

Numerische Simulation der mechanischen Eigenschaften textiler Flächengebilde - Gewebeherstellung

Hermann Finckh

Institut für Textil- und Verfahrenstechnik Denkendorf (ITV Denkendorf)

der Deutschen Institute für Textil- und Faserforschung (DITF)

Direktor: Prof. Dr.-Ing. Heinrich Planck

Abteilung Technische Textilien, Leiter: Dr.-Ing. T. Stegmaier

hermann.finckh@itv-denkendorf.de, Denkendorf, Deutschland

Abstract:

High performance textiles especially woven fabrics made of multifilament yarns are widely spread in technical applications and will gain even more importance in the next years. Through further consequential development of the ITV-Single-Thread Modelling, the ITV-yarn-models and the use of high performance computing a fundamental step towards precise computation of fabrics has been done. Until now fabric models have been generated on the base of geometrical and analytical relations. Now, for the first time, the manufacturing process of woven fabric has been simulated by explicit finite-element-method (FEM). For this computation input data as weave, yarns, yarn density and other production data were chosen. The result is a nearly perfect woven fabric model that considers the crimp of weft- and warp yarn, compressional behaviour and local displacements of the yarns during the production simulation. With this fabric model all kind of loading conditions as tensile, shear, draping and impact processes can be simulated. Beside that, the precise 3-dimensional fabric model can be used to generate a lifelike presentation of textile parts.

Computation of the mechanical behaviour of fabrics and the realistic presentation without actually producing the fabric increases efficiency in product development to a big extent and results in virtual prototyping of textile parts.

The presented results on the simulations of the manufacturing process of woven fabrics represent the state of the art in research and development at ITV Denkendorf and show the potential of this computation method for woven fabrics as well as for other textile structures.

Keywords:

FEM, ITV-Single-Thread Modelling, micro-model, yarn models, textile fabric models, manufacture simulation, loading simulations to fabrics, draping, impact, virtual prototyping

1 Einleitung

Seit langem wird bereits versucht das mechanische Verhalten von Textilien, insbesondere für Gewebe mit Hilfe analytischer und numerischer Methoden vorauszuberechnen. Bereits 1996 wurde vom ITV Denkendorf ein neues Berechnungsverfahren vorgestellt, das durch seinen allgemeinen Ansatz für alle Textilien (außer Vliesstoffe) angewandt werden kann [1]. In den Modellen der textilen Flächen sind die Fäden einzeln dargestellt und verlaufen entsprechend der gewünschten Struktur. Die Verlagerung und Verdrehungen der Fäden an den Bindungsstellen werden über die Kontaktprüfung zwischen den einzelnen Fäden realistisch berücksichtigt. In am ITV Denkendorf durchgeführten AIF- und DFG-Projekten [4-7] wurde diese Methode weiter verfeinert und mit geeigneten Garnmodellen [8] erweitert, so dass nun eine gute Basis zur numerischen Berechnung der mechanischen Eigenschaften von Textilien geschaffen ist.

Dieses Mikromodell der textilen Fläche hat zahlreiche Vorteile gegenüber bestehenden makromechanischen Flächenmodellen, die mit Hilfe spezieller Membranelemente aufgebaut sind. Die Auswirkung lokaler Belastungsvorgänge wie z.B. Stich und Stoss, Weiterreißfestigkeit, Berstverhalten und extrem schnelle Vorgänge wie der Projektilaufschlag auf Schutztextilien sind überhaupt nur mit solchen Mikromodellen berechenbar.

Die Generierung der Mikromodelle der textilen Fläche erfolgte bislang entweder mit Hilfe geometrischer Beziehungen oder durch die genaue Vermessung des Fadenverlaufs im vorliegenden Textil. Die geometrische Methode hat den Nachteil, dass Herstellungsparameter, die zusammen mit den Fadeneigenschaften das Aussehen des Gewebes bestimmen, nicht korrekt berücksichtigt werden. Die Einarbeitung der Kett- und Schussfäden, die Flächendichte und das mechanische Verhalten ist von den Herstellungsparametern und den Fadeneigenschaften wie der Kompressibilität abhängig. Das auf Basis geometrischer Beziehungen erstellte Modell kann sich daher sehr von dem realen Erscheinungsbild des Textils unterscheiden. Die Vermessung der Fäden im Textil führt zwar zu einem realistischen Modell, ist aber sehr zeitaufwendig und erfordert die experimentelle Herstellung des Textils.

Ein weiterer großer Nachteil beider Verfahren ist es, dass der im Textil bzw. in den Fäden innenwohnende Spannungszustand nicht berücksichtigt wird. Dies ist jedoch zur Untersuchung phänomenologischer Vorgänge im Textil, die z.B. zum Schrägverzug von Gewebe [6] oder das Dimensions- und Kanteneinrollverhalten von Maschenware beeinflussen, erforderlich. Dies ist jedoch nur durch die Simulation des Herstellungsprozesses möglich. Aus diesen Gründen wurde am ITV Denkendorf erstmals die Simulation der Gewebeherstellung für verschiedenen Bindungen im Rahmen von AIF-Projekten entwickelt und mit diesen Modellen entsprechende Belastungssimulationen durchgeführt.

2 Modellerstellung textiler Flächen

Einen wesentlichen Einfluss auf das Berechnungsergebnis hat die Modellierungsqualität des Mikromodells. Hierbei ist wichtig, den Fadenverlauf und die nichtlinearen mechanischen Eigenschaften der Fäden möglichst exakt im Modell der textilen Fläche zu berücksichtigen.

2.1 Modellierung von Garnen

Textilien aus Monofilamentgarnen:

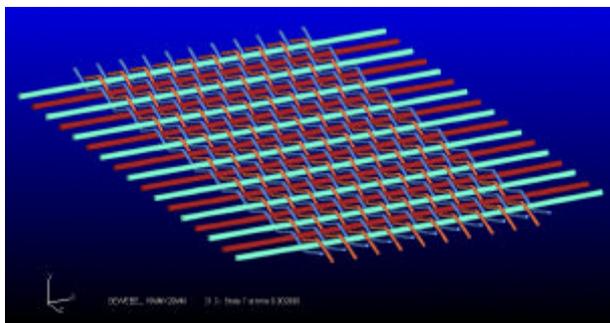
Für einfache Bindungsstrukturen kann die Modellerstellung auf rein geometrischen Beziehungen erfolgen, solange die in den Bindungspunkten wirkenden Kräfte nicht zu plastischer Deformation der Monofilamentgarne führt. Der am ITV eingesetzte Berechnungscode ermöglicht die Kontaktprüfung zwischen speziellen Balkenelementen, wobei der zylindrische Raum entlang der Balkenachse auf Kontakt geprüft wird. Diese Elementart eignet sich daher hervorragend für die Darstellung von Monofilamentgarnen.

Textilien aus kompressiblen Garnen

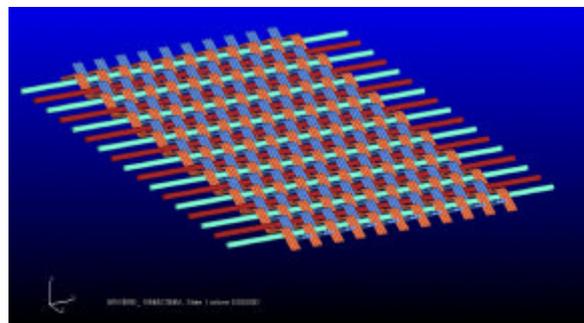
Die technisch interessanten Multifilamentgarne und viele andere Garnformationen werden bereits bei der Herstellung der textilen Fläche in ihrer Form verändert. Die einzelnen Filamente bzw. Fasern weichen durch reibungsbehaftete Gleitvorgänge der Belastung aus und es stellt sich ein mehr oder weniger stark ausgeprägter elliptischer Garnquerschnitt ein. Das Ausmaß der Garnquerschnittsveränderung hängt von den Herstellungsparametern und den Garneigenschaften ab. Dieses Einbindungsverhalten bestimmt im hohen Maße den Verlauf der Fäden, die Dichte und somit letztendlich die mechanischen Eigenschaften des Textils. Aus diesem Grund muss bei stark kompressiblen Garnen - wie Multifilamentgarnen - diese Eigenschaft auch in der Simulation berücksichtigt werden.

Hier sind mehrer Vorgehensweisen möglich:

- a) Am vorhandenen Textil wird die Fadendichte, der Fadenverlauf und der Fadenquerschnitte ermittelt. Dazu wird das Textil in Harz eingebettet und die Schnitte mit Hilfe der Bildanalyse ausgewertet. Mit diesen Informationen kann durch CAD Funktionen - z.B. Extrudieren eines Querschnitts aus Membran- oder Volumenelementen - ein 3-dimensionales Mikromodell der textilen Fläche erzeugt werden.
- b) Der ermittelte elliptische Garnquerschnitt wird durch Balkenelemente dargestellt. Die Modellqualität und der Berechnungsaufwand hängt von der Anzahl der modellierten Filamente je Faden ab. Wird das Multifilamentgarn durch ein einzelnes Balkenelement repräsentiert, so erhält der Balken den Durchmesser, den die Multifilamentfäden an den Bindungspunkten aufweisen. Die hierdurch entstehenden großen Fadenlücken führen jedoch zu einem unrealistischem Gewebeaussehen (Abb. 1a). Eine Verbesserung wird erreicht, indem der Garnquerschnitt anstatt mit einem Balken durch 2 oder 3 Balken dargestellt wird (Abb.1b).



a) Garnquerschnitt modelliert mit 1 Balken



b) Garnquerschnitt modelliert mit 3 Balken

Abb. 1: Textile Flächenmodelle, geometrische Generierung mit 3-D- Balkenelementen

- c) Die Herstellung der textilen Fläche selbst wird simuliert. Für komplexe Flächen, bei denen sich die Bindungsstruktur oder die Fadendichte ändert - wie bei Gradientenstrukturen - ist die Generierung des Flächenmodells durch die Simulation der Herstellung optimal, da die Herstellungsparameter und die Garneigenschaften berücksichtigt werden. Ein wichtiger Parameter ist hierzu die zugkraftabhängige Garnkompression. Aus diesem Grund wurden in mehreren Entwicklungsarbeiten am ITV [4, 5] verschiedene Garnmodelle entworfen (Beispiel mit Polyester 115tex Multifilamentgarn) und angepasst. Die Garnmodelle und Belastungssimulationen Zug, Umschlingung und Kompression wie auch eine kombinierte Belastungssimulation zeigten eine gute Übereinstimmung mit den experimentellen Prüfungen [8], [10].

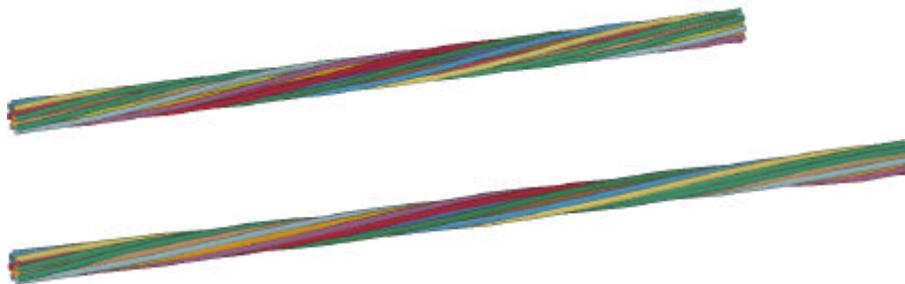


Abb. 2: Zugprüfung mit dem ITV-Einzelfilamentmodell

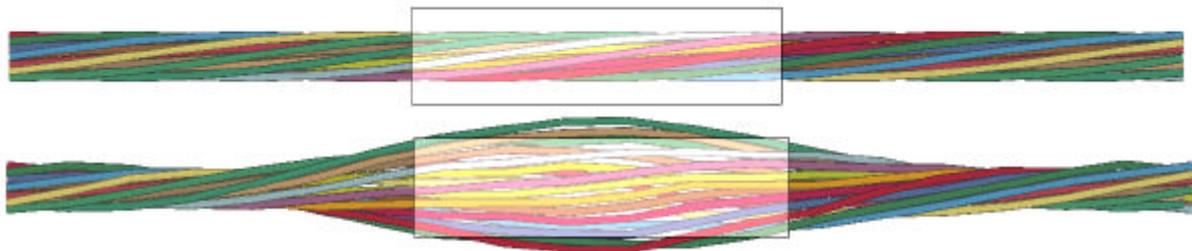


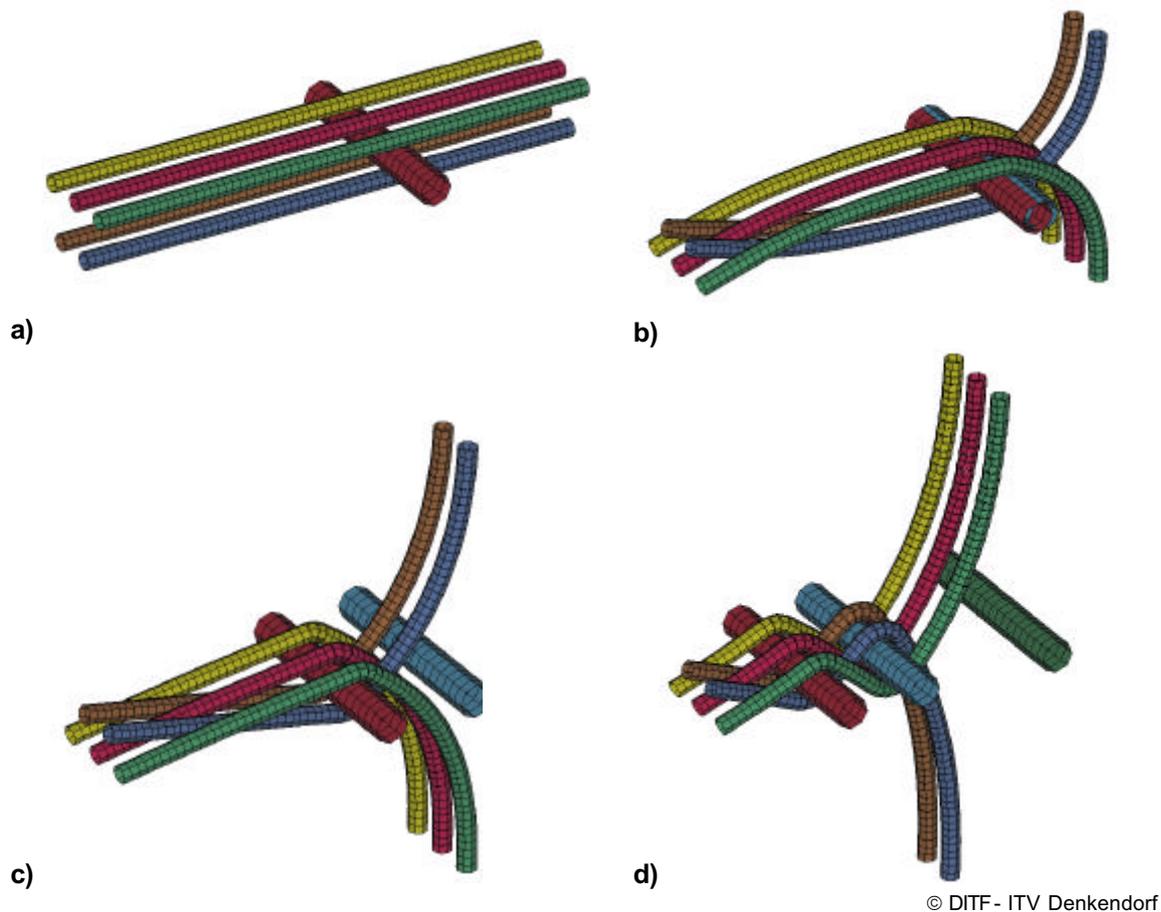
Abb. 3: Kompressionsprüfung mit dem ITV-Einzelfilamentmodell



Abb. 4: Kompressions- und Zugsimulationen mit dem allgemeinen ITV-Garnmodell

2.2 Entwicklung der Simulation der Gewebeerstellung

Das Ziel der ersten Berechnungen war es, unabhängig von der Vorgehensweise die Einbindung von Schuss- und Kettfäden eines Gewebe zu simulieren. **Abb. 5a-d** zeigen die ersten Einbindungssimulationen mit Polyester Monofilamentgarnen für eine Leinwandbindung, die die Grundlage für die Entwicklung der Gewebeerstellungssimulationen waren. Hier wurden zahlreiche Untersuchungen zu den geeigneten Kontaktdefinitionen, Kontaktparameter, Elementtypen und Elementfeinheit durchgeführt.



© DITF - ITV Denkendorf

Abb. 5a-d: Einfachste Simulation der Fadeneinbindung bei der Gewebeherstellung

Dieses Modell wurde so modifiziert, dass die Kett- und Schussfäden durch kontaktierende Teile geführt werden. Zur Kettfadenführung werden Ringe modelliert, die geringfügig größeren Durchmesser als die Kettfäden besitzen. Diese Ringe übernehmen die Funktion der Litze bei der Gewebeherstellung. Für die Ringe werden in der Simulation eine zeitlich optimal abgestimmte Bewegung definiert. Bei dieser „Litzenbewegung“ wird der in dem Ring liegende kontaktierende Kettfaden mitgenommen. Der unter Zugbelastung stehende Kettfaden wird dabei in seiner Längsbewegung nicht behindert. Zur Simulation des Schussfadenanschlages (Webblatt) werden Flächenelemente verwendet. Nach der „Fachöffnung“ wird der Schussfaden aktiviert und das sich nach vorn bewegende „Webblatt“ nimmt den Schussfaden durch den aktivierten Kontakt zwischen „Webblatt“ und Schussfaden mit. Die mit dieser Simulation erzielte Schussfadeneinbindung kommt der im realen Webvorgang bereits sehr nahe Abb. 8.



© DITF - ITV Denkendorf

a) Ausgangsposition

b) Einbindung von drei Schussfäden

Abb. 6: Simulation der Fadeneinbindung bei der Gewebeherstellung mit detaillierter Modellierung der Litzen und des Webblattes (Leinwandbindung)

Das beschriebene Simulationsmodell wurde weiter entwickelt und die Litzensteuerung so angepasst, dass durch die Herstellungssimulation eine Köper 3/1-Z Bindung entsteht. Die Abb. 8a,b zeigen diese Simulation für 24 Kettfäden (Länge 14 mm, \varnothing 0,135mm) und 16 Schussfäden (7 mm Länge, \varnothing 0,25 mm) aus Polyester. Da der Schussfaden aufgrund des größeren Durchmessers eine höhere Biegesteifigkeit als der Kettfaden aufweist, erfolgt die Einarbeitung bzw. die Garnkrümmung hauptsächlich für den Kettfaden, der Schussfaden wird nur geringfügig deformiert. Dabei stellen sich sehr realistisch die Enden der Schussfäden entsprechend der Bindungsstruktur auf Abb. 8.

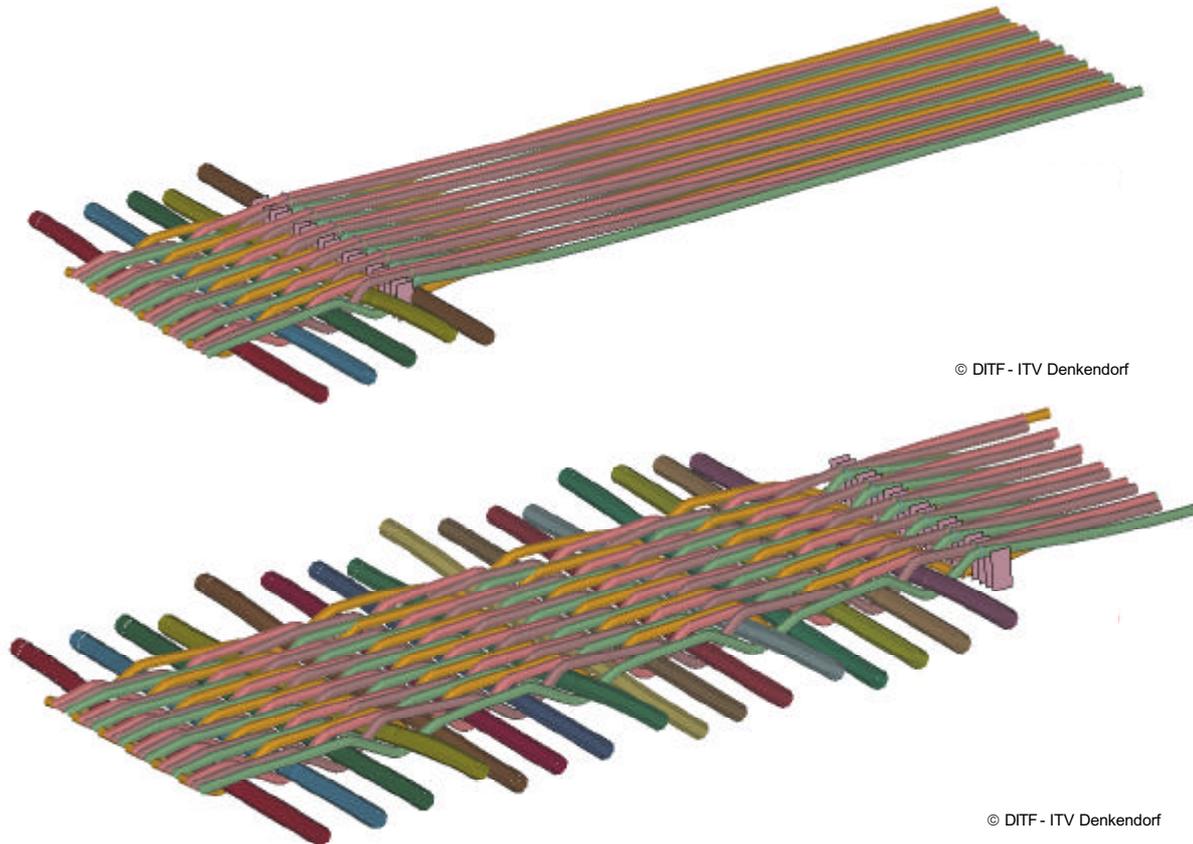
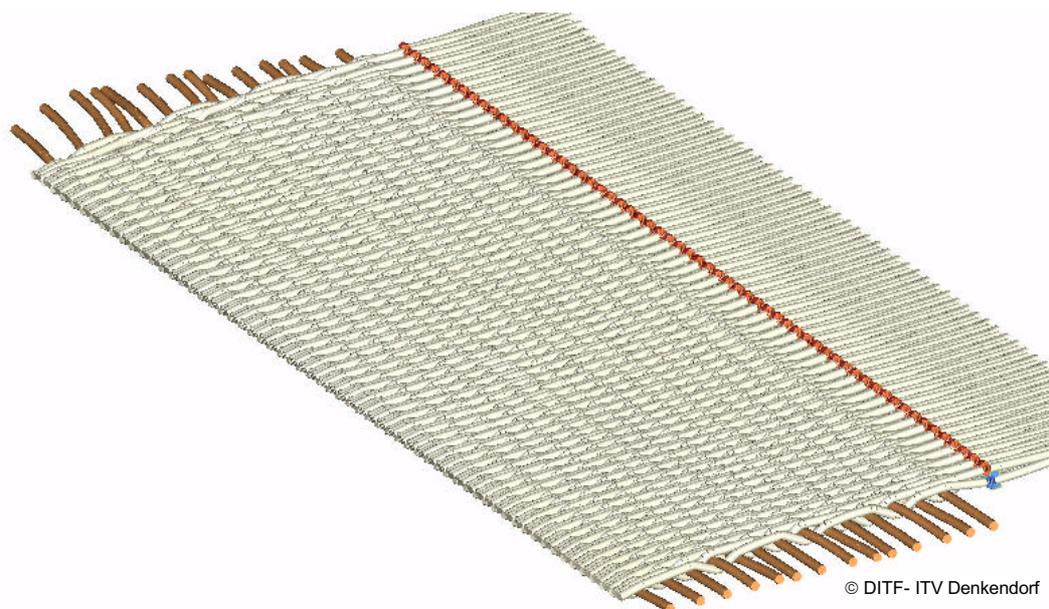


Abb. 7a,b: Simulation der Gewebeherstellung von 6 Köper 3/1-Z-Rapporten mit Einbindung von 16 Schussfäden, Perspektive

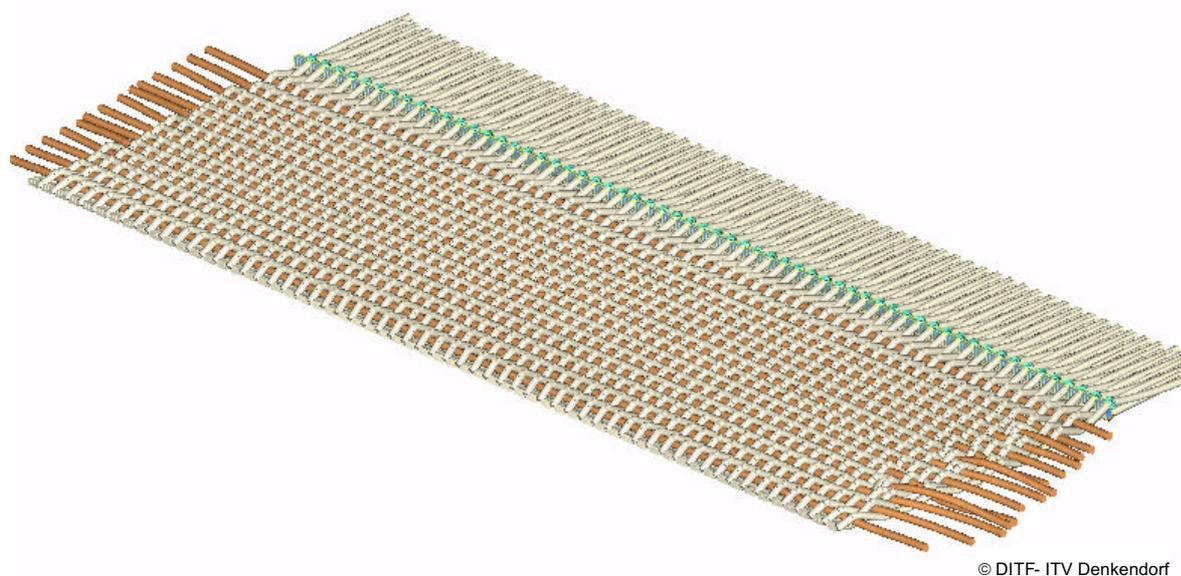


Abb. 8: Simulation der Gewebeherstellung von 6 Köper 3/1-Z-Rapporten mit Einbindung von 16 Schussfäden, Seitenansicht

Dieses Modell könnte in seinen Abmessungen beliebig erweitert werden, limitierend ist in erster Linie die Berechnungsdauer, die hier mit Zunahme der Modellgröße hauptsächlich durch den stark zunehmenden Komplexität der Kontaktprüfung und den damit verbundenen Problemen stark ansteigt. Die folgenden Abbildungen zeigen das Ergebnis derselben Herstellungssimulation für größere Gewebemodelldimensionen. Die Farbzweisung der Kett- und Schussfäden zeigt deutlich das unterschiedliche Erscheinungsbild zwischen Vorder- und Rückseite (**Abb. 9a, b**).



a) Vorderseite

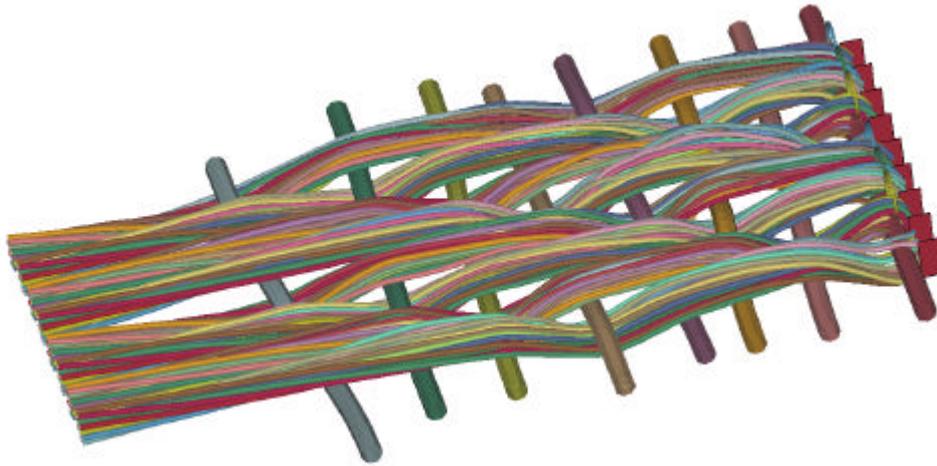


b) Rückseite

Abb. 9a,b: Simulation der Gewebeerstellung von Köper 3/1-Z-Rapporten mit Einbindung von 240 Kett- und 16 Schussfäden

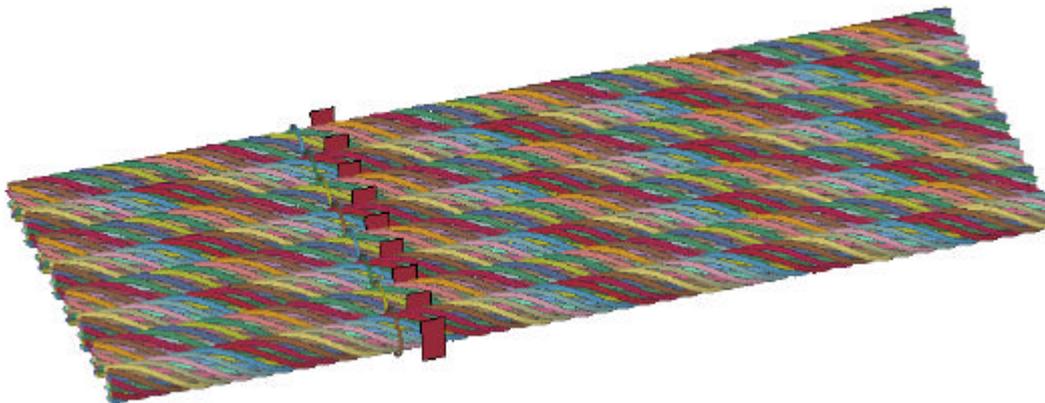
2.3 Herstellungssimulationen mit Berücksichtigung der Garnkompression

Bei der Herstellungssimulation von Geweben mit Balkenelementen, wobei der Garnquerschnitt mit einem einzelnen Balken dargestellt ist (vgl. Abb. 5), wird die Fadenabplattung infolge der in den Bindungspunkten wirkenden Fadenkompression nicht berücksichtigt. Dies kann jedoch durch den Einsatz der oben beschriebenen Garnmodelle erreicht werden. In den folgenden Beispielen wurden die Fäden des in **Abb. 7** gezeigten Simulationsmodells durch verschiedene ITV Garnmodelle ersetzt, wodurch auch das Erscheinungsbild des berechneten Gewebes stark beeinflusst wird.



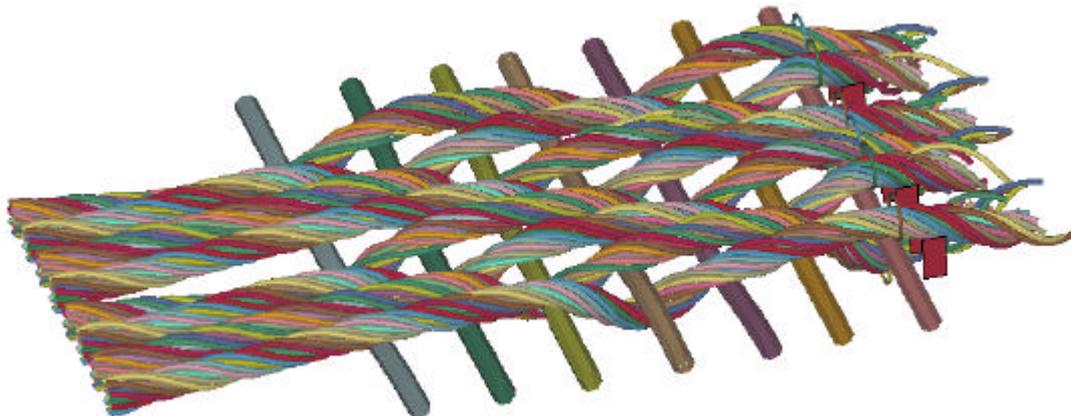
© DITF- ITV Denkendorf

Abb. 10: Simulation der Köper 3/1 Z Gewebeherstellung mit ungedrehtem Kettgarn



a) Ausgangszustand

© DITF- ITV Denkendorf

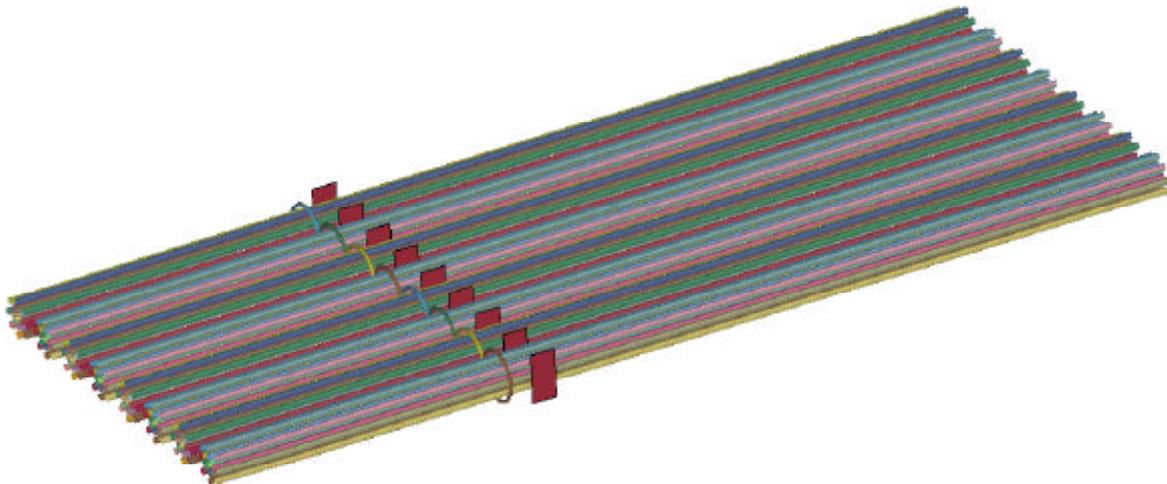


b) Endzustand

© DITF- ITV Denkendorf

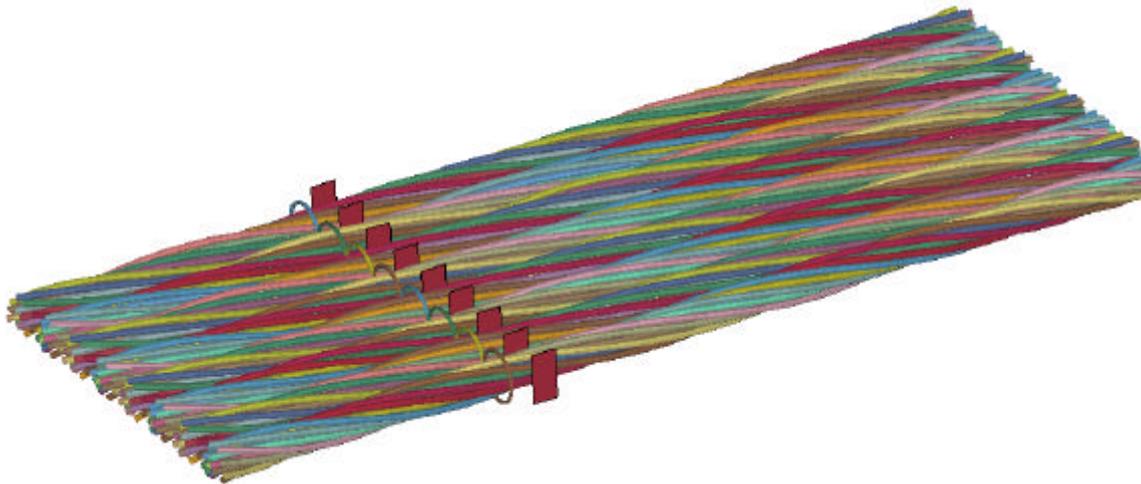
Abb. 11a, b: Simulation der Köper 3/1 Z Gewebeherstellung mit hochgedrehtem Multifilamentgarn in der Kette und Monofilamentgarnen im Schuss

Die Simulation der Gewebeherstellung kann weiter perfektioniert werden, indem die Garndrehung nicht modelliert, sondern vor der eigentlichen Herstellungssimulation eine Drehungssimulation erfolgt. Dies ist z.B. erforderlich, um den Einfluss im Garn innewohnenden Drehmoments auf die Gewebebildung zu untersuchen. Diese Simulation ist jedoch ebenfalls sehr rechenintensiv.



a) Ausgangszustand

© DITF- ITV Denkendorf

b) Garn mit korrekter Drehung unmittelbar vor der Simulation der Gewebeerstellung
Abb. 12a,b: Simulation der Garndrehung

© DITF- ITV Denkendorf

2.4 Herstellungssimulation eines Leinwandgewebes aus Aramidgarnen

Ein in der ballistischen Anwendung eingesetztes Multifilamentgarn aus Aramid für das Schuss- und Kettgarn enthält bis zu 1000 Einzelfilamente. Mit dem Anstieg der modellierten Filamente über dem Garnquerschnitt steigt die Modellgröße und damit auch die damit verbundenen Probleme stark an. Die hohe Elementanzahl und die damit verbundenen hohe Datenmenge zur Verarbeitung, Berechnung, Speicherung und Visualisierung können mit entsprechend mehr Rechenleistung kompensiert werden. Es sind jedoch hauptsächlich die numerischen Instabilitäten, die eine solch hohen Modellierungsgrad bislang nicht zulassen und die hauptsächlich durch die komplexe Kontaktprüfung verursacht werden. Es zeigte sich, dass jedoch bereits die Idealisierung mit nur 17 anstatt 1000 Einzelfilamenten für den Garnquerschnitt sehr gut funktioniert. Hier wird die für den Einbindungsprozess wichtige Fadenabplattung sehr gut dargestellt und das Modell führt zu einem fotorealistischen Aussehen. Mit Hilfe spezieller Programme, die für „Virtual Prototyping“ im Automobilbereich eingesetzt werden, ist sogar die Darstellung virtueller Bauteile mit diesem Textil möglich.

Abb. 13a, b zeigen den simulierten Herstellungsprozess für ein 12mmx12mm großes Stück eines Aramidgewebes mit der Schuss- und Kettfadendichte von 12,25 Fäden/cm und der Garnfeinheit von 1100dtex.

Mit den vorgegebenen Herstellungsparametern (Schuss- und Kettfadendichte, Kettfadenzugkraft, Wareabzugsgeschwindigkeit, Litzensteuerung) und dem Materialverhalten des Aramidgarns wird der aus 17 Einzelfilamenten bestehende Schussfaden zeitrichtig „eingetragen“ und eingebunden. Da das Modell relativ klein ist, sind – wie beim reellen Weben – im Bereich der Gewebekanten Randeinflüsse erkennbar. Durch die belastungsabhängigen Verlagerungen der Einzelfilamente während des Einbindevorgangs weisen die Garne in Schuss- und Kettrichtung nur geringe Garnkrümmungen auf und die Lücken zwischen den Maschen sind sehr klein. Infolge des sehr komplexen Kontaktprüfung kann es zu geringfügigen Filamentpenetrationen kommen, die jedoch wegen der hohen Filamentanzahl tolerierbar sind. Hingegen muss der Kontaktverlust zwischen „Litze“ und Filamenten – wie in Abb. 13 am linken Warenrand sichtbar - durch optimal gewählte Berechnungsparameter vermieden werden. Das Ergebnis der Herstellungssimulation des Aramidgewebes ist ein sehr realistisches Gewebemodell (vgl. Abb. 14a,b) mit dem alle nur denkbaren Belastungsfälle simuliert und ausgewertet werden können.

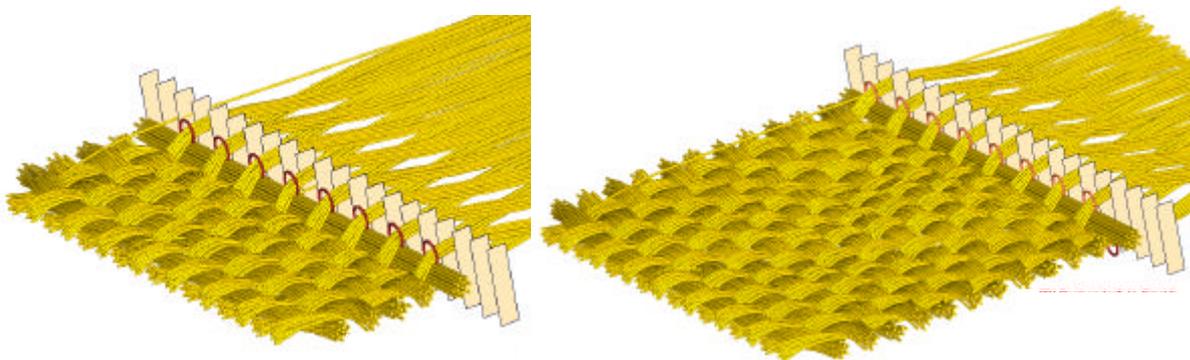


Abb. 13a, b: verschiedene Simulationszustände der Gewebeerstellung © DITF- ITV Denkendorf

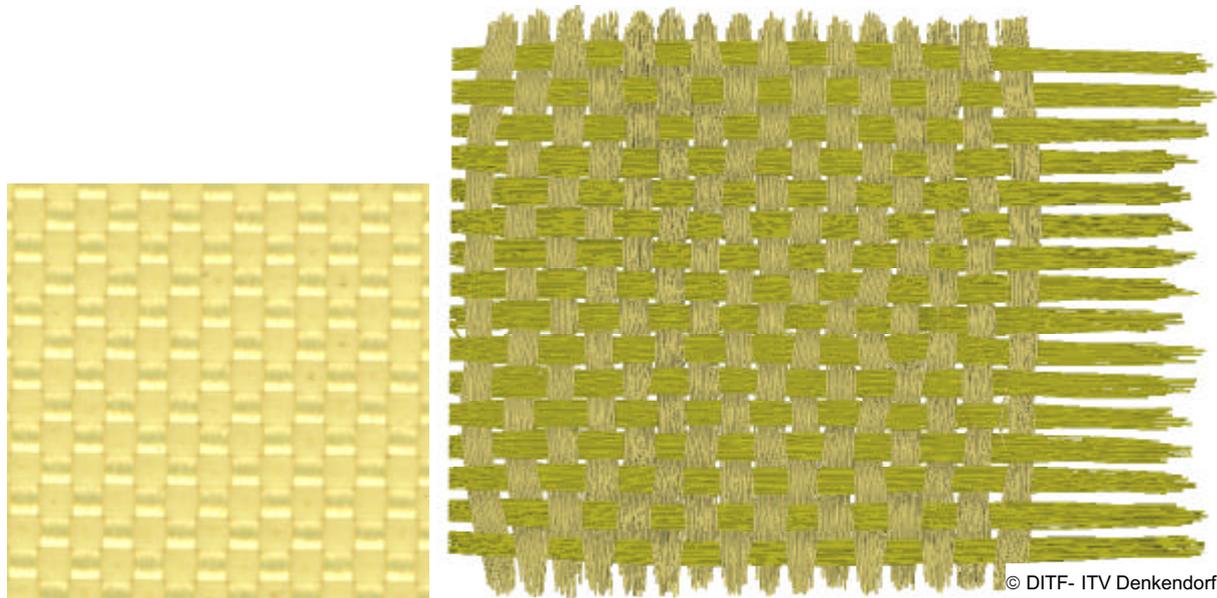


Abb. 14a) reales Aramidgewebe

b) Ergebnis der Gewebeerstellungssimulation

Eine spezielle Software von RTT [12] erstellt mit dieser berechneten dreidimensionalen Gewebestruktur eine virtuelle Darstellung des Aramidgewebes auf beliebigen dreidimensionalen Bauteilen. Abb. 15 zeigt das Ergebnis der virtuellen Darstellung einer Automobiliüre, die mit diesem Aramidgewebe verkleidet wurde. Dieses Echtzeitmodell kann beliebig im Raum gedreht werden und erzeugt dabei die aus der dreidimensionalen Gewebestruktur resultierenden Schatten und Reflexionen.

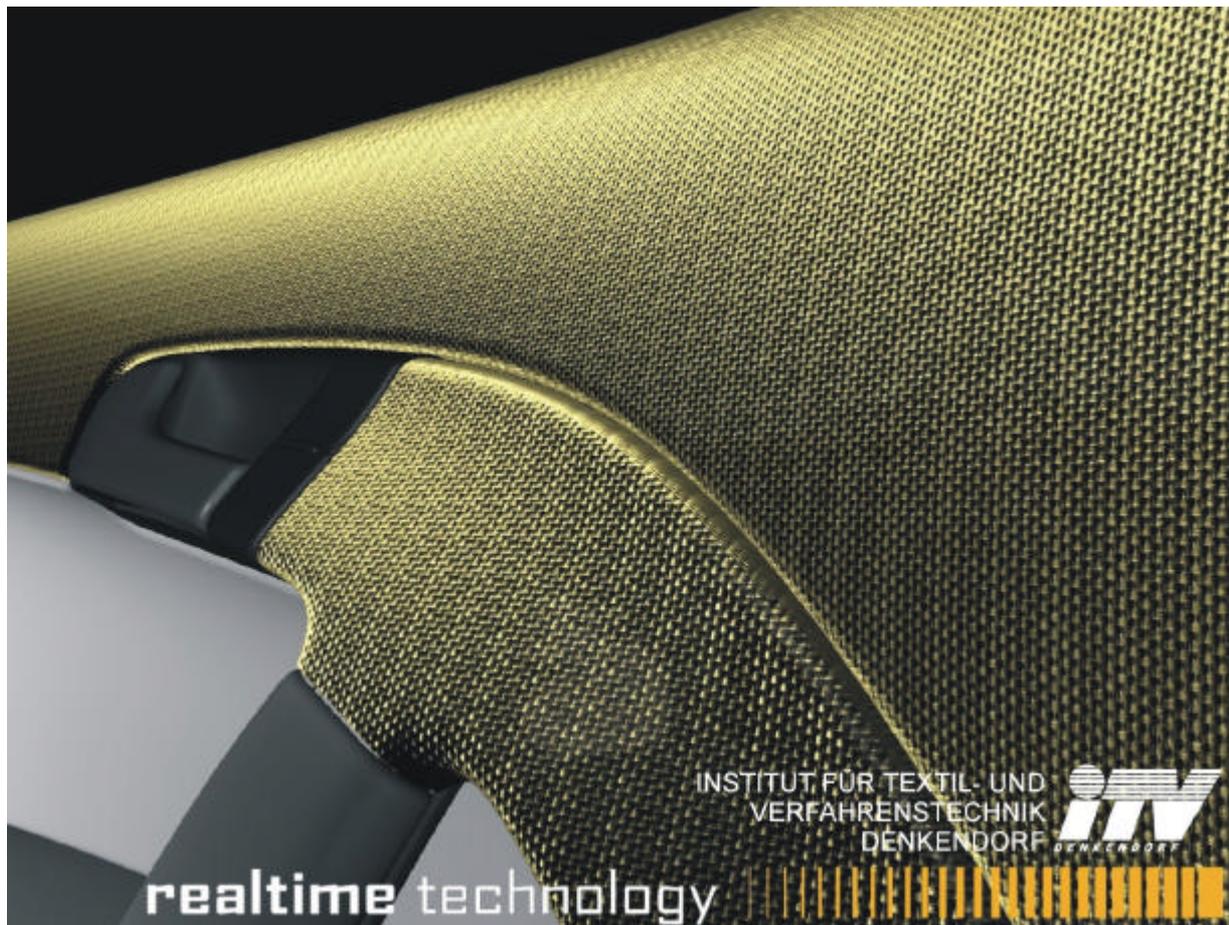


Abb. 15: Echtzeitdarstellung einer mit Aramidgewebe verkleideten Automobiltüre mit RTT Softwaretools auf Basis des berechneten dreidimensionalen Gewebemodells

2.5 Belastungssimulationen mit dem berechneten Aramidgewebe

Mit dem berechneten Gewebemodell können unterschiedlichste Belastungssituationen wie Zug-, Drapieren, Scherung, Stich bzw. Stoss und auch kombinierte Belastungen im voraus berechnet werden. Die Zugsimulationen (Abb. 16b,c) zeigen sehr realistisch die belastungsabhängige Änderung des Einbindungsverhältnis zwischen Schuss- und Kettfäden. Die mit Zug belasteten Garne reduzieren die Fadenkrümmung bis sie nahezu gerade im Gewebe liegen, während sie von den quer dazu liegenden frei beweglichen Garne immer stärker umschlungen werden.



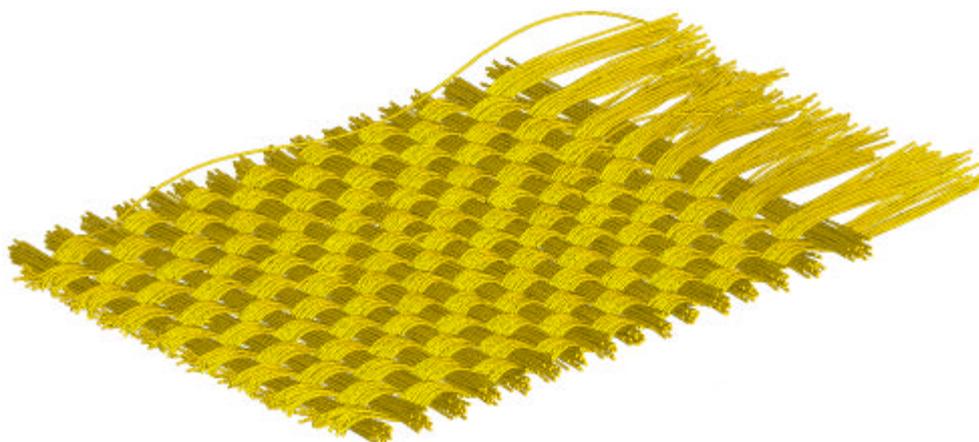
a) Ausgangsmodell

© DITF- ITV Denkendorf



b) Zugbelastung in Kettrichtung

© DITF- ITV Denkendorf

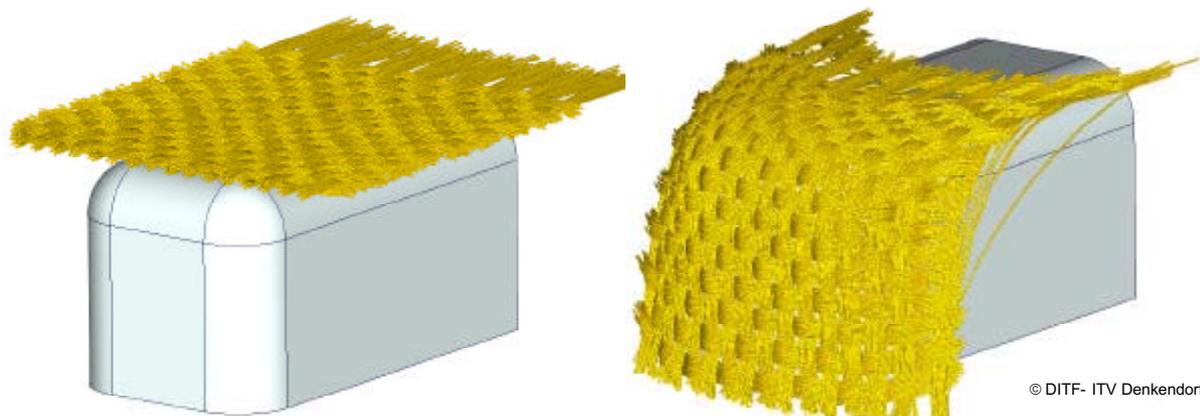


c) Zugbelastung in Schussrichtung

© DITF- ITV Denkendorf

Abb. 16a-c: Zugbelastung des berechneten Gewebemodells in Schuss- und Kettrichtung

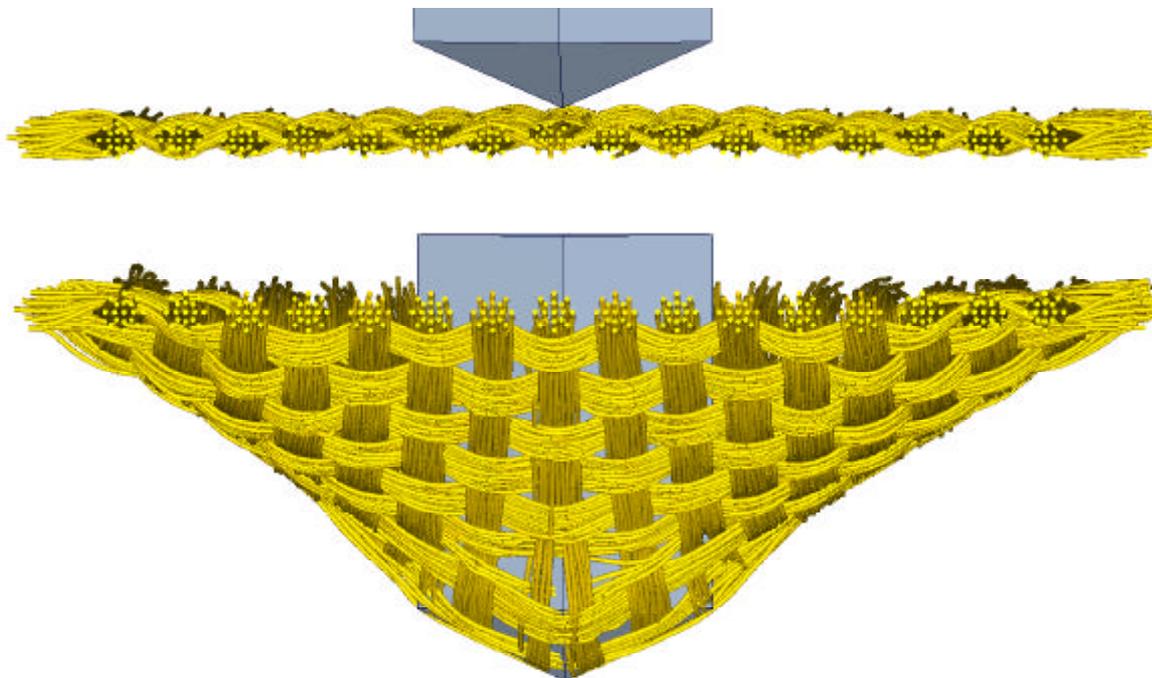
Der Drapiervorgang von Textilien ist eine komplexe Belastungssituation. Die vorwiegende Scher- und Zugbelastung führt zu großen Verlagerungen und Winkeländerungen der Garne zueinander. Das Drapierverhalten wird daher sehr stark von der Bindungsart und Struktur des Textils beeinflusst. Die folgende Abbildungen zeigen die Simulation eines Drapiervorgangs des Gewebemodells über einen dreidimensionalen Körper. Dabei verzieht sich die Gewebestruktur im Krümmungsbereich des Körpers, es treten lokale Änderungen der Fadendichten auf und im Randbereich lösen sich die Fäden aus dem Gewebeverband heraus. Da die Simulation alle Vorgänge im Textil, die bei einer realen Drapierbelastung auftreten, erfasst, kommt auch das Simulationsergebnis der Realität sehr nahe.



© DITF- ITV Denkendorf

Abb. 17: Simulation der Drapierung des Aramidgewebes über einen dreidimensionalen Körper

Die Stich- bzw. Stossbelastung ist ein extrem lokal begrenzter Vorgang. Bei relativ stumpfen Impactoren wird die Querbewegungen des Textils durch Zugbelastungen der einzelnen Garne aufgenommen. In Abhängigkeit von der Geometrie des Impactors treten zunehmend Verdrängungseffekte bei den Garnen auf, deren Ausmaß von der Bindungsstruktur und Fadendichte und Faden-Faden-Reibung abhängen. Mit den textilen Mikromodellen können diese lokale Belastungssituationen untersucht werden. Bei der Stichbelastung durch „scharfe“ Klingen hingegen ist die Querfestigkeit der Fasern von entscheidender Bedeutung. Hier treten neben der Verdrängung der Einzelfäden auch Durchtrennungsvorgänge aufgrund der Schneidwirkung der scharfen Klinge auf. Die Simulation der Schneidwirkung wird noch entwickelt. Das folgende Beispiel zeigt die ersten Ergebnisse der Simulation einer Stichbeanspruchung eines Aramidgewebes auf Basis der Durchstichprüfung am Drahtgewebe von Fechtmasken [7]. Man sieht wie im Bereich des Impactors die einzelnen Filamente dem Impactor ausweichen und dabei stark auf Zug beansprucht werden. Einige Filamente sind bereits gerissen, da sie die max. Bruchdehnung erreicht haben. Auf diesem Gebiet werden z.Z. noch Forschungsarbeiten durchgeführt.



© DITF- ITV Denkendorf

Abb. 18: Simulation einer Stoss- bzw. Stichbeanspruchung an einem Aramidgewebe

3 Ausblick

Mit der Simulation der Herstellung ist nun auch die Basis vorhanden, um den Einfluss von Herstellungsparametern (Bindungstyp, Fadendichten, Fadenzugkräfte, Blattanschlagskraft) als auch der Garneigenschaften (z.B. Kraft-Dehnungs-Verhalten, Kompressibilität) auf das Erscheinungsbild des Textils und seinen mechanischen Eigenschaften zu untersuchen. Ferner ist es möglich, komplexe Flächen – auch mehrlagige textile Konstruktionen, bei denen sich die Bindungsstruktur oder die Fadendichte ändert – wie bei Gradientenstrukturen – zu berechnen und darzustellen. Diese Berechnungsmethode ist für alle Arten textiler Strukturen wie Stricken, Wirken, Flechten... anwendbar. Als direktes Ergebnis der Herstellungssimulation erhält man – in Abhängigkeit von den gewählten Gammodellen – eine realistische Einarbeitung der Fäden zueinander und ein sehr genaues Flächenmodell, mit dem die unterschiedlichsten Belastungssituationen simuliert werden können.

Neben dem Kraft-Dehnungsverhalten sind hier insbesondere komplexe Belastungen wie Scherung, Drapieren, Stoss- und Stichbelastungen möglich. Die numerische Herstellungssimulation kann auch zur Berechnung der Beanspruchungen der an der Herstellung direkt beteiligten Maschinenteile eingesetzt werden und hierdurch wichtige Informationen für den Maschinenhersteller liefern.

Da die Herstellungssimulation sehr rechenintensiv ist, können z. Z. jedoch nur Textilien mit geringen Abmessungen berechnet werden. Durch Optimierungen am Simulationsmodell, am Berechnungscode und mit der Leistungssteigerung der Rechner werden in naher Zukunft auch größerer Berechnungsmodelle möglich werden.

Ein wichtiges Anwendungsgebiet der vorgestellten Herstellungssimulationen wird die virtuelle dreidimensionale Darstellung von Textilien im Allgemeinen und auf beliebigen Bauteilen im Speziellen sein. Für den Designer ist es wichtig, das reale Erscheinungsbild eines Textils auf einem Bauteil im Voraus durch eine virtuelle Darstellung beurteilen zu können. Die bisherigen Lösungen beschränken sich z.Z. auf die Darstellung von Texturen auf der Bauteilgeometrie, die durch spezielle Rendertechnologie mehr oder weniger realistisch dargestellt werden können. Textilien haben jedoch eine dreidimensionale Struktur und Oberflächenstruktur, die das Erscheinungsbild durch Schattenwirkungen und Reflexionen prägen. Mit Hilfe dreidimensionaler Flächenmodelle mit expliziter Darstellung des Fadenverlaufs können spezielle Programme für Virtual Prototyping [13] eine realistische Darstellung von Textilien auf dreidimensionalen Bauteilen generieren, wie das Beispiel der virtuellen Darstellung eines zuvor berechneten Aramidgewebes auf einer Automobiliertüre eindrucksvoll zeigte. Da den einzelnen Fäden Farben zugeordnet werden können, kann mit solchen Modellen das Erscheinungsbild des Textils gezielt variiert und beurteilt werden.

Die Herstellungssimulation kann somit eine wichtige Lücke in der Kette von „Virtual Prototyping“ schließen und wird in Zukunft im Bereich der Textiltechnik eine wichtige Rolle für die zielgerechte, Entwurf, Design, Entwicklung und Optimierung von Textilien einnehmen – der Weg zur Perfektion.

Die in dieser Arbeit beschriebenen Berechnungsmethoden werden vom ITV Denkendorf in weiteren Forschungsvorhaben für Industrieanwendungen weiter entwickelt werden und stehen somit für unterschiedlichste Anwendungsfälle zur Verfügung.

4 Danksagung

Wir danken der Deutschen Forschungsgemeinschaft für die finanzielle Förderung des DFG-Vorhabens „Untersuchung und Modellierung zweier Fadensysteme unter statischen und dynamischen Bedingungen“ (DFG-EG-29/34), dem Forschungskuratorium Textil e.V. für die finanzielle Förderung der Forschungsvorhaben "Entwicklung extrem leichter durchstichfester bzw. schußfester Schutzkleidung mit Hilfe der rechnergestützten Simulation" (AiF-FV-Nr. 12813) und „Erforschung der Ursachen des Schrägverzugs von Geweben“ (AiF-FV-Nr. 13292), die aus den Haushaltsmitteln des Bundesministeriums für Wirtschaft und Arbeit (BMWA) über die Arbeitsgemeinschaft industrieller Forschungsvereinigungen "Otto von Guericke" e.V. (AiF) erfolgten.

5 Zusammenfassung

Hochfeste Textilien, insbesondere Gewebe aus Multifilamentgarnen, sind im Bereich der technischen Anwendungen weit verbreitet und werden in den nächsten Jahren weiter an Bedeutung gewinnen.

Im Bereich der numerischen Simulation komplexer Belastungssituationen von Sicherheitstextilien konnte durch die konsequente Weiterentwicklung der ITV-Einzelfadenmodellierung, der ITV-Garnmodelle und die Nutzung der ständig steigenden Computerleistung ein wesentlicher Schritt zur realistischen und genauen Modellbeschreibung von Textilien getan werden.

Wurden die für die Berechnung erforderlichen Gewebemodelle bislang mit Hilfe geometrischer Beziehungen generiert, so kann jetzt der Herstellungsprozess selbst idealisiert simuliert werden. Für die Berechnung werden Parameter des Bindungstyps, der Garne, der Fadendichte und andere Herstellungsparameter vorgegeben. Das Ergebnis der Herstellungssimulation ist ein Gewebemodell, das infolge der Belastungen die Einarbeitung der Schuss- und Kettfäden, die Fadenkompressibilität und Fadenverlagerungen berücksichtigt. Mit dem berechneten Gewebemodell können dann unterschiedlichste Belastungssimulationen wie Zug, Scherung, Drapieren und Impact durchgeführt werden. Ferner sind mit den genauen 3D-Gewebemodellen auch nahezu photorealistische Darstellungen textiler Bauteile möglich.

Die mechanischen Eigenschaften textiler Flächengebilde zu berechnen und darzustellen - ohne das Textil zu fertigen - kann den Entwicklungsaufwand erheblich reduzieren und ermöglicht so „Virtual Prototyping“ für textile Produkte. Die präsentierten Herstellungssimulationen zeigen den aktuellen Forschungsstand am ITV Denkendorf und das Potential dieser neuen Berechnungsmethode für Gewebe als auch anderen textile Strukturen wie z.B. Maschenwaren.

6 Literatur

- [1] Finckh, Hermann: Simulation der mechanischen Eigenschaften von Maschenwaren, 14. CAD-FEM USERS' MEETING 1996, Bad Aibling
- [2] Finckh, Hermann, Computer Simulation of Mechanical Behaviour of Dynamically Stressed Protective Clothing, Techtexil Symposium 98, Lyon
- [3] AiF-Forschungsvorhaben: Modellierung der Maschenstruktur als Grundlage für die Berechenbarkeit der Eigenschaften von Maschenwaren (AiF Nr. 9687), ITV Denkendorf
- [4] DFG-Forschungsvorhaben: Untersuchung und Modellierung der Kontaktstelle zweier Fadensysteme unter statischen und dynamischen Bedingungen (DFG-29/34), ITV Denkendorf
- [5] AiF-Forschungsvorhaben: Entwicklung leichter durchstichfester bzw. schußfester Schutzkleidung mit Hilfe der rechnergestützten Simulation, AiF-FV-Nr4. 12813, ITV Denkendorf und Institut für Mechanik, Karlsruhe
- [6] AiF-Forschungsvorhaben: Erforschung der Ursachen des Schrägverzugs von Geweben (AiF Nr. 13292), 2004, ITV Denkendorf
- [7] Finckh, Hermann, Simulation and Verification of the Penetrating Test for Wire Fabrics of Fencing Masks, 18. CAD-FEM USERS' MEETING 2000, Friedrichshafen
- [8] Finckh, Hermann: Numerische Simulation der mechanischen Eigenschaften textiler Flächengebilde, 40. Internationale Chemiefasertagung Dornbirn 2001
- [9] Finckh, H., Stegmaier, T.: Stich- und schußfeste Schutztextilien – Möglichkeiten der numerischen Simulation, 6. Dresdner Textiltagung, 19. - 20.06.2002
- [10] Finckh, H.: Numerische Simulation der mechanischen Eigenschaften textiler Flächengebilde-Garnmodelle -, DYNAMore LS-DYNA Forum 2002, 19. – 20. September 2002, Bad Mergentheim
- [11] Prof. Schweizerhof, K., Blankenhorn, G., Finckh, H.: Numerical Investigations of a Projectile Impact on a Textile Structure, 4th European LS-DYNA CONFERENCE, 22-23.05.2003, Ulm
- [12] Finckh, H.: The virtual way to develop textiles - from numerical simulation of the manufacturing process of woven fabrics to realtime rendering of textile parts -, 5th RTT conference April 1st – 2nd 2004, Munich/Ettal
- [13] Realtime Technology AG, München, www.realtime-technology.de