Berücksichtigung der Materialeigenschaften textiler Mehrschichtstrukturen und Nähte in der Simulation und virtuellen Passformkontrolle von Bekleidung

Förderung:	DFG Forschungsvorhaben RO 1303/10-1 (ITM) und STR 465/16-1 (WSI/GRIS)
Laufzeit:	08/2006 – 07/2008

Beteiligte Forschungseinrichtungen:	- Institut für Textilmaschinen und Textile Hochleistungswerkstofftechnik (ITM) (ehemals Institut für Textil- und Bekleidungstechnik (ITB)), Prof. Dr.-Ing. habil. H. Rödel - Wilhelm-Schickard Institut für Informatik, Graphisch Interaktive Systeme (WSI/GRIS) Prof. Dr.-Ing. Dr.-Ing. E. h. W. Strasser
Ansprechpartner:	Prof. Dr.-Ing. habil. Sybille Krzywinski Dr.-Ing. Andrea Schenk Dipl.-Ing. Elke Haase

Ziele und Vorgehensweise

Bei der Simulation von Bekleidungserzeugnissen wird das physikalische Verhalten von Kleidungstücken modelliert, die auf der Grundlage von zweidimensionalen Schnittteilen entstanden sind. Unter Berücksichtigung der Materialeigenschaften der Textilien erfolgt die Visualisierung an einem Avatar, die dem Designer und dem Konstrukteur Informationen über die Passgenauigkeit und das realistische Aussehen vermitteln soll.

Das Verhalten unterschiedlicher Bekleidungsbereiche ist bereits ansatzweise in den Materialwissenschaften untersucht worden, bisher aber noch nicht zufrieden stellend in Textilsimulationen eingeflossen. Ebenso werden Materialverarbeitungsvarianten und Nähte, die sich signifikant auf das Fallverhalten von textilen Flächengebilden auswirken, nicht berücksichtigt. Dementsprechend wurde die Simulation auf mehrlagige Bereiche textiler Produkte und variable Verbindungen erweitert.

Das Ziel des interdisziplinären Forschungsprojektes war eine reale Darstellung der Bekleidungsprodukte unter Verwendung einer korrekten Materialbeschreibung der Textilien und die Erweiterung von Modellierung und Simulation auf mehrlagige Bereiche und Nähte textiler Produkte. Dazu wurden die Erkenntnisse aus dem Gebiet der Computergrafik mit Untersuchungen und Modellen der Textilbranche als Grundlage für realistische Simulationen zusammengeführt. Nach Materialauswahl, -prüfung und Schnittkonstruktion erfolgten die Fertigung von Kleid (Material A und B) und Hose (Material D) als Demonstratorprodukte. Die für die Simulation erforderlichen richtungsabhängigen Materialkennwerte, u. a. das Kraft-Dehnungs-, das Biege- und das Scherverhalten wurden ermittelt, bewertet und in neu zu entwickelnde Modellierungs- und Simulationstools eingebunden.

Durchgeführte Arbeiten und Ergebnisse

Ergebnisse des ITM

Erste Simulationen, die am ITM mit der kommerziellen Software MODARIS 3D-FIT durchgeführt wurden, dienten als Benchmark und ermöglichten einen Vergleich mit dem realen Bekleidungsstück. Die Berücksichtigung textilspezifischer Materialkennwerte geschieht bei MODARIS 3F-FIT auf Basis charakteristischer Parameter für Biegung, Dehnung und Scherung aus Prüfungen mit dem KES-FB-Gerätesystem. Wie diese Kennwerte modellierungsseitig verarbeitet werden, ist nicht hinreichend genau bekannt. Das KES-FB-Gerätesystem lässt die Beschreibung der Materialeigenschaften als einen

kennzeichnenden Wert sowie in Form einer Messwertkurve zu. Nachteil dieses Gerätesystems ist der relativ hohe Preis für seine Anschaffung, die begrenzte Verfügbarkeit für Nutzer, die sich vornehmlich auf Forschungsinstitute beschränkt und die Kompliziertheit der Auswertung der Prüfungen. Damit wird der Zugang zu entsprechenden Materialkennwerten für Industriebetriebe und damit den Voraussetzungen für die Nutzung neuer CAD- und Informationstechnik wesentlich eingeschränkt.

Messtechnische Charakterisierung textiler Flächen und Mehrschichtstrukturen

- KES-FB-Gerätesystem

Die Materialkennwerte der KES-FB-Prüfungen wurden für ein- und mehrlagige Gewebe in Kett- und Schussrichtung ermittelt, zur Simulation eingesetzt und anhand fotografischer Abbildungen der realen Kleidungsstücke verglichen und bewertet.

Die Ergebnisse der Materialprüfungen zeigen für die Kett- und Schussrichtung, dass eine Kombination von Geweben mit Einlagestoffen das Materialverhalten wesentlich verändert. Die Dehnung des Materials nimmt durch den Verbund mit dem Einlagestoff ab. Bei der Biege- und Schersteifigkeit führt die Einlage zu einer deutlichen Versteifung des Materials (teilweise in Zehnerpotenzen), die Nichtlinearität bleibt erhalten. Des Weiteren ändern sich der Anstieg der Hysteresekurve und deren Form. Auch im Bereich von Nähten kommt es zu einer deutlichen Versteifung des Materials. Diese ist abhängig von der Anzahl der Materiallagen und somit der Dicke im Nahtbereich. Diese Faktoren begründen die Notwendigkeit der zwingenden Berücksichtigung der Materialparameter dieser Verbunde auch in Simulationsrechnungen. Die Werte des Oberstoffes ohne Naht entsprechen in gewissen Toleranzen den Randwerten der Nahtproben. Biegesteifere Materialien werden durch die Fixierung nicht so stark verändert wie biegeweichere Materialien (Abb. 1).

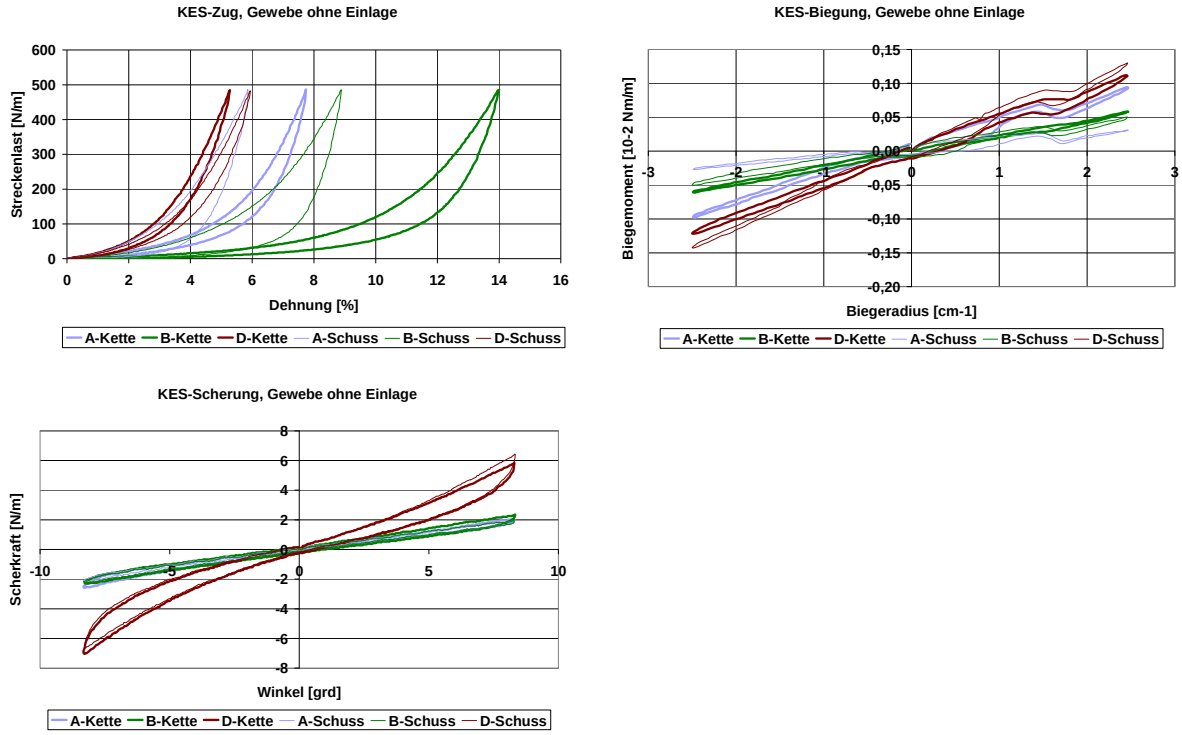


Abb. 1: Hysteresekurven der KES-FB-Versuche – einlagig

- Anwendung von Standard-Prüftechnik

Erste vergleichende Untersuchungen mit herkömmlicher Prüftechnik für die Prüfungen von Zug- und Biegeverhalten an einlagigen Materialien erbrachten ähnliche Ergebnisse im Kraft-Dehnungs-Verhalten und tendenziell ähnliches Verhalten im Biegeversuch mit dem ACPM 200 wie bei der Verwendung des KES-FB-Gerätesystems. Eine Identifikation der Materialparameter mit gebräuchlicher und kostengünstiger Prüftechnik wird der Industrie die

Zugänglichkeit zu Materialkenngrößen erleichtern und somit indirekt die Anstrengungen nach hochwertigen, physikalisch exakten Simulationen beschleunigen. Die Ermittlung der Zugkenngrößen erfolgt im Streifenzugversuch nach DIN EN 14704-1 mittels Standardzugprüftechnik. Die aufgezeichneten Kurvenverläufe sind mit den Messkurven, ermittelt mittels KES-FB-Gerätetechnik, vergleichbar (Abb. 2). Der Unterschied ist lediglich eine verzögerte Wirkungsänderung nach Änderung der sie bedingenden Streckenlast. Bei der Simulation wird diese verzögerte Wirkungsänderung nicht betrachtet, da das Materialverhalten näherungsweise durch einen Kurvenzweig beschrieben wird. Somit ist es durchaus möglich, das Kraft-Dehnungs-Verhalten der Textilien alternativ zum KES-FS-System mit gängigen Zugprüfeinrichtungen zu bestimmen.

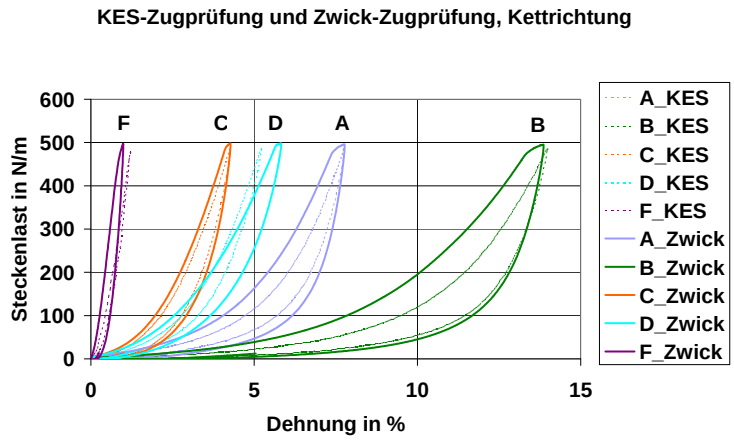


Abb. 2: Gegenüberstellung von KES-FB- und Zwick-Prüfungen

Umfangreiche Untersuchungen am ITM haben gezeigt, dass das momentan verwendete Gerät zur Prüfung der Biegung nach dem Cantilever-Verfahren aufgrund der manuellen Bedienung und der damit verbundenen subjektiven Einflüsse keine reproduzierbaren Ergebnisse liefert. Die visuell zu bestimmende Überhanglänge geht in kubischer Potenz in die Berechnung der Biegesteifigkeit ein. Somit führen schon kleine Ungenauigkeiten beim Ablesen und die grobe Skalenteilung zu Fehlern bei der Berechnung der Biegesteifigkeit. Eine Beurteilung der Probenkante ist nicht möglich.

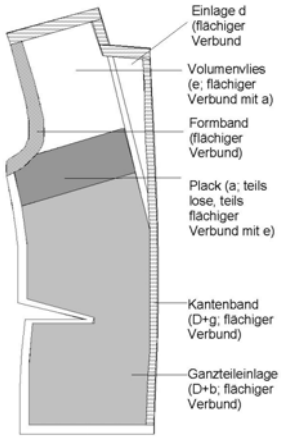
Im Rahmen der Dissertation von SEIF wurde am ITM ein neues Biegesteifigkeitsmesssystem (ACPM 200) entwickelt. Durch einen hohen Automatisierungsgrad der Prüfdurchführung und -auswertung werden die beschriebenen Nachteile des bisherigen Gerätes kompensiert (Abb. 3). Des Weiteren lässt sich der Einfluss von Nähten auf das Biegeverhalten quantifizieren.



Abb. 3: Biegesteifigkeitsmessgerät ACPM 200 [1]

- Prüfung mehrlagiger Proben

Die Kompliziertheit des mehrlagigen Aufbaus eines Bekleidungsteils ist beispielhaft für ein Sakko-Vorderteil in Abbildung 4 dargestellt.



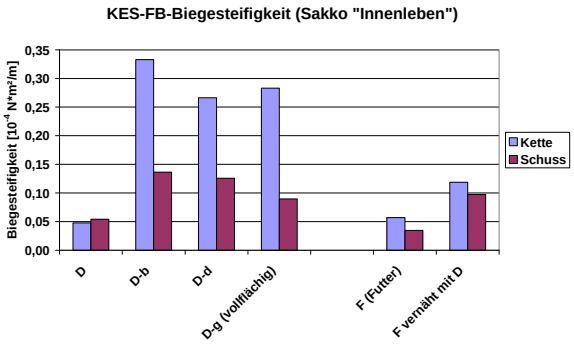


Abb. 4: Mehrlagigkeit im Sakko-Vorderteil, Beigesteifigkeiten der verwendeten Materialien

Die Prüfergebnisse mehrlagiger Proben wurden entsprechend der Prüfungen der einlagigen Materialien aufbereitet. In Abbildung 5 sind die aus den KES-FB-Prüfungen (Oberstoff und im Verbund mit Einlagestoff) berechneten Kennwerte für das Kraft-Dehnungs-Verhalten nach Zugbeanspruchung und die Biege- und Schersteifigkeiten sowie die Biegesteifigkeit nach ACPM 200 dargestellt.

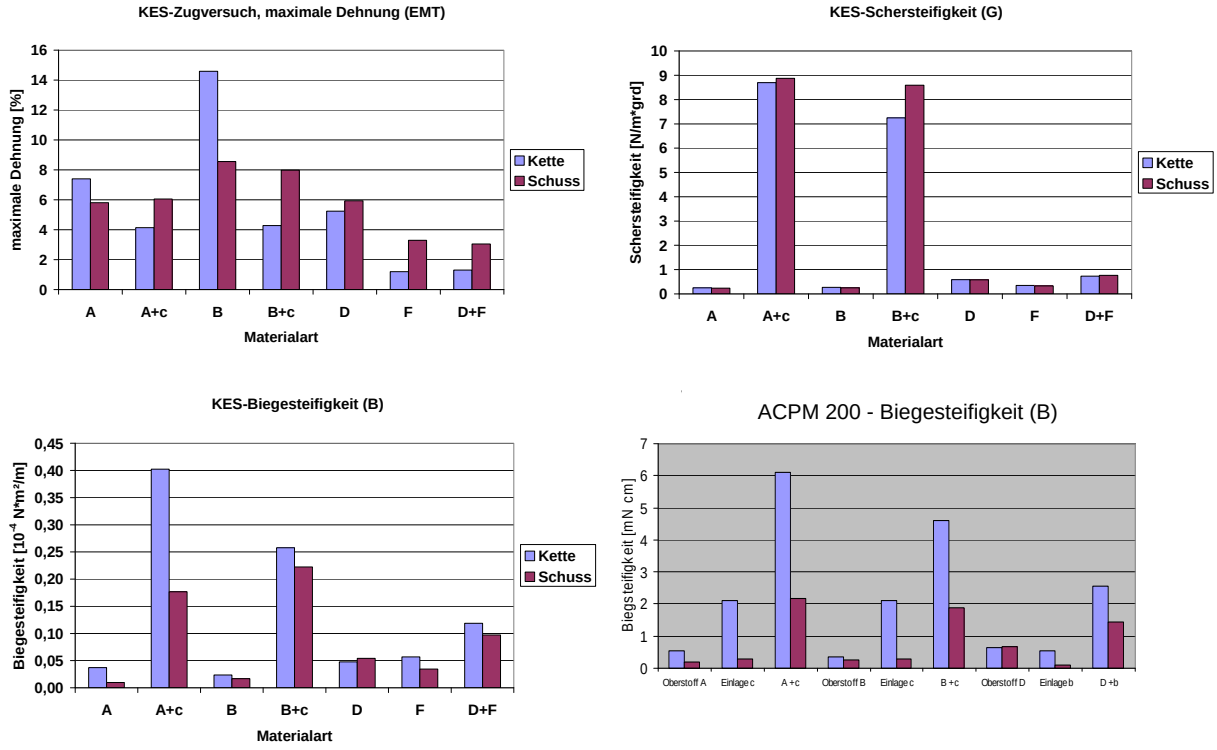


Abb. 5: Einfluss von Einlagestoffen bzw. Futter auf das Verhalten der Oberstoffe

Erwartungsgemäß nimmt die Dehnung des Materials durch den Verbund mit dem Einlagestoff ab. Die Biege- und Schersteifigkeiten erhöhen sich durch die Einlagen um cirka eine Zehnerpotenz. Dies begründet die Notwendigkeit der Berücksichtigung der Materialparameter dieser Verbunde auch in Simulationsrechnungen.

Den Biegeprüfungen mittels KES und ACPM liegen verschieden Prüfprinzipien zu Grunde. Somit stimmen die Ergebnisse tendenziell aber nicht wertmäßig überein.
Beim KES-Biegeprüfgerät wird der Prüfling in vertikaler Lage in eine ortsfeste Klemme eingespannt und über eine bewegliche Klemme auf einer Kreisbahn bewegt. Aufgezeichnet wird das Biegemoment über der Krümmung.

Beim Gerät ACPM 200 erfolgt die Prüfung in Anlehnung an die DIN 53362 - Verfahren nach Cantilever. Der Probekörper wird aufgrund seines Eigengewichts gebogen.

Beim ACPM-Prüfgerät ist die Aufzeichnung des Biegesteifigkeitsverlaufes während des Prüfvorganges momentan nicht analog zum KES-Biegeprüfgerät möglich. Um hierfür eine Lösung zu schaffen, wird mit Hilfe einer Digitalkamera der Biegeverlauf aufgenommen. Die Moment-Krümmungsdaten werden aus den Bilddaten mit Hilfe von Bildverarbeitungsverfahren und Matlab abgeleitet. Somit ist das ACPM-Prüfgerät zur Bereitstellung der benötigten Kennwerte geeignet und bietet zusätzlich die Möglichkeit, den Einfluss von Nahttypen und Nahtwinkellagen zu ermitteln.

Entlang der Probenbreite können 21 Messwerte, die den Biegesteifigkeitsverlauf an der Probenvorderkante charakterisieren, aufgenommen werden. In der Abbildung 6 ist beispielhaft der Vergleich der Biegesteifigkeitswerte über der Probenbreite für die unterschiedlichen Verarbeitungsvarianten dargestellt.

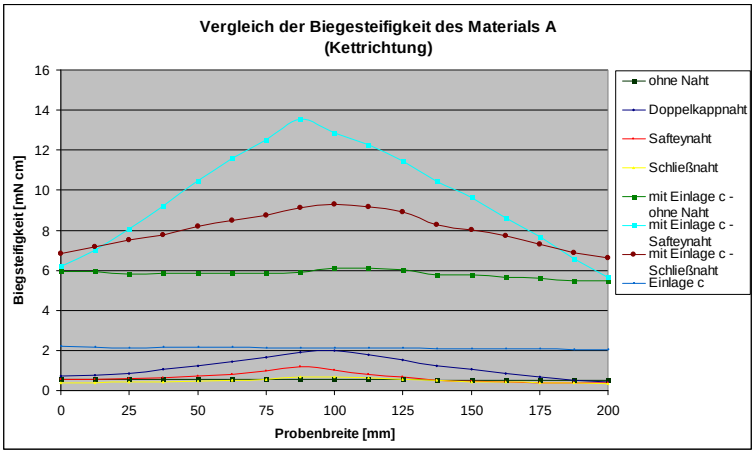


Abb. 6: Vergleich der Biegesteifigkeit von Material A mit und ohne Einlagestoffe sowie mit Naht (ACPM 200)

Ergebnisse des WSI/GRIS

Der am WSI/GRIS entwickelte Textilsimulator benötigt zur Simulation von Textilien eine entsprechende Materialdatei zur Abbildung des Materialverhaltens. In einem XML-basierten Dateiformat werden die relevanten Stoffparameter (Zug, Scherung, Biegung, …) definiert, im Simulationsmodul für die virtuelle Materialabbildung eingelesen und für die Finite-Elemente Simulation eingebunden [4].

Die mit dem KES-FB-Gerätesystem gemessenen Daten wurden in Excel-Tabellen abgelegt und mit Hilfe von Matlab in das XML-Format der Materialdefinitionsdateien umgewandelt. Die Bereitstellung der Daten des APCM 200 Biegeprüfsystems erfolgte als Kombination von Excel-Daten und Bilddaten.

- Kollisionsdetektions- und Kollisionsantwortalgorithmen

Im Rahmen des Projekts wurden verschiedene neue Ansätze entwickelt, um die enorm hohe Anzahl von Kollisionen, die während der Textilsimulation, und hier insbesondere bei mehrlagigen Konfigurationen, auftreten, schneller abarbeiten zu können. Vorgeschlagen wird eine dynamische, task-basierte Zerlegung des Problems, die eine optimale Ausnutzung der vorhandenen Rechenleistung erlaubt. Hierbei werden verschiedene Techniken zu einem zuverlässigen und stabilen Verfahren kombiniert, das auch in komplizierten Fällen von Mehrfachkollisionen das Kleidungsstück kollisionsfrei hält.

- Mathematische Modelle für mehrlagige Textilien

Um das Materialverhalten von flächig verklebten, mehrschichtigen Stoffen zu modellieren, kann auf die klassische Laminattheorie (CLT) zurückgegriffen werden. Das angewandte Verfahren geht von einer 2-dimensionalen Situation aus, in der Kräfte nur in der

Referenzebene des Textils auftreten. Dieser Ansatz basiert auf dem Finite Elemente Verfahren der ebenen Verspannung (plane stress), das im bereits vorhandenen Simulator implementiert ist.

Die Einflüsse von Mehrlagigkeit und Nähten werden durch eine Verbesserung des Simulators berücksichtigt und zwar in der Form, dass im Extremfall jedem Dreieckselement eines zu simulierenden Schnittteiles ein individuelles Material zugewiesen werden kann. Somit können, auf Basis der Schnittteile, einlagige und mehrlagige Teile eines Kleidungsstücks mit unterschiedlichen Materialdaten simuliert werden.

- Erweiterung der physikalischen Simulation auf Nahtmodelle

Durch Experimente hat sich gezeigt, dass das Materialverhalten und besonders die Biegeeigenschaften eines Stoffes durch die Anwesenheit von Nähten lokal stark verändert werden.

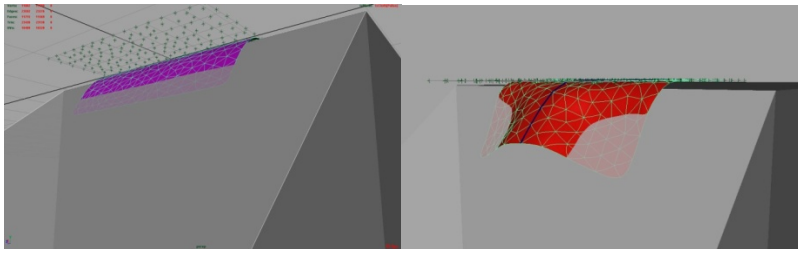


Abb. 7: Nachgestellte Biegeprüfung, ohne und mit Nähnaht

Die Prüfung mit dem Biegeprüfsystem ACPM 200 wurde in der Simulationsumgebung nachgestellt (Abbildung 7). Virtuelle Prüflinge können so getestet werden (violette und rote Dreiecksnetze). Die halb-transparente geneigte Fläche im Vordergrund entspricht der Laser-Ebene (Links: ein Prüfling ohne Naht. Rechts: ein Prüfling mit einer zentralen Naht von hoher Steifigkeit). Der bei realen Prüflingen beobachtete Einfluss der Naht auf das umgebende Textil wird durch das neue Nahtmodell in der Simulation reproduziert.
Je nach Flächengebildetyp und Nahttyp reicht der Einfluss der Naht mehr oder weniger weit in das umgebende Material hinein. Wenn die Diskretisierung des Textils in der Simulation nicht ausreichend ist, um den Abfall des Nahteinflusses abzubilden, so kann das Dreiecksnetz in der Umgebung der Naht adaptiv feiner trianguliert werden.

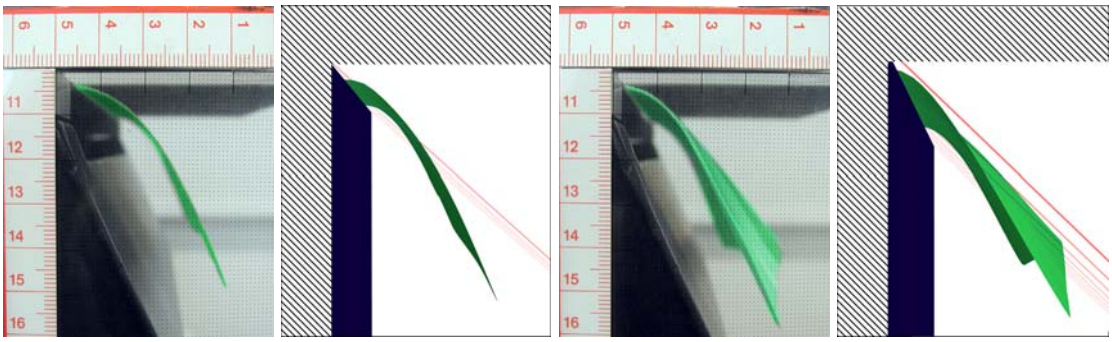


Abb. 8: Simulation mit Biegedaten und Nahtsimulation

Die Abbildung 8 zeigt ein Gewebe mit Einlage im Biegeprüfgerät sowie in der nachgestellten Simulation. Die beiden rechten Bilder veranschaulichen den Einfluss einer Naht (mittig angeordnet) auf das Biegeverhalten. Die Übereinstimmung zwischen dem realen Textil und der Simulation sind signifikant.

- Simulation von Bügelfalten

Insbesondere bei Hosen ist es wichtig, Bügelfalten zu simulieren, um den Gesamteindruck richtig wiederzugeben [3]. Um diesen Effekt abbilden zu können, wurde die Simulation entsprechend erweitert (Abb. 9). Um aus den CAD-Schnittteilen ein zusammenhängendes Netz zu erzeugen, wurde die Delaunay-Triangulierung verwendet, welche für die Simulation günstige Eigenschaften hat. Diese unregelmäßige Triangulierung muss allerdings zur

sauberen Repräsentation von Bügelfalten angepasst werden, so dass die Falten entlang von Kanten im Netz verlaufen. Dazu kann die Bügelfalte im Modellierungssystem als NURBS-Kurve in die Schnittteile gezeichnet werden, welche dann bei der Triangulierung berücksichtigt werden kann.



Abb. 9: Links: Prototyp mit und ohne Bügelfalte. Rechts: Simulationsergebnisse erzeugt mit den neu entwickelten Methoden, mit und ohne Bügelfalte

- Kopplung von Kollisionsmodul und Finite-Elemente-Modul

Große Sorgfalt musste auf das Zusammenspiel der Interaktionskräfte von Seiten der Kollisionsantwort und von Seiten des Finite-Elemente (FE)-Modells gelegt werden, um unerwünschte Wechselwirkungen in der Simulation zu vermeiden. Die besondere Schwierigkeit der Simulation von mehrlagigen Textilien liegt in den zeitlichen Anforderungen: Lösungen sind nur interessant, wenn sie mit heutigen Workstations zu Ergebnissen mit Einzelbild-Rechenzeiten im Sekundenbereich führen. Kollisionen sind ein elementarer Bestandteil von Textilsimulationsmethoden.

Explizite Methoden, wie die im Rahmen des Projektes entwickelte asynchrone Simulation, reagieren sehr empfindlich auf externe Kräfte, wie sie Kollisionsbehandlungsmethoden erzeugen. Schnelle Kollisionen können die Stabilität der Simulation bedrohen. Ein großer Vorteil bei dieser Vorgehensweise der asynchronen Simulation ist, dass Kollisionen in der Reihenfolge abgearbeitet werden, in der sie auch tatsächlich auftreten. Dadurch entsteht eine natürliche Kopplung des FE-Moduls und der Kollisionsbehandlung, die unerwünschte Wechselwirkungen vermeidet.

Diese Simulation basiert auf nichtlinearer Kontinuumsmechanik mit einer totalen Lagrange-Formulierung von linearen Finiten Elementen zur Diskretisierung. Wie allgemein üblich im Feld der Textilsimulation wurden die auftretenden Deformationen in einen Membrananteil (in-plane) und einen Biegeanteil (out-of-plane) zerlegt. Für die Modellierung von realen Materialien ist es sinnvoll, eine leichte Dämpfung zu integrieren, um das viskose Verhalten von Materialien abzubilden.

Die erzielten Simulationsergebnisse zeigt beispielhaft das in Abbildung 10 dargestellt Kleid. Simulationen für komplexer aufgebaute Bekleidungsstücke werden derzeit erprobt.



Abb. 10: Links - Front- und Rückansichten des Kleides. Rechts - Front- und Rückansicht, mit den neuen Methoden simuliert

Zusammenfassung

Ziel des Projektes war die korrekte Modellierung ein- und mehrlagiger textiler Materialien für die virtuelle Passformkontrolle von Bekleidung [2].

Entsprechend voran gegangener Ausführungen wurden die Modellierung und Simulation dahingehend erweitert, dass auch mehrlagige Bereiche textiler Produkte und variable Verbindungen dargestellt werden können. Die richtungsabhängigen Materialkennwerte, u. a. das Kraft-Dehnungs-, das Biege- und das Scherverhalten sind in die Simulation eingeflossen. Die Schnittteilkonturen und Nahtinformationen der Schnittteile wurden in einem CAD-Format zur Verfügung gestellt. Daraus wurden Dreiecksnetzmodelle als Basis für die Simulation erstellt.

Danksagung

Wir danken der Deutschen Forschungsgemeinschaft (DFG) für die finanzielle Förderung der Forschungsvorhaben (DFG – RO 1303/10-1 (ITM)) und STR 465/16-1 (WSI/GRIS).

Literatur

[1] SEIF, M.: Bereitstellung von Materialkennwerten für die Simulation von Bekleidungsprodukten. Dresden, Technische Universität Dresden, Fakultät Maschinenwesen, Dissertation, 2007

[2] KRZYWINSKI, S., SCHENK, A., HAASE, E., PABST, S., THOMASZEWSKI, B.: Closer to reality. textile network, 6 (2008) 10, S. 30-36

[3] PABST, S.; KRZYWINSKI, S.; SCHENK, A.; THOMASZEWSKI, B.: Seams and Bending in Cloth Simulation, submitted to: Computer Animation and Social Agents (CASA 2008), 2008

[4] THOMASZEWSKI, B.; PABST, S.; BLOCHINGER, W.: Parallel Techniques for Physically-Based Simulation on Multi-Core Processor Architectures, in: Computers and Graphics, 2008

Autoren

Prof. Dr.-Ing. habil. Sybille Krzywinski ist Projektleiterin dieses von den wissenschaftlichen Mitarbeitern Dr.-Ing. Andrea Schenk und Dipl.-Ing. Elke Haase der Professur Konfektionstechnik (Prof. Dr.-Ing. habil. Hartmut Rödel) am Institut für Textilmaschinen und Textile Hochleistungswerkstofftechnik der Technischen Universität Dresden bearbeiteten Forschungsprojektes, das im Rahmen einer interdisziplinären Forschung mit Dipl.-Inform. Simon Pabst und Dipl.-Inform. Bernhard Thomaszewski, wissenschaftliche Mitarbeiter am Lehrstuhl für Grafisch-Interaktive Systeme des Wilhelm-Schickard-Institut für Informatik (Prof. Dr.-Ing. Dr.-Ing. E. h. Wolfgang Straßer) der Universität Tübingen, durchgeführt wird.