

Dr. Jan Mohring, Dr. Simone Gramsch, Dr. Walter Arne, Dr. Norbert Siedow, Tobias Seifarth, Dr. Simon Schröder, Pratik Suchde, Dr. Isabel Michel, Johannes Schnebele, Dr. Robert Feßler, Sergey Antonov, Dr. Raimund Wegener, Dr. Jörg Kuhnert, Andre Schmeißer, Dr. Christian Leithäuser, Dr. Dietmar Hietel, Jaroslaw Wlazlo, Dr. Timo Wächtler

TRANSPORTVORGÄNGE

▪ FLEXIBLE STRUKTUREN

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

▪ STRÖMUNG

Strömungsdynamik und -optimierung sowie Fluid-Struktur-Kopplungen

▪ GITTERFREIE METHODEN

Finite Pointset Methode für Simulationen strömungs- und kontinuumsmechanischer Problemstellungen

▪ OPTIK, STRAHLUNG, WÄRME

Berechnung von Freiformlinsen, Strahlungstransport, Diffusion

▪ MODELLREDUKTION

Überführung großer Finite-Elemente-Modelle in parametrische reduzierte Zustandsraummodelle

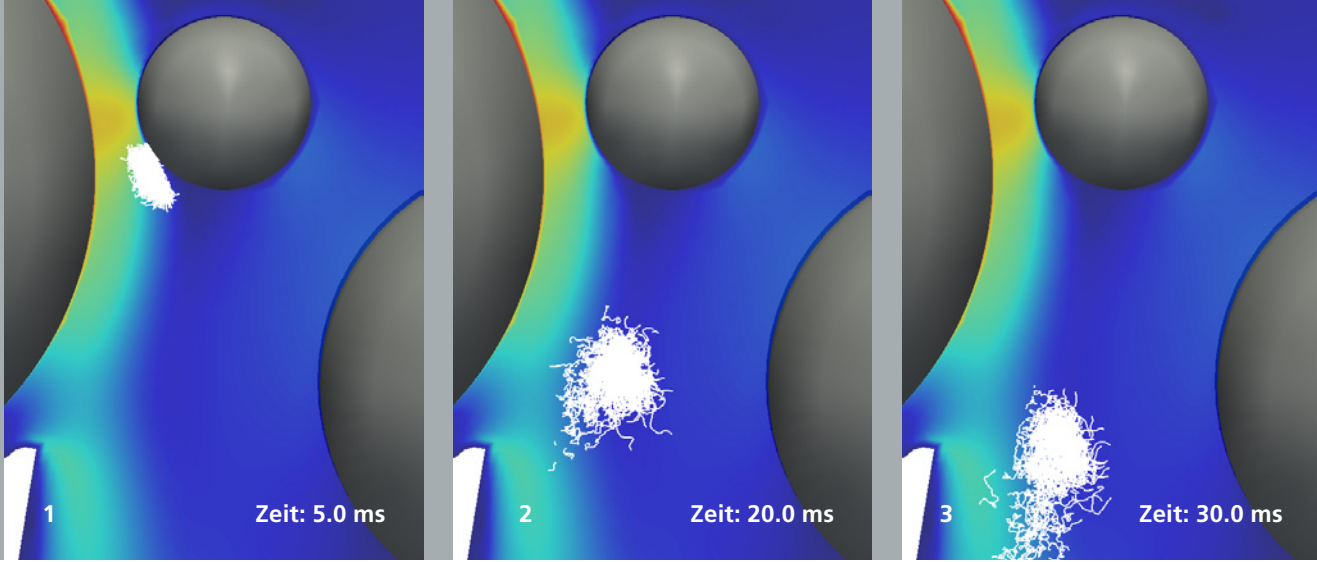




Kernkompetenz der Abteilung Transportvorgänge ist die mathematische Modellierung komplexer industrieller Problemstellungen und die Entwicklung effizienter Algorithmen zu ihrer numerischen Lösung (Simulation). Die bearbeiteten Problemstellungen sind im technisch-naturwissenschaftlichen Kontext (Strömungsdynamik, Strahlungstransport, Optik, Akustik, Strukturmechanik 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, Konzeptentwicklungen sowie Softwarelösungen vom Baustein bis zum kompletten Tool.

Das Jahr 2014 verlief für die Abteilung wirtschaftlich im Bereich der Auftragsforschung höchst erfolgreich. Der Anteil der Wirtschaftserträge am Gesamthaushalt konnte im Vergleich zu den Vorjahren deutlich gesteigert werden. Dagegen blieben Akquisitionserfolg und damit Erträge im Bereich der öffentlichen Projekte hinter den gesetzten Zielen zurück. Die Abteilung hat sich aber dieser Herausforderung gestellt, neue Forschungsvorhaben beantragt und damit bereits erste Erfolge erzielt. Sie blickt daher auch in diesem Bereich sehr optimistisch auf das kommende Jahr. Im wissenschaftlichen Bereich konnte das hohe Niveau bei Publikationen und Konferenzteilnahmen erfreulicherweise gehalten werden.

Im Mittelpunkt der Beiträge des letzten Jahresberichts standen die Softwareentwicklungen der Abteilung in den verschiedenen Themenfeldern. Die zentralen Softwaretools FIDYST (Fiber Dynamics Simulation Tool) als Simulator von Filamentdynamiken und FPM (Finite Pointset Methode) als gitterfreier Löser für ein breites Feld kontinuumsmechanischer Problemstellungen werden auch diesmal in ihrer Weiterentwicklung vorgestellt, darüber hinaus aber jeweils in einer speziellen Anwendung vertieft betrachtet. Diese Beiträge werden durch ein Forschungsprojekt aus dem Bereich der Medizintechnik ergänzt.



SIMULATION DER AERODYNAMISCHEN VLIES-BILDUNG MIT FIDYST

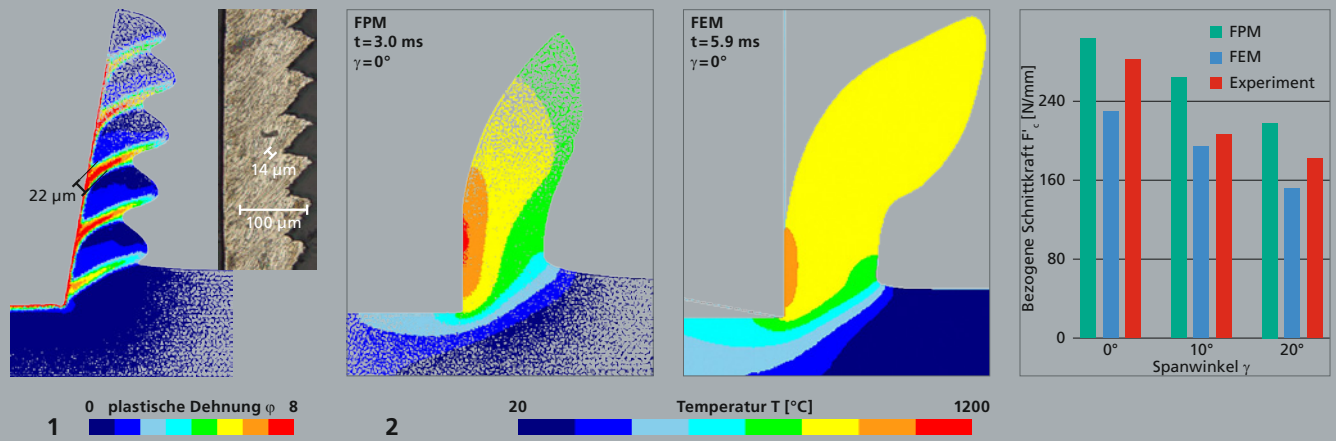
Was haben Kosmetikpads, Schallschutzmatten im Auto und Malervliese gemeinsam? Diese Produkte sind aerodynamische Wirrvliese. Insbesondere im Automobilbereich steigt der Einsatz von Vliesstoffen kontinuierlich an. Damit verbunden ist auch die Nachfrage nach den Maschinen zur Herstellung der aerodynamischen Wirrvliese stark wachsend – ebenso wie die Anforderungen der Vliesstoffproduzenten an die sogenannten Airlay-Anlagen.

Eine Airlay-Anlage funktioniert nach dem folgenden Prinzip: Zunächst wird das Rohmaterial, beispielsweise Fasermatten aus nachwachsenden Rohstoffen oder recycelten Kunststofffasern, geöffnet. Danach werden die Fasern mit der Tambour-Walze in einen Luftstrom eingebracht. Das Luft-Faser-Gemisch landet dann auf einem Band und wird dort durch Absaugung verdichtet. Ziel der Vliesstoffproduzenten ist es, bei möglichst geringem Einsatz von Rohmaterial maximal voluminöse Vliesstoffe herzustellen. Darüber hinaus soll der Energieverbrauch minimiert werden.

Zur optimalen Auslegung von Airlay-Prozessen hat das Fraunhofer ITWM im BMBF-Projekt OPAL in enger Kooperation mit dem Maschinenhersteller Autefa Solutions und dem Vliesstoffproduzenten Ideal Automotive den Airlay-Prozess K12 simuliert. Dazu wurde zunächst die unbeladene Luftströmung simuliert und diese Strömungssimulationen anschließend durch direkte Vergleichsmessungen an der Anlage K12 validiert. Parallel zu diesen Aktivitäten erweiterte das Fraunhofer ITWM das Simulationstool FIDYST (Fiber Dynamics Simulation Tool) um ein neues Modul zur Simulation von Fasern. Um eine repräsentative Anzahl von Fasern simulieren zu können, war es notwendig, die Simulation der Faserdynamik zu parallelisieren. Darüber hinaus entwickelte das Fraunhofer ITWM eine Cluster-Variante von FIDYST, um auf dem hauseigenen Rechencluster »Beehive« Tausende von Fasersimulationen durchführen und auswerten zu können. Die Simulationsstudie mit 6.000 Fasern mit unterschiedlichen Materialparametern fand dann im Herbst 2014 statt, nachdem Ideal Automotive ein Referenzszenario spezifiziert hatte. Die ersten Simulationsergebnisse geben bereits Hinweise auf die Verteilung der Fasern auf dem Band und damit auf die Gleichmäßigkeit der flächigen Vliesstruktur. Die Untersuchungen der dreidimensionalen Vliesstruktur bezüglich Homogenität und die Validierung der Simulationsergebnisse mit CT-Aufnahmen der produzierten Vliesstoffe sind Aufgabe der beteiligten OPAL-Projektpartner und dauern derzeit noch an.

Damit steht in FIDYST ein neues Simulationswerkzeug bereit, um eine erweiterte Palette an Produktionsprozessen technischer Textilien zu simulieren und gezielt zu optimieren.

1–3 Simulationsergebnisse
des Airlay-Prozesses K12
der Firma Autefa Solutions



GITTERFREIE SIMULATION VON SPANENDEN FERTIGUNGSVERFAHREN

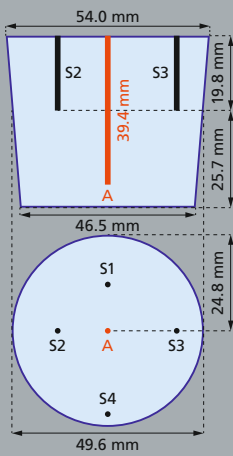
1 Segmentbildung durch partielles Materialversagen (lokale Scherzonen)

2 Vergleich der Spanbildung bei FPM-, FEM-Simulation und Experiment

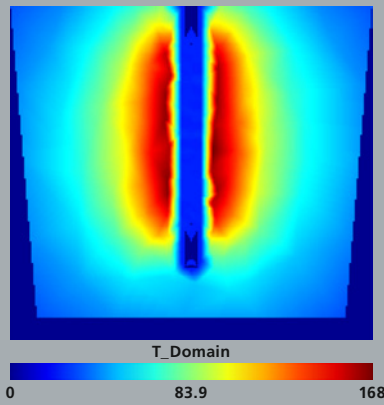
Spanabhebende Fertigungsverfahren werden bei fast allen Maschinenbauproduzenten eingesetzt. Es gibt daher ein großes Optimierungspotenzial. Die dabei interessierenden Fragestellungen betreffen sowohl Prozesseigenschaften (z. B. Schnittkräfte, Spanform, Abnutzung des Werkzeugs etc.) als auch Produkteigenschaften (z. B. Restspannungen nach der Bearbeitung, Oberflächenbeschaffenheit, Gefügestruktur, Gratbildung etc.). Die hier genannten Kriterien werden im industriellen Alltag vorwiegend empirisch angepasst. Die Simulation von Zerspanvorgängen wird derzeit vornehmlich im wissenschaftlich-technischen Umfeld eingesetzt.

Eine simulationsbasierte Optimierung im industriellen Maßstab wäre von großem Vorteil, denn sie legt alle Prozesse beim Zerspanen bis ins kleinste Detail (plastische Deformation, Materialversagen, Spanbildung, Temperaturbelastung, innere Spannungen etc.) offen und würde so zu einer sehr effektiven Optimierung der Bearbeitungsprozesse führen. Das setzt ein leistungsfähiges Computermodell voraus. Im DFG-Projekt »Anwendung der Finite Pointset Method (FPM) zur Simulation der Spanbildung« hat das ITWM zusammen mit dem Institut für Werkzeugmaschinen und Fabrikbetrieb IWF der TU Berlin eine Simulationsmethode für spanabhebende Fertigungsverfahren entwickelt, die den o. g. Anforderungen besser als bisherige Tools gerecht wird. Die numerische Basis ist dabei die Finite Pointset Methode (FPM), eine am ITWM entwickelte gitterfreie Simulationsmethode in der Kontinuumsmechanik, die bereits erfolgreich in Bereichen wie Airbagentaltung, Glasformgebung, Füll- und Schwappsimulationen, Fahrzeugentwicklung oder Turbinenbau eingesetzt wird.

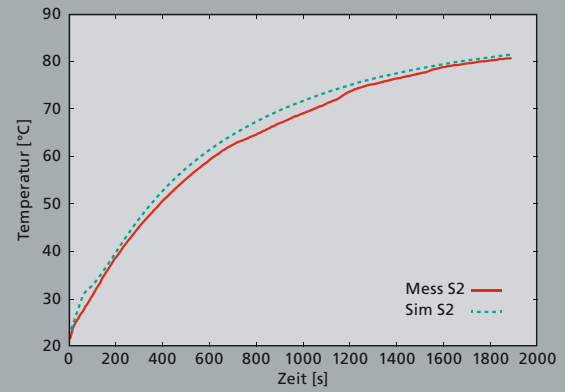
Im Bereich Zerspanen wurde bisher daran gearbeitet, den FPM-Solver für das dynamische Verhalten metallischer Werkstoffe anzupassen und eine flüssige Kühl- bzw. Schmierphase mit in die Simulation einzubinden. Im kommenden Entwicklungsabschnitt soll der Schwerpunkt auf der Kopplung der Zerspanung mit der sog. Minimalmengenkühlung bzw. -schmierung liegen. Dabei wird statt einer kompakten Flüssigkeitsphase zur Kühlung lediglich ein Spray von Flüssigkeitströpfchen verwendet. Dieses bildet einen Film auf der Werkstückoberfläche bzw. auf dem Span. Kühleffekte entstehen neben klassischem Wärmeübergang hauptsächlich durch Verdampfung. Für die gitterfreie FPM-Simulation entstehen dadurch neue Ansprüche. Neben der Werkstück- und Werkzeugphase muss nun auch die umgebende Luft und das Spray als 3D-Phase modelliert werden. Zusätzlich muss der entstehende Flüssigkeitsfilm mit allen Effekten (Wärmeübergang und Verdampfung) als weitere Phase (2D-Manifold) modelliert werden. Schlussendlich werden alle fünf Phasen numerisch miteinander gekoppelt.



1



2



3

LASERINDUZIERTE THERMOTHERAPIE

Die magnetresonanzgesteuerte laserinduzierte interstitielle Thermotherapie (LITT) ist ein etabliertes Verfahren zur minimal-invasiven Ablation verschiedenster Tumoren. Bei der LITT wird durch optische Fasern Laserenergie direkt in den Tumor gebracht und dieser durch Proteindenaturierung zerstört. Um die Koagulation der Tumoren während der Therapie zu kontrollieren und die eingesetzten Energiedosen zu regulieren, ist eine Darstellung des Temperaturverlaufs während der Behandlung notwendig. Magnetresonanz-Thermometrie und Computersimulationen können zur Planung, Kontrolle und Steuerung der LITT genutzt werden.

Im gemeinsam mit der Radiologie der Uniklinik Frankfurt/Main bearbeiteten DFG-Projekt »Invitro Temperaturbestimmung und Computersimulation der Temperaturverteilung zur optimalen Planung und Steuerung der laserinduzierten Thermotherapie« wurde ein mathematisches Modell verwendet, welches das praktische Vorgehen bei der LITT widerspiegelt. Der Energieeintrag des Laserlichts in das Gewebe wird durch eine Kopplung von Strahlungstransport- und Wärmeleitungsgleichung modelliert. Der MR-kompatible Laser-Applikator ist wassergekühlt, um hohe Gewebetemperaturen in der Nähe des Applikators zu verhindern und somit wesentlich größere Tumoren behandeln zu können. Der Kühleffekt wird mathematisch durch die Randbedingung der Wärmeleitungsgleichung realisiert. Das Ziel der Vorwärtssimulation besteht darin, die durch die Laserenergie hervorgerufene thermische Zerstörung des Gewebes zeitlich zu lokalisieren. Die Zerstörung der Gewebezellen ist ein chemischer Prozess, der unter Berücksichtigung der thermischen Geschichte das Tumorgewebe in koaguliertes Gewebe verwandelt. Die Zerstörungsfunktion wird mithilfe von Aktivierungsenergie und eines Frequenzfaktors als Arrhenius-Gesetz beschrieben. Die Lösung des gekoppelten direkten Wärmeleitungs-Strahlungssystems erfordert eine effiziente Numerik. Für das inverse Problem der Parameteridentifikation ist dies natürlich noch viel wichtiger, da das direkte Problem sehr oft für unterschiedliche Parameter gelöst werden muss.

Im Projekt wurde eine Software zur effizienten direkten Simulation entwickelt. Die Grundlage bietet ein Finite-Element-Programm, bei dem die wesentlichen Gebiete um den Applikator sehr viel feiner aufgelöst werden können als weiter entfernte Gebiete. Große Blutgefäße werden durch eine Robin-Randbedingung berücksichtigt. Zur effektiven Behandlung von Tumoren werden in der klinischen Praxis mehrere Applikatoren eingesetzt, was die Simulationssoftware berücksichtigt. Vergleiche zwischen Simulation und Messungen an einem Phantom zeigten gute Übereinstimmungen in den Temperaturwerten.

- 1 *Phantomaufbau*
(A: Applikator, S1-S4: Temperaturmesssonden)
- 2 *Temperatursimulation*
- 3 *Temperaturvergleich zwischen Simulation und Messung an der Sonde 2*