



---

Im Bereich des textilen Maschinenbaus wird die Software FIDYST erfolgreich von Industriepartnern zur Auslegung ihrer Maschinen bei der Produktion von Vliesstoffen eingesetzt. Mit FIDYST werden Spunbond-, Meltblown- und Airlay-Prozesse optimiert. Dabei nutzen die Ingenieure die Simulationen der Fadendynamik gezielt dazu, die Geometrie der Anlage und die Prozessparameter zu optimieren.

---

# TRANSPORTVORGÄNGE

## ▪ FLEXIBLE STRUKTUREN

Modellierung und numerische Simulation flexibler Strukturen, insbesondere Fäden, in turbulenten Strömungen

## ▪ STRÖMUNGSDYNAMISCHE PROZESSAUSLEGUNG

Strömungsdynamik und -optimierung sowie Fluid-Struktur-Kopplungen

## ▪ GITTERFREIE METHODEN

Finite Pointset Methode für Simulationen strömungs- und kontinuumsmechanischer Problemstellungen

## ▪ ENERGIEKETZE UND MODELLREDUKTION

Dynamische Netzsimulation für Fernwärme- und Gasnetze

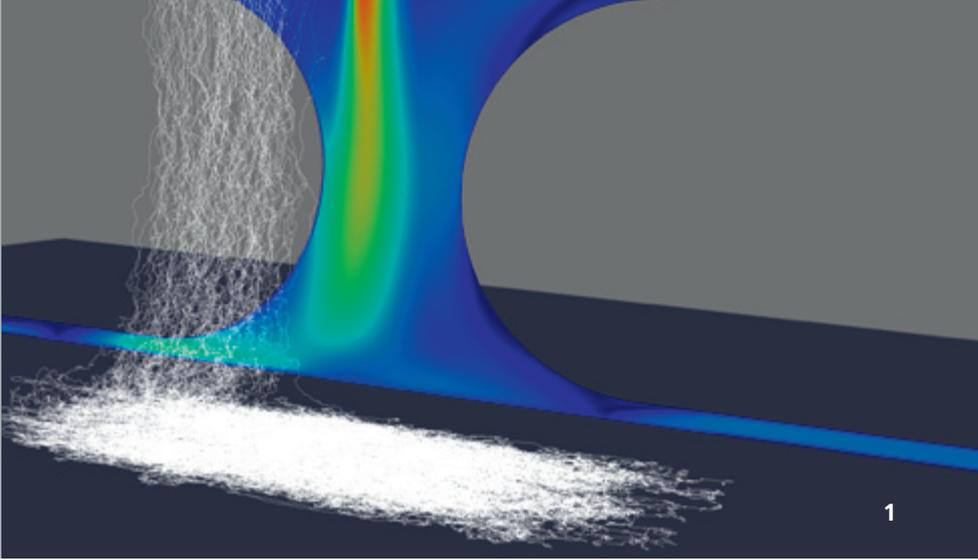




Kernkompetenz der Abteilung Transportvorgänge ist die mathematische Modellierung komplexer industrieller Problemstellungen und die Entwicklung effizienter Algorithmen zu ihrer numerischen Lösung (Simulation). Die bearbeiteten Problemstellungen sind im technisch-naturwissenschaftlichen Kontext (Strömungsdynamik, Strukturmechanik, Strahlungstransport, Optik, Akustik etc.) angesiedelt und führen aus mathematischer Sicht auf partielle Differentialgleichungen, die meist als Transportgleichungen zu charakterisieren sind. Aus Sicht der industriellen Kunden geht es typischerweise um die Optimierung von Produkten und die technische Auslegung von Produktionsprozessen. Das Angebotsspektrum der Abteilung umfasst Kooperationsprojekte mit den ingenieurwissenschaftlich ausgerichteten FuE-Abteilungen der Partnerfirmen, Studien mit Auslegungs- und Optimierungsvorschlägen sowie Softwarelösungen vom Baustein bis zum kompletten Tool.

Das Jahr 2015 verlief für die Abteilung wirtschaftlich und wissenschaftlich höchst erfolgreich. Das Strategieaudit des Instituts bestätigt eine hervorragende Positionierung und attestiert beste Perspektiven. Organisatorisch wurden zudem wichtige Weichen für die Zukunft gestellt. Zukünftig wird die Abteilung von einer Doppelspitze geführt: Die zweijährig wechselnde Geschäftsführung übernimmt ab 2016 Dietmar Hietel, 2018 wechselt diese an Raimund Wegener zurück.

Da das ITWM 2015 seinen 20. Geburtstag gefeiert hat, beleuchten zwei der nachfolgenden Projektbeiträge aktuelle Arbeiten, die eng mit der Geschichte des Instituts verbunden sind. Im Gründungsjahr 1995 begannen die Arbeiten zur Simulation des Papierflugs in einer Druckmaschine – eines der ersten Industrieprojekte der Abteilung und Ausgangspunkt für mindestens zwei Themenfelder, die heute in Gruppenstärke verfolgt werden. Die wesentlich zweidimensional geprägte Papierführung ist ein gekoppeltes Fluid-Struktur-Problem. Daher wurden einerseits für die aufgrund der Bogenbewegung zeitlich variierenden Strömungsgebiete unter und über dem Bogen Partikelmethode erprobt, andererseits für die Bogendynamik Schalen-Modelle der Kontinuumsmechanik aufgearbeitet, die in zweidimensionaler Variante mathematisch gleichwertig zu Cosserat-Rod-Modellen für Filamentdynamiken sind. Aus den Arbeiten zu Partikelmethode ging die Entwicklung der ITWM-Software **FPM** (Finite Pointset Method) hervor, die heute eines der leistungsfähigsten am Markt verfügbaren gitterfreien Simulationstools für ein breites Feld kontinuumsmechanischer Problemstellungen ist. Die Arbeiten zur Bogendynamik bildeten den strukturmechanischen Nährboden für alle späteren Forschungen im Bereich der Filamentdynamik und damit die Basis für unsere Simulationssoftware **FIDYST** (Fiber Dynamics Simulation Tool).



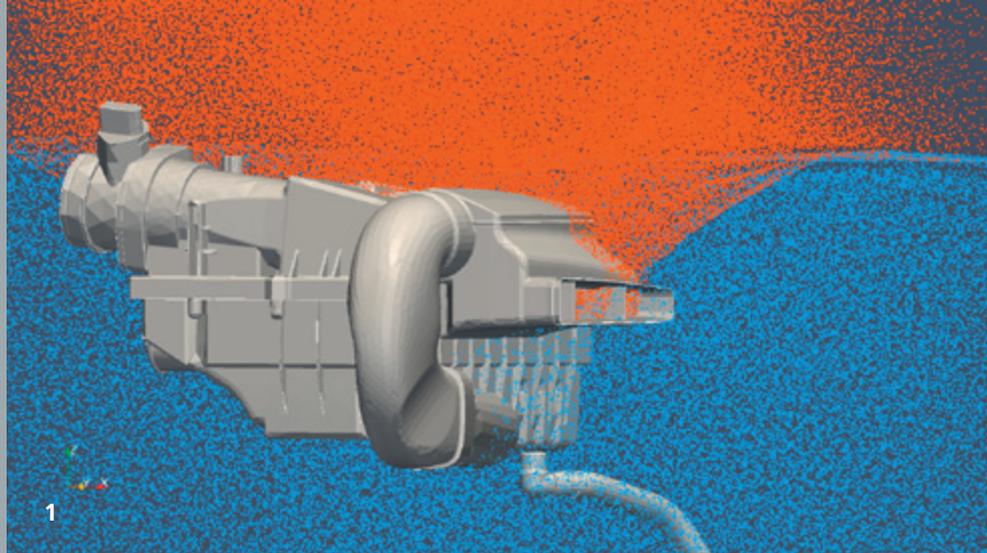
## VIRTUELLE PRODUKTION VON FASERN, FILAMENTEN UND VLIESTOFFEN

Die Virtualisierung der Produktion von Fasern, Filamenten und Vliesstoffen wird in der Abteilung Transportvorgänge seit vielen Jahren mit einem breiten Spektrum von Industriekunden vorangetrieben. Eingebettet in das Forschungsfeld Fluid-Struktur-Interaktion bietet dieser Anwendungsbereich vielfältige mathematische Herausforderungen, da die Komplexität der betrachteten Prozesse keine Standardsimulationen erlaubt. In mehreren Schlüsselaspekten wurden und werden eigene Modelle, Methoden und Werkzeuge entwickelt, mit denen heute effizient simulationsbasierte Beiträge zur Auslegung und Steuerung der Produktionsprozesse Technischer Textilien geleistet werden.

Die resultierenden Softwarebausteine wie **FIDYST** (Fiber Dynamics Simulation Tool zur Simulation von Faser- und Filamentdynamiken in turbulenten Strömungen) und **SURRO** (Generator virtueller Vliesstrukturen) bilden klare Alleinstellungsmerkmale, so dass die Abteilung im Ergebnis eine relevante Marktnische erfolgreich besetzt. Das anvisierte Industriespektrum besitzt durch den in Deutschland nach wie vor stark vertretenen zugehörigen Anlagen- und Maschinenbau eine gute langfristige Tragfähigkeit. Zudem konnten die industriellen Aktivitäten gerade im abgelauenen Geschäftsjahr auch höchst erfolgreich internationalisiert werden.

FIDYST wurde im vergangenen Jahr auf Basis neuester, zumeist in kooperativen Promotionsvorhaben erzielter Forschungsergebnisse wesentlich funktional erweitert. Besonders erwähnenswert sind die jetzt voll ausgeprägten Fähigkeiten zum Kontakt mit bewegten Maschinenteilen, die Abbildung von Stapelfasern, neue Algorithmen zur Behandlung von Turbulenzeinflüssen und die Berücksichtigung der Fluid-Struktur-Interaktion als iterativer Algorithmus. SURRO ist der kongeniale Partner von FIDYST in der sogenannten FIDYST-Suite zur virtuellen Vliesproduktion und damit zur Analyse von Vlieslegungsprozessen. Dazu simuliert SURRO hocheffizient die in der Abteilung entwickelten Ersatzmodelle für Vliesablage auf Basis stochastischer Differentialgleichungen. In SURRO können große Anlagen mit Tausenden von Filamenten abgebildet werden. Die Parametrierung von SURRO erfolgt durch einen Identifikationsalgorithmus auf Basis repräsentativer FIDYST-Simulationen. Auf diese Weise ermöglichen die beiden Simulatoren als Paar die Abbildung der Produktions- bzw. Prozessparameter auf die Qualitätsparameter des produzierten Vliesstoffes und damit die simulationsbasierte Auslegung und Steuerung der Prozesse.

**1** *Spunbond-Prozess der Firma Oerlikon Neumag (früherer Entwicklungsstand)*



1 Ansaugstutzen (weiß) eines Kraftfahrzeugmotors, zweiphasig, Ansaugeffekt von Wasser (blau) durch strömende Luft (orange)

## GITTERFREIE SIMULATION IN DER STRÖMUNGS- UND KONTINUUMSMECHANIK

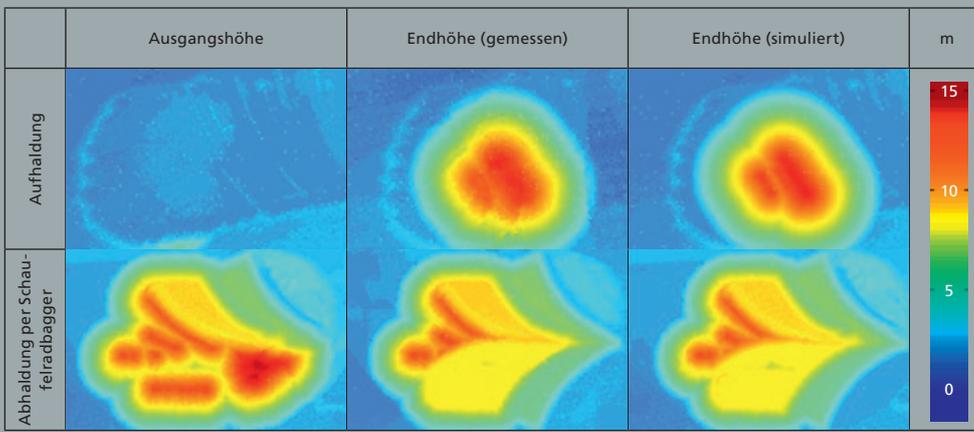
Gitterfreie numerische Methoden werden mit wachsender Intensität für die Simulation industrieller Prozesse und Vorgänge, besonders für strömungsmechanische oder kontinuumsmechanische Aufgabenstellungen, angewendet. Die Abteilung Transportvorgänge entwickelt mit der Finite Pointset Method (FPM) seit dem Jahr 2000 eine eigene originäre gitterfreie Simulationsmethode und -software. FPM basiert auf einer nichtvernetzten Wolke numerischer Punkte, die das Kontinuum abbilden und die sich mit der Materialgeschwindigkeit bewegen (Lagrange-Methode). Daher erlaubt FPM eine sehr einfache und natürliche Modellierung von Vorgängen mit freien Oberflächen, Phasengrenzen und bewegten Teilen der Geometrie.

Bereits seit 2001 wird der explizite FPM-Löser für kompressible Strömungen hoher Mach-Zahlen industriell für Airbag-Simulationen eingesetzt. Das Verfahren basierte zunächst auf der Diskretisierung klassischer Gasdynamik ohne viskose Terme (Euler-Gleichungen). Später wurde der Algorithmus auf die Navier-Stokes-Gleichungen erweitert und Turbulenzmodelle in die FPM eingearbeitet. FPM ist heute fester Bestandteil der Crashsimulations-Software VPS der Firma ESI-Group.

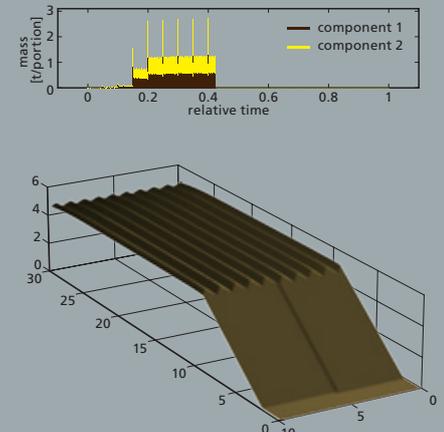
Seit 2002 ist der Fokus hauptsächlich auf die Entwicklung einer impliziten FPM-Variante gerichtet, mit der inkompressible oder schwach kompressible Vorgänge (kleine Machzahlen) numerisch abgebildet werden können. Die industriellen Applikationen sind vielfältig, Hauptanwendungsgebiet ist derzeit der Automobilbau, hier besonders Fragestellungen der Wasserdurchfahrt, des Füllens und Schwappens bzw. des Wasserablaufs.

Die Methode basiert auf einem verallgemeinerten Finite-Differenzen-Ansatz. FPM kann daher sehr leicht die vom Anwender angestrebten Approximationsordnungen realisieren. Das Kernstück des impliziten Ansatzes ist der für FPM spezialisierte numerische Algorithmus, der auf einer Kopplung der Geschwindigkeits- und Druckformulierung beruht. Die Herausforderung besteht dabei in der möglichst effizienten Lösung der resultierenden großen, schwach besetzten linearen Gleichungssysteme. Vor diesem Hintergrund wird gegenwärtig in einem Fraunhofer-internen Projekt an der Kopplung der FPM mit SAMG, dem algebraischen Multigrid-Löser des Fraunhofer SCAI, gearbeitet.

FPM bietet enormes Potenzial für wissenschaftliche Entwicklungen, was sich insbesondere in der hohen Dichte von Promotionen im gitterfreien Bereich widerspiegelt. Aktuelle Arbeiten beschäftigen sich mit den Themenstellungen konservativer Eigenschaften der FPM, Transportoperatoren für Nicht-Lagrange-Anwendungen (fixierte Punktwolke) und Tropfenpopulationen.



1



2

## PHARAOH – SIMULATIONSKERN ZUM MONITORING VON SCHÜTTGUTHALDEN

Schüttgut wie Kohle, Erz, Zement oder Getreide wird auf großen Lagerplätzen deponiert, um von dort z. B. verschifft oder großtechnisch weiterverarbeitet zu werden. Die Halden werden in der Regel über Förderbandstrecken mit einem beweglichen Absetzer beschickt. Dabei können Ort, Fördermenge und Zusammensetzung der abgesetzten Portionen erfasst werden. Beim Abhalden kommen je nach Material und Verwendungszweck so unterschiedliche Geräte wie Schaufelradbagger, Seiten- oder Frontkratzer zum Einsatz. Monitoring-Software soll dem Betreiber in diesem Umfeld helfen, Lagerplätze optimal auszunutzen, Material bestimmter Herkunft bzw. Qualität wiederzufinden oder – wie bei der Zementherstellung – ein Mischbett bereits so zu befüllen, dass bei später abgehaldetem Material weitgehend auf die Beimengung von Korrekturstoffen verzichtet werden kann. Dazu ist es nicht nur nötig, die Ausbildung der Haldenoberfläche korrekt zu simulieren, sondern auch für jeden Ort in der Halde die Zusammensetzung zu kennen.

Im Auftrag der Firma FLSmidth, einem der weltweit führenden Lieferanten von Anlagen und Dienstleistungen für die Mineral- und Zementindustrie, wurden mathematische Methoden entwickelt und im Simulationskern Pharaoh gebündelt, der es erlaubt, für simultan agierende Geräte den vollständigen Prozess vom Aufschütten bis zum Abtragen von Schüttguthalden auf einem handelsüblichen Arbeitsplatzrechner zu simulieren – und das vielfach schneller als in Echtzeit. Dadurch wird es möglich, neben dem reinen Monitoring ganze Optimierungszyklen durchzuspielen, z. B. zur Aufhaldeplanung oder Anpassung der Simulation an gemessene Haldenoberflächen. Eine Simulation auf Basis partieller Differentialgleichungen oder gar per Diskretelemente-Methode kommt angesichts der Rahmenbedingungen (Korngrößen unter 1 cm, Lagerflächen bis 2 km<sup>2</sup>, 10 cm Auflösung) nicht infrage. Grundlage bildet daher die am ITWM vor Jahren entwickelte Kegelmethode. Sie gewährleistet, dass nach jeder Auf- und Abhaldeoperation Masse und Böschungswinkel erhalten bleiben.

Bisher setzt FLSmidth in diesem Umfeld die beiden unabhängigen Produkte BlendExpert® und BulkExpert® ein. Ersteres setzt feste Auf- und Abhaldezyklen voraus, wie sie höchstens in der Zementindustrie gewährleistet sind. Letzteres berücksichtigt gescannte Oberflächen, erlaubt aber nur einen sehr groben Einblick in die lokale Zusammensetzung und ist daher auf Kohle- und Erzhalde beschränkt. In Zukunft sollen die Fähigkeiten der beiden Produkte auf Basis des Simulationskerns Pharaoh zusammengeführt werden.

1 Gemessene und simulierte Höhen von Erzhalden

2 Simulativer Nachweis der Homogenisierung im Löffelbagger-Lager