

# Interaktive Animation textiler Materialien

Arnulph Fuhrmann

Fraunhofer-Institut für Graphische Datenverarbeitung (IGD)

Fraunhoferstr. 5

64283 Darmstadt

arnulph.fuhrmann@igd.fraunhofer.de

**Abstract:** In meiner Dissertation [Fuh06] werden mehrere Verfahren und Konzepte vorgestellt, die zusammengenommen ein komplettes System zur Simulation und Visualisierung von textilen Materialien bzw. Bekleidung ergeben, welches sich für die virtuelle Anprobe und das Virtual Prototyping von Bekleidung eignet. Besonderes Augenmerk wird auf die Stabilität der Simulation und die Echtzeitfähigkeit des Komplettsystems gelegt. Die wichtigsten Ergebnisse dieser Arbeit sind Ontologien für Bekleidung, Algorithmen zur schnellen Kollisionserkennung, die effiziente Simulation von textilem Material und die Visualisierung in Echtzeit.

## 1 Einleitung

Ein Ziel der Computergraphik ist die realistische Visualisierung von virtuellen Umgebungen. Dabei ist nicht nur das Rendering von hoher Bedeutung, sondern auch die Simulation des Verhaltens der einzelnen Objekte innerhalb der Umgebungen. In den letzten Jahren wurden Verfahren zur physikalisch basierten Animation von Flüssigkeiten, Gasen, starren und deformierbaren Körpern entworfen. Textiles Material bereitet aber aufgrund seines Aufbaus ganz spezielle Probleme. Die physikalischen Eigenschaften von Stoff werden durch die einzelnen Fäden und deren Verknüpfung festgelegt. Unter den verschiedenen Textilien spielt gewebter Stoff eine sehr bedeutende Rolle, da sich dieser Herstellungsprozess besonders gut industriell umsetzen lässt. Gewebter Stoff verhält sich gegenüber Zugbelastungen annähernd wie ein starrer Körper, kann aber vergleichsweise leicht gebogen und geschert werden. Dies macht die Simulation dieses Materials außerordentlich aufwändig.

Eine besondere Herausforderung ist die Berechnung von Animationen während der Benutzer in das Geschehen eingreift, da dann nur sehr eingeschränkt auf vorberechnete Daten zurückgegriffen werden kann. Damit die Immersion des Benutzers nicht gestört wird, benötigt man ein Simulationsmodell, das innerhalb kürzester Zeit Änderungen am Zustand des Objekts berechnen kann. Gleichzeitig muss dafür Sorge getragen werden, dass die Ergebnisse der Simulation schnell visualisiert werden können.

## 1.1 Anwendungen

Die interaktive Animation textiler Materialien ist für viele Anwendungen von Interesse. Ein Bereich ist die Animation von Kleidungsstücken, die von einer virtuellen Person – oft Avatar genannt – getragen werden. Die denkbaren Szenarien in diesem Bereich sind vielfältig. Nahe liegend sind virtuelle Menschen in Computer-generierten Filmen. Ihre Bekleidung wird dann nicht mehr von Hand animiert, sondern kann nach den Vorgaben der Bewegung der Figur simuliert werden. In diesem Fall spielt die Interaktivität jedoch eine untergeordnete Rolle. Allerdings sind effiziente Animationssysteme trotzdem bei der Produktion des Films äußerst hilfreich, da schneller gearbeitet werden kann und sich besser Änderungen vornehmen lassen. Beim Einsatz in Computerspielen muss heutzutage noch auf eine physikalisch basierte Animation von kompletter Bekleidung verzichtet werden. Kleinere Details, wie z.B. ein loser Umhang, werden jedoch oft schon animiert. Durch animierte Bekleidung der Protagonisten würde sich der Realismus und somit die Immersion in ein Spiel steigern lassen.



Abbildung 1: Virtuelle Anprobe einer Hose und eines Pullovers.

Aus dem Bereich der Bekleidungsindustrie gab es in den letzten Jahren besonderes Interesse an der virtuellen Anprobe von Kleidungsstücken, womit sich neue Formen der Produktpräsentation und des Virtual Prototyping erschließen lassen. Ein Kunde könnte beispielsweise ein Kleidungsstück an seinem eigenen 3D-Körperscan anprobieren und sich

eine virtuelle Modenschau vorführen lassen. Erst wenn ihm das virtuelle Kleidungsstück gefällt, macht er seine Bestellung. Dadurch ließen sich im Versandhandel Rücksendungen aufgrund von Nichtgefallen deutlich reduzieren. Auf das Virtual Prototyping wird später genauer eingegangen.

Neben der Bekleidungsindustrie profitieren auch andere Bereiche der Textilindustrie von interaktiver Textilanimation. In der Automobilindustrie ließen sich beispielsweise Faltdächer simulieren. Heutzutage kann nur die Funktionsweise der Gestänge simuliert werden, nicht jedoch die der Bespannung.

## 1.2 Problemstellung

Die Animation von Textilien wird im Bereich der Computergraphik schon sehr lange untersucht. Erste Modelle versuchten gewebten Stoff geometrisch zu modellieren. Man ging jedoch schnell zur physikalisch basierten Simulation über, die eine genauere Abbildung realen Verhaltens anhand einstellbarer Materialparameter ermöglicht. Die Verwendung von Partikelsystemen erlaubte schnellere Simulationen [EWS96]. Der nächste Schritt war die Simulation von Bekleidung an virtuellen Menschen [VCMT95]. Dies umfasst den Übergang von kleinen Stoffstücken zu komplexer Bekleidung, die aus mehreren miteinander vernähten Schnittteilen besteht, wobei jedes Schnittteil aus einem anderen Material bestehen kann.

Für ein System zur interaktiven Animation von textilen Materialien wird eine Reihe von unterschiedlichen Algorithmen benötigt, die an definierten Schnittstellen ineinander greifen. Beim Start des Systems muss ein Initialzustand der Bekleidung zur Verfügung gestellt werden. Dies sind im Allgemeinen die Positionen eines oder mehrerer Stücke Stoff im Raum. Dieser Zustand lässt sich visualisieren und der Anwender kann daraufhin mit dem virtuellen Stoff interagieren. Der Zustand des Stoffes und die Benutzereingaben fließen gemeinsam in die Simulation des Materialverhaltens ein. Dabei werden Kollisionen behandelt und auf die Benutzereingabe reagiert. Als Ergebnis erhält man den nächsten Zustand — ein Simulationsschritt ist berechnet.

Damit der Benutzer sinnvoll arbeiten kann und die Immersion nicht gestört wird, ergibt sich als erste Anforderung an das System, dass ein Simulationsschritt in weniger als einer Sekunde durchgeführt werden muss. Optimales Arbeiten erfordert eine Simulationsrate von 10Hz oder besser sogar 30Hz. Für bestimmte Anwendungen kann sogar eine Simulation in Echtzeit gefordert sein. In diesem Fall muss die Dauer zur Berechnung eines Simulationsschrittes kleiner als dessen Schrittweite sein. Ansonsten hinkt die Simulation hinterher, was sich besonders bei der Animation von Stoff durch sehr unrealistisches Verhalten bemerkbar macht: Der Stoff scheint, anstatt von Luft, von einer Flüssigkeit hoher Viskosität umgeben zu sein und die Bewegung sieht extrem gedämpft aus.

Da die Simulation von textilem Material äußerst zeitaufwendig ist, sucht man nach effizienteren Methoden der Berechnung. In meiner Dissertation werden hierzu mehrere Verfahren und Konzepte vorgestellt, die zusammengenommen ein komplettes System zur Simulation und Visualisierung von textilen Materialien bzw. Bekleidung ergeben, das sich für

die virtuelle Anprobe [WKK<sup>+</sup>04] und das Virtual Prototyping von Bekleidung [FGKK05] eignet. Besonderes Augenmerk wird dabei auf das Zusammenspiel der einzelnen Algorithmen, die Stabilität der Simulation und die Echtzeitfähigkeit des Komplettsystems gelegt.

## 2 Ontologien für Bekleidung

In existierenden Simulationssystemen werden virtuelle Charaktere noch per Hand eingekleidet. Neue Formen der Produktpräsentation und Produkthanprobe verlangen aber nach automatisierten Verfahren, damit virtuelle Kleidung schnell und mit wenig Aufwand dargestellt werden kann. Daher werden in diesem Kapitel Ontologien für Bekleidung vorgestellt. Mit Hilfe der Ontologien [FGW05] und einem neuen Verfahren zum interaktionsfreien Einkleiden virtueller Menschen [FGLW03] können die Anfangswerte für die Simulation von Bekleidung effizient berechnet werden.

Das *interaktionsfreie Einkleiden* erfolgt als zweistufiger Prozess. Zunächst werden die Schnittteile durch eine geometrische Vorpositionierung um den Avatar herum platziert. Die Endpositionierung erfolgt dann mittels physikalisch basierter Simulation unter der Verwendung von virtuellen Gummifäden, die die Schnittteile miteinander vernähen.

Die geometrische Vorpositionierung benötigt nur wenige Vorbedingungen um korrekt arbeiten zu können. Der Avatar muss in einer definierten Körperhaltung stehen. Ferner müssen die Kleidungsstücke auf eine Art und Weise repräsentiert sein, die es ermöglicht, sie eindeutig zu platzieren. Dazu genügen einige wenige Parameter pro Kleidungsstück, die auf abstrakte Weise die gewünschte Lage der Schnittteile am Körper festlegen.

Ausgehend von den Körperteilen des Avatars werden unterschiedliche Hüllflächen, die die Körperteile umschließen definiert. Die Schnittteile der Kleidungsstücke werden den Hüllflächen zugeordnet und auf diesen anhand der definierten Parameter positioniert. Da die Schnittteile um die einzelnen Körperteile gewickelt werden, liegen sie wesentlich näher am Avatar als bei herkömmlichen manuellen Verfahren und die Simulation kann die Schnittteile sehr schnell vernähen.

In meiner Dissertation werden *Ontologien* für Schnittteile und Kleidungsstücke vorgestellt. Diese semantischen Informationen lassen sich verwenden, um virtuelle Bekleidung auf einer höheren Ebene als der physikalisch basierten Ebene zu modellieren. Weiterhin erlauben die enthaltenen semantischen Informationen das interaktionsfreie Einkleiden von virtuellen Menschen.

Die Ontologien können eingesetzt werden um auf einer hohen bzw. abstrakten Ebene intuitiv die Eigenschaften von mehreren gleichzeitig getragenen Kleidungsstücken zu ändern. Dabei ergibt sich die dreidimensionale Geometrie der Kleidung an einem speziellen Avatar als Resultat der Anwendung der Semantik auf die tiefer gelegenen Schichten der Modellierung. Hierbei sind keinerlei Eingriffe des Anwenders in diese Schichten nötig. Er spezifiziert nur anfangs einige semantische Eigenschaften und dies ergibt die gewünschten Änderungen an der Geometrie. In Abbildung 2 wird beispielsweise einfach die Reihenfolge der Kleidungsstücke vertauscht.

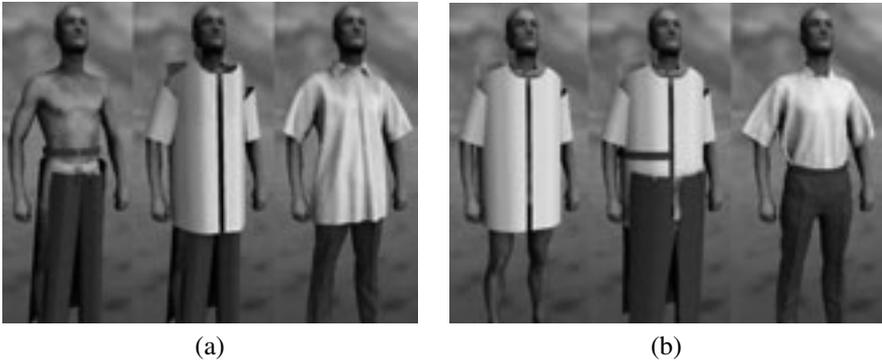


Abbildung 2: Vorpositionierung und Simulation mehrerer Kleidungsstücke übereinander. (a) Hose unter dem Hemd — (b) Hemd in der Hose.

### 3 Schnelle Kollisionserkennung

In diesem Kapitel wird auf die speziellen Probleme bei der Kollisionserkennung mit textilen Materialien eingegangen. Es hat sich gezeigt, dass existierende Verfahren zwar das prinzipielle Problem der Kollisionserkennung zufriedenstellend lösen, aber die dafür benötigte Rechenzeit lässt bei komplexeren Geometrien, wie sie im Bereich der virtuellen Anprobe verwendet werden, keine interaktive Animation mehr zu (für eine Übersicht über die Kollisionserkennung für deformierbare Körper siehe [TKH<sup>+</sup>05]). Daher wird ein neues Verfahren zur Kollisionserkennung zwischen textilem Material und einem weitgehend starren Körper vorgestellt [FSG03] und ein weiteres Verfahren, mit dem Selbstkollisionen zwischen verschiedenen Teilen des textilen Materials vermieden werden können [FGL03]. Beide Algorithmen sind äußerst effizient und erlauben zusammen genommen die interaktive Kollisionserkennung für textile Materialien.

Klassische Verfahren zur Kollisionserkennung zwischen starren Körpern verwenden Bounding Volume Hierarchien um kollidierende Primitive zweier Dreiecksnetze bestimmen zu können. Da in diesem Fall meist nur wenige Kontaktpunkte auftreten, lassen sich diese effizient bestimmen. Bei der Animation von textilem Material, welches sich leicht biegen lässt, passiert es aber häufig, dass der Stoff mit seiner ganzen Fläche im Kontakt mit anderen Objekten ist. In diesem Fall verschlechtert sich die Performanz der Kollisionserkennung mit einer Hierarchie enorm, da jetzt sehr viele Tests mit Primitiven durchgeführt werden müssen. Dieser Ansatz ist für interaktive Systeme nicht durchführbar. Insbesondere, wenn die Anwendung nicht nur Kollisionen behandeln muss, sondern auch noch Differentialgleichungen für die dynamische Bewegung der Objekte lösen muss.

Daher wird in meiner Dissertation ein neues Verfahren zur Kollisionserkennung vorgestellt, das Distanzfelder verwendet, um die nötigen Test auf Nähe und Durchdringung durchzuführen. Jeder einzelne Test kann hierbei sehr effizient durchgeführt werden. Für die korrekte Berücksichtigung von Reibung und für animierte Körper liefern Distanzfelder jedoch nicht genügend Informationen. Daher werden zusätzlich noch *Geschwindigkeitsfelder* verwendet, um Informationen über die Bewegung der Objekte erhalten zu können.

Eine Implementierung des vorgestellten Verfahrens zeigt, dass sich mit Distanz- und Geschwindigkeitsfeldern eine genaue und hoch effiziente Animation von Bekleidung realisieren lässt.



Abbildung 3: Echtzeitsimulation eines Tuchs mit schneller Kollisionserkennung.

Schließlich wird ein Verfahren zur effizienten *Vermeidung von Selbstdurchdringungen* beschrieben. Der Algorithmus nutzt die Tatsache aus, dass sich die Topologie von Stoff während der Simulation nicht ändert. Daher können geeignete hierarchische Strukturen aufgebaut werden, die während der Simulation sowohl schnell upgedated als auch effizient abgefragt werden können. Im Allgemeinen hat man zwei Möglichkeiten mit Selbstkollisionen umzugehen. Man kann sie entweder auflösen, nachdem sie aufgetreten sind, oder niemals eine Selbstdurchdringung zulassen. Der hier vorgestellte Ansatz gehört in die zweite Kategorie. Aber anstatt zu garantieren, dass keinerlei Selbstdurchdringungen auftreten, wird nur verhindert, dass sie passieren. Durch diese Approximation wird das Verfahren sehr performant. Außerdem ist es äußerst stabil, da entstandene Durchdringungen toleriert werden und sich im weiteren Verlauf der Simulation auch wieder auflösen können. Die Stabilität ist insbesondere für eine interaktive Anwendung besonders wichtig.

## 4 Effiziente Materialsimulation

Innerhalb der Simulation stellt die Berechnung der Verformungen und Bewegungen des Stoffes als zeitliche *Integration der Bewegungsgleichung*  $\ddot{\mathbf{x}} = \mathbf{M}^{-1}\mathbf{f}$  den größten Anteil an benötigter Rechenzeit dar. Die Bewegungsgleichung besteht aus einem System gewöhnlicher Differentialgleichungen, die aufgrund der Materialeigenschaften von Stoff steif sind. Dies rührt daher, dass Stoff sich unter seinem Eigengewicht nur geringfügig dehnt, aber sehr leicht gebogen werden kann. Es besteht großes Interesse an effizienten Methoden zur Integration dieser Gleichung, da explizite Integrationsverfahren nur bei kleinen Schrittweiten stabil bleiben. Implizite Integrationsverfahren [BW98] liefern zwar stabile Lösungen. Dies wird aber mit erhöhtem Rechenaufwand und künstlicher Dämpfung des Materials erkauft.

Daher wird in diesem Kapitel die effiziente numerische Simulation von textilen Materialien beleuchtet. Hierzu wird zunächst in das Thema eingeführt und es werden Partikelsysteme vorgestellt, die sich im Bereich der Computergrafik zur Modellierung deformierbarer

Objekte als sehr geeignet herausgestellt haben, da sie einen guten Kompromiss zwischen Genauigkeit und Geschwindigkeit darstellen. Das mechanische Verhalten bei der Interaktion zwischen den Partikeln wird durch Kräfte beschrieben, die unter anderem von den relativen Positionen der Partikel zueinander abhängen. Die Wahl der Integrationsmethode ist entscheidend für die Performance und Stabilität einer numerischen Simulation. Deshalb werden explizite und implizite Verfahren und deren Anwendung bei der Stoffsimulation vorgestellt.

Da man zur Animation eines Stück Stoffs mit Hilfe eines Partikelsystems eine geeignete Diskretisierung seiner Fläche benötigt, werden verschiedene Ansätze hierfür vorgestellt. Für die Animation von Bekleidung sind Dreiecksnetze vorteilhaft, da sich damit die Vernäherung der einzelnen Schnittteile sehr gut realisieren lässt.

Im Weiteren wird ein Verfahren zur robusten Modellierung interner Kräfte vorgestellt [FGL03]. Das Verfahren ist äußerst stabil und erlaubt große Zeitschritte. Das hier vorgestellte Modell nimmt einige Vereinfachungen vor und approximiert das Dehn- und Biegeverhalten von Stoff. Die Anisotropie und die Scherung werden vernachlässigt. Allerdings kann das hier vorgestellte Modell auch diese Eigenschaften nachbilden, indem Rechtecksnetze anstelle von Dreiecksnetzen verwendet werden.

Es wird eine explizite Methode zur *stabilen numerischen Integration* vorgestellt, die sich besonders gut zur interaktiven Simulation höher aufgelöster Meshes eignet. Das Verfahren ist äußerst stabil und kann sich sogar von kurzfristigen Störungen erholen. Dies ist insbesondere in einem interaktiven System von Bedeutung, da der Anwender direkt mit dem Material interagieren kann, wodurch sehr hohe Kräfte entstehen können.

Der letzte Teil dieses Kapitels beschäftigt sich mit der Entwicklung eines neuen interaktiven Verfahrens zur *Optimierung der Passform* von Kleidungsstücken an die Maße bzw. Wünsche des Kunden. Da ein individuelles Anpassen der Schnittteile mit CAD Software nur durch geschultes Fachpersonal möglich ist und außerdem sehr zeitaufwändig ist, wird ein Algorithmus zur automatischen Anpassung der Schnittteile anhand weniger intuitiver Parameter vorgestellt. Als Ausgangsbasis dienen Schnittteile eines Kleidungsstücks in einer Grundgröße. Des Weiteren liegen die Randkurven von Schnittteilen in veränderter Größe bzw. mit angepassten Längen vor. Aus diesen Daten werden neue Schnittteile mit individuellen Größen erzeugt.

Die Kernidee des vorgestellten Verfahrens ist es, zur Laufzeit mit Hilfe einer linearen Gradierung die fehlenden Größen zu erzeugen. Bei einer solchen Gradierung werden korrespondierende Punkte auf zwei Schnittteilen linear interpoliert. Dazu wird eine Methode, die diese Korrespondenzen für die Vertices der Schnittteile berechnet, vorgestellt.

Dieser Ansatz lässt sich in allen gängigen Systemen zur Textilsimulation umsetzen. Den größten Vorteil erzielt man aber in einem interaktiven System, da sich die Passform in Echtzeit optimieren lässt. Weiterhin bietet der Ansatz ein intuitives User-Interface, so dass auch ungeschulte Anwender individuelle Anpassungen an Kleidungsstücken vornehmen können.

## 5 Echtzeit Visualisierung

In diesem Kapitel wird beschrieben, wie textile Materialien bzw. ganze Kleidungsstücken in Echtzeit realistisch visualisiert werden können. Zunächst wird eine Methode zum Visualisieren von Zusatzinformationen bei der virtuellen Anprobe vorgestellt. Mit entsprechenden Color-Mappings kann die Passform besser beurteilt werden, indem der Abstand des Kleidungsstücks zum Körper oder im Stoff auftretende Spannungen dargestellt werden.

Es werden eine Reihe von Algorithmen vorgestellt, die das Ziel haben die Kleidung möglichst realistisch aussehen zu lassen. Zunächst wird ein Verfahren zu Darstellung von Nähten vorgestellt. Für die Nähte werden zusätzliche Texturen und eigene Texturkoordinaten erzeugt. Damit lassen sich sehr detailreiche Nähte darstellen. Zur realistischen Visualisierung des Randes eines Kleidungsstücks wird ausgehend von einem simulierten Kleidungsstück eine detailreichere Geometrie erzeugt, die die Schnittteile dicker aussehen lässt. Dieses Verfahren kann auch zur Visualisierung von Säumen verwendet werden.

Weiterhin ist die Berücksichtigung von Selbstabschattung äußerst wichtig. Speziell, wenn der Stoff Falten wirft, erhöhen Schatten den plastischen Eindruck [FLG03]. Liegen mehrere Lagen Stoff übereinander kann auf den Schattenwurf gar nicht mehr verzichtet werden, da sich ansonsten die einzelnen Lagen nicht mehr optisch auseinander halten lassen. Zum Rendern von Schatten, die von Punktlichtquellen erzeugt werden, gibt es zwar grundlegende Techniken, die interaktive Frameraten erlauben. Bei Verwendung dieser Algorithmen entstehen aber unrealistische harte Schatten. Daher wird ein Verfahren verwendet, dass bei der Visualisierung weiche Schatten mittels Shadow Mapping erzeugt.

## 6 Anwendung - Virtual Prototyping von Kleidung

Die Textil- und Bekleidungsindustrie in Deutschland steht unter immer höherem internationalem Konkurrenzdruck. Daher sind die Unternehmen gezwungen, ihre Produkte noch schneller und günstiger herzustellen. Insbesondere bei der Überprüfung der Passform müssen in aufwändiger Handarbeit eine hohe Anzahl von Prototypen entworfen werden, anhand derer entschieden wird, ob das entworfene Kleidungsstück noch abgeändert werden muss. Gelingt es hier, die Anzahl der benötigten Prototypen zu reduzieren, so bringt dies enorme Zeit- und Kosteneinsparungen mit sich. Dies kann durch Virtual Prototyping der Bekleidung erreicht werden [FGKK05]. Die in meiner Dissertation entwickelten Methoden zur Simulation und Visualisierung stellen hierfür die Grundlagen zur Verfügung. Auf dieser Basis wurde ein Softwareprototyp entwickelt, der das Virtual Prototyping von Bekleidung erlaubt. Da sich dieser Prototyp als praxistauglich erwiesen hat, wird er derzeit zusammen mit der Assyst Bullmer GmbH zu einem Produkt weiterentwickelt.

Der Ablauf beim Prototyping gestaltet sich folgendermaßen: Zunächst wird das zweidimensionale Schnittmuster mithilfe bewährter 2D-Bekleidungs CAD Lösungen konstruiert (z.B. cad.assyst). Anschließend werden die Schnittteile mit Informationen zur Positionierung und dem Verlauf der Nähte versehen. Danach erfolgt das interaktionsfreie Einkleiden, wobei die physikalisch basierte Simulation die Passform und den Faltenwurf der Klei-

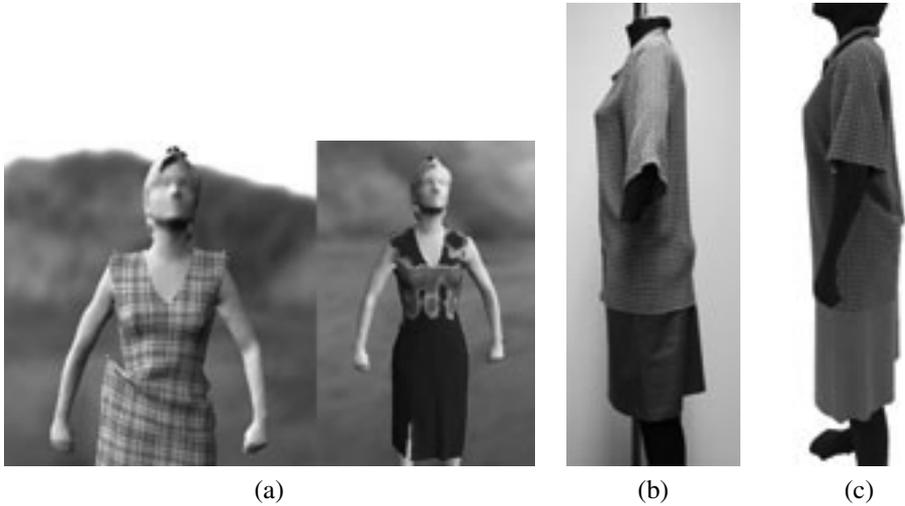


Abbildung 4: (a) Interaktives Drapieren mit Stecknadeln und Visualisierung von Spannungen im Material. (b) Reale Bluse und Rock. (c) Zum Vergleich die virtuelle Kleidung.

dungsstücke berechnet.

Während der Simulation können die Passform beurteilt und Änderungen am Sitz des Kleidungsstücks vorgenommen werden. Als Hilfestellung für eine gute Beurteilung lassen sich weitere Eigenschaften, wie etwa der Abstand des Kleidungsstücks zum Körper oder im Stoff auftretende Spannungen (siehe hierzu Abbildung 4 (a)), visualisieren. Der Bekleidungskonstrukteur hat jetzt die Möglichkeit, Änderungen am zweidimensionalen Schnittbild im CAD System vorzunehmen und kann dann direkt die Auswirkung auf die Passform dreidimensional begutachten. Mithilfe dieser virtuellen Passformkontrolle kann Bekleidung viel schneller konstruiert werden. Sowohl die 3D-Passformsimulation als auch die realitätsnahe Visualisierung erfolgen hierbei in Echtzeit, um ein unterbrechungsfreies Arbeiten zu ermöglichen.

Ein wichtiger Faktor bei der Bewertung eines Simulationssystems ist der Vergleich mit der Realität. Hierzu wurden mit dem System erzeugte Bilder mit Fotos von realen Kleidungsstücken verglichen. Die reale Kleidung wurde nach den Schnittmustern geschneidert, die auch in der Simulation verwendet werden. Aus den 3D-Laserscans wurde eine Puppe gefertigt, der anschließend die Kleidung angezogen wurde (für ein Beispiel siehe hierzu Abbildung 4 (b) und (c)). Die Schnittteile wurden vom BPI Hohenstein entworfen und der Laserscan und die Puppe von der Human Solutions GmbH im Rahmen des Virtual Try-On Projekts erstellt.

## Literatur

- [BW98] D. Baraff und A. Witkin. Large Steps in Cloth Simulation. In *SIGGRAPH 98 Conference Proceedings*, Seiten 43–54, 1998.
- [EWS96] B. Eberhardt, A. Weber und W. Straßer. A Fast, Flexible Particle-System Model for Cloth Draping. *IEEE Computer Graphics and Applications*, 16(5):52–59, 1996.
- [FGKK05] A. Fuhrmann, C. Groß, M. Knuth und J. Kohlhammer. Virtual Prototyping of Garments. In *ProSTEP iViP Science Days 2005*, 2005.
- [FGL03] A. Fuhrmann, C. Groß und V. Luckas. Interactive Animation Of Cloth Including Self Collision Detection. *Journal of WSCG*, 11(1):141–148, 2003.
- [FGLW03] A. Fuhrmann, C. Groß, V. Luckas und A. Weber. Interaction-Free Dressing Of Virtual Humans. *Computers & Graphics*, 27(1):71–82, 2003.
- [FGW05] A. Fuhrmann, C. Groß und A. Weber. Ontologies for Virtual Garments. In *Workshop towards Semantic Virtual Environments (SVE 2005)*, Seiten 101–109, 2005.
- [FLG03] A. Fuhrmann, V. Luckas und C. Groß. Improving the Clothing Design Process: Fast 3D Visualization of Garments. In *Proceedings of Innovation and Modelling of Clothing Engineering Processes (IMCEP)*, 2003.
- [FSG03] A. Fuhrmann, G. Sobotka und C. Groß. Distance Fields for Rapid Collision Detection in Physically Based Modeling. In *Proceedings of GraphiCon 2003*, Seiten 58–65, 2003.
- [Fuh06] A. Fuhrmann. *Interaktive Animation textiler Materialien*. Dissertation, Technische Universität Darmstadt, 2006.
- [TKH<sup>+</sup>05] M. Teschner, S. Kimmerle, B. Heidelberger, G. Zachmann, L. Raghupathi, A. Fuhrmann, M.-P. Cani, F. Faure, N. Magnenat-Thalmann, W. Straßer und P. Volino. Collision Detection for Deformable Objects. *Computer Graphics forum*, 24(1):61–81, 2005.
- [VCMT95] P. Volino, M. Courchese und N. Magnenat-Thalmann. Versatile and efficient techniques for simulating cloth and other deformable objects. In *SIGGRAPH 95 Conference Proceedings*, Seiten 137–144, 1995.
- [WKK<sup>+</sup>04] M. Wacker, M. Keckeisen, S. Kimmerle, W. Straßer, V. Luckas, C. Groß, A. Fuhrmann, R. Sarlette, M. Sattler und R. Klein. Virtual Try-On: Virtuelle Textilien in der Graphischen Datenverarbeitung. *Informatik Spektrum*, 27(6), 2004.



**Arnulph Fuhrmann** wurde am 22.08.1973 in Wiesbaden geboren. Seine Schulbildung schloß er 1993 mit dem Abitur an der Rabanus-Maurus-Schule in Fulda ab. Danach studierte er Informatik mit Schwerpunkt Mathematik an der Technischen Universität Darmstadt, wo er seine Graduierung als Diplom-Informatiker 2001 erhielt. Im Anschluß wurde er wissenschaftlicher Mitarbeiter in der Forschungsgruppe Echtzeitlösungen für Simulation und Visual Analytics im Fraunhofer Institut für Graphische Datenverarbeitung. Seit 2005 ist er stellvertretender Abteilungsleiter dieser Gruppe. In 2006 promovierte er mit Auszeichnung an der TU Darmstadt am Fachbereich Informatik.