

Projekt IMBiSS

Zusammenfassung

Während es in der Bekleidungsindustrie bereits eine Vielzahl computerunterstützter Systeme im Schnittkonstruktionsbereich gibt, ist der Bereich des Modellierens von Kleidungsstücken bisher kaum beachtet worden. Dieser Beitrag behandelt ein System, das versucht diese Lücke auszufüllen und somit eine Herangehensweise um Kleidungsstücke zu entwerfen unterstützt, die bisher ohne technische Unterstützung auskommen mußte.

1 Einleitung

Das Projekt IMBiSS (Interaktives Modellieren biegeschlaffer Stoffe) der Universität Bremen hat sich der Aufgabe gestellt den Prozeß des Modellierens von Kleidungsstücken an der Figurine [Feynman 1986] auf dem Computer abzubilden. Hierbei liegt der Schwerpunkt neben der Simulation eines realistischen Faltenwurfes auch auf der Entwicklung eines Systems, das von Couturiers ohne aufwendige Adaption an neue Arbeitsabläufe benutzt werden kann.

2 Herangehensweise

Aus Sicht der Informatik ist bei diesem Projekt besonders die Umsetzung der physikalischen Stoffeigenschaften auf dem Rechner [Breen, House & Wozny 1994] sowie die Nachbildung realer Schneiderwerkzeuge interessant. Während bereits die Umsetzung der physikalischen Stoffeigenschaften eine Herausforderung für den Informatiker darstellt, so erfordert die Umsetzung der Schneiderwerkzeuge zusätzlich die Bereitschaft, sich mit den grundlegenden Vorgehensweisen beim Modellieren von Kleidungsstücken auseinanderzusetzen. Das für die Bewältigung dieser Aufgabe nötige Wissen konnte durch die Unterstützung von Prof. Dr. Masson, Fachhochschule Hamburg, und des Designers Tamotsu Kondo erlangt werden. Das Projekt führt dabei die Möglichkeiten der Informatik mit der Kunst des Modellierens zusammen. Das aus dieser Zusammenarbeit resultierende IMBiSS-System stellt einen neuen Ansatz der üblichen Herangehensweise [Ng, Grimsdale & Allen 1995] dar. Die Werkzeuge und Hilfsmittel die der Designer beim Modellieren im Realen verwendet, werden hierbei vom IMBiSS-System ebenfalls im Virtuellen zur Verfügung gestellt. Weiterhin werden dem Designer neue Möglichkeiten eröffnet, die sich erst durch die Nutzung eines Computers umsetzen lassen, und die in den folgenden Abschnitten vorgestellt werden.

3 Simulation des Stoffverhaltens

Beschäftigt man sich mit der Abbildung realistischer Stoffeigenschaften auf dem Computer, so findet man in der Literatur im Wesentlichen drei verschiedene Modelle, die sich mit diesem Problem beschäftigen. Bei der Beschreibung des Stoffes durch eine räumlich gekrümmte Fläche mit endlich vielen Aufhängungspunkten handelt es sich um eine rein geometrische Betrachtung, die nicht zu besonders realitätsnahen Ergebnissen führt [Hinds & McCartney 1990]. Ein anderer Ansatz der den Stoff als eine Menge von Partikeln betrachtet, wurde bereits von C. R. Feynman vorgeschlagen [Feynman 1986]. Feynman legte diesen Partikeln Energiefunktionen zu Grunde, wobei die Minimierung der Energiesumme über alle Partikel zum gewünschten Ergebnis führen sollte. Dieser Ansatz ist sehr rechenaufwendig und lässt wegen der langen Antwortzeiten keine Interaktivität zu. Eine dritte Variante beschäftigt sich mit der Elastizitätstheorie, wobei durch Differentialgleichungen das Verhalten von Oberflächen, Volumenkörper oder Kurven in Abhängigkeit von der Zeit beschrieben werden kann [Terzopoulos & Fleischer 1988].

Eine Anforderung bei Projektbeginn lag in der Entwicklung eines Systems, daß auf einem „handelsüblichen“ PC zu „akzeptablen“ Antwortzeiten führt. Ein zügiges Arbeiten ist für den

praktischen Einsatz häufig von größerer Bedeutung, als eine exakte Abbildung des realistischen Stoffverhaltens. Gefragt war ein Kompromiss zwischen akzeptablem Antwortverhalten und der Darstellung realistischer Stoffeigenschaften, um ein System zu entwickeln, das eine sinnvolle Ergänzung bei der Arbeit von Designern darstellt.

Ein natürliches Stoffstück ist ein zu komplexes Objekt, um es mit allen seinen Eigenschaften wie Kett- und Schußfäden, Fadenreibung etc. komplett zu simulieren. Es ist notwendig, diese realen Eigenschaften auf einige wenige simulierbare Eigenschaften zu reduzieren, die ein möglichst realistisches Stoffverhalten ermöglichen. Diese von uns betrachteten realen Eigenschaften sind Elastizität, Schersteifigkeit und Biegeschlaffheit. Als Basis für diese Simulation wird ein interagierendes Partikelsystem verwendet, welches sich für die Umsetzung dieser Eigenschaften in eine Simulation besonders gut eignet. Hierbei werden für jede Eigenschaft Regeln definiert, nach denen das Verhalten eines Partikels abhängig von der Position seiner Nachbarpartikel berechnet wird:

- Elastizität

Weicht der Abstand eines Partikels $P_{x,y}$ zu seinem Nachbarn $P_{x+1,y}$ von einer vorgegebenen Normdistanz ab, so bewegt sich das betrachtete Partikel auf den Nachbarn zu oder von ihm weg, um wieder die Normdistanz zu erreichen.

- Schersteifigkeit

Ist das Dreieck, das drei Partikel $P_{x,y}$, $P_{x+1,y}$ und $P_{x+1,y+1}$ aufspannen nicht orthogonal, so bewegt sich das betrachtete Partikel $P_{x,y}$ auf seinen diagonalen Nachbarn $P_{x+1,y+1}$ zu oder von ihm weg, so daß wieder ein rechter Winkel entsteht.

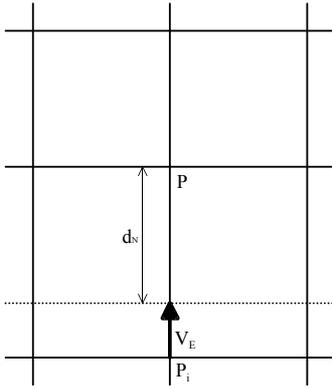
- Biegeschlaffheit

Liegt ein Partikel $P_{x,y}$ nicht mit seinen Nachbarn $P_{x+1,y}$ und $P_{x-1,y}$ auf einer Geraden, so werden die Nachbarn durch entsprechende Bewegung auf die entsprechende Position gebracht.

Bei der Beeinflussung der Partikel durch ihre Nachbarn werden die einzelnen Eigenschaften unabhängig voneinander berechnet und zu einem Impulsvektor addiert. Da nicht klar ist, ob die Bewegung über den Impulsvektor zum korrekten Ergebnis führt, wird nur ein Bruchteil der Vektorlänge als Impuls an das jeweilige Partikel übergeben. So wird einem Auseinanderdriften der Partikel durch zu große Impulsvektoren entgegengewirkt. Das Partikelmodell entspricht in seinem quadratischen Maschenaufbau zwar einem gewebten Leinwandstoff, die Auflösung des Modells ist jedoch viel geringer, so daß jedes Partikel einer Vielzahl von realen Maschen entspricht.

3.1 Elastizität

Die einfachste Form der Partikelbeeinflussung beschreibt die Elastizität. Sie behandelt das Verhalten der Partikel sowohl bei Kontraktion als auch bei Dilatation eines Fadens. Hierfür muß zunächst eine Normdistanz festgelegt werden, bei der sich zwei benachbarte Partikel im Ruhezustand befinden. Wird dieser Abstand über- oder unterschritten so muß ein Impuls entstehen, die der Dilatation bzw. Kontraktion entgegen wirkt.



Die Berechnung des Impulsvektors erfolgt hierbei nach folgender Formel:

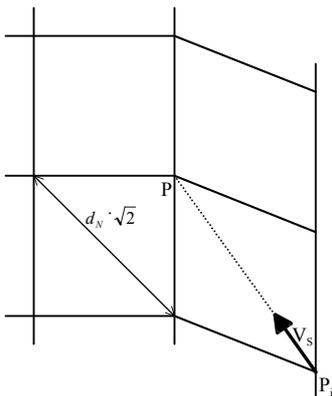
$$\vec{V}_E = \left(\begin{pmatrix} I_x \\ I_y \\ I_z \end{pmatrix} - \begin{pmatrix} P_x \\ P_y \\ P_z \end{pmatrix} \right) * \left(\frac{\left(\sqrt{(I_x - P_x)^2 + (I_y - P_y)^2 + (I_z - P_z)^2} - d_N \right)}{k_E} \right)$$

Die Länge des Impulsvektors \vec{V}_E wächst exponentiell mit der Abweichung zur Normdistanz d_N , wodurch größere Dehnungen bzw. Stauchungen verhindert werden und genügend Spielraum für kleinere Partikelbewegungen bleiben.

3.2 Schersteifigkeit

Bei einer Scherung des Stoffes weicht der Winkel der Verbindungsfäden zweier orthogonaler Nachbarn $P_{x-1,y}$ und $P_{x,y+1}$ am Partikel $P_{x,y}$ vom rechten Winkel ab. Dieser Vorgang ist unabhängig von der Elastizität, da die Länge der Verbindungsfäden unverändert bleibt.

Da eine Berechnung des Impulsvektors über den Winkel durch die Verwendung trigonometrischer Funktionen zu rechenaufwendig wäre, wird hierfür ein anderer Ansatz gewählt. Im Ruhezustand ohne auftretende Scherung beträgt der Abstand von $P_{x-1,y}$ und $P_{x,y+1}$ immer $d_N \cdot \sqrt{2}$

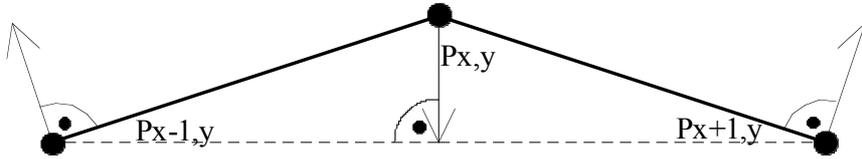


Diese Distanz wird bei einer Scherung über- bzw. unterschritten. Durch die Betrachtung über die Diagonalenabstände kann man bei der Berechnung des Impulsvektors auf den Ansatz der Elastizität zurückgreifen:

$$V_S = \left(\begin{pmatrix} I_x \\ I_y \\ I_z \end{pmatrix} - \begin{pmatrix} P_x \\ P_y \\ P_z \end{pmatrix} \right) \cdot \left(\frac{\left(\sqrt{(I_x - P_x)^2 + (I_y - P_y)^2 + (I_z - P_z)^2} - (d_N \cdot \sqrt{2}) \right)}{k_S} \right)$$

3.3 Biegeschlaffheit

Eine Biegung des Stoffes liegt vor, wenn die Partikel $P_{x-1,y}$, $P_{x,y}$ und $P_{x+1,y}$ nicht auf einer Geraden liegen. Die Biegesteifigkeit versucht die Nachbarn von $P_{x,y}$ so zu bewegen, dass alle drei Partikel wieder auf einer Geraden liegen. Die Berechnung der Biegekraft wird analog in der Vertikalen durchgeführt.



Zunächst wird per Kreuzprodukt ein Normalenvektor P_N auf $P_{x-1,y}$ und $P_{x+1,y}$ gebildet, welcher daraufhin normiert wird. Durch erneute Bildung des Kreuzproduktes von $P_{x-1,y}$ mit P_N und anschließender Normierung erhält man einen Vektor P_{N2} , der durch einen Faktor gedämpft auf den Impulsvektor von $P_{x-1,y}$ addiert wird. Hierdurch wird $P_{x-1,y}$ in Richtung seiner Optimalposition auf der Geraden bewegt. Dies wird analog für $P_{x+1,y}$ und P_N durchgeführt.

Kreuzprodukt $P_{x-1,y} * P_{x+1,y}$:

$$\begin{pmatrix} P_{Nx} \\ P_{Ny} \\ P_{Nz} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} (P_{x-1,y,y} * P_{x+1,y,z}) - (P_{x-1,y,z} * P_{x+1,y,y}) \\ (P_{x-1,y,z} * P_{x+1,y,x}) - (P_{x-1,y,x} * P_{x+1,y,z}) \\ (P_{x-1,y,x} * P_{x+1,y,y}) - (P_{x-1,y,y} * P_{x+1,y,x}) \end{pmatrix}$$

Biegesteifigkeitsfaktor:

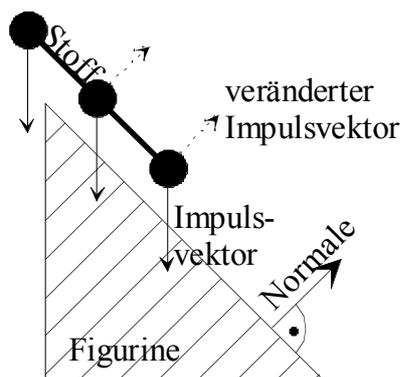
$$faktor = \left(\sqrt{(P_{x-1,y,x} + P_{x+1,y,x})^2 + (P_{x-1,y,y} + P_{x+1,y,y})^2 + (P_{x-1,y,z} + P_{x+1,y,z})^2} \right)^2 * konst$$

Neuer Impulsvektor V_I von $P_{x-1,y}$:

$$V_B = V_B + P_{N2} * faktor$$

3.4 Kollisionsabfrage

Bei der Kollisionserkennung zwischen Stoff und Figurine wird für alle Stoffpunkte geprüft, welche Figurinenpolygone der Bewegungsvektor des jeweiligen Punktes schneidet. Dadurch soll verhindert werden, dass sich der Stoff in die Figurine hineinbewegt. Um dies zu erreichen, wird eine Schnittberechnung mit dem Impulsvektor des Stoffpunktes mit der Ebene eines Polygons durchgeführt. Falls dies zutrifft, wird der Schnittpunkt des Vektors mit der Ebene berechnet, und es wird geprüft, ob sich dieser innerhalb des Polygons befindet. Falls dies zutrifft, liegt eine Kollision vor. Nun muss der Impulsvektor so verändert werden, dass dessen Endpunkt nicht mehr innerhalb der Figurine liegt. Dies wird dadurch erreicht, dass der Impulsvektor des Stoffpunktes in Richtung der Normalen des Figurinenpolygons gedreht und um einen Faktor gedämpft wird. Hierdurch wird der Stoff bei einer Kollision nicht einfach gestoppt, sondern es wird auch ein elementares abprallen und gleiten des Stoffes an der Figurine realisiert.



Um diese Prozedur nicht für jeden Stoffpunkt mit jedem Figurinenpolygon durchführen zu müssen, wird der virtuelle Raum in gleichgroße Würfel unterteilt. Da die Figurine statisch ist, kann für die Figurinenpolygone einmalig beim Anlegen eines Projektes geprüft und gespeichert werden, welche Würfel des Raumes sie schneiden. Während eines Rechenschrittes wird ein Stoffpunkt durch seine Koordinaten einem dieser Würfel zugeordnet. Daraufhin wird die Anzahl der zu prüfenden Polygone dadurch reduziert, dass nur diejenigen Polygone getestet werden, die den Würfel des Stoffpunktes oder einen der räumlichen Nachbarwürfel schneiden. Die Kollisionsabfrage kann auf diese Würfel beschränkt werden, da die Länge eines Bewegungsvektors nicht die Kantenlänge dieser Würfel überschreiten darf, wodurch sichergestellt ist, dass er nur solche Polygone schneidet, die sich ganz oder teilweise in diesen Würfeln befinden.

Eine Stoff/Stoff-Kollision wird bei Kollisionsabfrage nicht geprüft oder behandelt. Die obige Stoff/Figurinen-Kollisionsberechnung kann nicht für die Stoff/Stoff-Kollisionserkennung verwendet werden, da bei dieser nur die Kollision eines Bewegungsvektors mit einem Polygon berechnet wird. Dies ist bei einer Stoff/Figurinen-Kollision ausreichend, da die Figurinenpolygone wie erwähnt statisch sind. Bei einer Verwendung für die Stoff/Stoff-Kollisionserkennung müsste jedoch ebenfalls geprüft werden, ob sich die Stoffpolygone, die durch die sich bewegenden Stoffpunkte aufgespannt werden, auf andere, vielleicht stillstehende Stoff- oder Figurinenpolygone zu bewegen. Dadurch ist eine simple Betrachtung des Kollisionsproblems aus Sicht eines Stoffpunktes nicht mehr möglich. Vielmehr müssten auch Polygon/Polygon-Kollisionen erkannt werden, was nur mit sehr hohem zusätzlichem Rechenaufwand möglich ist.

4 Der Modellierungsprozess

Für das Drapieren im Virtuellen wird die gleiche Herangehensweise wie für das Drapieren im Realen gewählt, um dem Designer die Einarbeitungsphase zu erleichtern und um ein zügiges Arbeiten zu gewährleisten.

Der Designer hat die Möglichkeit in einem Auswahldialog eine Figurine sowie deren Konfektionsgröße auszuwählen. Diese Figurine wird in einem dreidimensionalen Raum dargestellt, um dem Designer das plastische Modellieren von Kleidungsstücken an der Figurine zu ermöglichen. Das IMBiSS-System ermöglicht es, gleichzeitig mehrere Fenster mit unterschiedlichen Ansichten der Figurine darzustellen, so daß der Designer die Figurine und die Auswirkung seiner Arbeit aus mehreren Perspektiven betrachten kann. Wird es bei der Arbeit erforderlich, den sichtbaren Ausschnitt zu vergrößern oder die Position zu ändern, so ist dies mit Hilfe der Zoom- oder Drehfunktion möglich.

Bei der Auswahl des Stoffes kann der Designer über einen entsprechenden Dialog aus einer internen Datenbank den gewünschten Stoff auswählen. In einem weiteren Schritt ist es möglich, dem Stoff ein Muster zuzuordnen und dieses in seiner Größe und Position zu variieren.

Zur Bearbeitung des Stoffes steht im IMBiSS-System eine umfangreiche Palette der gängigen Schneiderwerkzeuge zur Verfügung. Die Werkzeuge orientieren sich an den realen Vorgaben wie Schere, Nadel, Maßband und Kreide. Zusätzlich zu diesen Werkzeugen wurde

das Werkzeug Abnäher realisiert, daß eine Vereinfachung des realen Vorgangs darstellt. Ein in der Realität hingegen nicht vorhandenes Werkzeug ist die Undo-Funktionalität. Sie gibt dem Benutzer die Möglichkeit durchgeführte Arbeitsschritte rückgängig zu machen. Dies ist insbesondere bei Vorgängen nützlich, die in der Realität nicht revidierbar sind, wie dem Stoffschneiden. Im folgenden wird die zur Verfügung gestellte Werkzeugpalette beschrieben.

Hilfslinien:

Wie beim realen Modellieren üblich, besteht im virtuellen auch die Möglichkeit, Hilfslinien auf der Figurine anzubringen, die bei der Orientierung behilflich sind. Hierbei lassen sich zwei Arten von Linien unterscheiden.

Die Ganzkörperlinien entsprechen den regulären Hilfslinien, die beim realen Modellieren typischerweise auf Brust- Taillen- und Hüfthöhe waagrecht rund um die Figurine gezeichnet werden.

Zusätzlich kann man auch frei definierbare Linien auf der Figurine anbringen, die durch einen Start- und Endpunkt bestimmt werden. Mit diesen Linien können beliebige Strecken auf der Figurine markiert werden.

Linien auf dem Stoff:

Für den Einsatz der meisten Werkzeuge werden Linien generiert, auf deren Basis die Anwendung des Werkzeuges basiert. Im Folgenden werden die Grundlagen der Stoffliniengenerierung erläutert.

Die auf dem Stoff zu generierende Linie entspricht einem Pfad vom Anfangs- zum Endpunkt auf der Grundlage des Partikelmodells. Hierbei handelt es sich nicht um die geringste Distanz zwischen den beiden Punkten, sondern um die Schnittlinie, die durch den Schnitt einer Ebene mit dem Stoff resultiert. Diese Ebene wird durch die beiden Endpunkte der Linie und den Standpunkt des Betrachters aufgespannt. Hierbei wird gewährleistet, daß die Linie dem vom Designer gewünschten Verlauf folgt.

Schere:

Mit dem Werkzeug Schere können Linien auf dem Stoff definiert werden, entlang deren Kanten die Verbindungen die Stoffpartikel gelöst werden. Hierdurch entsteht ein Schnitt im Stoff. Aufgrund des Partikelmodells entsteht bei diesem Vorgang eine Treppenlinie, da der Schnitt entlang von Maschen verläuft.

Beim Schneiden werden die Punkte, die die Übergänge zu den benachbarten Maschen bilden, verdoppelt. Würde man die Verbindungen lediglich löschen, würden die Punkte entlang der Linie entfernt und der Stoff würde eine Reihe der Maschen entlang der Schnittkante verlieren.

Hand:

Das Werkzeug Hand dient analog zum realen Einsatz dem Greifen, Halten und Bewegen des Stoffes. Hierbei wird ein Punkt auf dem Stoff selektiert an dem eine Hand eingesetzt werden soll. Im Gegensatz zur Realität können hierbei mehr als zwei Hände zum Einsatz kommen, die sowohl unabhängig voneinander bewegt, als auch zu einer Gruppe zusammengefaßt werden können. Auf diese Weise gruppierte Hände können synchron bewegt werden.

Nadel:

Um Stoffe zu fixieren kommt das Werkzeug Nadel zum Einsatz. Der Stoff kann hierbei mit der Nadel sowohl an der Figurine als auch am Stoff selbst befestigt werden. Es besteht die Möglichkeit das mehrere Stoffschichten bis hin zur Figurine mit einer Nadel verknüpft werden. Mit Hilfe eines Dialoges kann der Benutzer die zu verknüpfenden Stoffschichten auswählen.

Maßband:

Das Maßband mißt Entfernungen zwischen zwei Punkten, die entweder auf der Figurine oder dem Stoff liegen. Anders als bei der Stoffliniengenerierung wird bei diesem Vorgang kein Pfad auf dem Partikelmodell berechnet, sondern die kürzeste Strecke gewählt, die als

konvexe Hülle über den Stoff vom Anfangs- zum Endpunkt verläuft. Die Maßeinheit skaliert sich aufgrund der Konfektionsgröße der zugrunde liegenden Figurine.

Abnäher:

Ein Abnäher bezeichnet eine Falte, die am Stoff erzeugt und abgesteckt wird, um Mehrweiten zu reduzieren. Für die Bildung eines Abnäherers muß beim realen Modellierungsprozeß eine Vielzahl von Arbeitsschritten durchgeführt werden, die sich von der Faltenbildung bis zum Abstecken der Falte erstrecken. Diese Arbeitsschritte werden im IMBiSS-System zu einem Werkzeug zusammengefaßt.

Für den Abnäher wird auf dem Stoff ein gleichschenkeliges Dreieck gebildet, dessen Kanten zu einer Linie zusammengezogen werden. Hierbei entsteht eine nach außen ausgebildete Falte, die in einem separaten Arbeitsschritt mit der Schere abgeschnitten werden kann.

5 Ergebnisse

Das Ziel, ein System zu entwickeln, mit dem der Designer einen realen Modellierungsvorgang am Computer nachbilden kann, wurde in vielerlei Hinsicht erreicht. Der Designer kann in einem virtuellen dreidimensionalen Raum an einer Figurine den Stoff mit den oben beschriebenen Werkzeugen drapieren.

Abweichend von den Projektzielen ist auch das Modellieren an verschiedenen Figurintypen und –größen durch wenig Mehraufwand umgesetzt worden. Die Figurindaten werden in einer Datei im Stereolithographie-Format eingelesen, somit ist der Modellierungsvorgang sogar auf jedem darstellbaren Körper möglich. Verweise auf die oben genannten Dateien sind einer Datenbank hinterlegt, der Benutzer kann dadurch bei der Neuanlage eines Projektes auf eine Auswahl von Figuren zurückgreifen und eine Auswahl treffen.

Nicht nur Figurindaten sind in der Datenbank gespeichert, sondern auch Stoffeigenschaften, die für die Berechnung des Faltenwurfs benötigt werden. Die genannten Eigenschaften können durch Messungen mit Hilfe des Meßgeräte-Systems KES-F (Kawabata Evaluation System Fabrics) gewonnen [Ganssaug & Klein 1995] und die erhaltenen Werte in die Datenbank importiert werden.

6 Ausblick

Ein Schwerpunkt in der Weiterentwicklung des IMBiSS-Systems könnte in der Realisierung einer schnellen Stoff-zu-Stoff Kollision liegen, da auf die derzeitige Implementierung zugunsten eines akzeptablen Antwortverhaltens verzichtet wurde [Ng, Grimdale & Allen 1995].

Eine zukünftige Entwicklung, die den Austausch von Stoffen und Parametern über Systemgrenzen hinweg vornehmen könnte, besteht in der Unterstützung des EDIFACT-Formats. In Zukunft wird auch eine Datenübertragung von Stoffeigenschaften möglich sein. Eine eigens dafür eingerichtete europäische Arbeitsgruppe [EDITEX Europe Organization] hat sich dieses Problems angenommen, mit dem Ziel ein neues Übertragungsformat für den Informationsaustausch zu entwickeln.

Des Weiteren könnte die Werkzeugpalette um neue Werkzeuge erweitert werden. So ist beispielsweise ein universelles Nahtwerkzeug denkbar, welches mehrere Stoffstücke auf Wunsch zusammennäht. Ferner könnte angedacht werden verschiedene Abnäherer-Techniken zu realisieren, die im Modellierungsprozeß typischerweise zum Einsatz kommen. Unerlässlich ist ebenfalls die Benutzung eines Maßbandes, welches nur in Grundzügen realisiert wurde. Weiterhin wäre es denkbar, daß die Hilfslinien auf der Figurine durch den Stoff sichtbar sind. In letzter Konsequenz wäre die Abwicklung des dreidimensionalen Modells in eine zweidimensionale Schnittkonstruktion sinnvoll, die wiederum als Input für ein Schnittkonstruktionssystem weiterverwendet werden könnte.

7 Literatur

[Feynman 1986]

Feynman, C.R., Modelling the Appearance of Cloth, M. S. Thesis, Massachusetts Institute of Technology, Cambridge, MA 1986

[Hinds & McCartney 1990]

Hinds, B.K. and J. McCartney, Interactive garment design, The Visual Computer 6 (1990) pp. 53-61

[Terzopoulos & Fleischer 1988]

Terzopoulos, D. and K. Fleischer, Deformable Models, The Visual Computer 4 (1988), pp. 306-331

[Breen, House & Wozny 1994]

Breen, D., House, D. und Wozny M: Predicting the Drape of Woven Cloth Using Interacting Particles, Computer Graphics Proc., Annual Conf. Series (1994), S. 365-371

DTB Empfehlung für Gewebe, Stand 2/98

[EDITEX Europe Organization]

EDITEX Europe Organization: <http://www.nyconsultant.fr/editexeurope>

[Ganssaug & Klein 1995]

Ganssaug, D., Klein, A., Lehmann, K.-H. und Moll, P.: Bekleidungstechnische Schriftenreihe Band 111. Meßergebnisse des Kawabata- und des FAST-Systems bei der Konfektionierung von textilen Flächengebilden als relevante Einstellparameter für die Nähmaschine. Köln 1995

[Ng, Grimsdale & Allen 1995]

Ng, H.N., Grimsdale, R.L. und Allen, W.G.: A System for Modelling and Visualization of Cloth Material. Computer & Graphics 19 (1995), pp. 423-430

[Schenk 1996]

Schenk, A. Berechnung des Faltenwurfs textiler Flächengebilde, Dissertation, Universität Dresden, Dresden, 1996