

Im Fokus der Forschung steht die Mehrskalenmodellierung und -simulation von gewebten oder gestrickten technischen Textilien unter besonderer Berücksichtigung des Kontakts zwischen den einzelnen Fäden oder Fasern. Neben der Berechnung der effektiven mechanischen Materialeigenschaften für eine Vielzahl bereits existierender Textilien bieten die Verfahren auch das Potenzial zur gezielten Auslegung neuer Textilien mit vorgegebenem mechanischem Eigenschaftsprofil.

SYSTEMANALYSE, PROGNOSE UND REGELUNG

- **SYSTEMANALYSE UND REGELUNG**

Entwicklung modellbasierter Monitoringsysteme und Regelungsstrategien sowie deren Hardware-Integration

- **DATA MINING UND ENTSCHEIDUNGSUNTERSTÜTZUNG**

Entwicklung datenbasierter Prognosetools und visueller Analysetechniken

- **MULTISKALEN-STRUKTURMECHANIK**

Numerische Verfahren zur Berechnung effektiver mechanischer Eigenschaften multiskaliger Materialien





Im Fokus der Abteilung »Systemanalyse, Prognose und Regelung« stehen Produkte und Prozesse, die sich aufgrund ihrer Komplexität oftmals einer rein physikalischen Modellierung entziehen und in Teilen auf Basis von Messdaten und Expertenwissen beschrieben werden müssen.

Hierbei greift die Abteilung auf ihre Kernkompetenzen aus der System- und Kontrolltheorie, des Data Mining und der multivariaten Statistik sowie der multiskaligen Analysemethoden zurück.

Anwendungsschwerpunkte sind Energiesysteme mit Themen zur Überwachung und Stabilisierung bei Energieerzeugung und Übertragung, aber auch der Energieeffizienzsteigerung in der Produktion. Auch die Analyse und Verhaltensverifikation elektronischer Steuereinheiten im Hardware-in-the-loop-Kontext sowie von hochintegrierten elektronischen Bauteilen bereits in der Designphase, oftmals in Verbindung mit mechanischen Komponenten, stellt einen signifikanten Anwendungsbereich dar. Im Bereich der Medizin spielen Analyse und Bewertung von Omics-Daten im Zusammenhang mit klinischen Verlaufsdaten eine wichtige Rolle bei der Ableitung von Diagnosen, der Prognose von Krankheitsverläufen oder der Bewertung der Therapieeffizienz. Die Analyse und Optimierung verketteter Produktions- und Geschäftsprozesse im Hinblick auf Qualität, Fehlerquellen oder Energieeffizienz gehört ebenfalls zum Spektrum der Abteilung. Im Bereich Material- und Produktdesign werden Modelle zur Vorhersage, Klassifikation und Simulation von Produkt- und Materialverhalten entwickelt, auf deren Basis sich entsprechende Entwurfsentscheidungen ableiten lassen. Einen besonderen Schwerpunkt stellen technische Textilien dar, deren effektive Materialeigenschaften auf Basis mathematischer Homogenisierungsverfahren berechnet und optimiert werden.

In allen genannten Anwendungsschwerpunkten werden von der Abteilung sowohl Beratungsdienstleistungen als auch kundenspezifische Softwareentwicklung sowie eigene Produkte angeboten. Die positive wirtschaftliche Entwicklung der Abteilung aus dem Jahr 2014 konnte auch 2015 fortgesetzt werden, weitere Industriekooperationen sind entstanden. Die wissenschaftliche Kompetenz konnte insbesondere in den Bereichen intelligente Energiesysteme (Smart Grid) sowie technische Textilien auch durch zwei abgeschlossene Promotionen weiter ausgebaut werden.

Die ausgewählten Projektbeispiele bilden einen Querschnitt durch die Anwendungsfelder der Abteilung und berichten über die Evaluation von Software für die Primäranalyse von NGS-Daten, die Simulation des mechanischen Verhaltens von Textilien sowie die Hardware-in-the-loop-Verifikation elektronischer Steuerungseinheiten.

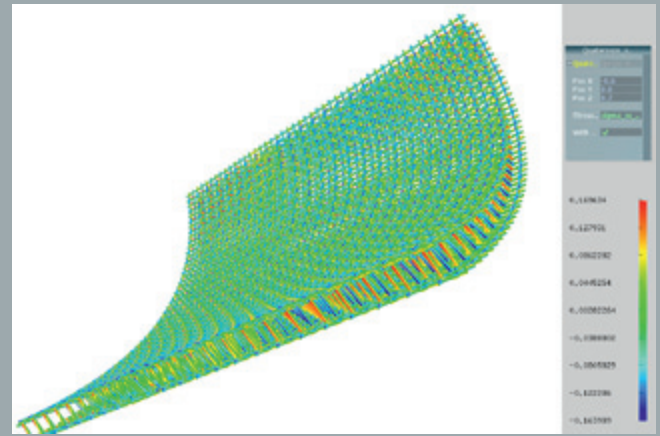
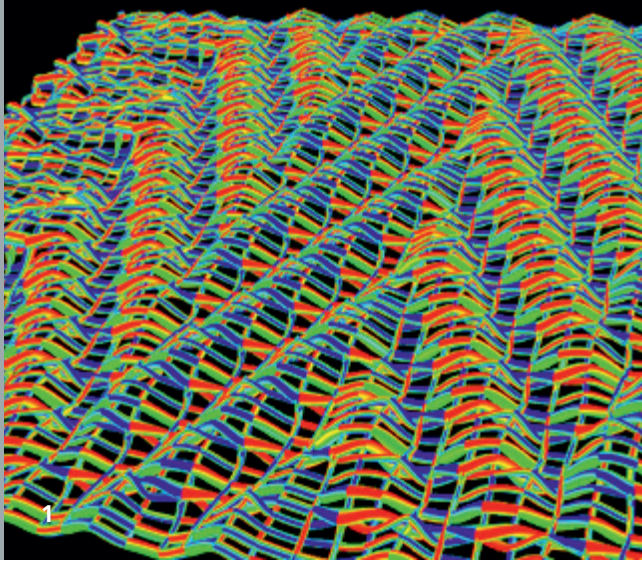


EVALUATION VON SOFTWARE FÜR DIE PRIMÄR-ANALYSE VON NGS-DATEN

Die erste Entschlüsselung eines menschlichen Genoms um die Jahrtausendwende erforderte die Anstrengung weltweit arbeitender Labore und erstreckte sich über einen Zeitraum von mehr als einem Jahrzehnt (Human Genome Project, 1990–2003). Sequenziermaschinen der zweiten Generation (Next Generation Sequencing, NGS) passen dagegen auf einen Schreibtisch und bewältigen die Aufgabe innerhalb weniger Tage. Ein Großteil der verwendeten Hochdurchsatzverfahren beruht darauf, originale Stücke der DNS (Desoxyribonukleinsäure), die die genetische Erbinformation in Form von Basensequenzen trägt, Base für Base nachzubauen (Sequencing by Synthesis). Dazu werden kurze DNS-Abschnitte zunächst in einem chemischen Prozess auf mikrometer-großen Beads fixiert und vervielfältigt. Die so bestückten Beads werden auf die Oberfläche einer Flusszelle verbracht, wo sie in mehreren Zyklen mit modifizierten, fluoreszierenden DNS-Basen überspült werden, die sich spezifisch anlagern. Durch die Verwendung unterschiedlicher Fluoreszenzmoleküle für die vier möglichen Nukleotidbasen entstehen so spezifische Fluoreszenzmuster, die unter Verwendung spezieller Farbfilter fotosensorisch erfasst werden. Die aufgenommenen Bilder müssen anschließend softwaremäßig ausgewertet werden, um für jedes Bead die jeweils angelagerte Base zusammen mit einem Qualitätsmaß zu bestimmen.

Die Firma QIAGEN ist ein weltweit agierender Anbieter von molekular-biologischen Testverfahren mit operativem Hauptsitz in Hilden bei Düsseldorf. QIAGENS neuentwickelter Sequenzierer (GeneReader NGS System) arbeitet nach dem Prinzip des Sequencing by Synthesis. Die Abteilung SYS des Fraunhofer ITWM sichtet und evaluiert in einem gemeinsamen Projekt mit QIAGEN einen Teil der von QIAGEN erstellten Software zur Primär-Analyse der Fluoreszenz-Bilddaten bis hin zur Ermittlung der Basensequenzen und Qualitätsmaße. Dabei werden von Seiten des ITWM auch konkrete Verbesserungsvorschläge gemacht, die in zukünftige Produktversionen Eingang finden könnten. Durch die Software müssen unterschiedlichste Aufgaben gelöst werden: Verschiebungen der Fluoreszenz-Bilder untereinander (die Flusszelle muss in jedem Zyklus mechanisch bewegt werden); ungleichmäßige Ausleuchtung der Bilder bedingt durch die Optik des Fotosensors; unterschiedliche optische Eigenschaften der vier verwendeten Fluoreszenzmoleküle und der Farbfilter; Übersprechen der Farbkanäle und benachbarter Beads; Degenerierung der Fluoreszenz-Signale durch Zunahme der Autofluoreszenz und durch fehlerhafte Inkorporationen der modifizierten Basen (Lead/Lag-Effekte). Sämtliche Effekte beinhalten auch immer eine stochastische Komponente. Hier bringt die Abteilung SYS ihre Kompetenzen in den Bereichen komplexer stochastischer Modellierung und Algorithmik in das Projekt mit ein.

1 QIAGENS GeneReader
NGS System



1 Lokale Schubspannungen
in einem Gewebe in einem
Zugexperiment

2 Lokale axiale Spannungen
in einem Abstandsgewebe
bei der Biegung

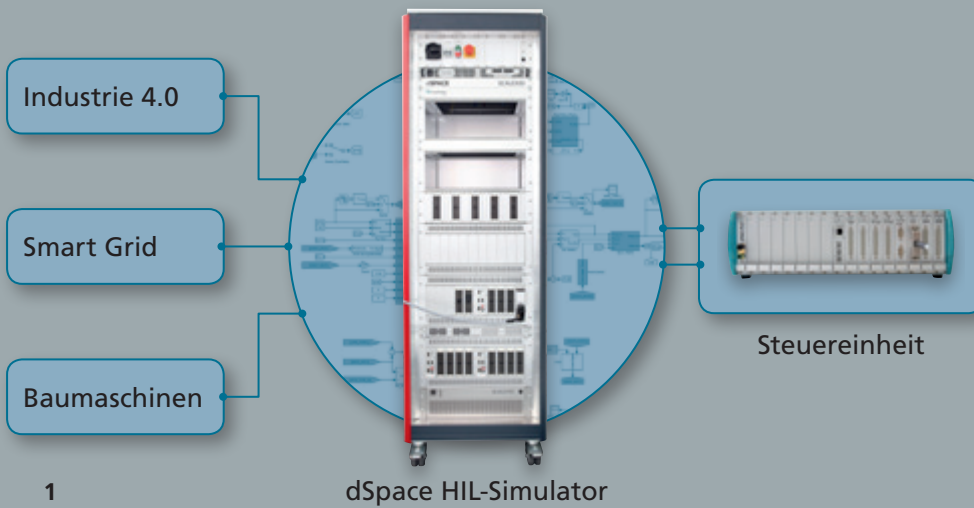
SIMULATION MECHANISCHER TEXTILEIGENSCHAFTEN

Seit etwa acht Jahren beschäftigt sich ein Teil der Abteilung Systemanalyse, Prognose und Regelung mit der Modellierung und der Berechnung mechanischer Eigenschaften von Textilien. Hierbei stehen Simulationsmethoden im Fokus, die eine effiziente Vorhersage des Verhaltens von gewebten und gestrickten Textilien zulassen. Wichtige Parameter, die dabei einfließen, sind die mechanischen Eigenschaften der einzelnen Webgarne sowie eine geeignete Beschreibung der verwendeten Maschengemetrie. Während sich die Dehnungseigenschaften der einzelnen Garne experimentell recht einfach ermitteln lassen, bereitet die Ermittlung von Reibungskoeffizienten zwischen verschiedenen Garntypen einen wesentlich größeren Aufwand. Die erforderlichen Garnparameter werden in der Regel an entsprechend experimentell ausgestatteten Textilinstituten bestimmt und dann dem ITWM zur Verfügung gestellt.

Der Anwendungsschwerpunkt liegt hierbei vor allem bei technischen und medizinischen Textilien, die gewisse Performanceanforderungen unbedingt einhalten müssen. Da gibt es etwa Verbände, die beim Tragen auf die Hautpartien des Patienten einen bestimmten Druck ausüben sollen. Oder es gilt herauszufinden, wie ein Material beschaffen sein muss, damit es möglichst viel Schutz bietet, sei es beispielsweise als kugelsichere Weste oder aber auch als Arbeitskleidung, etwa bei einer Schnittschutzhose.

Die Arbeiten der Abteilung münden in der Regel nicht in konkreten textilen Produkten, sondern eher in der Weiterentwicklung geeigneter Simulationswerkzeuge, mit denen die Auftraggeber verschiedene Simulationen – mit sich ändernden Material- oder Geometrieparametern – ablaufen lassen können. Hierdurch lässt sich neben der Simulationsbewertung eines konkreten Textildesigns, dann auch eine Optimierung der Performanceeigenschaften über verschiedene Designvarianten durchführen.

Zu den Auftraggebern der Gruppe gehören Hersteller von Kompressionsverbänden und Autotextilien sowie Firmen, die Sicherungssysteme aller Arten herstellen, aber auch Firmen, die Arbeits- und Schutzkleidung anbieten. Potenzielle Kunden sind auch Firmen, die Textilien im weiteren Sinne für die Baubranche herstellen; gemeint sind Stoffe, die in Drainagen verbaut werden und einem gewissen Druck standhalten müssen. Neben den aktuell fokussierten mechanischen Textileigenschaften sollen zukünftig weitere Eigenschaften wie beispielsweise der Flüssigkeitstransport betrachtet werden.



HARDWARE-IN-THE-LOOP-VALIDIERUNG ELEKTRO- NISCHER STEUEREINHEITEN

Mit der wachsenden technischen Bedeutung verteilter Systeme geht auch eine starke Veränderung der Struktur von Regelsystemen einher. Es wird nicht mehr eine einzelne Steuereinheit für die Regelung eines Prozesses eingesetzt, vielmehr bildet eine Vielzahl von Reglern zusammen mit Sensoren und Aktoren sowie der Regelstrecke selbst ein digital vernetztes dynamisches System. Zur Validierung der Regelkonzepte wird immer häufiger auf das Konzept Hardware-in-the-Loop (HiL) zurückgegriffen. Hierbei werden die zu testenden elektronischen Steuereinheiten nicht direkt in das reale System, sondern in einen Teststand mit einer mathematischen Systemsimulation eingebunden. Mittels einer entsprechenden elektronischen Schnittstelle wird das Steuergerät mit der HiL-Plattform verbunden, so dass aus seiner Sicht kein Unterschied zwischen dem Teststand und der späteren Regelstrecke besteht. Während im Automobilbau HiL-Tests etabliert sind, existieren für Spezialmaschinen wie Traktoren, Kräne und Bagger keine vorgefertigten Simulationskomponenten.

In diesen Anwendungen führt eine hohe Vernetzung zwischen mechanischen Funktionsgruppen, gekoppelt mit Hydraulik und Elektronik sowie vielen Aktoren und Sensoren, schnell zu komplexen dynamischen Modellen. Viele Baugruppen weisen zudem technische Restriktionen (z. B. durch Schläuche) auf, die abhängig vom Gesamtsystemzustand sind.

Die Abteilung entwickelt seit vielen Jahren geeignete mathematische Systemrepräsentationen für Baumaschinen und andere Nutzfahrzeuge. Diese Systeme sind echtzeitfähig und robust gegenüber Rauschen z. B. in analogen Steuersignalen. Zusätzlich wird stets eine Überwachungsumgebung implementiert, mit der fehlerhafte Stellsignale detektiert werden können, um so die Funktionstüchtigkeit des zu testenden Steuergeräts zu kontrollieren.

Seit 2015 steht in der Abteilung außerdem ein HiL-Simulator mit einer umfangreichen I/O-Schnittstelle zur Verfügung, um die implementierten Systemsimulationen an die zu testenden elektronischen Steuereinheiten anzuschließen. So können die Systemmodelle schlüsselfertig erstellt und getestet bzw. für Kunden ohne eigenen HiL-Simulator die Reglervalidierung direkt am ITWM durchgeführt werden. Neben den Spezialmaschinen sollen hierbei auch Fragestellungen im Umfeld Industrie 4.0 sowie intelligenter Energienetze adressiert werden.

Zusätzlich zur Entwicklung echtzeitfähiger Simulationsmodelle liegt ein weiteres Augenmerk auf dem Entwurf von Regelalgorithmen und logischen Abhängigkeiten auf den Steuereinheiten. Aus den Erfahrungen aus der Systemmodellierung und Zustandsüberwachung für die HiL-Tests heraus entwickelt die Abteilung für das modellierte System valide Regler. Bei Bedarf werden diese auf hauseigenen programmierbaren Steuereinheiten umgesetzt und am HiL-Simulator getestet.

1 *Hardware-in-the-Loop-Simulation am Fraunhofer ITWM*