
Optimierung von Nadelbildern in der
Vliesstoffverarbeitung –
Designmöglichkeiten durch Einsatz von Simulationstools



Optimierung von Nadelbildern in der Vliesstoffverarbeitung – Designmöglichkeiten durch Einsatz von Simulationstools

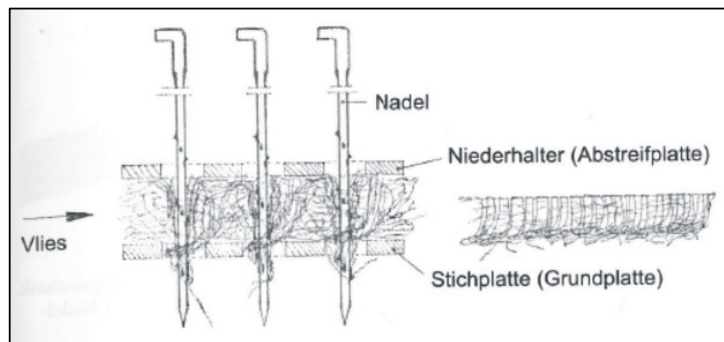
24. Hofer Vliesstofftage 2009

Dr. Simone Gramsch

Dr. Dietmar Hietel

Dr. Matthias Schäfer

Funktionsprinzip des Vernadelns



(Quelle: Vliesstoffe von Albrecht, Fuchs, Kittelmann)

- Nadeln mit Kerben werden senkrecht zur Vliesebene eingestochen
- Umorientierung der Fasern führt zu Verschlingung bzw. Verriegelung
- Verfestigung des Fasermaterials durch Form- und Reibschluss

Einflussfaktoren auf das Vernadelungsergebnis

- Anordnung der Nadeln im Nadelbrett
- Art der Vernadelung (von oben, unten oder beidseitig)
- Nadelparameter (Feinheit, Kerbenform, Kerbenanzahl)
- Vernadelungsparameter: Einstichtiefe, Einstichdichte und Verzug, insbesondere
 - Nadelzahl je Meter Arbeitsbreite
 - Hubfrequenzen bzw. Vorschub pro Hub
 - Abzugsgeschwindigkeit
 - Arbeitsbreite

Ziele eines optimalen Vernadelungsverfahrens

- Homogene Einstichdichten im Vlies
- Musterfreie Nadeleinstichbilder im Vlies

Optimierung des Vernadelungsverfahrens ohne Computer:

1. Manuelle Anordnung der Nadeln im Nadelbrett aufgrund Erfahrung
Idee: Nadeln werden in einem kleinen Ausschnitt angeordnet und wiederholt
2. Bau eines Nadelbretts mit dazugehörigen Bett- und Abstreiferplatten
3. Test des Nadelbretts im Praxisversuch

Nachteile des manuellen Verfahrens:

zeitaufwändig und kostenintensiv!

Optimierung des Vernadelungsverfahrens durch Einsatz von Simulationssoftware

1. Simulation des Einstichmusters im Vlies bei gegebener Anordnung der Nadeln
2. Bewertung des Einstichmusters im Vlies
3. Berücksichtigung von Materialeinsprung und Längsverzug
4. Optimierung der Nadelanordnung
5. Automatisierte Konstruktion von neuen Nadelteilungen

Simulation des Einstichmusters im Vlies

Berechnung der Einstiche im Vlies ohne Verzug erfolgt nach der Formel:

$$x_i = x_0$$

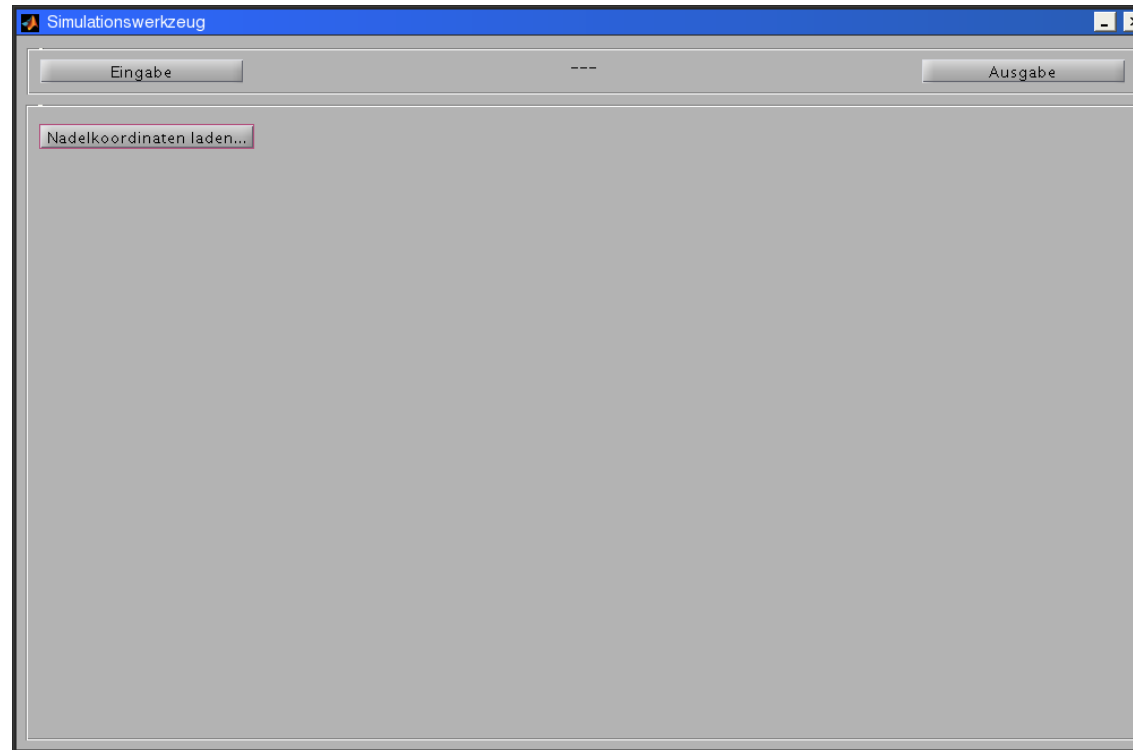
$$y_i = y_0 + i \cdot v$$

Der Index i steht für den i -ten Einstich im Vlies und mit v bezeichnen wir den Vorschub pro Hub.

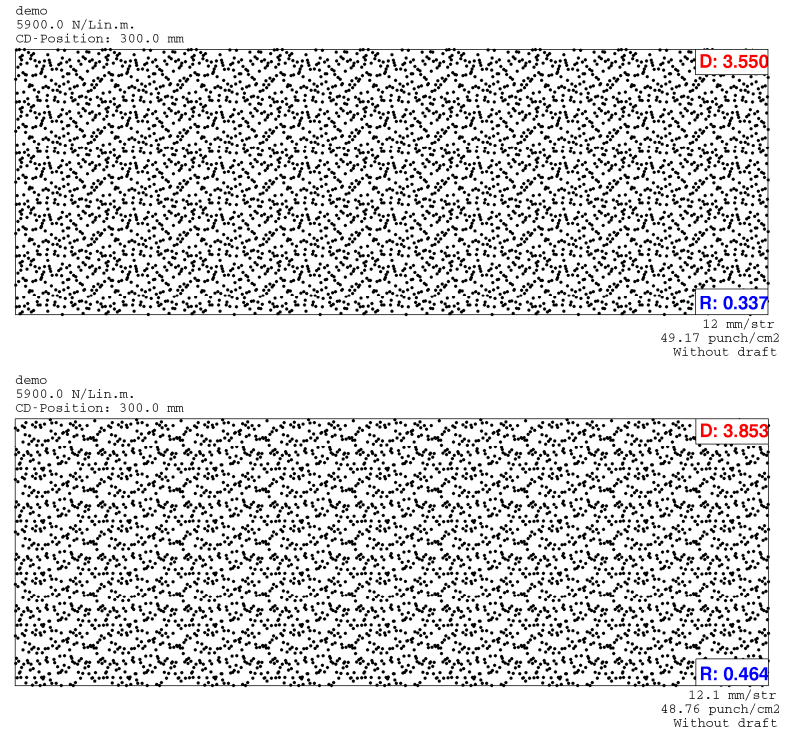
(x_0, y_0) Koordinaten der Nadel im Nadelbrett in CD und MD

(x_i, y_i) Koordinaten der Einstiche im Vlies

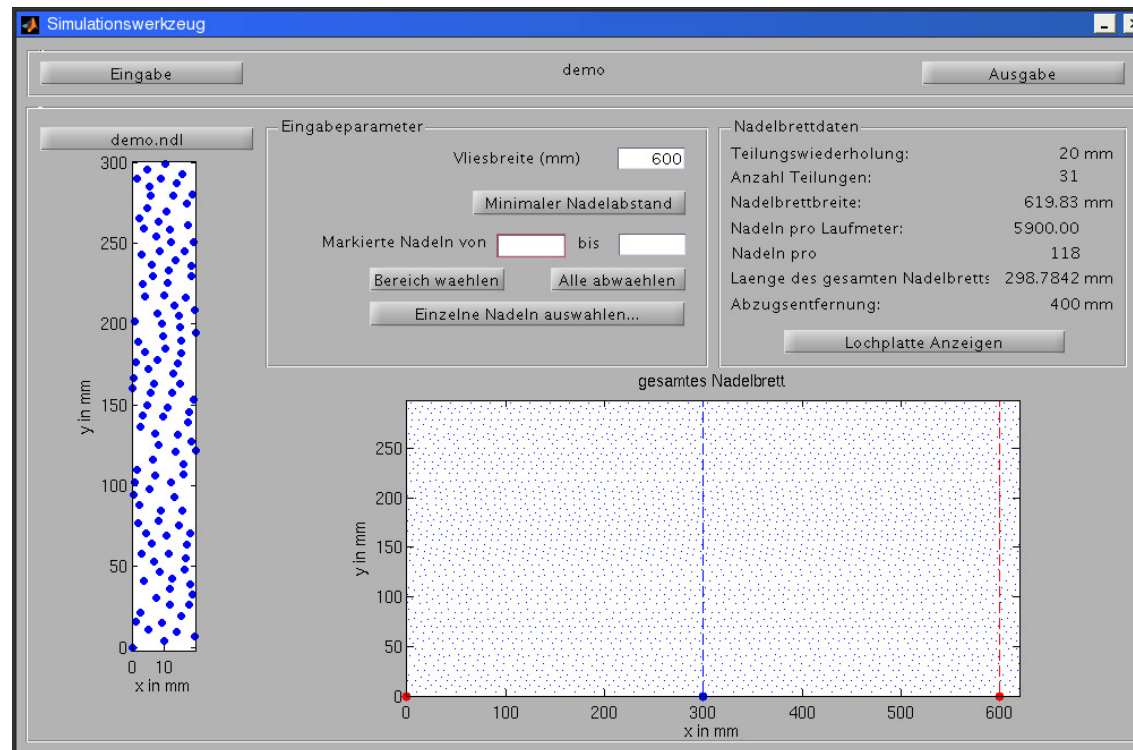
Simulation des Einstichmusters im Vlies – Softwaredemo (1/3)



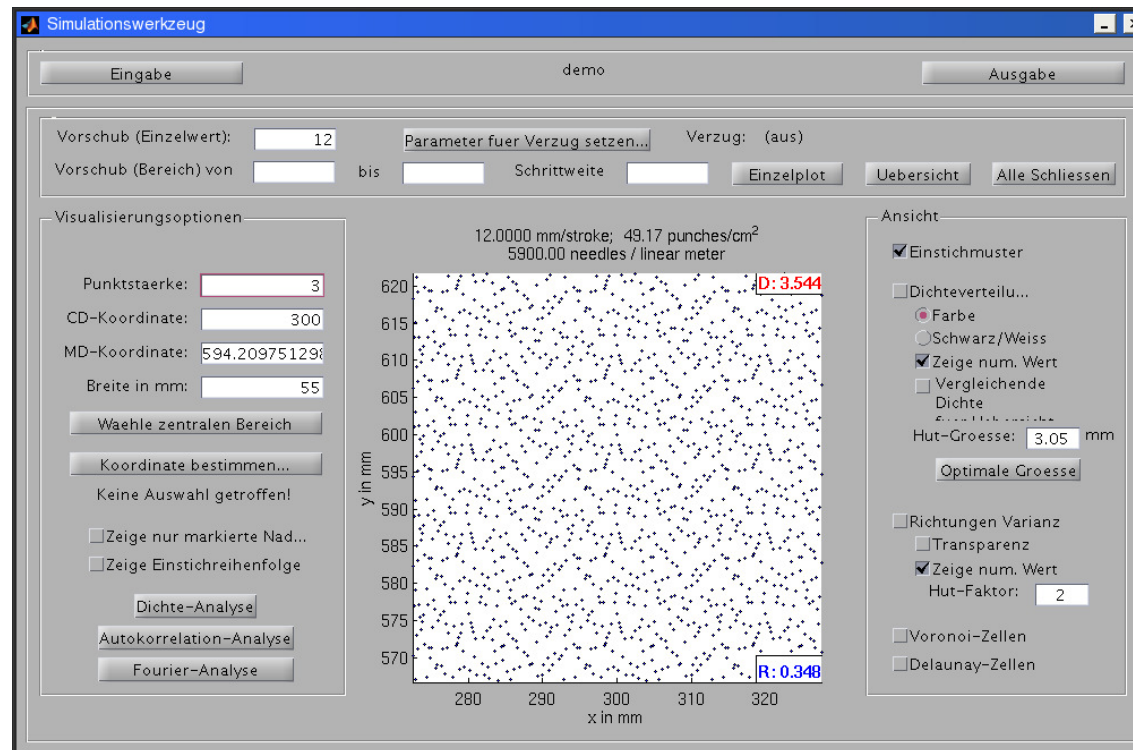
Simulation des Einstichmusters im Vlies – Beispiel



Simulation des Einstichmusters im Vlies – Softwaredemo (2/3)



Simulation des Einstichmusters im Vlies – Softwaredemo (3/3)

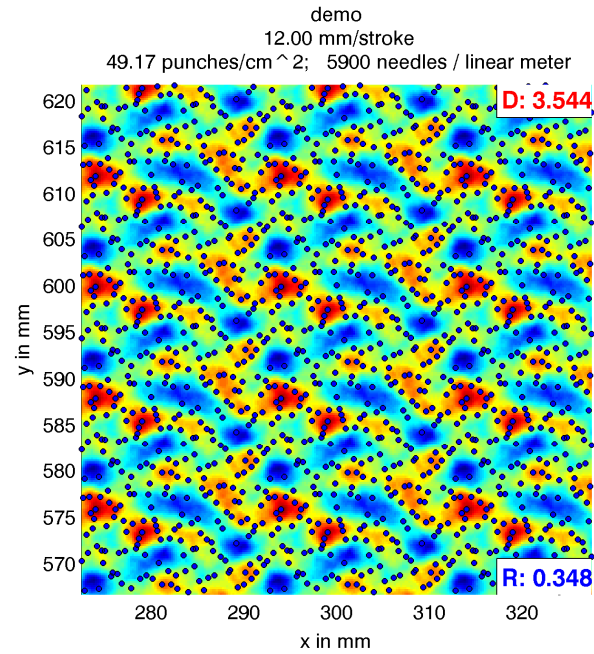


Bewertung des Einstichmusters im Vlies

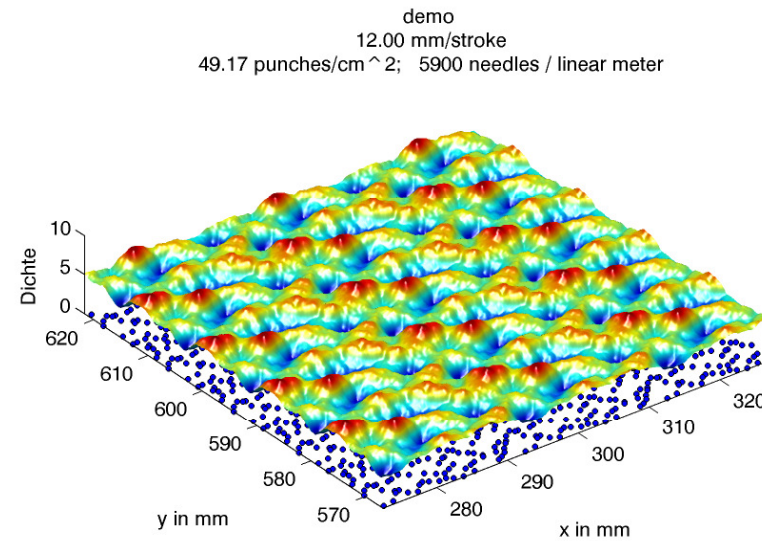
Mathematische Verfahren zur Beurteilung der Nadelbildgüte:

- **Dichteverteilung (Kriterium für Homogenität der Einstichdichte)**
- **Richtungsverteilung (Kriterium für Streifigkeit)**
- Bewertungsverfahren der algorithmischen Geometrie (Voronoi / Delaunay)
- Dichteanalyse
- Autokorrelationsanalyse
- Fourieranalyse

Bewertung des Einstichmusters im Vlies – Dichteverteilung

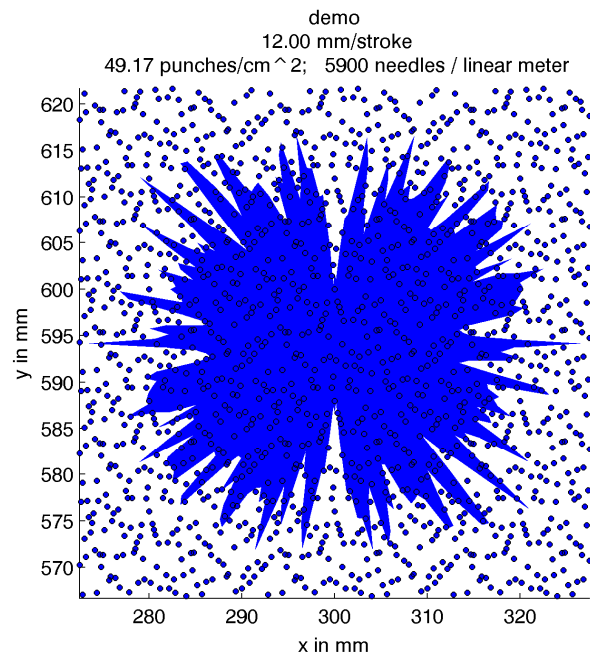


2D-Darstellung der Einstichdichte



3D-Darstellung der Einstichdichte

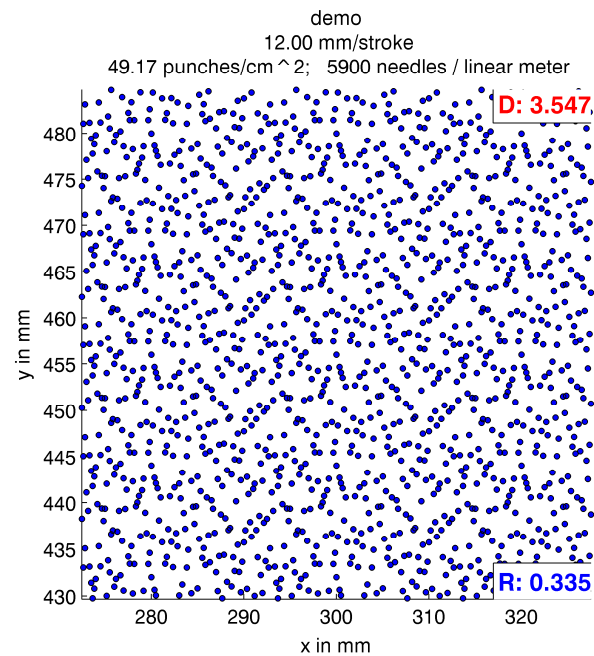
Bewertung des Einstichmusters im Vlies – Richtungsverteilung



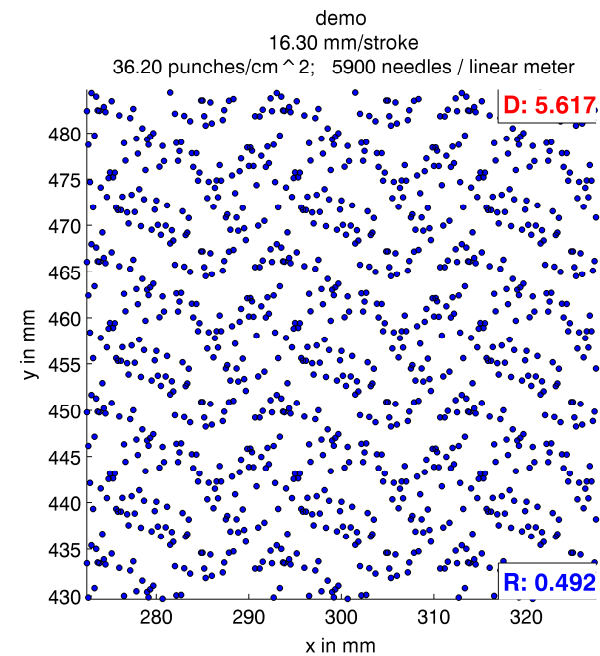
Idee:

- Projektion der Dichteverteilung abhängig von der Blickrichtung
- Auswertung des Mittelwertes und der Standardabweichung der projizierten Dichte

Bewertung des Einstichmusters im Vlies – Richtungsverteilung

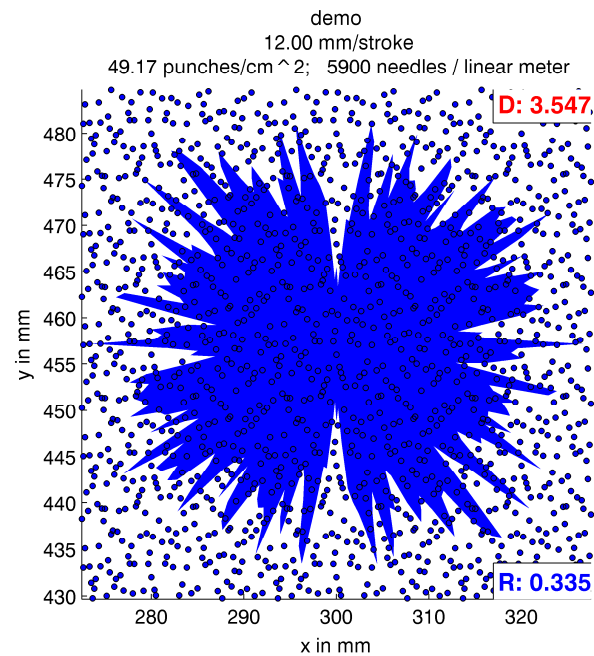


Vorschub pro Hub: 12.0 mm

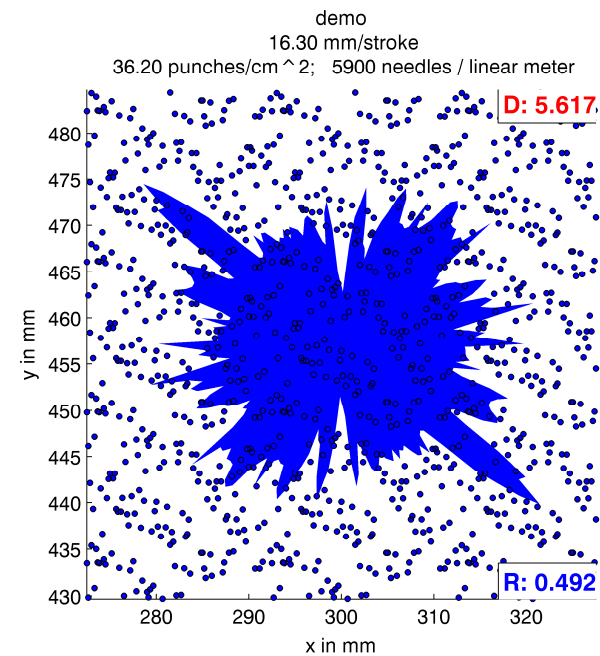


Vorschub pro Hub: 16.3 mm

Bewertung des Einstichmusters im Vlies – Richtungsverteilung

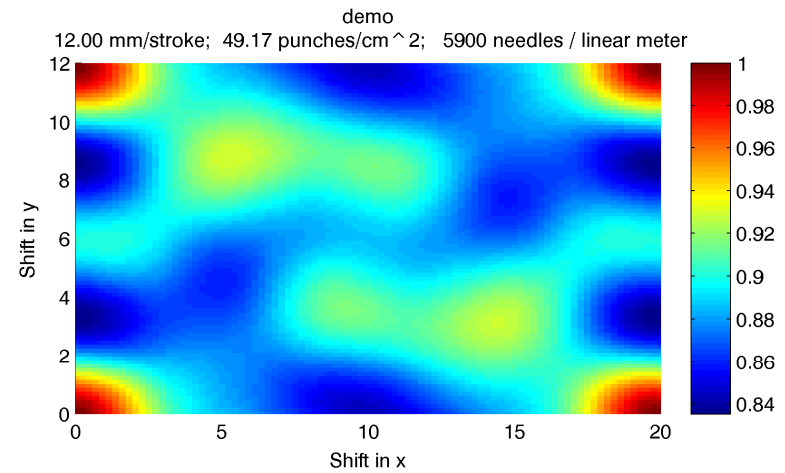
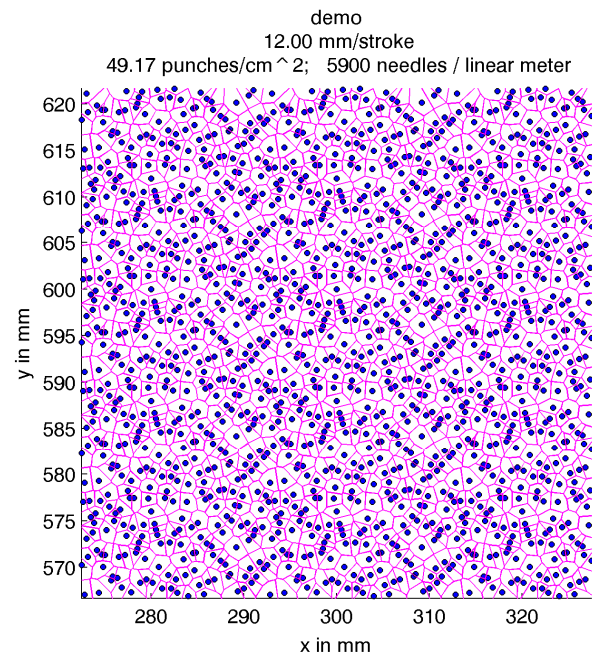


Vorschub pro Hub: 12.0 mm

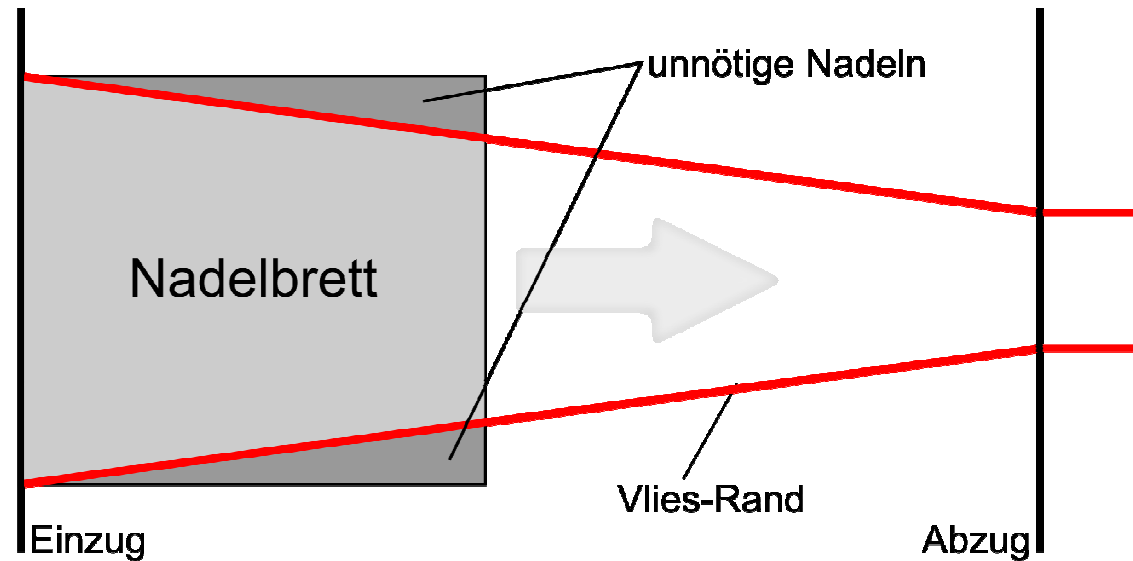


Vorschub pro Hub: 16.3 mm

Bewertung des Einstichmusters – Voronoi und Autokorrelation

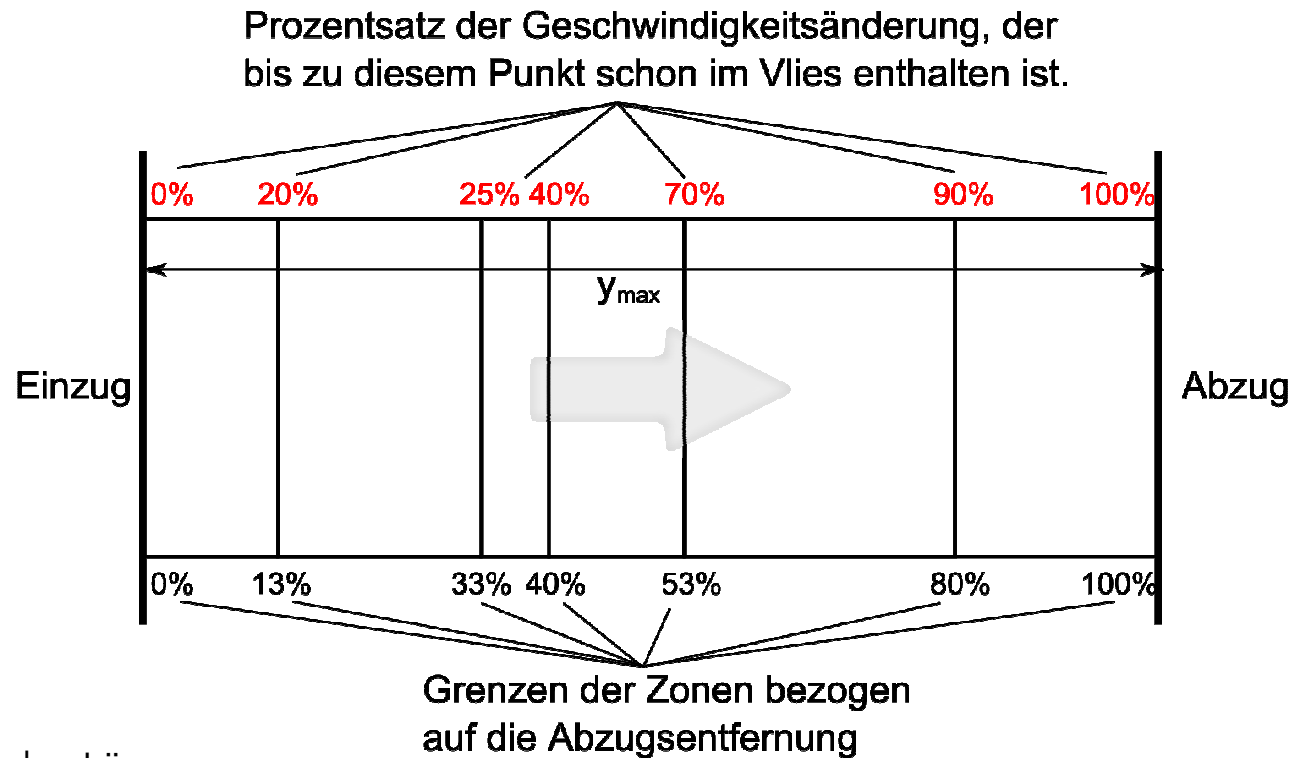


Berücksichtigung von Materialeinsprung und Längsverzug (1/3)



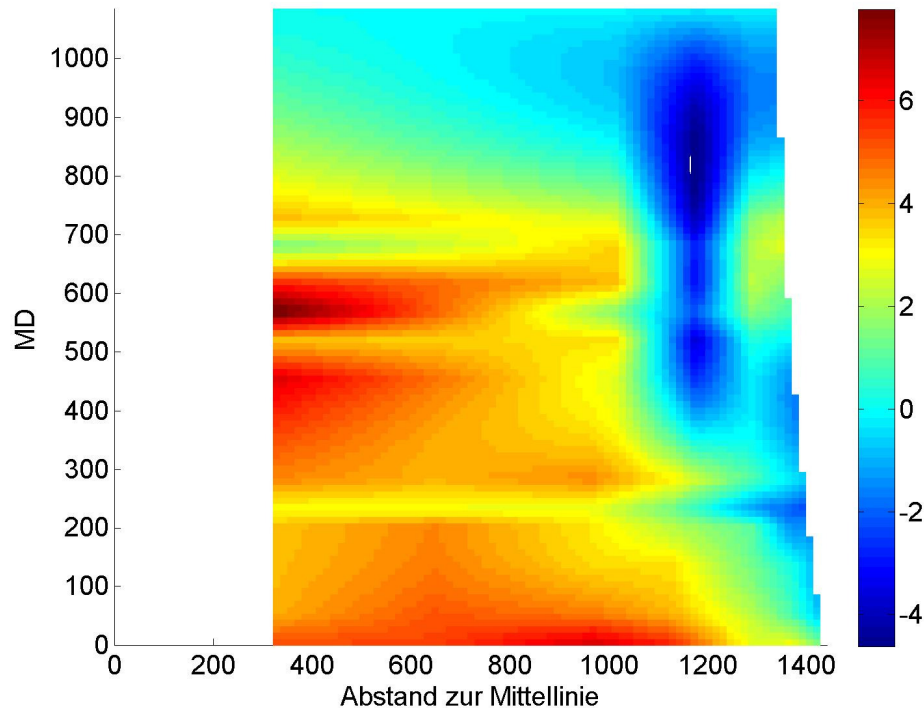
Modellierung des Materialeinsprungs

Berücksichtigung von Materialeinsprung und Längsverzug (2/3)



Modellierung des Längsverzugs

Berücksichtigung von Materialeinsprung und Längsverzug (3/3)



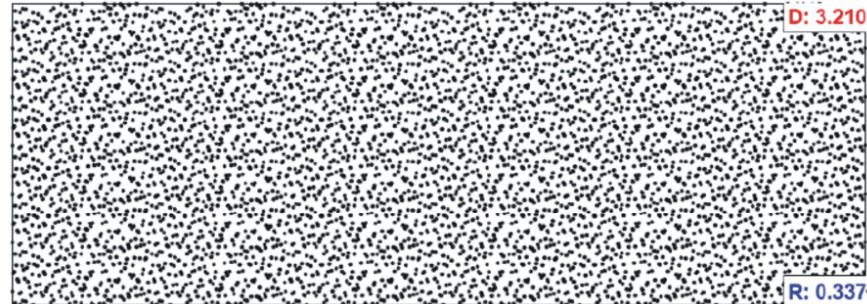
- Zonen können manuell vom Benutzer der Simulationssoftware anhand von Messungen eingegeben werden
- Alternativ: automatisiertes Bestimmen der Zonen aufgrund einer Differentialgleichung, die den Massenfluss beschreibt
- Vergleich physikalisch basiertes Verzugmodell mit Messungen zeigt sehr gute Übereinstimmung (siehe links; Grafik zeigt absolute Unterschiede in mm)

Optimierung der Nadelanordnung

1. Simulation des Einstichmusters zu einem gegebenen Nadelbrett
2. Suche nach der schlechtesten Stelle im Einstichmuster
3. Identifikation der Nadel, die größten Anteil an der schlechten Stelle hat
4. Bestimmung der freien Positionen im Nadelbrett unter Berücksichtigung der Konstruktionsbedingungen
5. Bewertung der Einstichmuster unter der Annahme, die Nadel würde an diese Positionen verschoben werden
6. Verschiebung der Nadel an die Position mit der besten Bewertung
7. Wiederholung dieser Prozedur

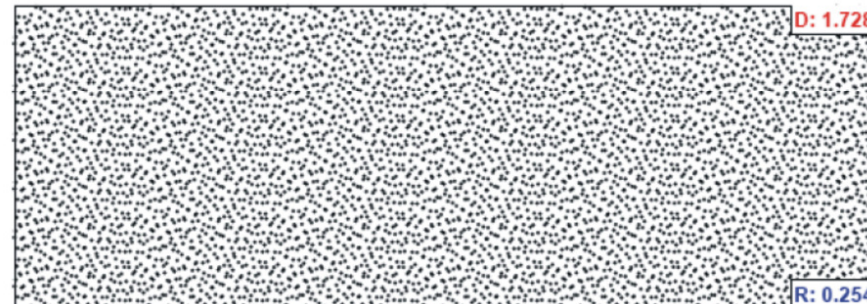
Optimierung der Nadelanordnung – Beispiel

10-15-20 R10_28_143_V01
5107.1 N/Lin.m.
CD-Position: 250.0 mm



10.00 mm/str
51.07 punch/cm2

10-15-20 R10_28_143_V01_It342_10
5107.1 N/Lin.m.
CD-Position: 250.0 mm

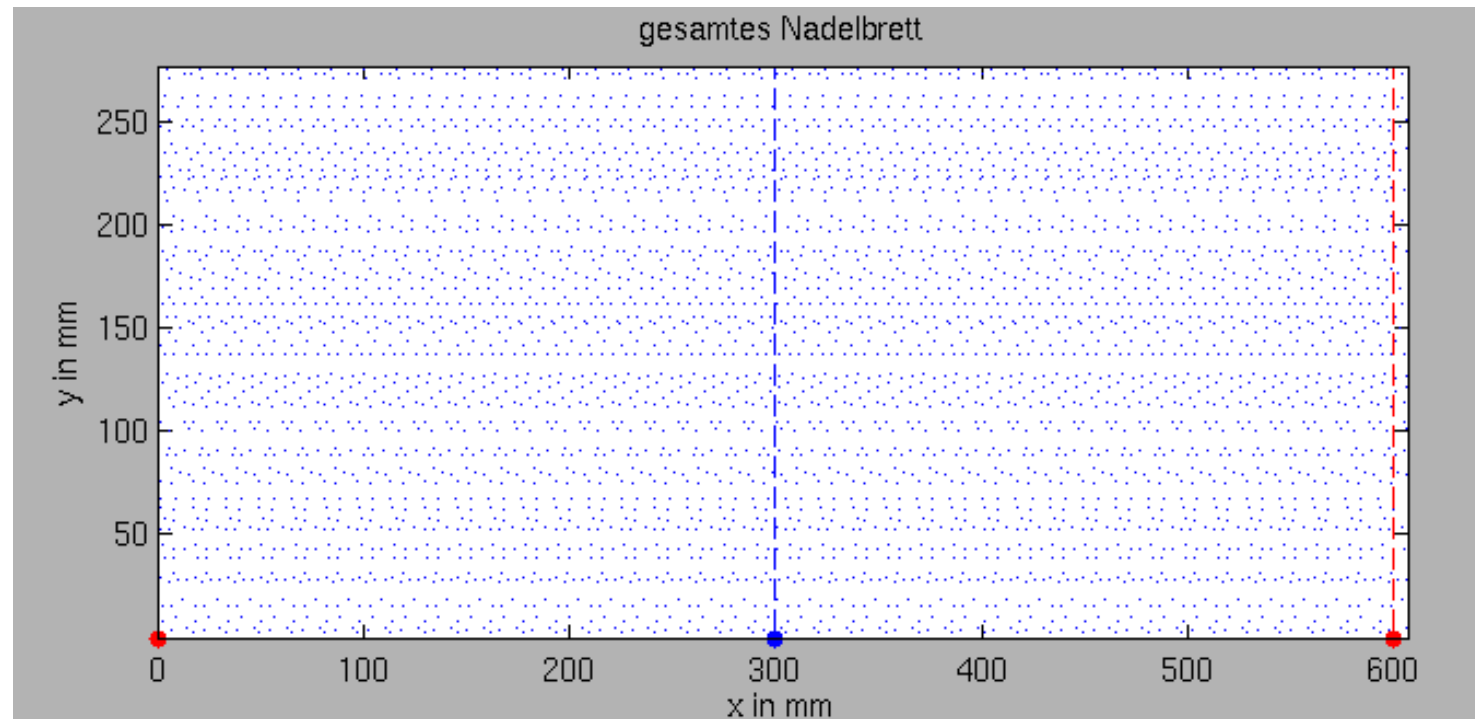
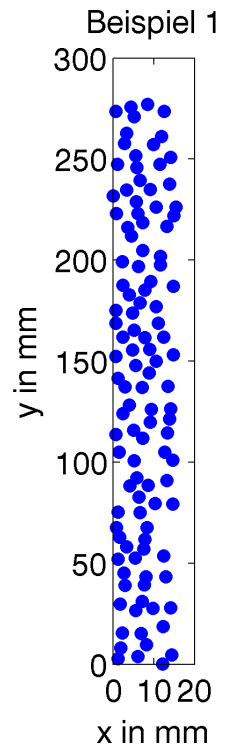


10.00 mm/str
51.07 punch/cm2
Without draft

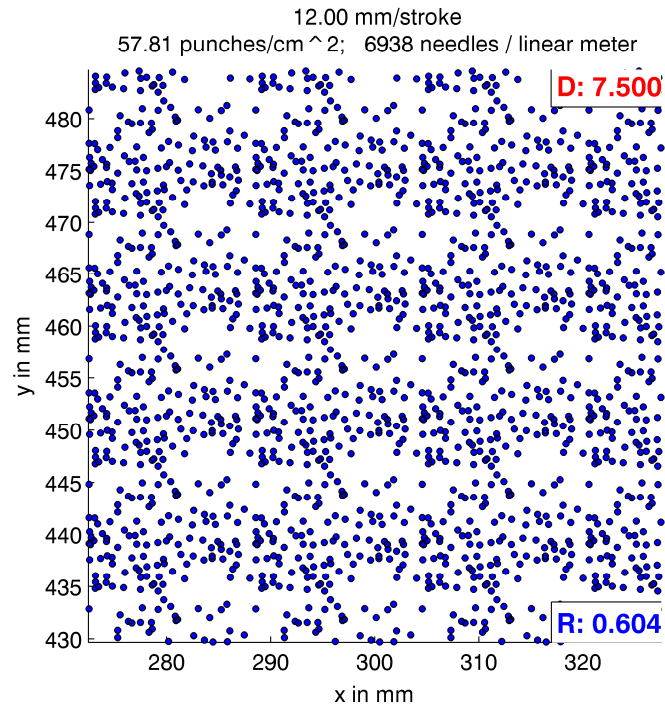
Automatisierte Konstruktion von neuen Nadelteilungen

- Abmessungen des Nadelbretts
- Anzahl der Nadeln pro Meter Arbeitsbreite
- Vorschub pro Hub / Vorschubbereiche
- Nadelabstand (Bohrungsdurchmesser)
- Stegbreite (Bett- und Abstreiferplatte)
- Lochgeometrie (Länge, Breite, Überlapp der Löcher, Abstand in der Befestigung im Nadelbrett)
- Aussparungen für die Befestigung
- Verzugsdaten (Materialeinsprung in CD, Längsverzug in MD)

Automatisierte Nadelbrettkonstruktion – Beispiel 1

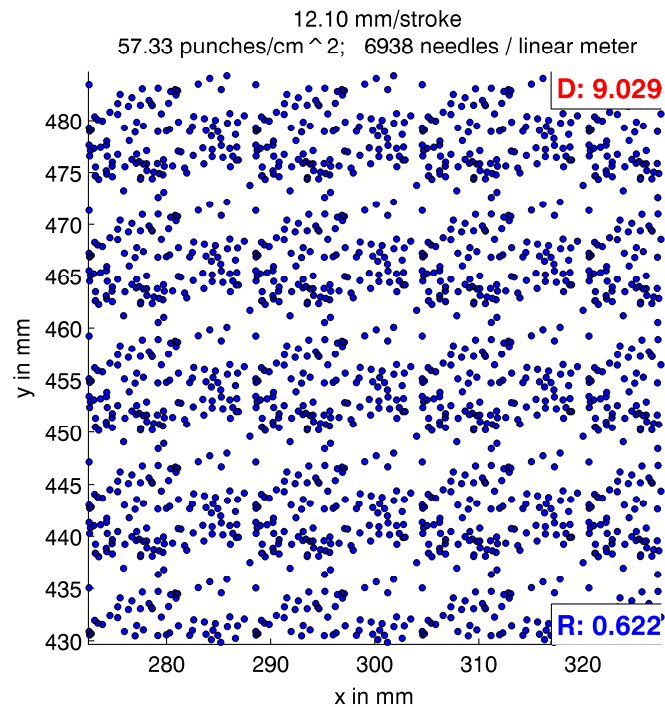


Automatisierte Nadelbrettkonstruktion – Beispiel 1



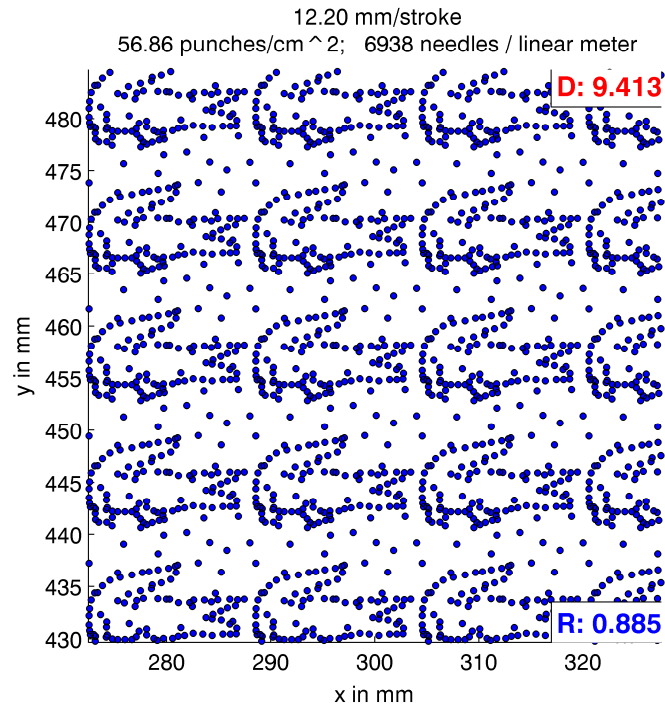
Vorschub pro Hub: 12.0 mm

Automatisierte Nadelbrettkonstruktion – Beispiel 1



Vorschub pro Hub: 12.1 mm

Automatisierte Nadelbrettkonstruktion – Beispiel 1

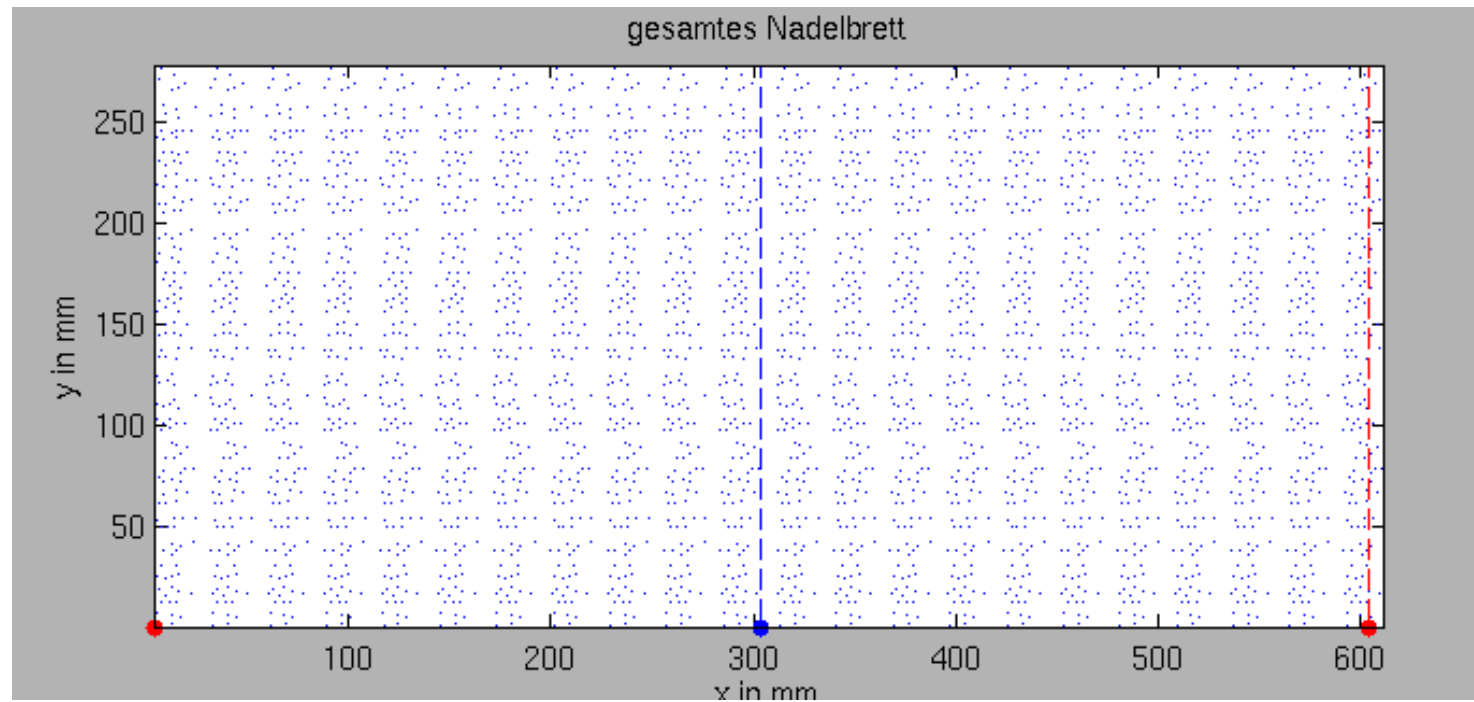
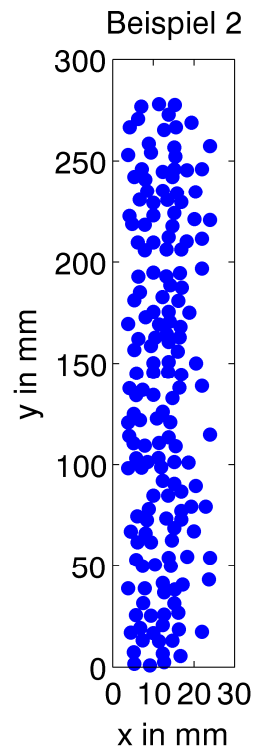


Vorschub pro Hub: 12.2 mm

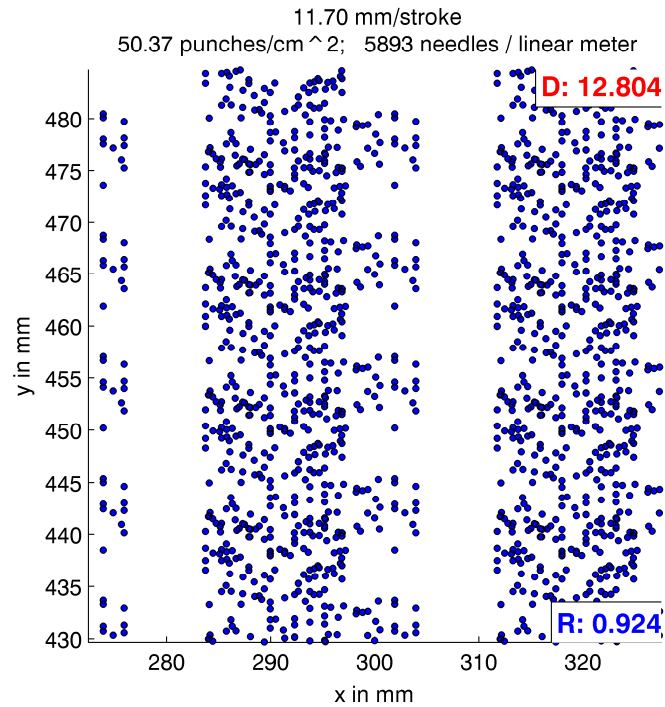
Zusammenfassung

1. Modellierung des Materialverhaltens durch ein physikalisch basiertes Verzugmodell
2. Automatisiertes Design eines Nadelbretts gemäß kundenspezifischer Konstruktionsbedingungen
3. Optimierung des Nadelbrettdesigns bzgl. homogener Einstichdichten und musterfreier Nadeleinstichbilder für gewünschte Vorschubbereiche
4. Simulation und objektive Bewertung von Einstichmustern mit Berücksichtigung von Verzug
5. Implementierung als „Nadelbrett-Suite“ mit grafischer Benutzeroberfläche, kontext-sensitiven Hilfen, Eingabeassistenten und variablen Exportmöglichkeiten für Oerlikon Neumag Austria

Automatisierte Nadelbrettkonstruktion – Beispiel 2

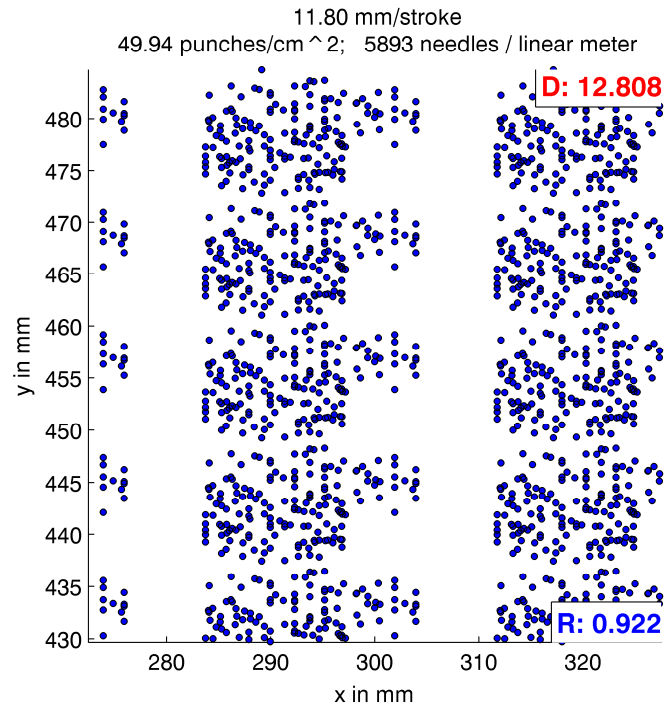


Automatisierte Nadelbrettkonstruktion – Beispiel 2



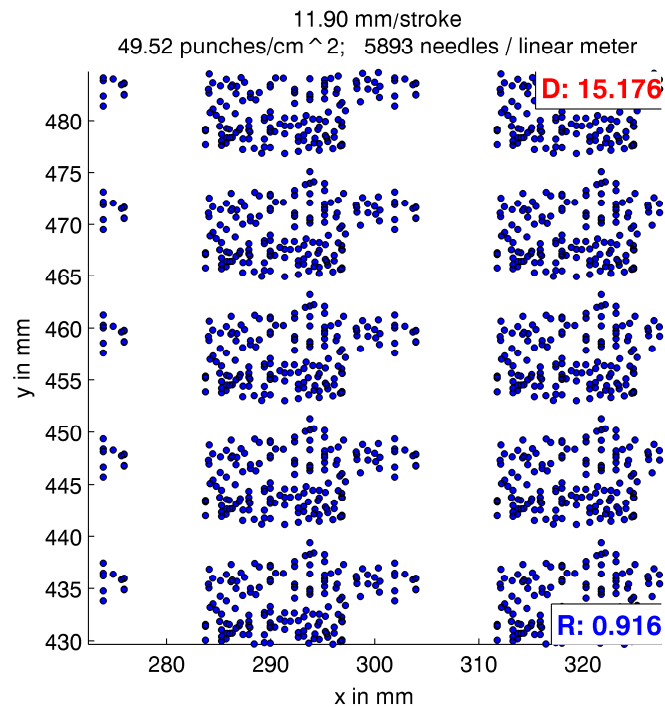
Vorschub pro Hub: 11.7 mm

Automatisierte Nadelbrettkonstruktion – Beispiel 2



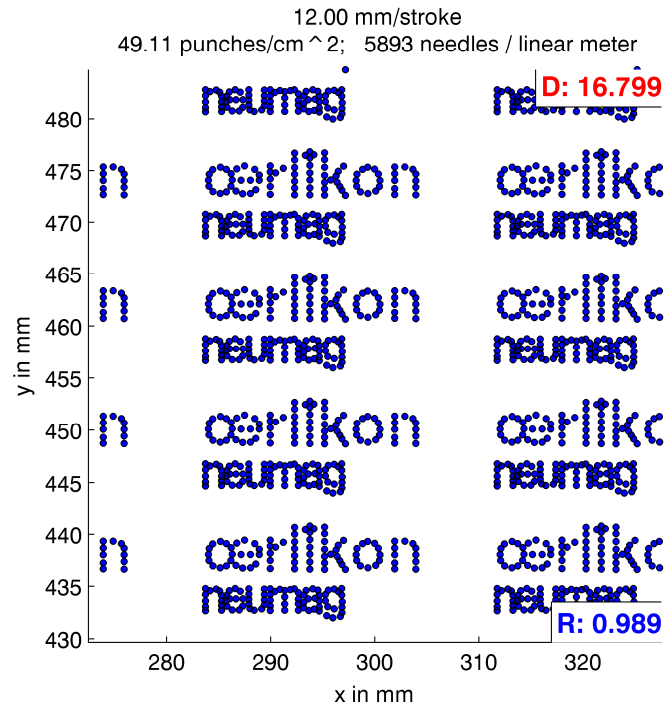
Vorschub pro Hub: 11.8 mm

Automatisierte Nadelbrettkonstruktion – Beispiel 2



Vorschub pro Hub: 11.9 mm

Automatisierte Nadelbrettkonstruktion – Beispiel 2



Vorschub pro Hub: 12.0 mm

Zusammenfassung

1. Modellierung des Materialverhaltens durch ein physikalisch basiertes Verzugmodell
2. Automatisiertes Design eines Nadelbretts gemäß kundenspezifischer Konstruktionsbedingungen
3. Optimierung des Nadelbrettdesigns bzgl. homogener Einstichdichten und musterfreier Nadeleinstichbilder für gewünschte Vorschubbereiche
4. Simulation und objektive Bewertung von Einstichmustern mit Berücksichtigung von Verzug
5. Implementierung als „Nadelbrett-Suite“ mit grafischer Benutzeroberfläche, kontext-sensitiven Hilfen, Eingabeassistenten und variablen Exportmöglichkeiten für Oerlikon Neumag Austria