

## KURZVERÖFFENTLICHUNG

# Virtuelle Auslegung von Elastangestriicken mittels Prozesssimulation

Autoren: Hermann Finckh  
Florian Fritz  
Ivan Kirsten  
Albrecht Dinkelmann  
Uwe Röder  
Dr.-Ing. Sibylle Schmied

Forschungsstelle: DITF – Textil- und Verfahrenstechnik  
Erschienen: 19.08.2025  
Bearbeitungszeitraum: 01.05.2022 – 28.02.2025

## Zusammenfassung

Der Trend bei technischen Gestriicken wie Kompressionstextilien ist die individuelle passgenaue Produktherstellung mit genau definierten Eigenschaften, insbesondere genau eingestellter Kompressionswirkung. Die Bestimmung der Produktionsparameter, um Maschenware mit definierten mechanischen Eigenschaften herzustellen, ist derzeit nur im Trial & Error-Verfahren möglich, was sehr zeit- und kostenintensiv ist. Daher wurden Stricksimulationen und Garnmodelle untersucht, die das virtuelle Testen von Gestriicken und somit die zielgerichtete Produktentwicklung ermöglichen sollen.

Im Fokus steht die Verarbeitung von Elastan-Umwindegarnen, die aufgrund ihrer Garnstrukturen und des hochelastischen Materialverhaltens besonders schwierig hinsichtlich der zu erwartenden Maschendimensionen und Textileigenschaften einschätzbar sind. Das Elastangarn ist aufgrund seines komplexen Aufbaus, der mehreren 100% Dehnfähigkeit und dem stark nichtlinearen Materialverhalten eine besonders große Herausforderung für die numerische Simulation.

Die eingesetzten Garne und die hergestellten Kompressionstextilien wurden hinsichtlich ihrer Struktur mittels Mikro-Computertomographie ( $\mu$ CT) und den mechanischen Eigenschaften analysiert und daraus Simulationsmodelle entwickelt. Für die Entwicklung der Stricksimulation wurde eine Rundstrickmaschine Lawson (10", E20, 1-System, 624 Nadeln) eingesetzt, die Ergebnisse sind prinzipiell auf andere Strickmaschinen übertragbar.

## Ergebnisse

Die Untersuchungen wurden an einem Elastan-Umwindegarn der Fa. Zimmermann durchgeführt (Ultraelastic 6172XX-9686, 442 dtex mit 130dtex Lycra Kern und Umwindung aus PA 6.6). Das Umwindegarn wurde mittels hochauflösender  $\mu$ CT-Aufnahmen in den drei Dehnungszuständen 0, 10 und 50% Dehnung analysiert, die einzelnen Komponenten (Elastan-Kern, PA-Umwindegarne 1 und 2) segmentiert und daraus 3D-Modelle generiert. Ferner wurde für Vergleichszwecke ein reines Polyamid-Garn (PA 6.6 44f13x2) verwendet. Die eingesetzten Garne und die hergestellten Kompressionstextilien wurden hinsichtlich Ihrer mechanischen Eigenschaften untersucht: Zug, Kompression und Reibung. Durch gezielten Einsatz verschiedener CT-Analysesoftwares (VGStudioMax, AVIZO und GeoDict) können aus den  $\mu$ CT-Aufnahmen exakte 3D-Modelle mit Garnmittelachsen und Garnquerschnitten extrahiert werden. Abbildung 1 zeigt den genauen Aufbau und Struktur des Elastangarns im un- und belasteten Zustand.

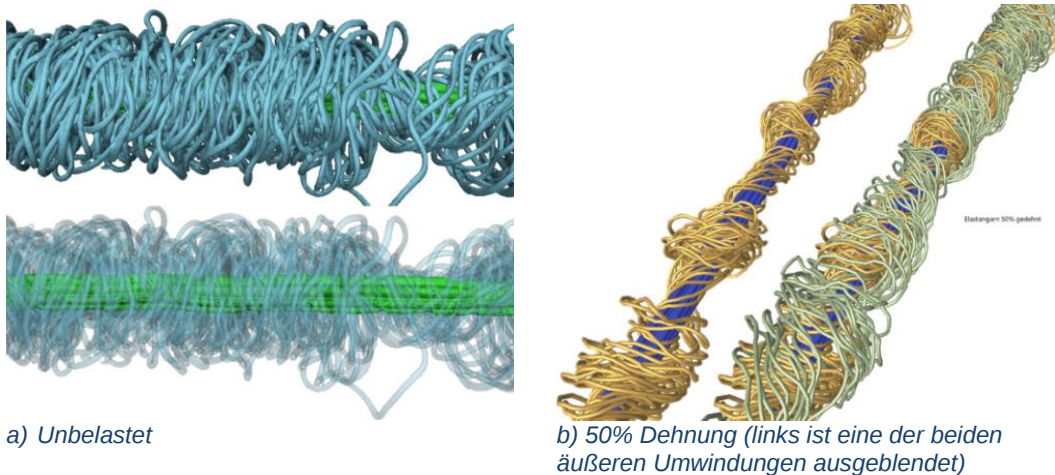


Abbildung 1:  $\mu$ CT-Analyse des Elastan-Umwindegarns Ultraelastic 6172XX-9686, 442 dtex

Eine in der Programmiersprache python entwickelte Software generiert daraus Garnmodelle, die für die Strick- und Belastungssimulationen zur Verfügung stehen. Die entwickelten Garnmodelle können neben Gestriken auch für Gewebe, Geflechte, Gelege, etc. eingesetzt werden. Bei den Garnmodellen lag zunächst der Fokus auf Multifilament-Simulationsmodellen. Das Multifilament-Balkenmodell bildet das Materialverhalten des eingesetzten Elastan-Umwindegarns bei der Zugsimulation qualitativ sehr gut ab. Dabei wird auch die Einschnürung der Umwindefäden berechnet und mit Hilfe der  $\mu$ CT-Scans an Proben mit unterschiedlicher Dehnung verifiziert. Abbildung 2 zeigt vier Dehnungsstufen der Garnzugsimulation mit steigender Einschnürung der Umwindegarne (links), sowie den qualitativen Vergleich mit dem Filamentverlauf der  $\mu$ CT-Analysen (rechts).

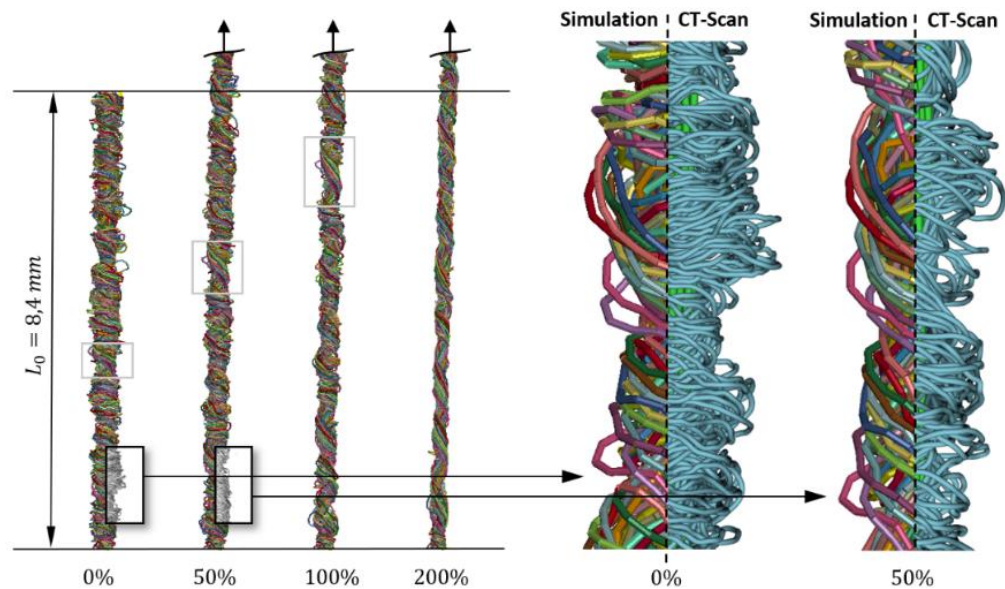


Abbildung 2: Verifizierung des Materialverhaltens des Multifilament-Balkenmodells anhand  $\mu$ CT-Scans unterschiedlicher Dehnung

Der Kraft-Dehnungs-Verlauf der entwickelten Materialmodelle bildet das Zugverhalten des eingesetzten Elastan-Umwindegarns sehr gut ab. Abbildung 3 zeigt das Kraft-Dehnungs-Diagramm der Garnzugsimulation mit dem Monofilament und dem Multifilament-Balken-Modell im Vergleich mit der Mittelwertkurve der experimentellen Zugprüfungen.

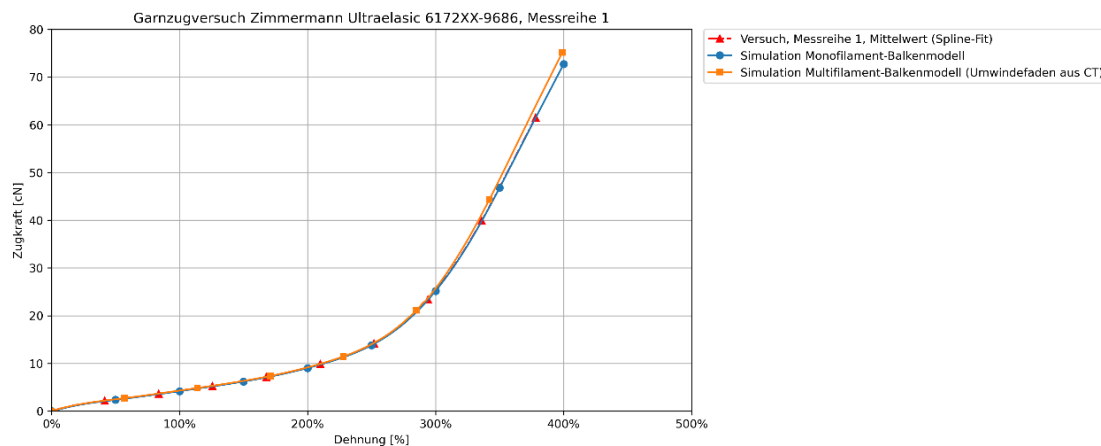


Abbildung 3: Kraft-Dehnungs-Diagramm der Garnzugsimulation mit dem Monofilament und dem Detail Multifilament-Balken-Modell im Vergleich mit den Messwerten der experimentellen Zugprüfung

Um auch realitätsnahe Modelle für Umwindegarne ohne den aus hochauflösenden  $\mu$ CT-Aufnahmen aufwändig extrahierten Filamentverläufen generieren zu können, wurde ein Verfahren entwickelt, mit dem die Umwindefilamente des Elastangarns stochastisch mittels

Software generiert werden. Hiermit konnte ebenfalls die Kraft-Dehnungs-Kurve abgebildet werden. Für die Eigenschaftssimulation von Gestriken sind Simulationsmodelle mit ineinandergreifenden Maschen notwendig. Daher wurde daher eine prototypische Software entwickelt, um die Garnmodelle in beliebige Garnverläufe z. B. die Maschengemetrie zu transformieren. Eingabeparameter sind ein unverformter Pfad und ein unverformtes Garnmodell sowie der gewünschte Pfad, in den das Garnmodell transformiert werden soll (vgl. Abbildung 4).

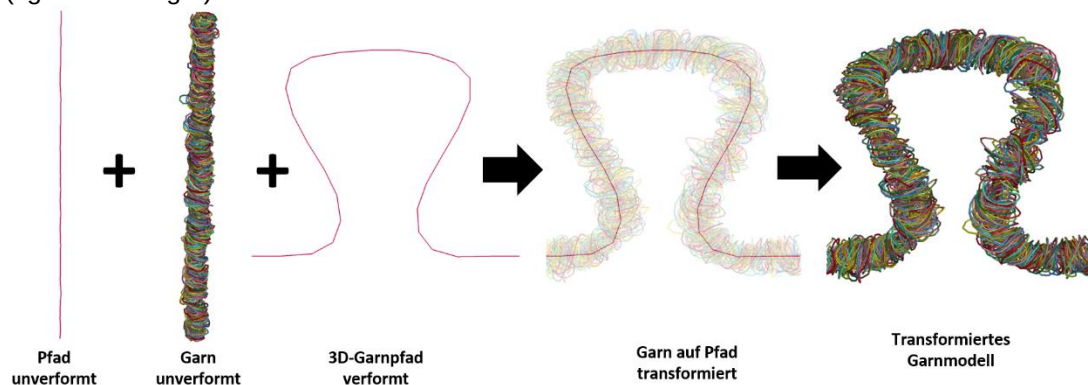


Abbildung 4: Funktionsweise der Transformationssoftware

Mit Hilfe dieser Software können schnell große Modelle mit komplexen Fadenverläufen, wie in Gestriken, aus bestehenden Garnmodellen erzeugt werden (Abbildung 5).

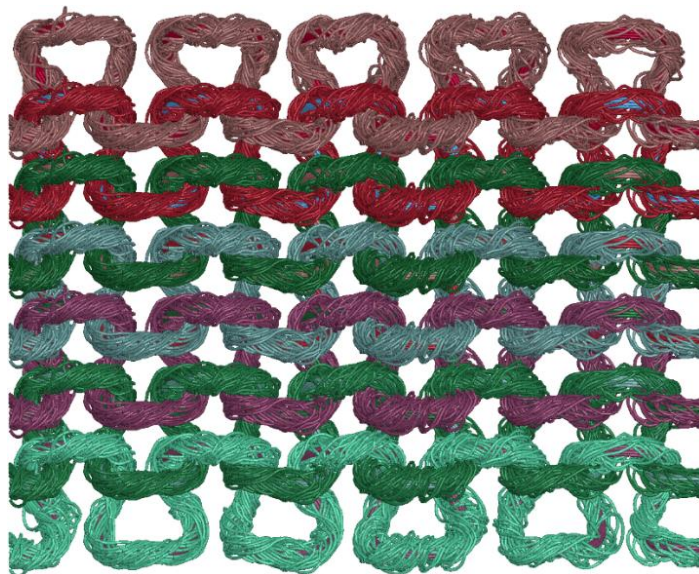
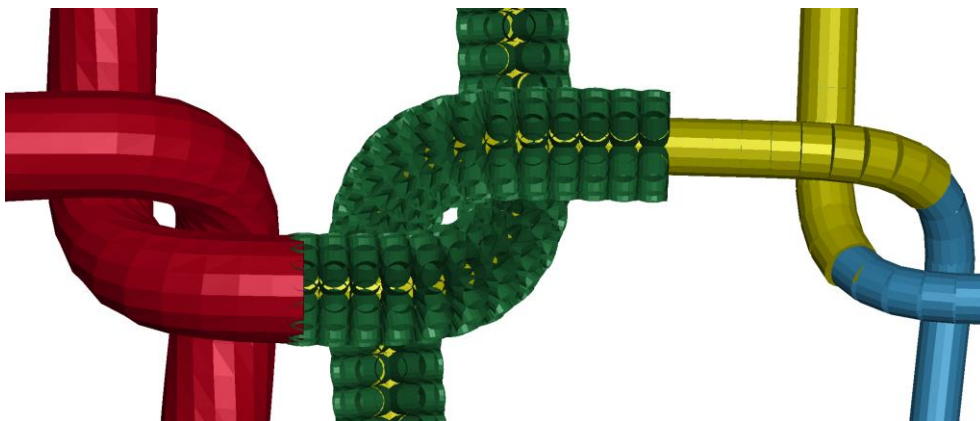


Abbildung 5: Gestricksfläche aus 7x5 Maschen; Multifilament-Balkenmodell, Einzelgarne durch Transformation erzeugt

Aufgrund des hohen Berechnungsaufwands und den auftretenden Kontaktproblemen bei der Stricksimulation wurden neue Modellierungslösungen für das Garn untersucht: Das „Universelle Garnmodell“ besteht aus Schalen- und Balkenelementen und besitzt eine elastisch deformierbare Hülle, die die Garnoberfläche abbildet. Bei Querbelastrungen, die bei Garn-zu-Garn-Kontakten auftreten, wird der Garnquerschnitt entsprechend verformt.

Abbildung 6 zeigt in drei Abschnitten den Aufbau des Garnmodells. Links ist die Garnhülle (rot) mit den Hauptfunktion Querverformung und Kontaktprüfung, mittig die Anbindungselemente zwischen Hülle und Garnachse (grün) mit den Hauptfunktionen Kompression und Verbindung der Hülle mit der Garnachse und rechts die Garnachse (gelb, blau) mit den Hauptfunktionen Zugverhalten und Kontaktprüfung).



*Abbildung 6: Universelles Schalen-Balken-Modell (li. alle Komponenten, Mitte: ohne Hülle, re. ohne Hülle und den Anbindungselementen)*

Obwohl dieses Garnmodell aus vielen verschiedenen Komponenten aufgebaut ist, kann die Berechnungszeit, im Vergleich zu den detaillierten Multifilament-Simulationsmodellen, um eine Größenordnung reduziert werden. Mit dem universellen Garnmodell konnten die Zugeigenschaften des Elastangarns ebenfalls sehr gut abgebildet werden. Durch die Modellierung der Garnoberflächen durch Schalenelemente können nun auch Transportvorgänge wie elektrische Leitfähigkeit oder thermodynamische Effekte abgebildet werden. Damit werden weitere zahlreiche Anwendungsmöglichkeiten zur simulationsgestützten Produktentwicklung und Optimierung erschlossen.

Die durchgeführten Zugsimulationen an Gestriken zeigten, dass das im Experiment ermittelte Zugverhalten in Simulationsmodellen mit korrekter Maschengometrie (z. B. aus  $\mu$ CT-Scans) ohne die Berücksichtigung des produktionsinduzierten Eigenspannungszustands nicht berechnet werden kann.

Obwohl die Garnmodelle das Garnverhalten sehr gut abbilden, zeigte das auf Basis der  $\mu$ CT-Analysen und den Garnmodellen modellierten Gestrickmodellen zu spät den mit Zugprüfungen ermittelten Kraftanstieg im Spannungs-Dehnungsdiagramm. Dies zeigt die Bedeutung der Stricksimulation mit hochelastischen Garnen, in der das Ergebnis ein Maschenmodell mit dem Eigenspannungszustand ist.

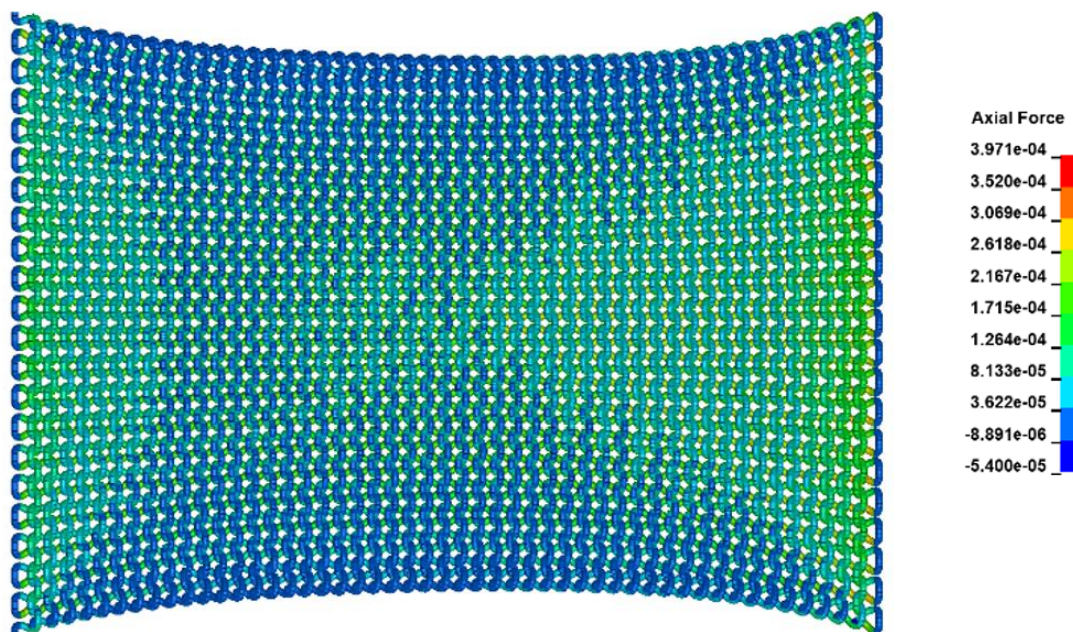


Abbildung 7: Spannungszustand der Gestrick-Zugsimulation mit dem Monofilament-Balkenmodell bestehend aus 21 Maschen und 50 Maschenreihen (Axialkraft in den Balkenelementen)

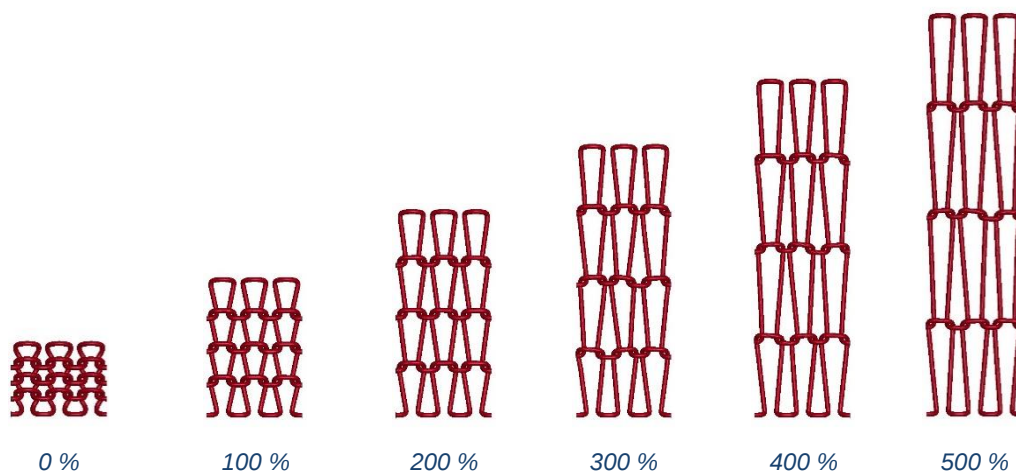
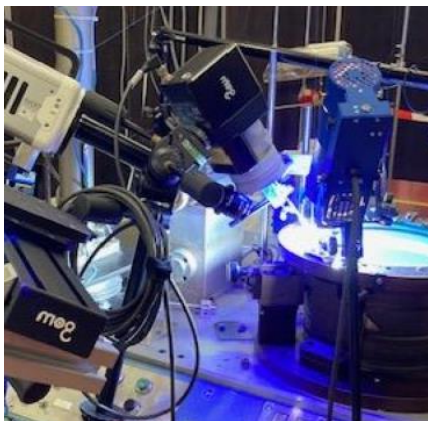


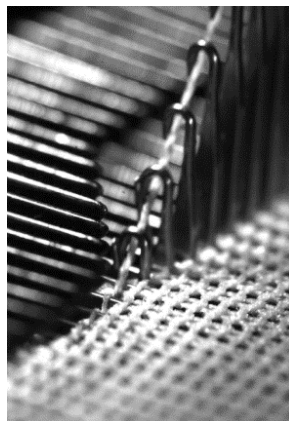
Abbildung 8: Simulation des Zugversuchs am Gestrick mit dem universellen Schalen-Balken-Modell

Durch Variation der Aufprägung eines inneren Spannungszustands und dem iterativen Abgleich mit dem gemessenen Spannungs-Dehnungsverhalten kann der in der realen Maschenware vorherrschende Eigenspannungszustand ermittelt werden. Dies gilt es noch zu überprüfen.

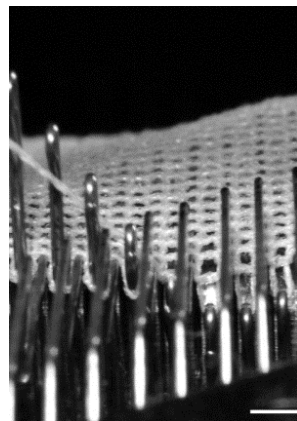
## Entwicklung der Stricksimulationen:



a) Messaufbau an Lawson (E20)



b) Seitenansicht auf  
Nadeln (Photron SA 5)



c) Frontalansicht auf  
Nadeln (Photron Nova S9)

Abbildung 9: Strickvorganganalyse mit zwei Hochgeschwindigkeitskameras

Die detaillierte Analyse und Dokumentation des Strickprozesses mittels zweier synchronisierten Hochgeschwindigkeitskameras zeigen sehr detailliert die lokalen Vorgänge bei der Maschenbildung und den Einfluss der Fadenzugspannungen (Abbildung 9). Mit der Analyse des „optischen Flusses“ wurden die Garnbewegungen innerhalb und über mehrere Maschen hinweg verfolgt und so Randbedingungen ermittelt und wichtige Erkenntnisse über das Garnverhalten bei der Maschenbildung gewonnen. Die Projektergebnisse zeigen auch die Möglichkeiten der detaillierten Analyse des Strickprozesses auf.

Es wurde eine Parameter-basierte, automatisierte Modellgenerierung für Stricksimulationen entwickelt, mit der Gesamtmodelle mit der gewünschten Anzahl von Strickstellen, Nadelfeinheiten, Nadelanzahl und Nadelausführungen generiert werden können. Abbildung 10 zeigt die Maschenbildung bei einer Stricksimulation mit 78 Nadeln und 3 aktiven Strickstellen mit dem Monofilament-Balkenmodell.

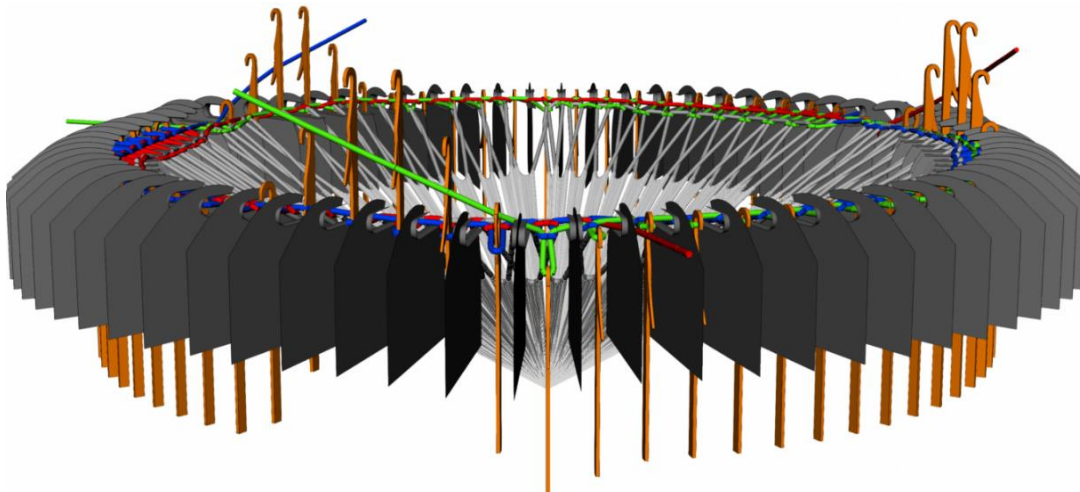


Abbildung 10: Stricksimulation mit 78 Nadeln und 3 aktive Strickstellen

Es war in der Projektlaufzeit nicht möglich, die Stricksimulation mit dem neu optimierten universellen Garnmodell für das Elastangarn durchzuführen. Dies soll in einem weiteren Vorhaben erfolgen. Die eigens entwickelten Programme zur Extraktion, Umwandung, Transformation, Vernetzung von Garnmodellen, sowie die Programme zur Generierung von Simulationsmodellen, wie Strickprozesssimulation, Garn- und Gestrick-Zugsimulation stehen für weitere öffentlich geförderte Anschlussprojekte zur Verfügung.

Die im öffentlich geförderten Vorhaben durchgeführten numerischen Berechnungen erfolgten mit der Software LS-DYNA der Fa. ANSYS.

## Danksagung

Gefördert durch:



aufgrund eines Beschlusses  
des Deutschen Bundestages

Das IGF-Vorhaben 01IF22228N der Forschungsvereinigung Forschungskuratorium Textil e.V., Reinhardtstraße 14-16, 10117 Berlin wurde über die DLR im Rahmen des Programms zur Förderung der industriellen Gemeinschaftsforschung (IGF) vom Bundesministerium für Wirtschaft und Energie aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages gefördert.

Der Abschlussbericht des Forschungsvorhabens 01IF22228N ist an den Deutschen Instituten für Textil- und Faserforschung Denkendorf (DITF) erhältlich.

## Ansprechpartner

Hermann Finckh, [hermann.finckh@ditf.de](mailto:hermann.finckh@ditf.de)

**Deutsche Institute für Textil- und Faserforschung Denkendorf**  
Körschtalstraße 26  
73770 Denkendorf  
[www.ditf.de](http://www.ditf.de)

**Bibliothek**  
Bernd Janisch  
[bibliothek@ditf.de](mailto:bibliothek@ditf.de)  
T +49 (0)711 93 40-505 | F +49 (0)711 93 40-297