



# TRANSPORTVORGÄNGE



Die Firma Dilo aus Eberbach entwickelt und produziert innovative Anlagen für die Vliesstoffindustrie. Das Bild zeigt die Bildung des Vlieses in einer Krempelanlage, bevor es durch Vernadelung mechanisch verfestigt wird. Unser Institut unterstützt Dilo bei der Entwicklung neuer Vernadelungstechnologien.

DR. DIETMAR HIETEL  
DR. RAIMUND WEGENER  
ABTEILUNGSLEITER



## MATHEMATISCHE MODELLIERUNG, SIMULATION UND OPTIMIERUNG VON TRANSPORTVORGÄNGEN

Die Abteilung modelliert komplexe industrielle Fragestellungen und entwickelt effiziente Algorithmen zur numerischen Simulation und Optimierung dieser Probleme. Die Aufgabenstellungen liegen im technisch-naturwissenschaftlichen Kontext (Strömungsdynamik, Strukturmechanik, Strahlungstransport, Optik etc.) und führen in der Modellierung auf partielle Differentialgleichungen, die meist als Transportgleichungen zu charakterisieren sind.

Aus Sicht der industriellen Kunden geht es typischerweise um die Auslegung von Produktionsprozessen und die Optimierung von Produkten. Das Angebotsspektrum umfasst Kooperationsprojekte mit den ingenieurwissenschaftlich ausgerichteten FuE-Abteilungen der Partnerfirmen, Studien mit Auslegungs- und Optimierungsvorschlägen sowie verstärkt Softwarelösungen vom Baustein bis zum kompletten Tool.

Das Jahr 2017 verlief wirtschaftlich und wissenschaftlich erfolgreich. Der strategisch eingeschlagene Weg, verstärkt auch Einnahmen durch Lizenzierung von Softwareprodukten zu generieren, zeigt erste größere Erfolge. Genannt sei hier die Vergabe einer Konzernlizenz an VW für den gitterfreien Strömungssimulator FPM.

### Kontakt

dietmar.hietel@itwm.fraunhofer.de  
raimund.wegener@itwm.fraunhofer.de  
www.itwm.fraunhofer.de/tv

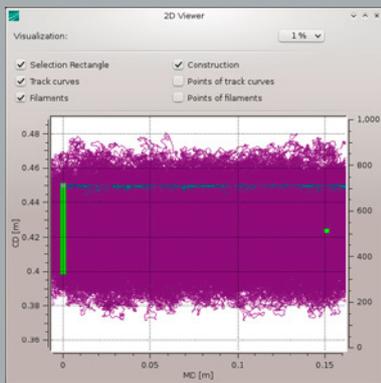


---

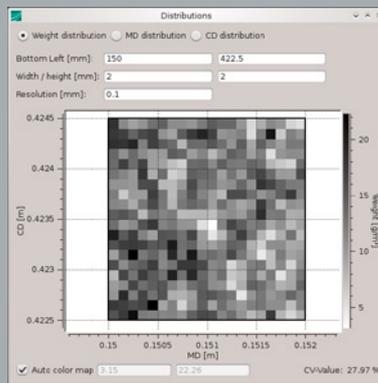
## SCHWERPUNKTE

- Flexible Strukturen
  - Strömungsdynamische Prozessauslegung
  - Gitterfreie Methoden
  - Energienetze und Modellreduktion
- 

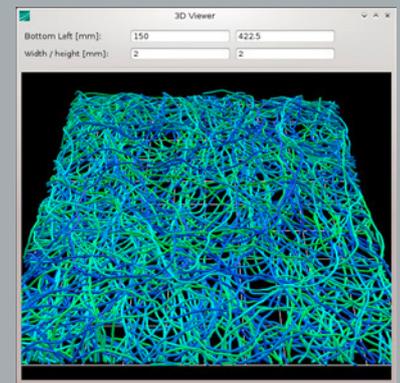




1



2



3

## VIRTUELLE PRODUKTION VON VLIESTOFFEN

1 2D-Ansicht des virtuellen Vlieses in SURRO

2 Flächengewichtsverteilung eines Ausschnitts (grüner Balken in Abb. 1) bei 0,1 mm Auflösung

3 3D-Ansicht des virtuellen Vlieses im gewählten Ausschnitt

Bei der Produktion von Vliesstoffen wird eine Vielzahl dünner Fasern oder Filamente versponnen und überlagert, um eine Vliesstruktur zu bilden. In Zusammenarbeit mit einem breiten Spektrum an Industriekunden treibt unsere Abteilung seit vielen Jahren die Virtualisierung dieser Prozesse voran.

Bedingt durch die Komplexität und Skalenergebnisse ergeben sich vielfältige mathematische Herausforderungen, die nicht mit Standardsimulationen gelöst werden können. Unsere eigens entwickelten Methoden und Werkzeuge für mehrere Schlüsselaspekte unterstützen die Auslegung und Steuerung der Produktionsprozesse technischer Textilien mit effizienten Simulationen.

### Software SURRO generiert virtuelle Vliesstrukturen

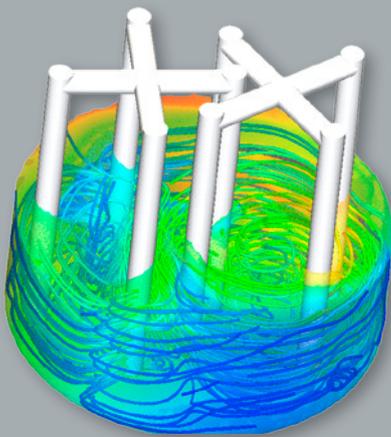
In den letzten Jahren haben wir ausgeklügelte Methoden entwickelt, um großflächig virtuelle Vliesstrukturen zu generieren. Die daraus entstandene Software SURRO (Surrogate Model) basiert auf einem stochastischen Ersatzmodell zur Simulation von Filamenten, das mathematisch durch eine stochastische Differentialgleichung beschrieben wird.

Die Eingabe-Parameter des Prozesses werden gewonnen, indem zuvor physikalisch basierte Simulationen einzelner Filamente mit der Software FIDYST (Fiber Dynamics Simulation Tool) durchgeführt werden. Das komplexe Verhalten der Filamente wird so durch einen Identifikationsprozess auf wenige stochastische Parameter zurückgeführt, welche die Vliesstruktur charakterisieren.

### Mit SURRO und FIDYST Prozesse zur Herstellung von Vliesstoffen analysieren

Im Vergleich zur vollständigen physikalischen Simulation werden Fäden mit dem SURRO-Ersatzmodell extrem schnell berechnet. Dadurch ist es möglich, fein aufgelöste Mikrostrukturen im Bereich mehrerer Zentimeter Kantenlänge zu erzeugen. Die virtuelle Vliesstruktur wird dann hinsichtlich Flächengewichtsverteilung und Homogenität auf verschiedenen Skalen analysiert. Die Homogenität ist hierbei entscheidend für die Qualität des Vliesstoffs und ein Kriterium zur Optimierung des Herstellungsprozesses.

Durch Schnittstellen zu Standardsoftware wie Abaqus können darüber hinaus Festigkeitsuntersuchungen durchgeführt werden. Wir setzen den Mikrostrukturgenerator SURRO erfolgreich ein, um zusammen mit der Simulationssoftware FIDYST Prozesse zur Herstellung von Vliesstoffen zu analysieren und optimieren.



1



2

## GITTERFREIE SIMULATION MIT MESHFREE

Mit MESHFREE stellen wir in Kooperation mit dem Fraunhofer SCAI ab 2018 ein innovatives Softwareprodukt zur gitterfreien Simulation physikalischer Prozesse bereit. MESHFREE bündelt die Expertise beider Institute im Bereich des gitterfreien wissenschaftlichen Rechnens.

### MESHFREE sagt den Gittern »Tschüss«

Die Software verbindet die Finite-Pointset-Methode (FPM) zur Lösung der Erhaltungsgleichungen für Masse, Impuls und Energie mit effizienten Algorithmen zur Lösung linearer Gleichungssysteme. Die Technologie basiert nicht auf den geometrischen Eigenschaften eines Rechengitters; damit entfällt das langwierige Erstellen und Aufarbeiten dieser Netze.

Der Benutzer exportiert direkt die Geometrie aus gängigen CAD Tools und verwendet sie für die Simulation. Durch das Fehlen eines Rechengitters ist MESHFREE enorm flexibel in der Organisation der Rechenpunkte; denn es entsteht kein aufwändiges Anpassen der Netztopologie bei hochdynamischen Prozessen – wie beispielsweise bei Strömungen mit freien Oberflächen oder sich schnell bewegenden Geometrieelementen.

### Die Welt ist nicht flüssig oder fest

MESHFREE basiert auf einem allgemeinen Materialmodell. Diese Allgemeinheit erlaubt es, auch komplexes Materialverhalten (nicht-newtonsche Fluide, Viskoelastizität) abzubilden und mit der gleichen numerischen Methodik zu behandeln. Für die Auswahl des Lösungsalgorithmus muss das Medium nicht in flüssig oder fest eingeteilt werden. Die Angabe der Materialeigenschaften wie z. B. Viskosität oder Elastizität in Form eines Schubmoduls reicht aus, um das Verhalten des Mediums mit MESHFREE vorherzusagen.

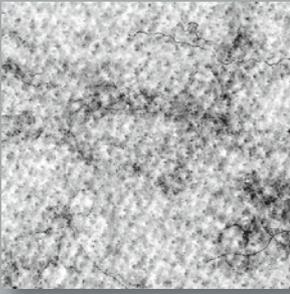
### Synthese erfolgreicher Softwarepakete

Mit MESHFREE profitiert der User von der langjährigen Erfahrung und Expertise der Fraunhofer-Institute ITWM und SCAI in der Simulation komplexer physikalischer Prozesse. Das Produkt ist eine Synthese aus zwei Softwarepaketen (FPM und SAMG), die schon seit über 15 Jahren erfolgreich in vielen unterschiedlichen Industriebranchen vertrieben und kontinuierlich weiterentwickelt werden.

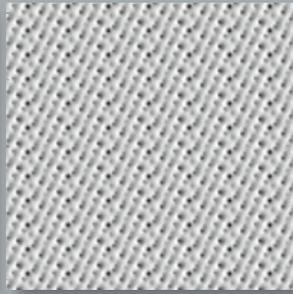
1 Simulation eines Rührprozesses

2 Die Kármánsche Wirbelstraße ist ein Phänomen in der Strömungsmechanik, bei dem sich hinter einem umströmten Körper gegenläufige Wirbel ausbilden. In der Abbildung wird dies mit adaptiver Organisation der Rechenpunkte bzgl. der Geschwindigkeitsgradienten simuliert.

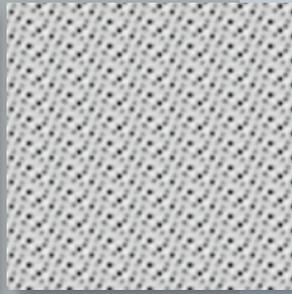




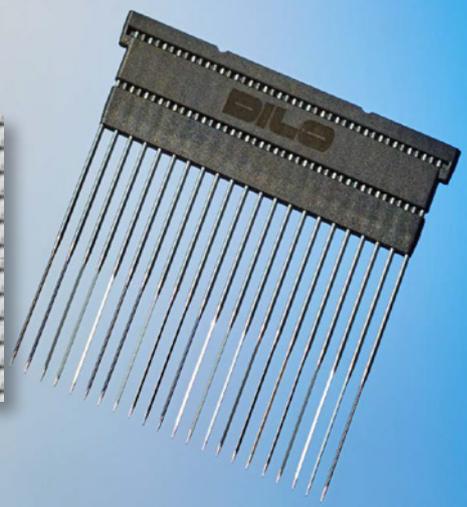
1



2



3



4

© DILO

## ADAPTIVE NADELMASCHINE

- 1 *Vernadelter Vliesstoff*
- 2 *Einstichmuster nach der Bildverarbeitung*
- 3 *Simuliertes Einstichmuster*
- 4 *Nadelmodule*

Die Dilo Group aus Eberbach entwickelt und produziert innovative Anlagen für die Vliesstoffindustrie. Eine wichtige Rolle spielt die Vernadelungstechnologie. Dabei handelt es sich um ein mechanisches Verfestigungsverfahren für Vliesstoffe. Wir unterstützen Dilo bei der Entwicklung von Variopunch, einer eigenen Vernadelungstechnik, die zu einem gleichmäßigeren Nadeleinstichbild beiträgt.

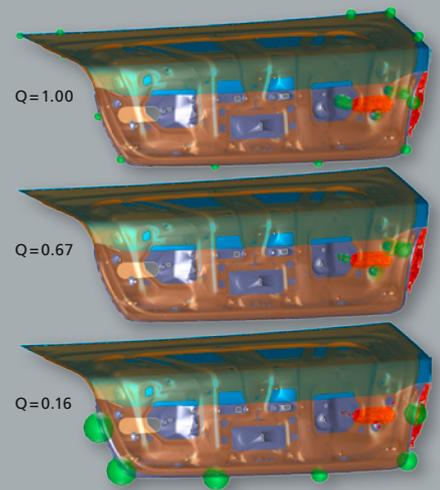
### Dilo-Variopunch – Adaptive Vernadelungstechnologie

Der Prozess läuft wie folgt ab: Eine große Anzahl von Nadeln ist in einem sich wiederholenden Muster auf einem Nadelbrett angeordnet. Das Nadelbrett sticht fortlaufend ein, während sich das Vlies darunter hindurch bewegt. So werden die einzelnen Fasern miteinander verwirrt und erzeugen Festigkeit. Neben der Festigkeit spielt aber für viele Anwendungen auch der optische Eindruck eine entscheidende Rolle, denn die Nadeleinstiche hinterlassen unweigerlich ein Muster.

Die Nadeln waren bisher an festen Positionen im Nadelbrett fixiert. Dilo hat nun mit der Variopunch-Technologie ein Konzept entwickelt, bei dem die Nadelpositionen angepasst werden können. In einer typischen Vernadelungstrecke stehen mehrere Maschinen hintereinander und stechen nacheinander mit abfallender Intensität ein, um so ein möglichst homogenes und streifenfreies Muster zu erzeugen. Steht nun am Ende einer solchen Strecke eine Variopunch-Maschine, so kann die Qualität deutlich gesteigert werden, da durch die adaptive Maschine vorher auftretende Fehler korrigiert werden.

### Bildverarbeitung, Simulation und Optimierung

Unser Institut unterstützt Dilo bei der Entwicklung von Variopunch, insbesondere bei der algorithmischen Umsetzung. Dazu setzen wir Techniken aus den Bereichen Bildverarbeitung, Simulation und Optimierung ein. Am Anfang der Maschine steht ein optischer Sensor, der das einlaufende Vlies aufnimmt. Die so entstehenden Bilder werden algorithmisch aufbereitet und das Muster wird extrahiert. Mit dem entwickelten Simulationsmodell kann das resultierende Muster für jede mögliche Nadelpositionierung berechnet werden. Auf Basis dieses Modells werden die optimalen Einstichpositionen mithilfe von Optimierungsmethoden ermittelt und das Nadelbrett entsprechend adaptiert.



## RoMI – URSACHENPROGNOSE FÜR DETEKTIERTE MESSABWEICHUNGEN

Von Messabweichungen im Produktionsprozess auf mögliche Bauteil- und Fügefehler zu schließen, ist ein Problem, das bisher nicht systematisch untersucht und gelöst wurde. Durch statistische Prozesskontrolle ist es zwar möglich, Abweichungen von Soll- und Ist-Maßen in ihrem zeitlichen Trend zu erkennen, die Ursachenanalyse fehlt jedoch. Die klassische Toleranzanalyse klärt, wie sich typische Bauteil- und Fügefehler in Messabweichungen niederschlagen. Im Projekt des Zentralen Innovationsprogramms für den Mittelstand (ZIM) betrachten wir das umgekehrte Problem.

### Das ITWM-Modul RoMI

Im Projekt RoMI (Root Cause Analysis of Measurement Issues) haben wir einen Algorithmus zur Ursachenanalyse für potentielle Bauteil- und Fügefehler entwickelt und softwaretechnisch realisiert. Er basiert auf Oberflächenmessungen im Produktionsprozess. Mangelbehaftete Bauteilchargen sowie Fehlerquellen im Fügeprozess werden automatisiert identifiziert – zum Beispiel, wenn ein Einbaufehler an einer Stelle besteht, welche im kompletten Zusammenbau unzugänglich ist und nicht mehr nachgemessen werden kann.

Eine Simulation bildet den Zusammenbau von Teilen nach. Es werden unter allen Kombinationen von Bauteil- und Fügefehlern, die zu den vorliegenden Oberflächenmessungen passen, diejenigen mit der höchsten Wahrscheinlichkeit herausgesucht. Das geschieht durch Lösung eines nichtlinearen Optimierungsproblems. Dabei wird besonders berücksichtigt, dass sich Bauteile nicht durchdringen. Ausgehend von einem Satz von Messungen wird dann die passende Konfiguration gefunden.

Es handelt sich dabei um ein inverses Problem, d. h. man will von einer beobachteten Wirkung eines Systems auf die der Wirkung zugrundeliegende Ursache zurückschließen. Da es in der Regel meist deutlich mehr Fehlerparameter als Messungen gibt, wird aus der Identifikation ein stochastisches Optimierungsproblem.

### Einbettung in eMMA

Das neue Modul RoMI ist in die eMMA Software des Projektpartners Q-DAS (ehemals Kronion) eingebettet. Auf diese greifen zahlreiche Zulieferer aus den Bereichen Automobil-, Schiff- und Maschinenbau zu. Durch die Einbindung werden die verantwortlichen Stellen rechtzeitig informiert, bevor aus erkannten Trends echte Probleme entstehen.

1 *Taktile Messung*

2 *Ursachenanalyse für Messabweichungen an der Oberfläche der Heckpartie eines Pkw (grüne Kugeln: Bauteil- und Fügefehler, RoMI-Quotient Q: Wahrscheinlichkeit für Fehlerquelle)*





# NEWS AUS DER ABTEILUNG

## GARNSPULEN VIRTUELL FÄRBEN UND OPTIMIEREN – NEUES AIF-PROJEKT GESTARTET

Aufgrund von Färbefehlern entstehen der deutschen Textil- und Bekleidungsindustrie 8,8 Mio Euro Kosten, die sich die Branche bei zunehmendem Konkurrenzdruck aus Ostasien nicht mehr leisten kann und will. Das interdisziplinäre Projekt DensiSpul der Arbeitsgemeinschaft industrieller Forschungsvereinigungen (AiF) hat daher zum Ziel, mit Simulationen die Ausschussquote schlecht gefärbter Spulen um mindestens 15 Prozent zu reduzieren. Das bedeutet eine jährliche Einsparung von ca. 1,3 Mio Euro in Deutschland. Daran arbeitet unser Institut gemeinsam mit dem Institut für Textiltechnologie der RWTH Aachen University (ITA) sowie der Gesellschaft zur Förderung angewandter Informatik (GFaI).

DensiSpul steht für die Entwicklung eines Systems zur Generierung von Einstellvorschlägen für Kreuzspulmaschinen auf Basis einer Simulation. Dazu entwickeln wir gemeinsam mit den Projektpartnern einen Algorithmus, der auf Basis der Einstellparameter der Spulmaschine eine virtuelle Spule simuliert. Daraus wird die Dichte der gewickelten virtuellen Spule berechnet, die dann für



die spätere Durchfärbung optimiert wird. Vor allem die Validierung des Materialmodells durch CT-Aufnahmen real gewickelter Spulen steht hier im Fokus. Aus der optimierten virtuellen Spule werden letztlich die Einstellparameter für die Spulmaschine abgeleitet.

## VOM DOKTORANDEN ZUM MITARBEITER

Unser Institut bietet seit seiner Gründung Stipendien für Doktoranden an, die in Kooperation mit der TU Kaiserslautern und anderen Universitäten in gut drei Jahren zur Promotion geführt werden. In unserer Abteilung stärkt dies – durch den engen Bezug zum Betreuer – die wissenschaftliche Ausrichtung.

Zudem entstehen dadurch für die Doktoranden hervorragende Jobperspektiven und für die Abteilung potentieller Zugriff auf ausgezeichnet vorgebildete Mitarbeiter. 2017 haben so die beiden neuen Mitarbeiter Jaroslaw Wlazlo und Tobias Seifarth ihre Promotionen in Kaiserslautern und Kassel erfolgreich abgeschlossen.



Von vorne, links nach rechts: Dr. Tobias Seifarth, Dr. Walter Arne, Dr. Timo Wächtler, Dr. Simone Gramsch, Dr. Almut Eisenträger, Dr. Raimund Wegener, Dr. Dietmar Hietel, Matthias Eimer, Jens Bender, Dr. Jaroslaw Wlazlo, Dr. Robert Feßler, Dominik Linn, Raphael Hohmann, Manuel Wieland, Dr. Andre Schmeißer, Dr. Jan Mohring, Johannes Schnebele, Dr. Simon Schröder, Markus Rein, Dr. Jörg Kuhnert