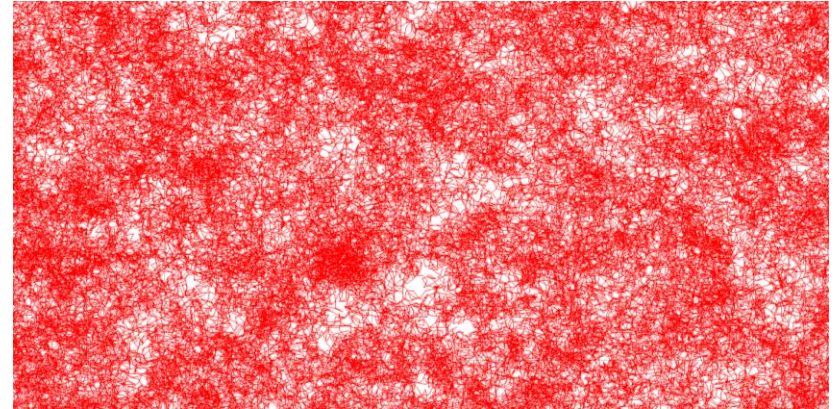
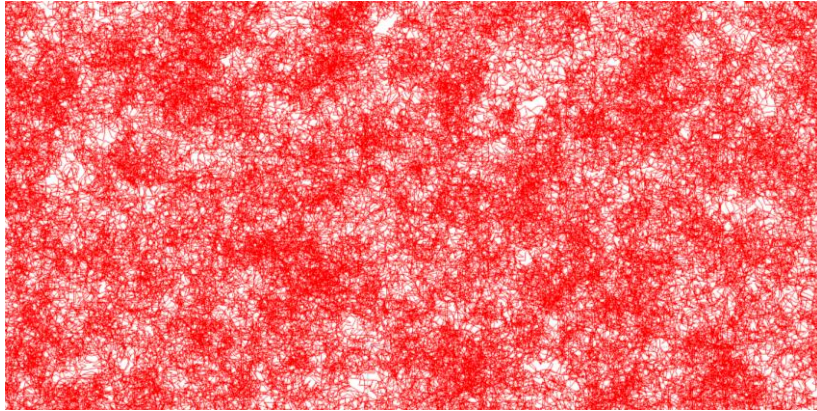
Einfluss des Rauschlevels auf Vliesstruktur

- Vorhangprozess mit Rauschlevel $A = 10, 20, 30, 40 \text{ m}^{-1/2}$ (l.o., r.o., l.u., r.u)
- Spinnen 4800 m/min, Band 200 m/min, Wurfweite MD 25 mm, CD 15 mm



Einfluss der Wurfweite quer auf Vliesstruktur

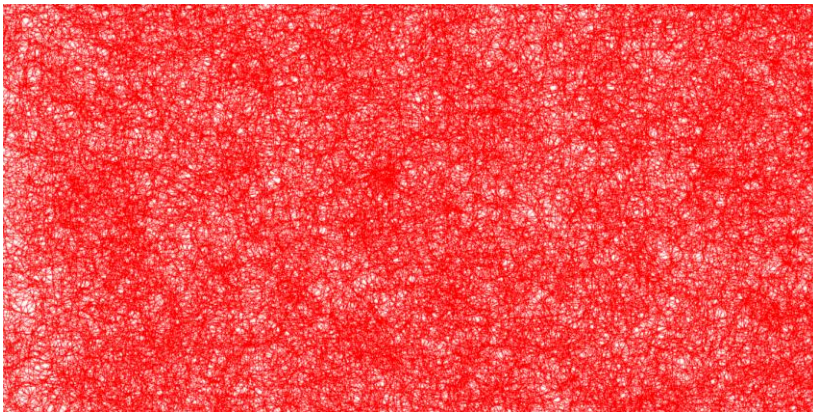
- Vorhangprozess mit Wurfweite in CD von 10 mm, 15 mm, 20 mm, 25 mm
- Spinnen 4800 m/min, Band 200 m/min, Wurfweite MD 25 mm, $A = 30 \text{ m}^{-1/2}$



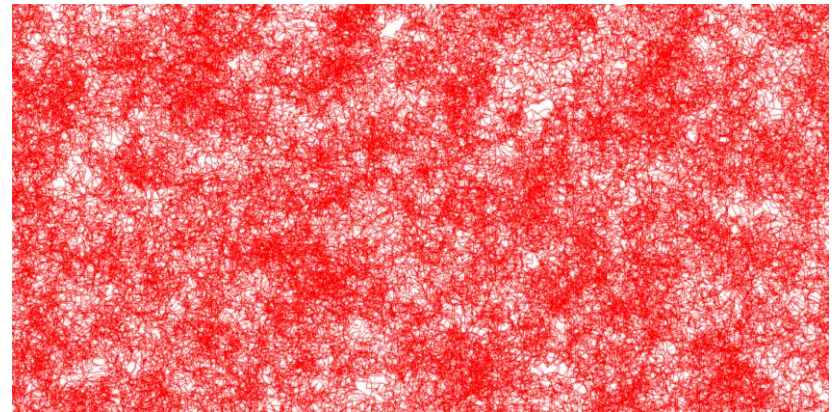
Einfluss der stochastischen Parameter auf Vliesstruktur

- Rauschlevel A wesentlich für Wolkigkeit
- Breite des Ablagedepots in CD bewirkt Filamentüberlapp, führt aber tendenziell zu Inhomogenitäten bei größeren Werten
- Mathematische Analyse der Strukturen zeigt, dass die Stochastik nicht zu groß sein sollte und eine optimale „Stochastizität“ bei $St = 1$ liegt:
 $St = \text{Quadrat des Rauschlevels mal Wurfweite in CD}$

$A^2 = 100/\text{m}$, Wurfweite CD = 0.015 m, $St = 1.5$

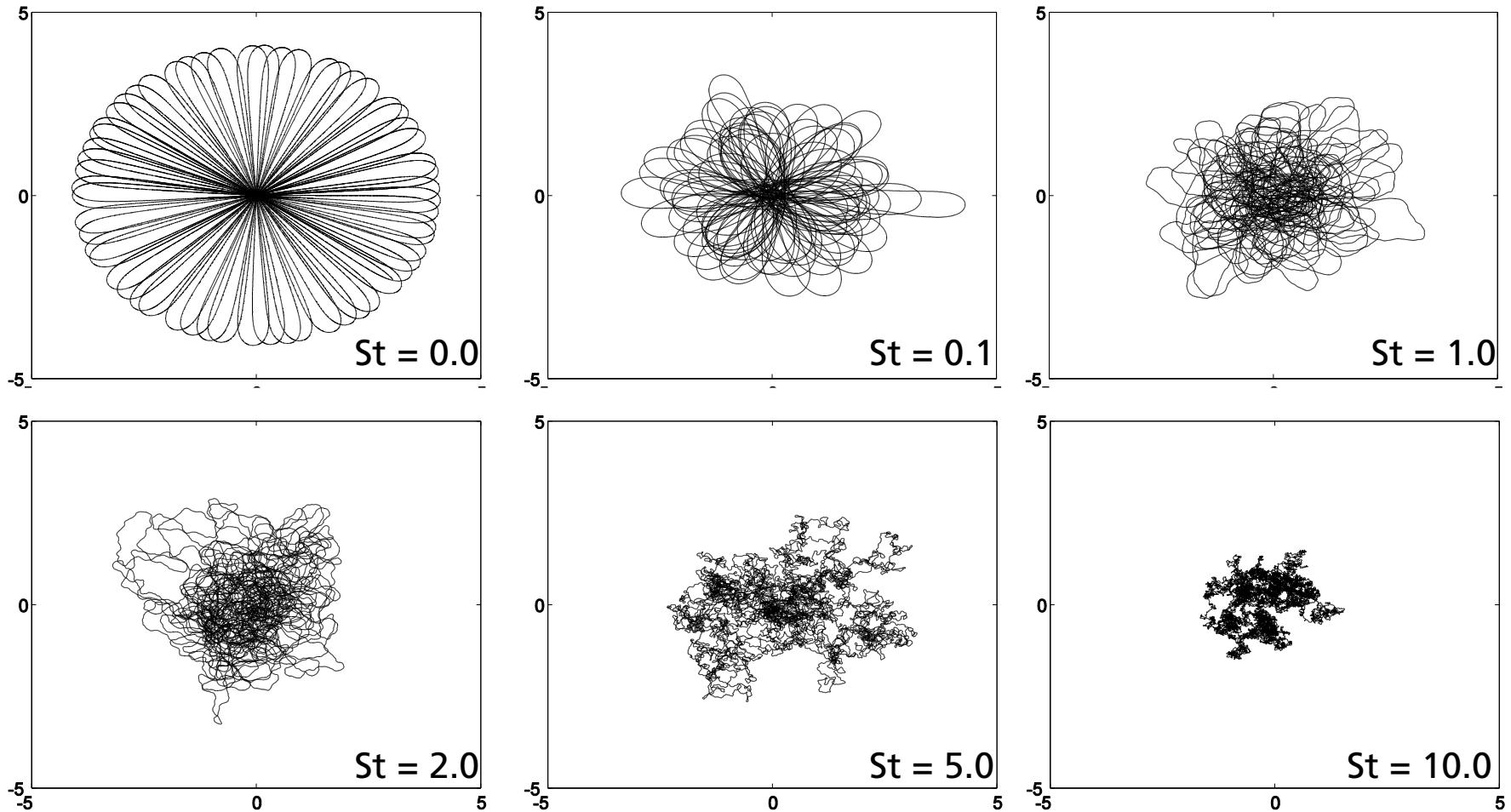


$A^2 = 900/\text{m}$, Wurfweite CD = 0.01 m, $St = 9.0$

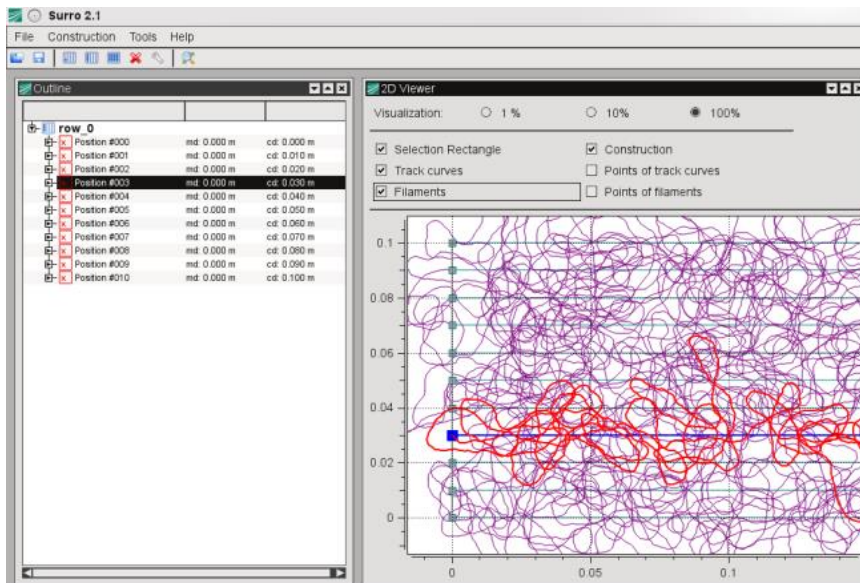


Einfluss der Stochastizität bei ruhendem Band

- $St = 0$ deterministisch, $St = 1$ ausgewogen, $St = \infty$ stochastisch
- Typische Vliesprozesse haben zweistellige Werte der Stochastizität



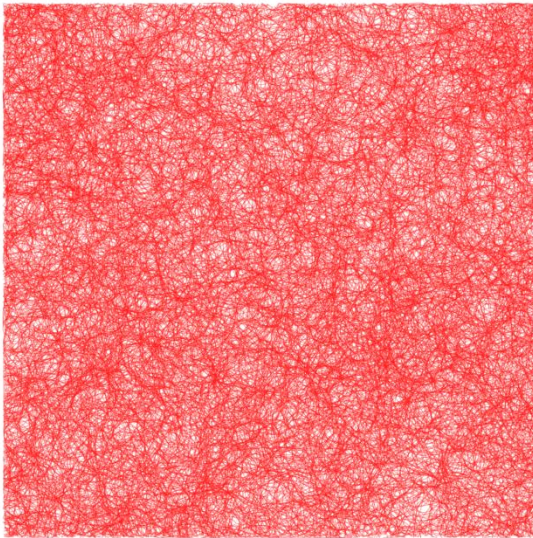
Simulation von Vliesstrukturen mit SURRO – Features



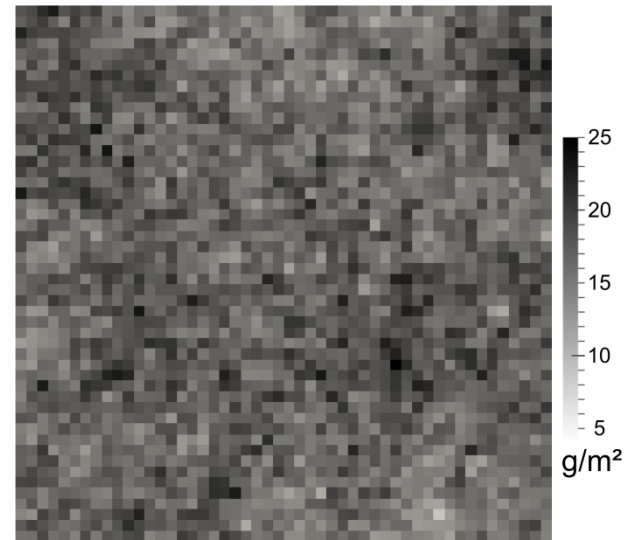
- Jedes Filament/Faser erhält individuelle Stochastik.
- Komplexe Produktionsprozesse mit Tausenden von Filamenten können in GUI beschrieben werden.
- Spezifikation der typischen Materialparameter: Titer, Dichte, Spinnengeschwindigkeit
- Komplexe Bewegungen innerhalb der Ablage: translatorisch, oszillierend, rotierend, andere Spurkurven

SURRO – Analyse der Vliesstoffeigenschaften

- Auswertung der Homogenität, Cv-Werte
- Verteilung in Richtung MD oder CD



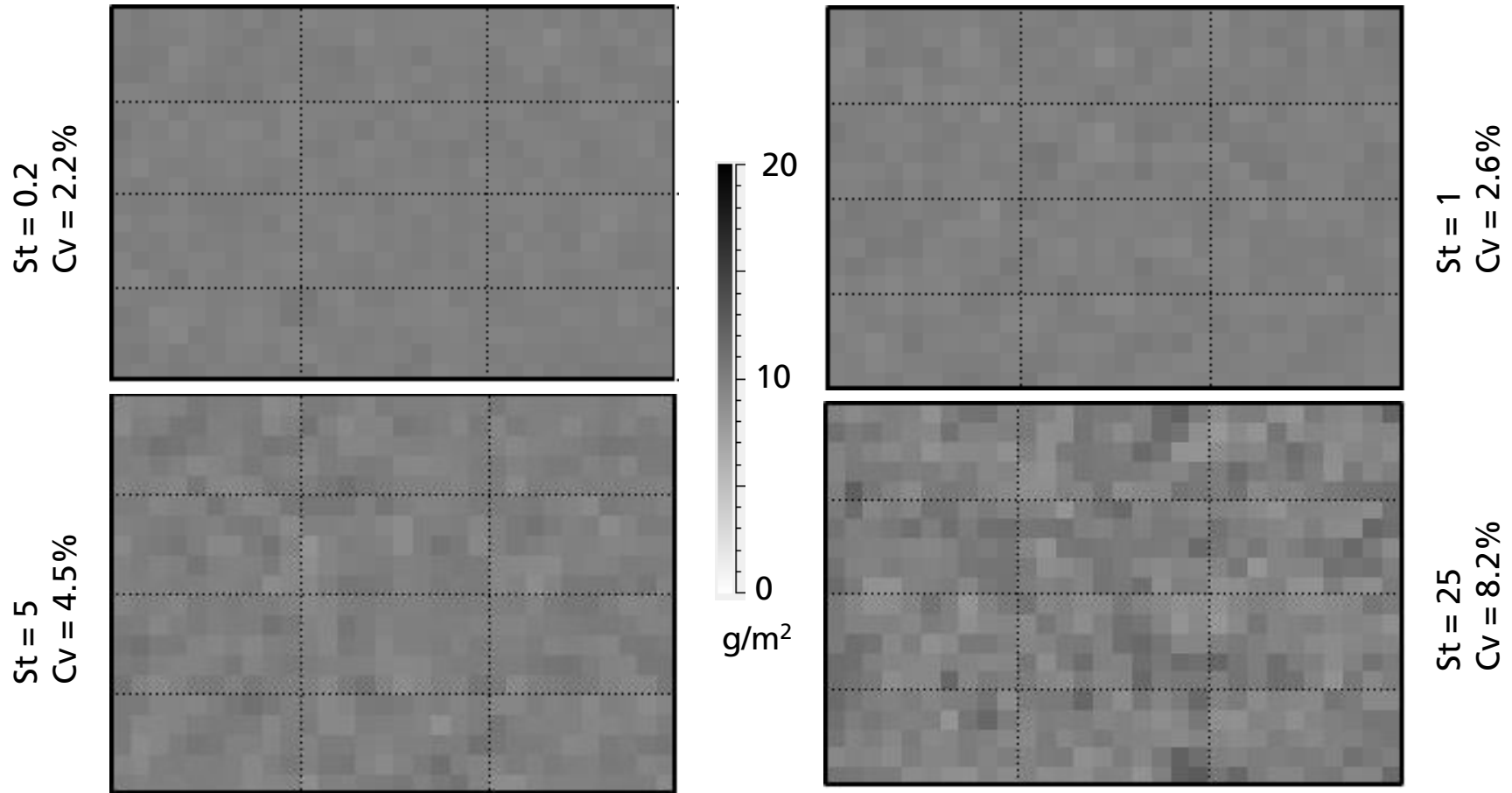
10x10 mm²



10x10 mm²

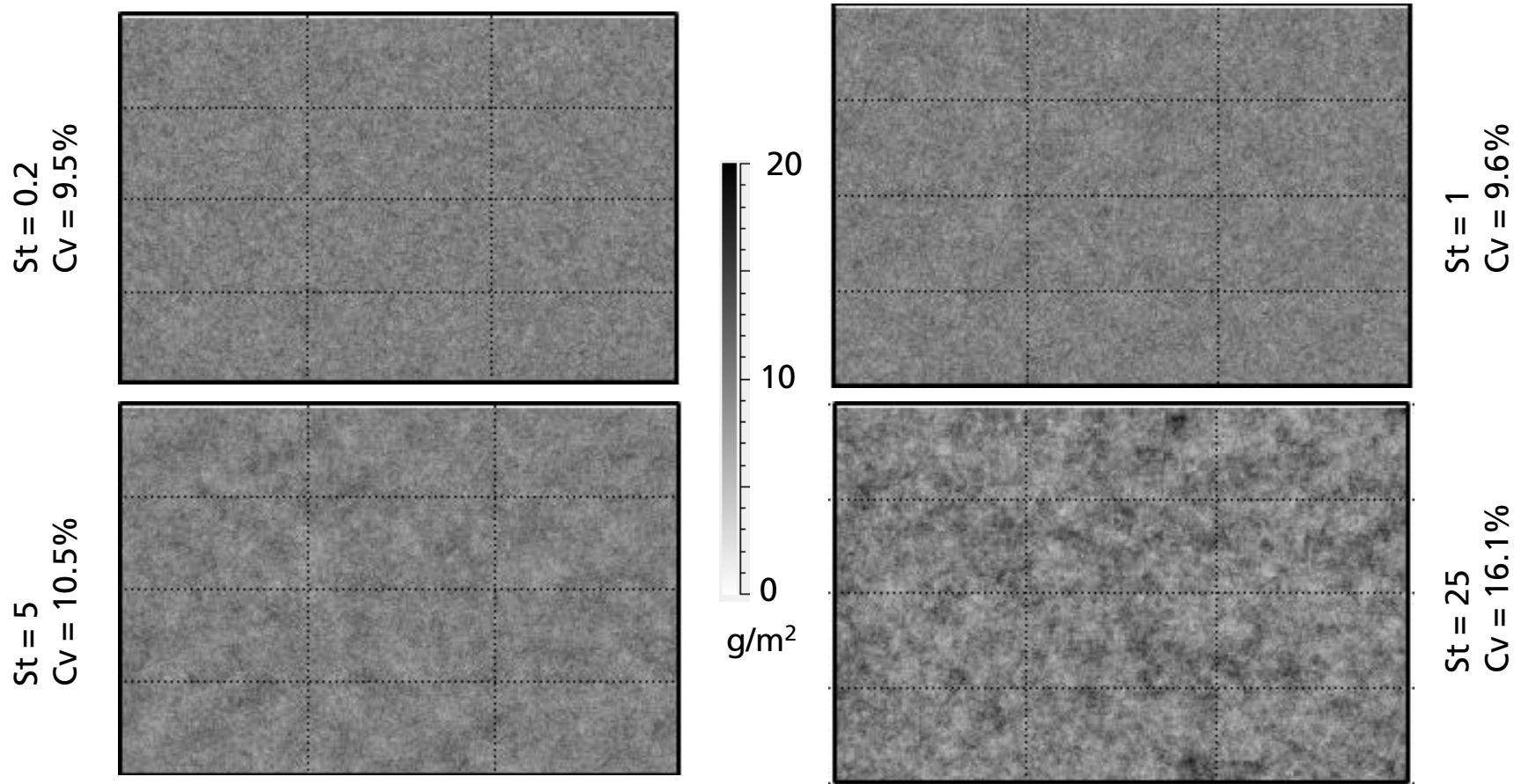
Flächengewichtsverteilung abhängig von Stochastizität

- Auflösung 10x10mm, Filament- $\varnothing$ 10 μm , Flächengewicht 10 g/m^2
- Stochastizität von 0.2, 1, 5, 25 (l.o., r.o., l.u. r.u.) für DIN A4-Ausschnitt



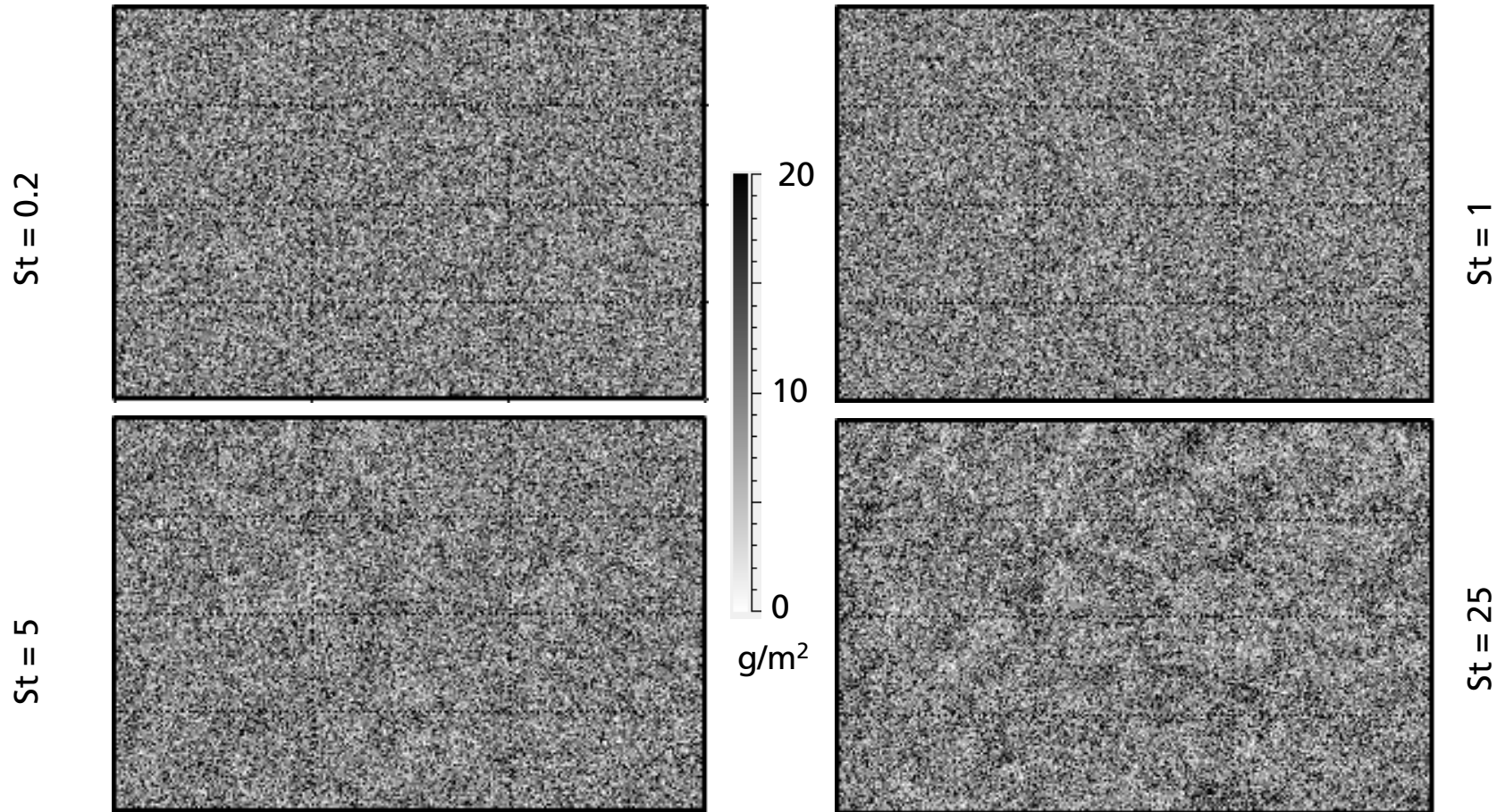
Flächengewichtsverteilung abhängig von Stochastizität

- Auflösung 1x1mm, Filament- $\varnothing$ 10 μm , Flächengewicht 10 g/m^2
- Stochastizität von 0.2, 1, 5, 25 (l.o., r.o., l.u. r.u.) für DIN A4-Ausschnitt



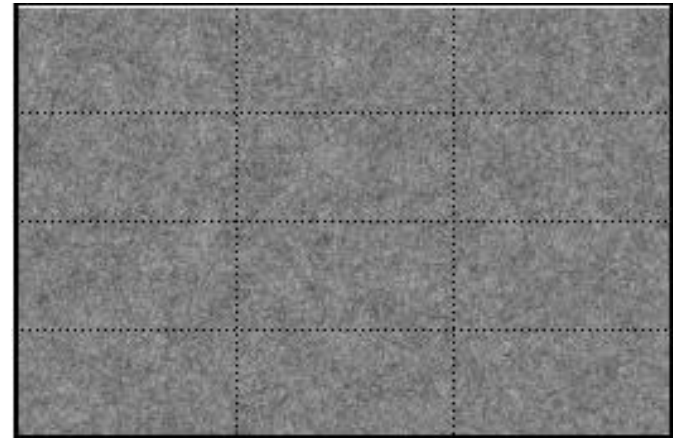
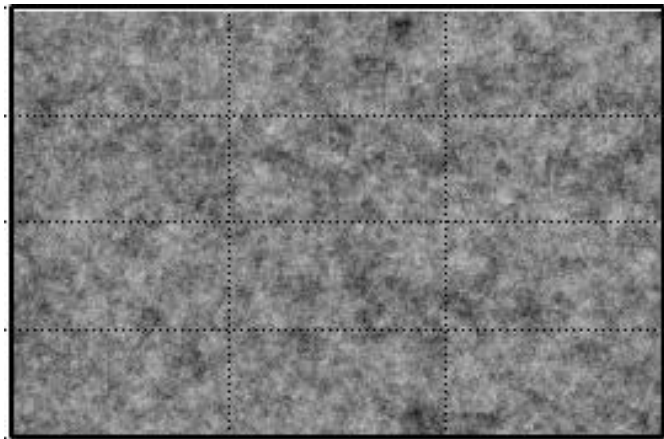
Flächengewichtsverteilung abhängig von Stochastizität

- Auflösung 0.1x0.1mm, Filament- $\varnothing$ 10 μm , Flächengewicht 10 g/m²
- Stochastizität von 0.2, 1, 5, 25 (l.o., r.o., l.u. r.u.) für DIN A4-Ausschnitt



Zusammenfassung und Perspektive

- Stochastizität weist bisher oft zweistellige Werte auf
- Flächengewichtsschwankungen und Wolkigkeit daher relativ groß
- Funktionale Eigenschaften dadurch ebenfalls ungünstig beeinflusst
- Übergeordnetes Ziel: Reduktion der Stochastizität auf Werte nahe 1
- Umsetzung erscheint durch gezielte Prozessmodifikationen möglich
- Realisierung erfordert Analyse der spezifischen Prozessbedingungen



- Beherrschung des Zufalls birgt hohes Potenzial für die Vliesstoffindustrie