



TRANSPORTVORGÄNGE



Mit gitterfreien numerischen Methoden lassen sich viele industrielle Prozesse simulieren, vor allem aus dem Bereich der Strömungsmechanik. Ein besonders effizienter gitterfreier Solver ist die in der Abteilung entwickelte Finite Pointset Method, die kontinuierlich erweitert wurde. Dargestellt eine ausgewählte Anwendung (Simulation der Wasserdurchfahrt eines Fahrzeugs) mit einem unserer Hauptkooperationspartner.

DR. DIETMAR HIETEL
DR. RAIMUND WEGENER
ABTEILUNGSLEITER



Die Kernkompetenzen der Abteilung liegen in der mathematischen Modellierung komplexer industrieller Problemstellungen und der Entwicklung effizienter Algorithmen zur deren numerischer Simulation. Die konkreten Aufgabenstellungen sind im technisch-naturwissenschaftlichen Kontext (Strömungsdynamik, Strukturmechanik, Strahlungstransport, Optik etc.) angesiedelt 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 2016 verlief für die Abteilung wirtschaftlich und wissenschaftlich sehr erfolgreich. In Verbindung mit der Einführung einer Doppelspitze in der Abteilungsleitung konnten die Gruppenstrukturen deutlich gestärkt und fokussiert werden. Die nachfolgenden Seiten geben einen Einblick in die methodischen Entwicklungen in den vier Gruppen, die in unterschiedlichen Anwendungen zum Einsatz kommen. Das Branchenspektrum reicht dabei vom Maschinen- und Anlagenbau, der Automobil- und Zuliefererindustrie, der Verfahrenstechnik, den Technischen Textilien, der Medizintechnik bis hin zum Energiesektor. Das Problemspektrum erstreckt sich von der Strömungsdynamik über Fluid-Struktur-Interaktion, Faserdynamik, Thermodynamik bis hin zu Energienetzen.

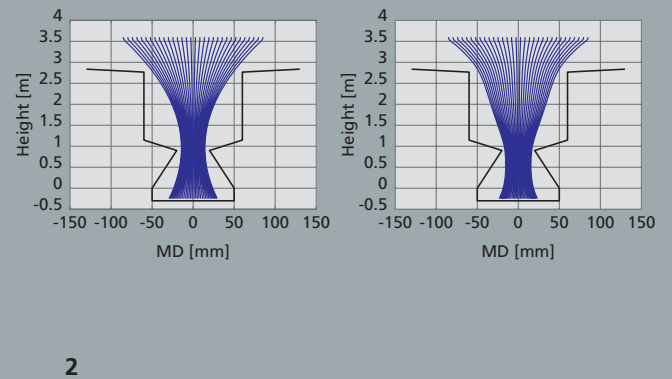
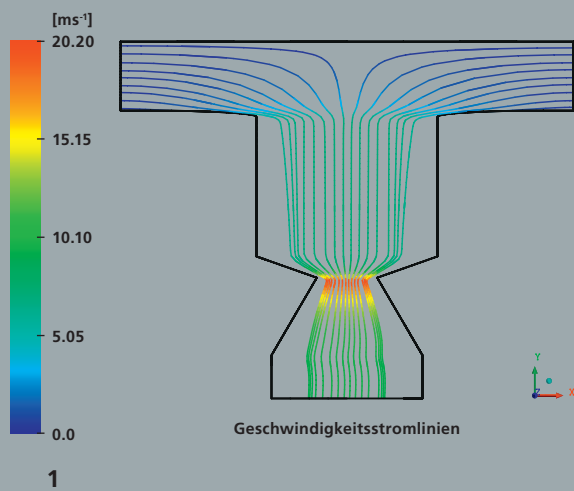
SCHWERPUNKTE

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

Kontakt

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





MODELLIERUNG UND SIMULATION VISKOELASTISCHER SPINNPROZESSE

1 *Aerodynamisches Geschwindigkeitsfeld eines Spinnprozesses; die Stromlinien sind mit der Feldstärke koloriert.*

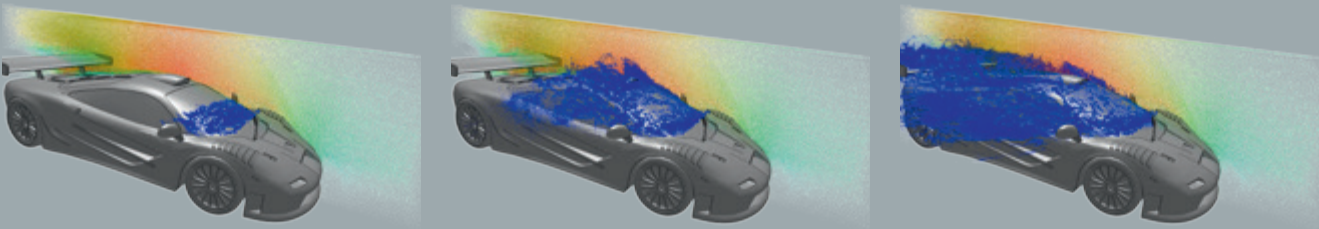
2 *Faserdynamik mit viskosem (links) und viskoelastischem (rechts) Materialmodell*

In Spinnprozessen entstehen nach dem Austritt der Schmelze aus dem Spinnpaket an jeder Spinndüse heiße Flüssigkeitsstrahlen, die aerodynamisch oder mechanisch verzogen werden. Durch die Abkühlung bilden sich verfestigte biegeelastische Fasern. Prozesssimulationen und darauf aufbauende Prozessauslegungen erfordern eine geeignete Materialmodellierung, die den vollen Bereich vom viskosen Verhalten an der Düse bis hin zum elastischen Verhalten der entstehenden Faser abdeckt.

In den letzten Jahren hat das Fraunhofer ITWM ein neues viskoelastisches Materialgesetz für Cosserat-Rod-Modelle entwickelt und damit einen großen Fortschritt in der realistischen Simulation von Spinnprozessen erzielt. Cosserat-Rod-Modelle basieren auf der eindimensionalen Bilanzierung von Masse, Impuls, Drehimpuls und Energie entlang der Faserkurve. Klassische Simulationen mit viskosen Materialmodellen liefern eine nicht korrekte Dynamik der abgekühlten Fasern, da diese keine Biegefähigkeit ausprägen können. Das neue viskoelastische Modell hingegen überwindet diese Problematik und liefert im gesamten Prozessverlauf realistische Ergebnisse. Im Grenzfall hoher Temperaturen zeigt das Modell wie gewünscht viskoses Materialverhalten und für tiefe Temperaturen biegeelastisches Verhalten.

An einem einfachen zweidimensionalen Beispiel erkennt man die Bedeutung der viskoelastischen Materialmodellierung: Ein Faserbündel verlässt das Spinnpaket, so dass die Fasern durch die von beiden Seiten angeblasene Luft gekühlt und verstreckt werden. Sie durchlaufen nachgelagert eine Geometrierengung, in der die Luftströmung beschleunigt und damit die Verstreckung verstärkt wird. Die Abbildungen zur Faserdynamik zeigen Simulationen mit jeweils viskosem bzw. viskoelastischem Materialgesetz. Im Falle des viskosen Materialverhaltens können die Fasern fälschlich bereits nach kurzer Lauflänge aufgrund der Abkühlung ihre Krümmung nicht mehr ändern. Das viskoelastische Modell hingegen erfasst auch Biegungen der abgekühlten Fasern und erlaubt damit die Simulation der tatsächlichen Gesamtdynamik.

Das Fraunhofer ITWM setzt das neue Modell in Kopplung mit einer Modellbibliothek zur Strömungs-Interaktion höchst erfolgreich ein, um systematisch die Auslegung neuer Anlagen zur Herstellung von Fasern zu unterstützen und bestehende Prozesse weiter zu optimieren.



1

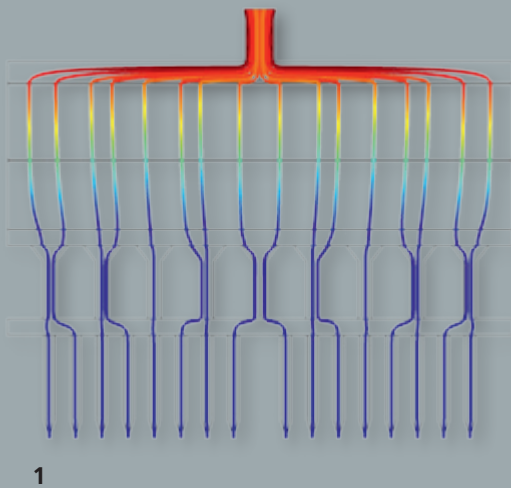
GITTERFREIE SIMULATION IN DER STRÖMUNGS- UND KONTINUUMSMECHANIK

Gitterfreie numerische Methoden werden mit wachsender Intensität für die Simulation industrieller Prozesse und Vorgänge angewendet, insbesondere für strömungsmechanische oder kontinuumsmechanische Aufgabenstellungen. 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 sich mit der Materialgeschwindigkeit bewegen (Lagrange-Methode). Dadurch erlaubt FPM eine sehr einfache und natürliche Modellierung von Vorgängen mit freien Oberflächen, Phasengrenzen und bewegten Teilen der Geometrie.

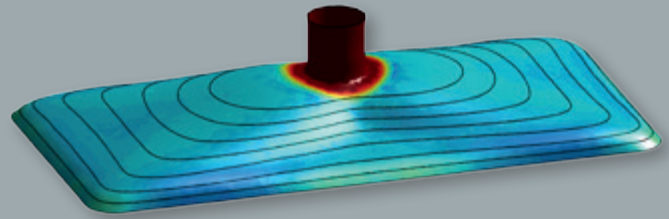
Seit 2002 ist der Fokus hauptsächlich auf die Entwicklung einer impliziten FPM-Variante gerichtet, mit der inkompressible oder schwach kompressible Vorgänge (kleine Machzahlen) numerisch abgebildet werden können. Seit 2014 arbeitet das ITWM zusammen mit dem Fraunhofer SCAI im Fraunhofer-internen WISA-Projekt MESHFREE an der Einbindung des algebraischen Multigrid-Verfahrens (SAMG) in die FPM-Software. SAMG wird dabei speziell an den gitterfreien Charakter von FPM angepasst. Mit der gekoppelten Variante FPM-SAMG können die aus der impliziten Formulierung entstehenden großen, schwach besetzten Gleichungssysteme wesentlich schneller und robuster gelöst werden. Einige industrielle Anwendungen sind durch diese Kopplung überhaupt erst machbar geworden.

Mit dem gekoppelten Ansatz wurden 2016 bereits erfolgreich Industrieprojekte durchgeführt. In der dargestellten Anwendung wurde neben der Kopplung mit SAMG auch eine Kopplung von zwei FPM-Simulationen umgesetzt. Dabei berechnet die eine Simulation die Luftströmung um ein Fahrzeug, während die andere Simulation den Ablauf von Regen- bzw. Sprühwasser modelliert. Beide Simulationen tauschen miteinander Informationen aus. Die Sprühwassersimulation benötigt Daten aus der Luftphase, hauptsächlich Geschwindigkeit und Druck, die Luftsimulation benötigt Input über die aktuelle Lage, Größe und Anzahl der Sprühwassertropfen. Beide Berechnungen benutzen wiederum das eingebundene SAMG-Verfahren. Klassische gitterbasierte Simulationsmethoden können solche Vorgänge nur schwer abbilden. Die MESHFREE-basierte Numerik eröffnet somit völlig neue Horizonte im Design-Prozess von Fahrzeugen oder Bauteilen.

1 *Interaktion von Luft- und Gischtrömung um ein Fahrzeug zu verschiedenen Simulationszeiten*



1



2

ANALYSE UND OPTIMIERUNG VON POLYMER-SPINNPAKETEN

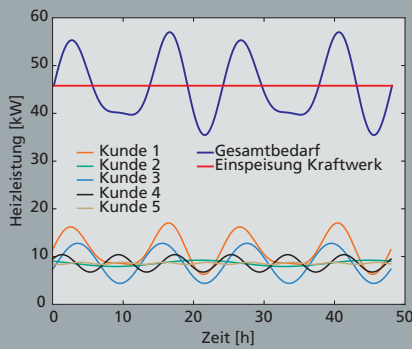
1 Bahnen der Polymerpartikel durch ein typisches Spinnpaket

2 Optimierte Verteilerkavität zwischen Einströmrohr und Filter

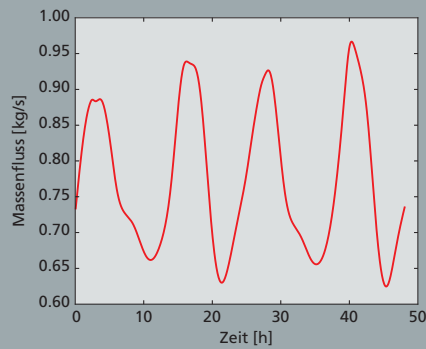
Spinnpakete kommen bei der Produktion synthetischer Fasern aus Polymerschmelze zum Einsatz. Typischerweise wird das Polymer unter Druck im Spinnpaket verteilt, durchläuft mehrere Lagen von Filtern und wird in der Spinnplatte durch feine Kapillaren gepresst und so zu Fasern versponnen. Abhängig von den Prozessparametern, dem verwendeten Polymer und Anforderungen an das fertige Produkt kommt es in realen Prozessen zu unterschiedlichsten Problemen: Zu lange Verweilzeiten unter Temperaturbelastung oder hohe Scherraten können zu Degradation des Polymers führen. Hohe Druckabfälle sind ungünstig für die Prozessführung und reduzieren den möglichen Durchsatz.

Das ITWM nutzt Strömungssimulationen in Kombination mit selbstentwickelten Analysewerkzeugen, um Schwachstellen im Design der Spinnpakete zu identifizieren. Für die Strömungssimulation kommt dabei ANSYS Fluent als Standardwerkzeug zum Einsatz. Die nichtnewtonsche Polymerrheologie wird über Modelle für die scher- und temperaturabhängige Viskosität beschrieben. Ein Schlüsselaspekt liegt in der Interpretation der Simulationsergebnisse. Dazu wird eine repräsentative Anzahl von Bewegungsbahnen der Polymerpartikel durch das gesamte Paket verfolgt. Relevante Größen wie Verweilzeit, Druck, Temperatur oder Scherrate werden entlang dieser Bahnen ausgewertet. Dies geschieht sowohl für das Gesamtpaket als auch für die einzelnen Komponenten, so dass schlussendlich jedes identifizierte Problem auf die verursachende Komponente zurückgeführt werden kann. Hohe Verweilzeiten, die zur Degradation des Polymers führen können, treten beispielsweise häufig in der Verteilerkavität, die am Übergang zwischen dem Einströmrohr und den Filtern liegt, auf. Mit den am ITWM entwickelten Geometrieoptimierungs-Methoden können solche Kavitäten strömungsoptimal und frei von schädlichen Totzonen ausgelegt werden. Hohe Druckabfälle treten hingegen eher in feinen Zuleitungskanälen, wie sie in Bikomponenten-Spinnpaketen notwendig sind, auf. Hier ermöglicht die simulationsgestützte Analyse eine gezielte Designverbesserung. Damit entfallen teure Trial-and-Error-Versuche und Fehlkonstruktionen werden vermieden.

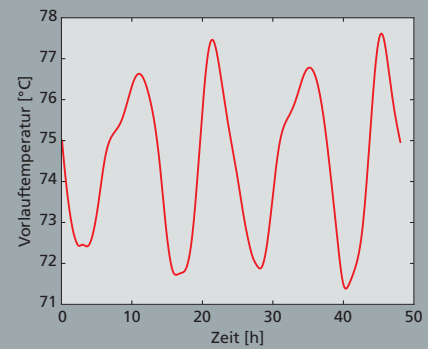
Das ITWM hat in den vergangenen Jahren eine breite Kompetenz auf diesem Gebiet aufgebaut. Diese umfasst sowohl die Analyse und Optimierung bestehender Designs als auch die Unterstützung bei der Auslegung neuer Pakete. Neben Ein- und Bikomponenten-Paketen können auch andere polymerführende Systeme, wie beispielsweise Polymerfilteranlagen, betrachtet werden. Die Auswertung umfasst sowohl die Detektion der typischen Fehlerquellen als auch eine gezielte Suche nach anwendungsspezifischen Problemen. Zur Optimierung stehen generische Werkzeuge bereit, die zu maßgeschneiderten Lösungen erweitert werden können.



1



2



3

DYNAMISCHE NETZSIMULATION ZUR EFFIZIENZ- STEIGERUNG IN DER FERNWÄRMEERZEUGUNG

Fernwärmenetze dienen im Wesentlichen der Versorgung mit Wärme und Warmwasser. Die Betreiber von Fernheizkraftwerken (FHKW) erwirtschaften einen Gutteil ihres Erlöses auch durch den Verkauf von Strom, der durch Kraft-Wärme-Kopplung parallel zur Wärmeerzeugung anfällt. Die Einbeziehung und dynamische Regelung des Fernwärmenetzes als Energiespeicher kann dabei helfen, Turbinen effizient zu betreiben und vorhandene Speicherkessel optimal einzusetzen. Die Optimierung der Betriebsabläufe des FHKWs setzt voraus, dass alle seine Komponenten so genau wie möglich mathematisch abgebildet werden. Für das Fernwärmenetz bedeutet dies, dass man nicht nur statische Zustände, sondern seine gesamte zeitliche Dynamik berücksichtigen muss.

Gegenwärtige Software zur Betriebsunterstützung von FHKWs beschäftigt sich entweder mit dem optimalen Einsatz der lokalen Betriebsmittel des FHKWs, wobei das Fernwärmenetz nur als strukturlose Senke behandelt wird, oder es werden fein orts aufgelöste hydrothermische Modelle des Leitungsnetzes betrachtet, um die Versorgung aller Kunden zu garantieren, ohne die Simulation jedoch in eine Gesamtoptimierung mit schwankenden Betriebsbedingungen einzubinden. Ziel des Projekts, das vom BMWi gefördert und gemeinsam mit der GEF Ingenieur AG und den Technischen Werken Ludwigshafen (TWL) durchgeführt wird, ist die Integration des dynamischen Netzmodells in die Betriebsoptimierung. Bereits die dynamische Simulation des Fernwärmenetzes ist für die Netzbetreiber von großem messbarem Nutzen. So kann beispielsweise die am Kraftwerk bereitgestellte Vorlauftemperatur und der in das Netz gepumpte Massenfluss in Abhängigkeit vom zeitlich variierenden Wärmebedarf der Verbraucher so geregelt werden, dass die vom Kraftwerk bereitgestellte Leistung konstant ist und trotzdem Verbrauchsspitzen sicher bedient werden können. Das Zuschalten von Gasturbinen zur zusätzlichen teuren Wärmeproduktion wird so minimiert bzw. gänzlich vermieden.

Für eine umfassende Betriebsoptimierung besitzt das benutzte Fernwärmenetzmodell bei weitem zu viele Freiheitsgrade. Es muss deutlich komprimiert werden, ohne wesentliche Einbußen bei der Vorhersage von Drücken und Temperaturen zu erzeugen. Genutzt werden dabei mathematische Methoden der parametrischen Modellreduktion. Die zu lösenden Optimierungsprobleme zeichnen sich dadurch aus, dass die Randbedingungen aus Prognosen für stochastisch fluktuierende Verbräuche und Preise stammen. Zur Verbesserung der Prognosemodelle werden Simulationen für historische Zeitreihen durchgeführt. Um den Mehrwert des neuen Ansatzes für die Branche darzustellen, wird ein Software-Assistent entwickelt und damit Potenzialanalysen für das FHKW der TWL durchgeführt.

Deckung eines periodisch variierenden Verbrauchs über konstante Einspeisuleistung durch kombinierte Regelung von Massenfluss und Vorlauftemperatur:

1 *Variierender Verbrauch der Kunden und konstante Einspeisuleistung*

2 *Regelung des Massenflusses*

3 *Regelung der Vorlauftemperatur*