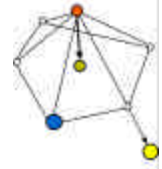


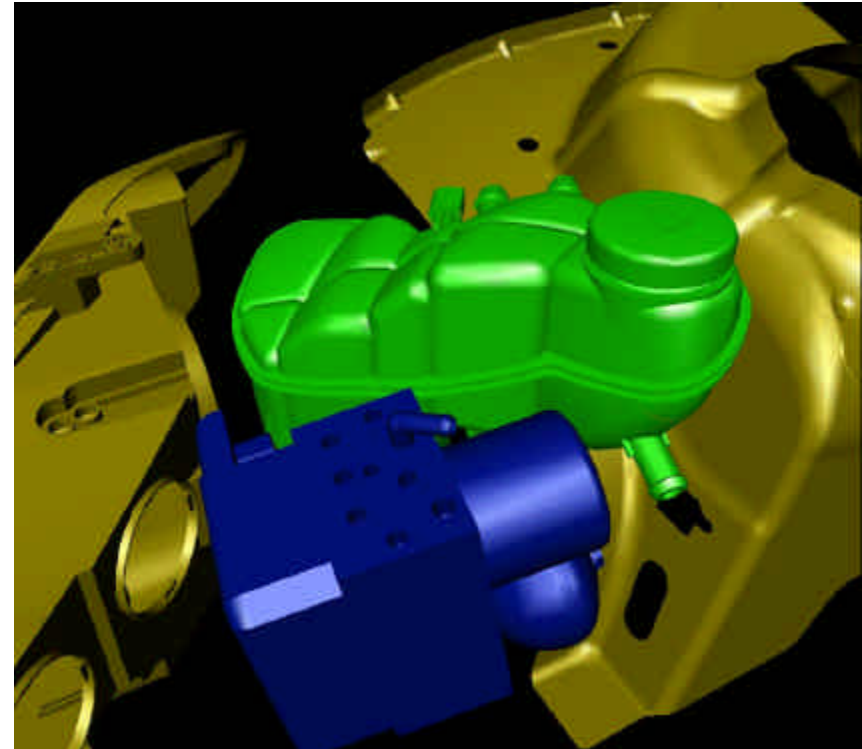
Weighting in Laplacian Mesh Editing

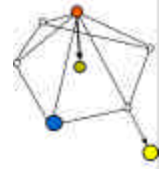
Diplomarbeit Uwe Hahne



Übersicht

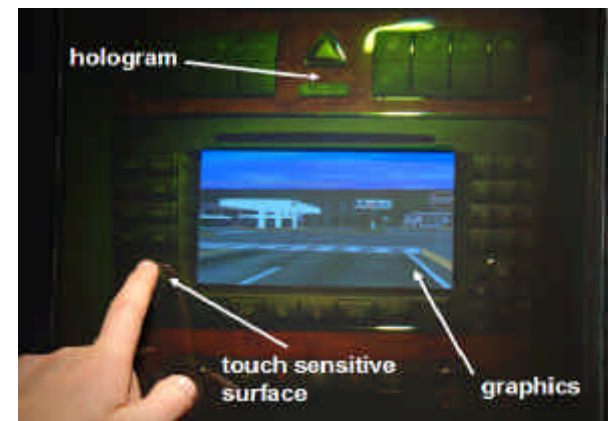
- ➔ Einleitung
- ➔ Aufgabenstellung
- ➔ Lösungsansätze
- ➔ Laplacian Mesh Editing
- ➔ Gewichtungen
- ➔ Auswirkungen
- ➔ Schlussfolgerungen
- ➔ Ausblick

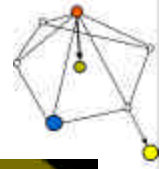




Einleitung

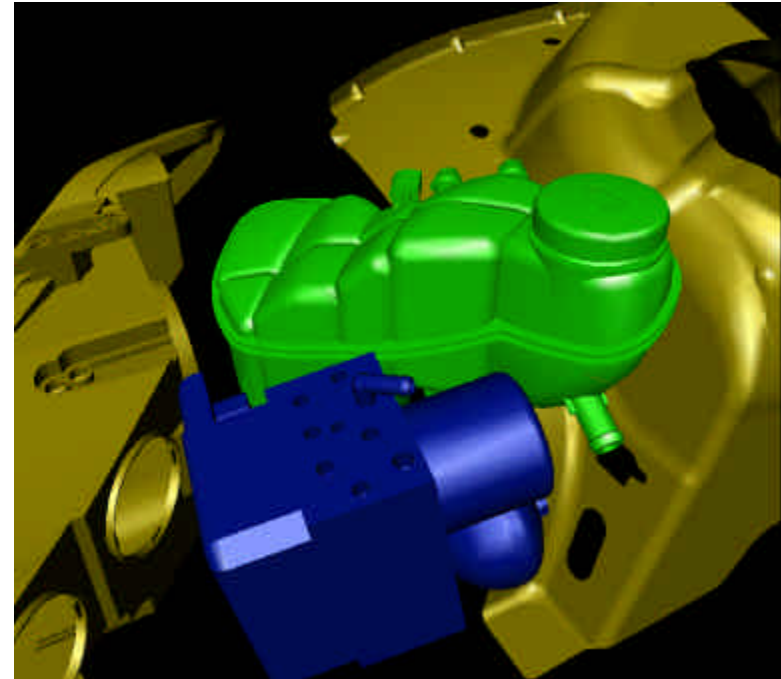
- Fakultät Medien der Bauhaus Universität Weimar
- Studiengang Mediensysteme (besteht seit 1999)
 - Mathematik/Informatik
 - Physik, Nachrichtentechnik, Wahrnehmungspsychologie
- Forschungsprojekte:
 - Optisches Tracking
 - Puppets and Hands
 - Programm: Literatur
 - Bahnberechnung von Gasblasen in zähen Flüssigkeiten
- Hilfskraft im Forschungsprojekt Holographics
- Diplomand bei DaimlerChrysler, Ulm
- Diplom-Medienwissenschaftler seit 7.6.2006





Aufgabenstellung

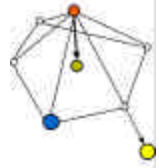
- Entwickelt für Daimler-Chrysler
- Montage- oder Baubarkeitsuntersuchung kompakter Motorräume
- Kollisionserkennung und Kontaktsimulation in VR mit triangulierten Modellen



Problem:

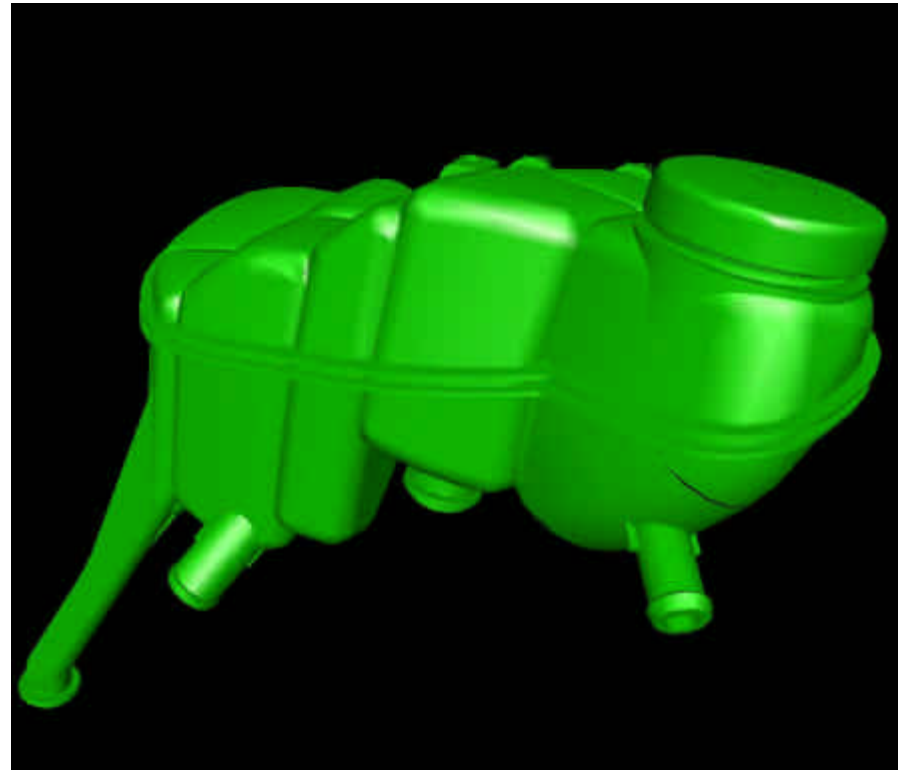
Virtuelle Objekte sind starr ? Bauteile sind elastisch

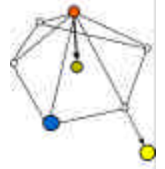
Lösung: → *Interaktive Verformung*



Aufgabenstellung

- Warum interaktiv und nicht automatisiert?
 - Mechaniker verformt Bauteile bei der Montage
 - Keine Daten über Festigkeit vorhanden
 - Objekte zu komplex um eine vernünftige Deformation zu automatisieren
- Warum nicht CAD?
 - CAD ist ungeeignet, weil in VR gearbeitet wird
 - Neue Konstruktion und Triangularisierung soll vermieden werden

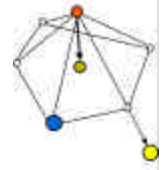




Aufgabe

→ Simulation einer möglichst natürlichen Deformationen durch ein interaktives Modellierungswerkzeug



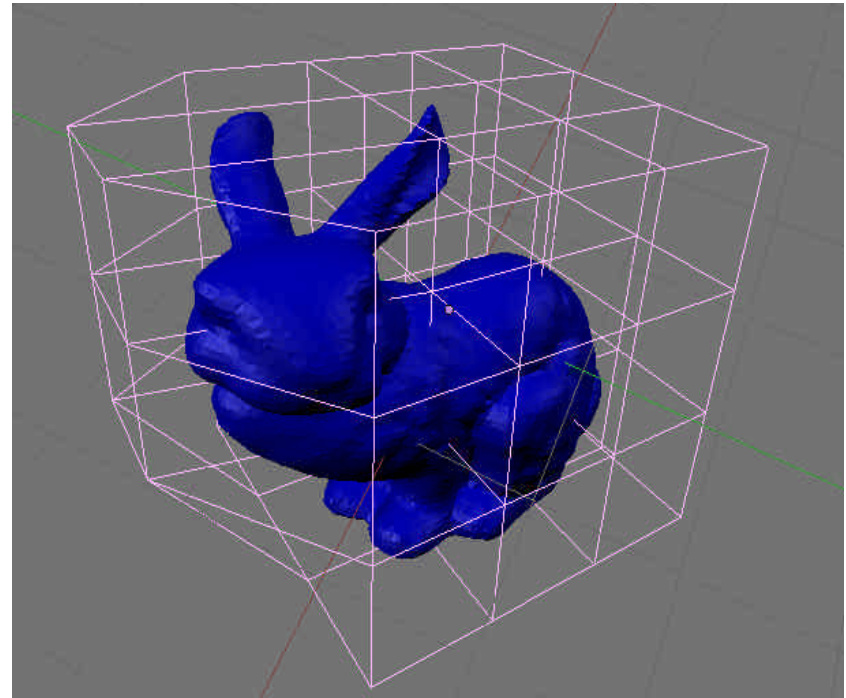


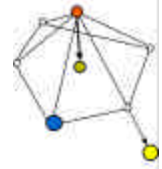
Lösungsansätze

- ***Free Form Deformation (FFD)***

[Sederbergh&Parry86]

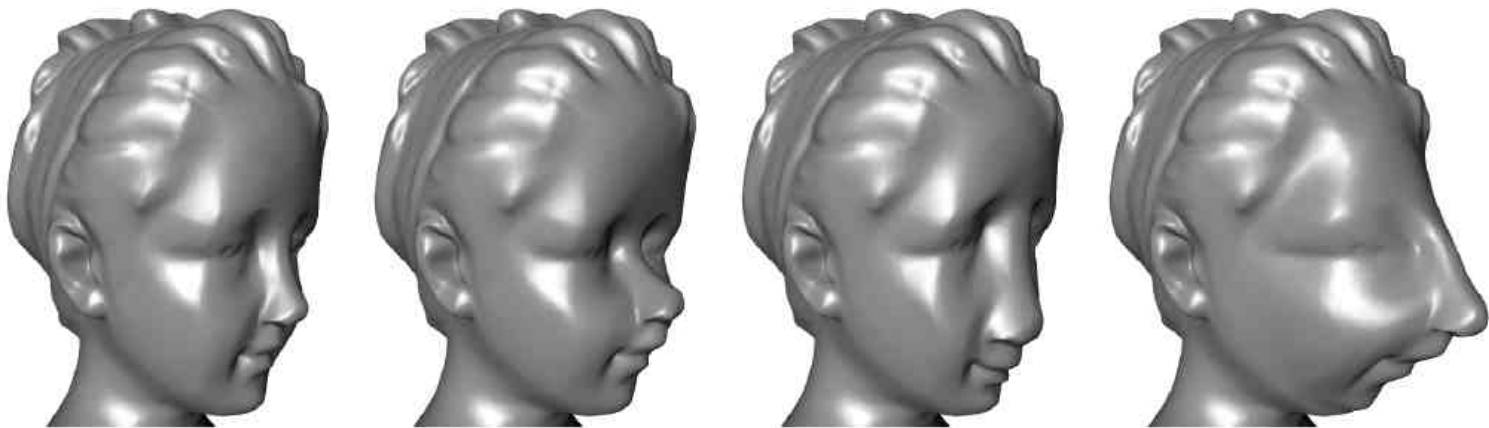
- Hilfsgitter
- Translation der Gitterpunkte
- Interpolation des Objektes



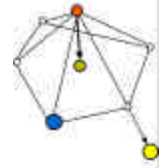


Lösungsansätze

- **Multiresolution editing** [Zorin, Eck, Kobbelt, ...]
 - Erweiterung von FFD
 - kein Gitter → Benutzer editiert Objekt direkt (oberflächenbasiert)
 - Modell wird intern als Signal interpretiert
 - Zerlegung mit Wavelets (Multiskalenanalyse)
 - Modifikation der Grundform → Detailerhaltung

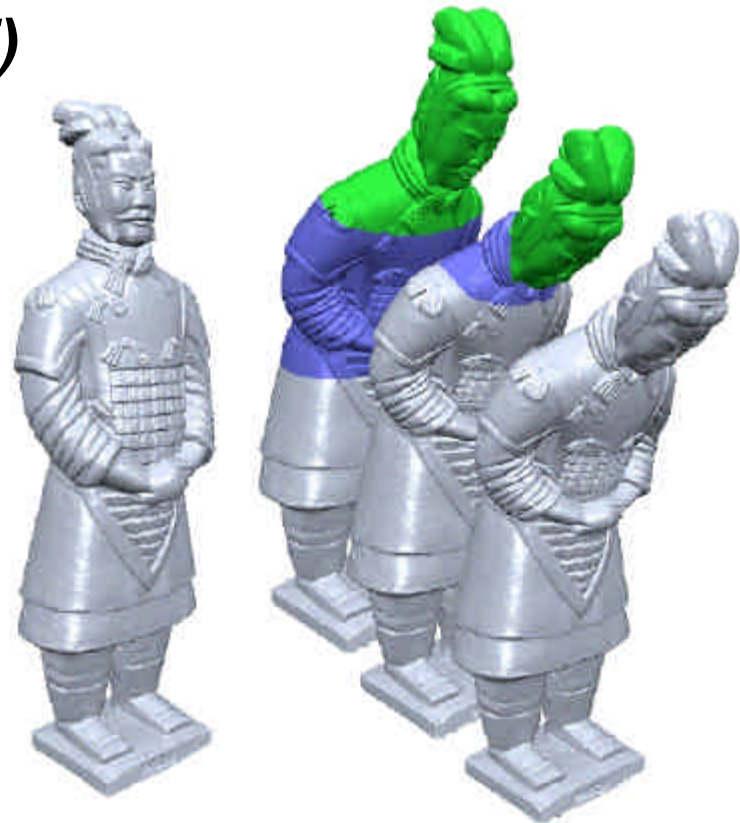


[Kobbelt98]

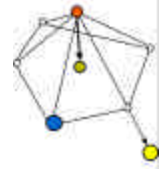


Lösungsansätze

- **Radial Basis Functions (RBF)**
[Botsch, Kobbelt]
 - Raumbasierte Deformation
 - Effektive Beschreibung der Deformation als Funktion ermöglicht Beschleunigung durch Berechnung auf der GPU
 - Radiale Basisfunktionen interpolieren auch stark gestreute Daten sehr weich
 - geeignet für eingescannte Modelle mit Löchern

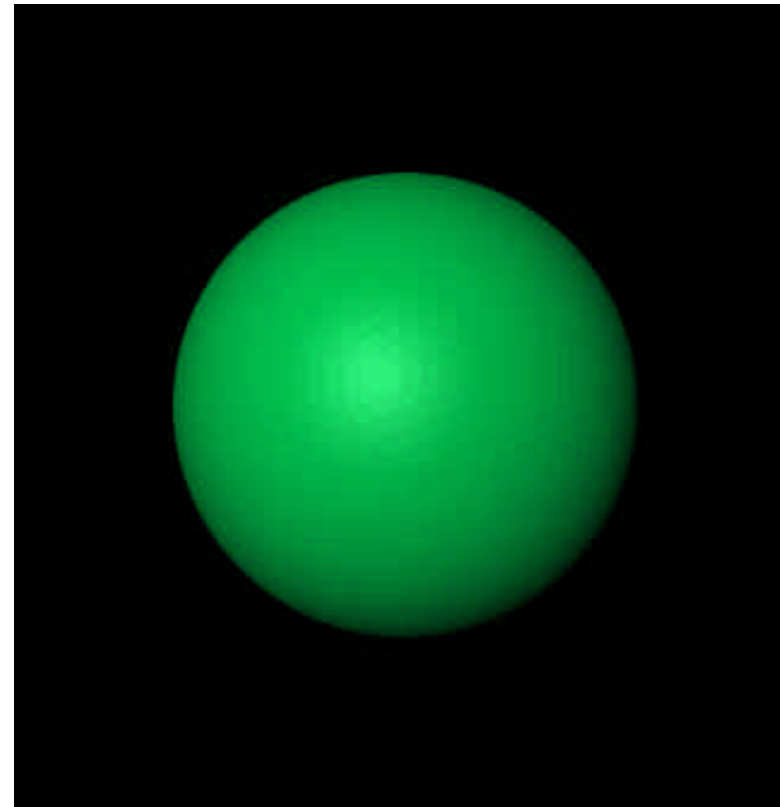


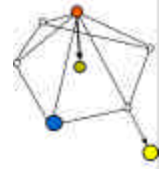
[Botsch05]



Laplacian Mesh Editing

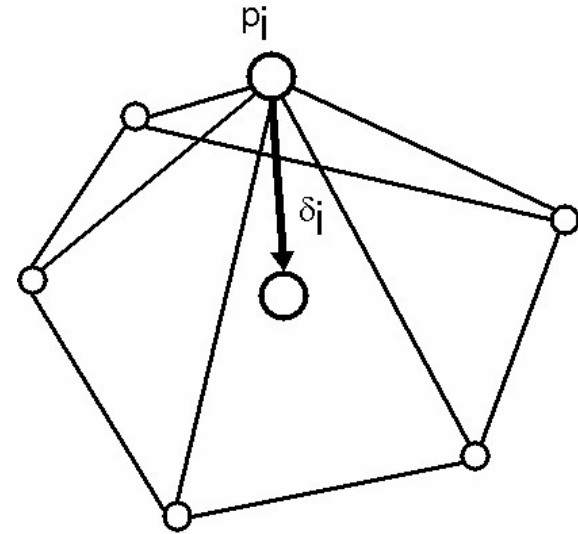
- Eigenschaften:
 - Schnell durch schwach besetzte Matrix
 - Detailerhaltend
 - Deformation ist einfach zu beeinflussen
 - Oberflächenbasiert
- Vorgang der Deformierung:
 - Benutzer selektiert einen Einflussbereich
 - Drag'n'Release
 - Umgebung wird interpoliert



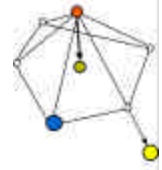


Laplacian Mesh Editing

- Grundidee:
 - Implizite Darstellung des Modells
 - Detailbeschreibung durch differentielle Koordinaten oder Detailvektoren
 - Jedem Knoten wird ein Detailvektor zugeordnet der sowohl Krümmung als auch Normale enthält
 - Diskretisierung des Laplace Operators
- **Rekonstruktion der absoluten Koordinaten aus den differentiellen Koordinaten**



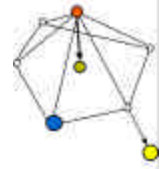
$$\delta_i = \vec{p}_i - \frac{1}{d} \sum_{j \in N(i)} \vec{p}_j$$



Laplacian Mesh Editing

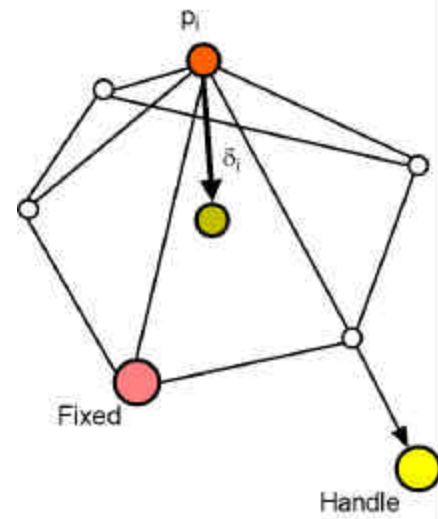
- Ablauf:
 - Nach der Selektion wird die **Laplace-Matrix L** konstruiert
 - Einflussbereich als Subnetz
 - $L = D - A$
 - D : Diagonalmatrix mit Valenzen
 - A : Adjazenzmatrix
 - Schwach besetzt und symmetrisch
 - Jeweils ein Gleichungssystem für x, y und z , Matrix L bleibt konstant
 - $\text{Rang}(L) = n - 1 \rightarrow L$ ist singulär

$$\begin{array}{ccc}
 \begin{array}{|c|} \hline L \\ \hline \end{array} & \begin{array}{|c|} \hline p_x \\ \hline \end{array} & = \begin{array}{|c|} \hline \delta_x \\ \hline \end{array} \\
 \\
 \begin{array}{|c|} \hline L \\ \hline \end{array} & \begin{array}{|c|} \hline p_y \\ \hline \end{array} & = \begin{array}{|c|} \hline \delta_y \\ \hline \end{array} \\
 \\
 \begin{array}{|c|} \hline L \\ \hline \end{array} & \begin{array}{|c|} \hline p_z \\ \hline \end{array} & = \begin{array}{|c|} \hline \delta_z \\ \hline \end{array}
 \end{array}$$

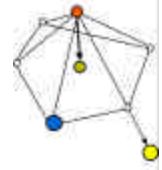


Laplacian Mesh Editing

- Laplace-Matrix wird erweitert
- Zeilen mit den festen (Fixed) und den neu platzierten (Handle) Knoten werden an die Matrix angehängt
- Die Zeilen enthalten eine 1 an der entsprechenden Stelle
- Auf der rechten Seite werden die absoluten Koordinaten angehängt



$$\begin{array}{|c|} \hline L \\ \hline 1 \\ \hline 1 \\ \hline \end{array} \begin{array}{|c|} \hline p_x \\ \hline \end{array} = \begin{array}{|c|} \hline \delta_x \\ \hline h_x \\ \hline f_x \\ \hline \end{array}$$



Laplacian Mesh Editing

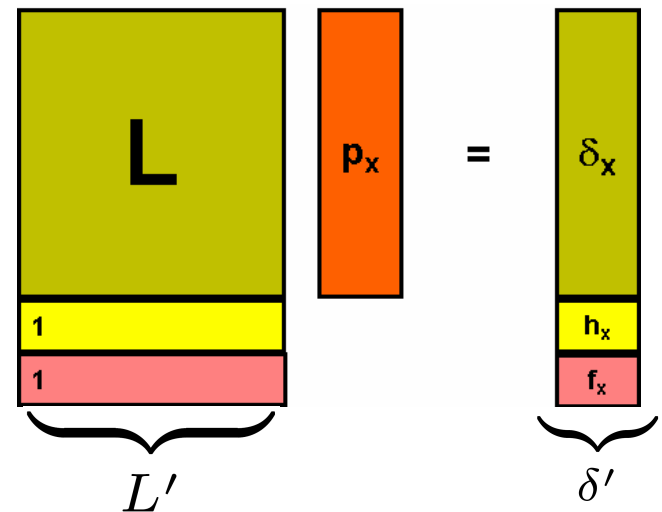
- Lösung des überbestimmten Gleichungssystems durch Minimierung der Fehlerquadrate

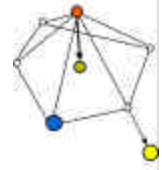
$$E(V) = \min_{\vec{p}} \left(\|L\vec{p} - \delta\|^2 + \sum_{i \in H} (p_i - h_i)^2 + \sum_{j \in F} (p_j - f_j)^2 \right)$$

- Durchführung mit Gauß-Transformation

$$L' \vec{p} = \delta'$$

$$L'^T L' \vec{p} = L'^T \delta'$$



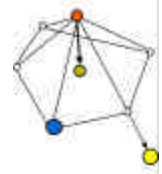


Laplacian Mesh Editing

$$L'^T L' \vec{p} = L'^T \delta'$$

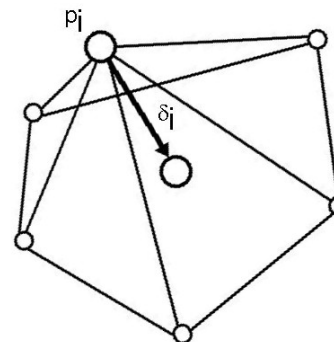
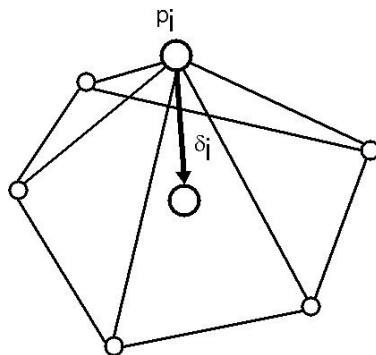
- Verwendung des Cholesky-Verfahrens:

- Substitution $L'^T L' := M$
- Zerlegung $M = R^T R$
- Vorwärtseinsetzen $R^T \xi = L'^T \delta'$
- Rückwärtseinsetzen $R \vec{p} = \xi$

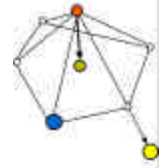


Laplacian Mesh Editing

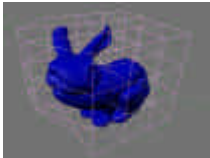
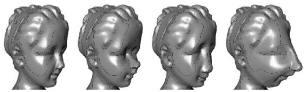

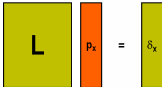
- Problem:
 - Differentielle Koordinaten sind **rotationsvariant**

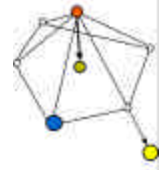


- *Kaum Rotation bei Hauptanwendung (leichtes Eindrücken)*
- *Interpolation der Rotation beim Verbiegen*



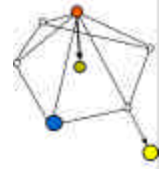
Überblick

Methode	Handhabung	Präzision	Daten	Natürlichkeit
FFD 	++	-	+	--
MultiRes 	+	+	-	+
RBF 	+	+	0	+
Laplacian 	+	+	+	++



Laplacian Mesh Editing

Wie kann die Deformation beeinflusst werden?



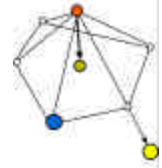
Gewichtung

Gewichtung der Kanten beim Berechnen der Detailvektoren (*differential coordinates weighting*)

$$\delta_i = \frac{1}{\sum w_{ij}} \sum_{j \in N(i)} w_{ij} (\vec{p}_i - \vec{p}_j)$$

Gewichtung der einzelnen Regionen innerhalb der Minimierungsfunktion (*vertex weighting*)

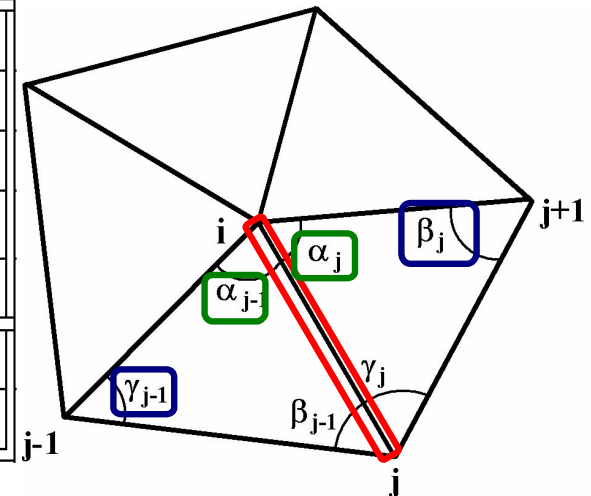
$$E(V) = \min_{\vec{p}} \left(\|L\vec{p} - \delta\|^2 + \sum_{i \in H} \underset{\uparrow}{w_h} (p_i - h_i)^2 + \sum_{j \in F} \underset{\uparrow}{w_f} (p_j - f_j)^2 \right)$$

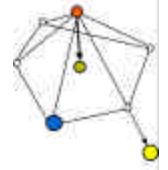


Gewichtung

- Übersicht der möglichen Gewichtungen:

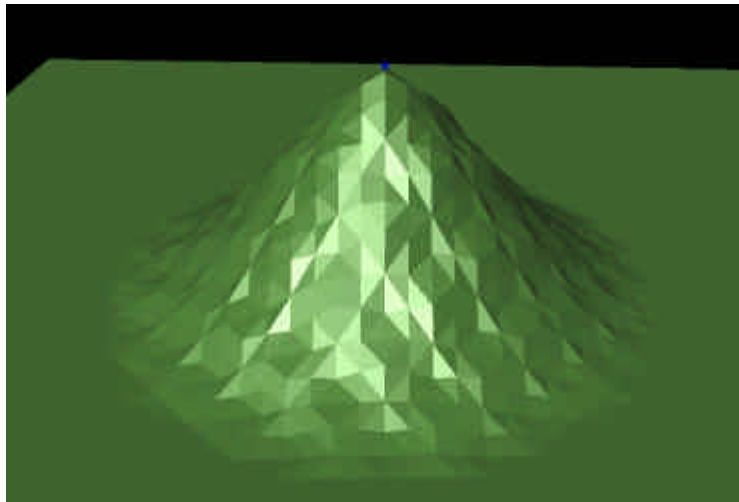
Name	Definition
Uniform or umbrella	$w_{UNI} = 1$
Scale-dependent umbrella	$w_{SDU} = 1/l(i, j)$
Edge length	$w_{LEN} = l(i, j)$
Tangent	$w_{TAN} = \frac{1}{l(i, j)} (\tan \frac{\alpha_j}{2} + \tan \frac{\alpha_{j-1}}{2})$
Cotangent	$w_{COT} = \cot \gamma_{j-1} + \cot \beta_j$
Handle vertices weights	$w_h \in [1, 20]$
Fixed vertices weights	$w_f \in [1, 20]$





Auswirkungen

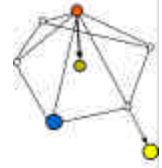
- Herausziehen eines Knotens aus einer Ebene
- Kantengewichte w_{ij} der Differentialkoordinaten:



Uniform

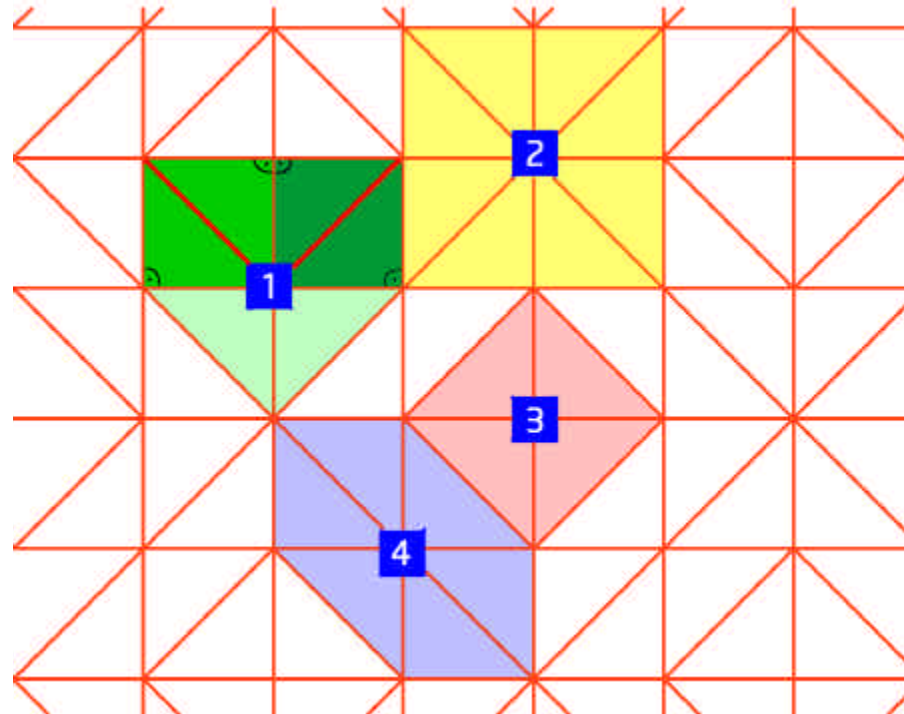


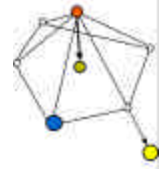
Cotangens



Auswirkungen

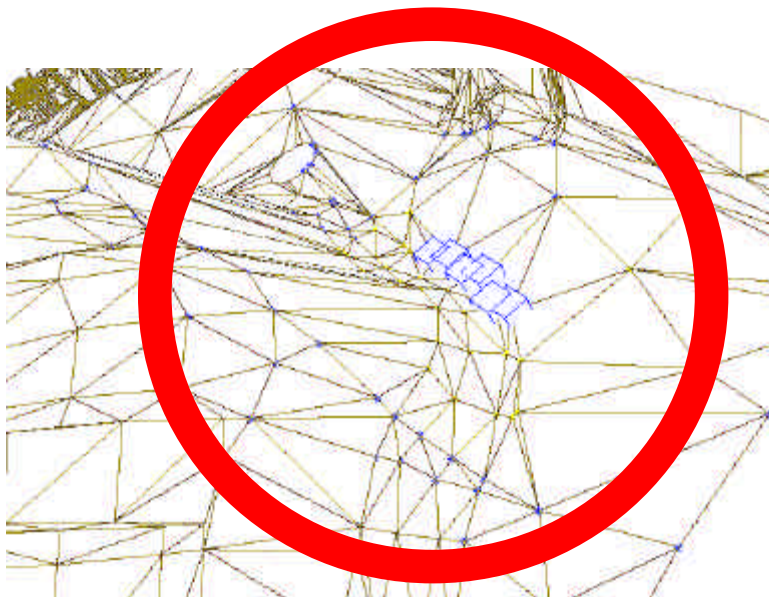
- Woher kommt dieser Effekt?
- Beispiel:
 - Detailvektor einer Ebene ist der Nullvektor
 - Was wird berechnet?



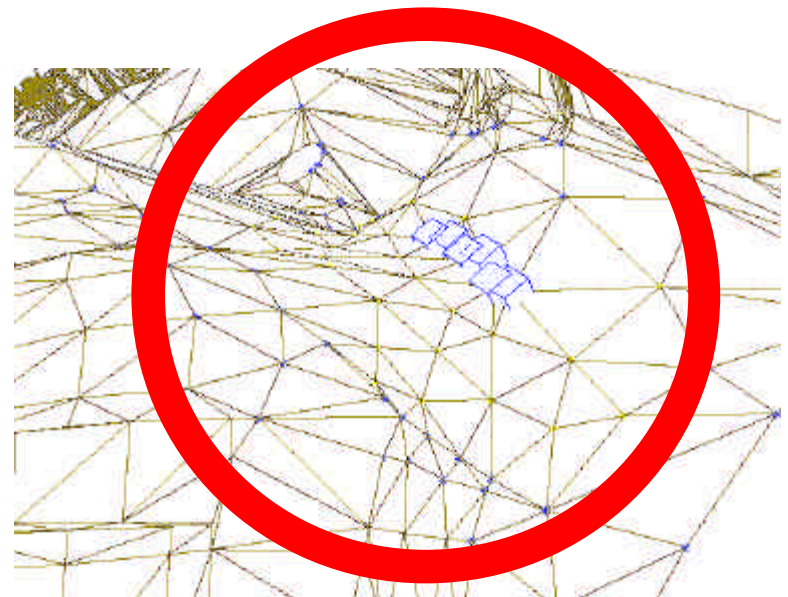


Auswirkungen

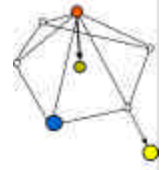
- Regularisierung des Netzes durch Cotangens



vorher

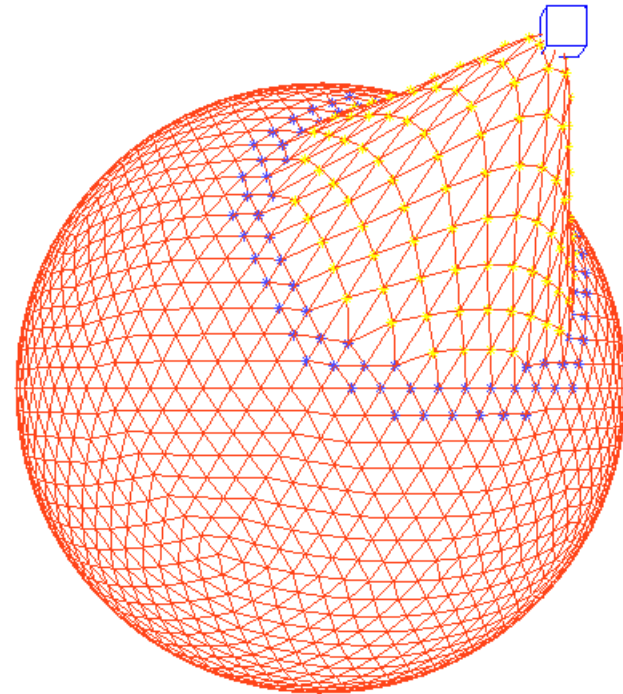
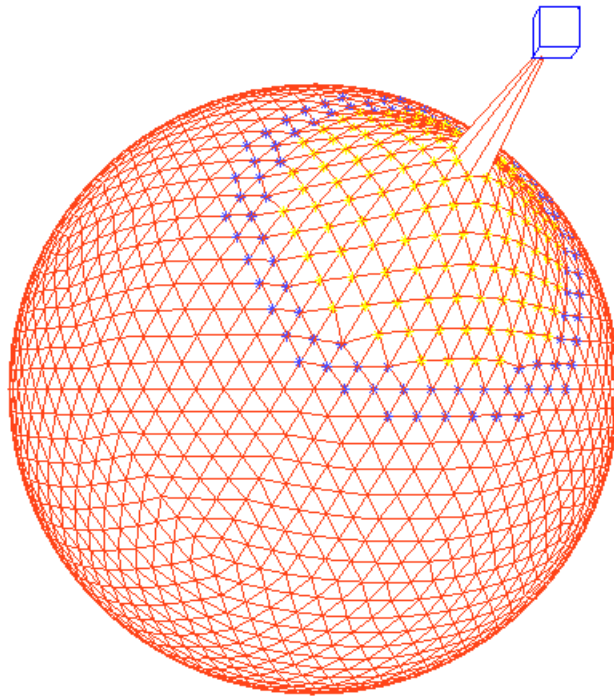


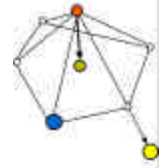
nachher



Auswirkungen

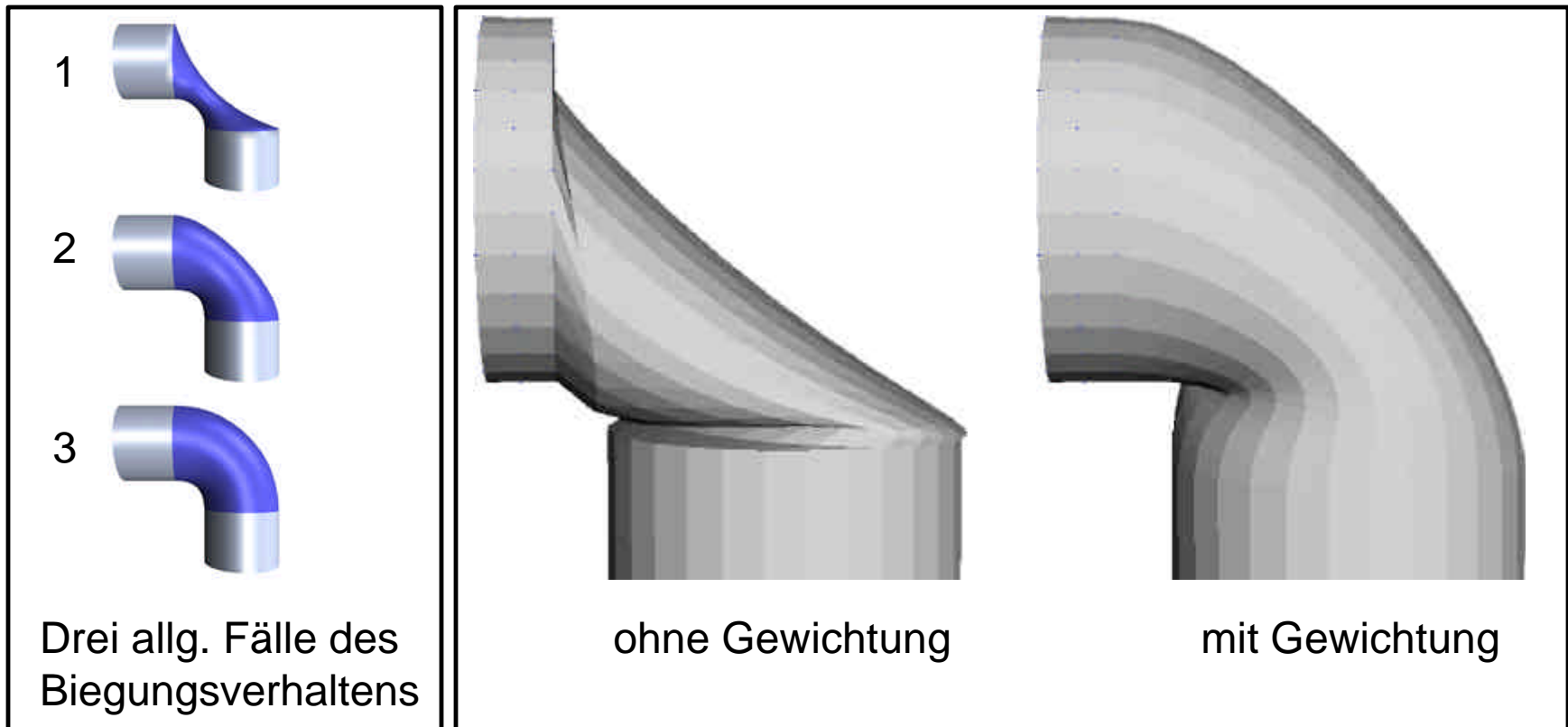
- Regionale Gewichtung wird mit Reglern gesteuert

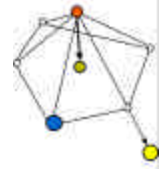




Auswirkungen

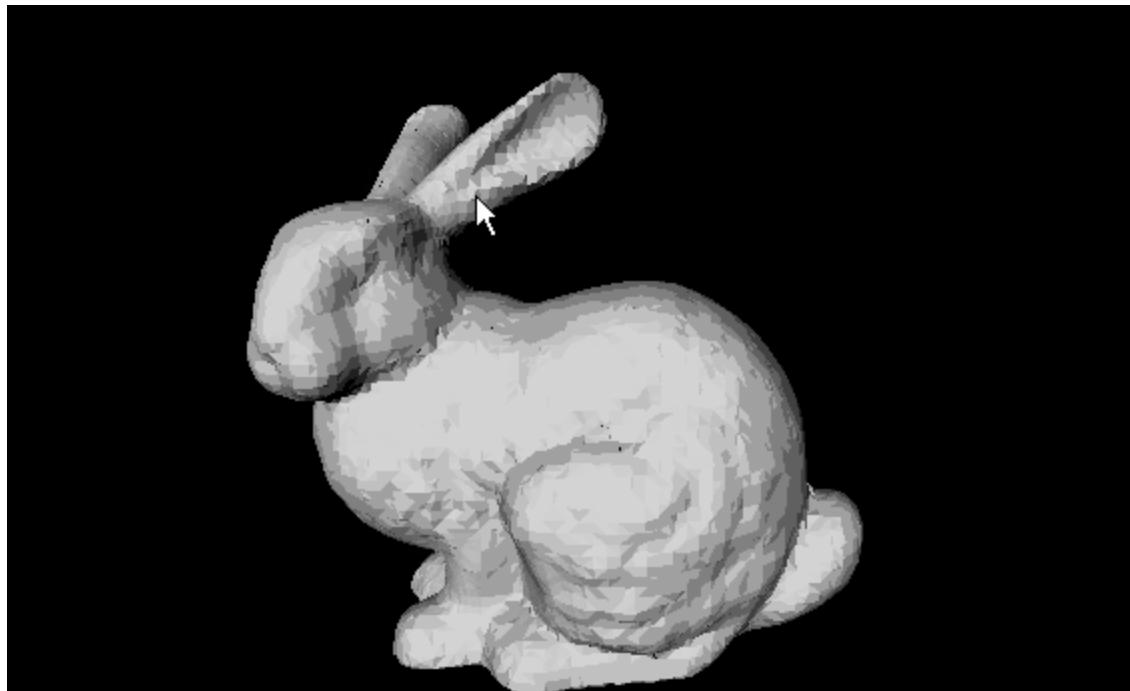
- Verbiegungen

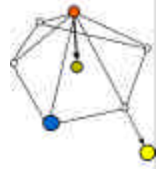




Automatische Gewichtung

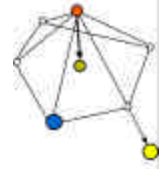
- Da meist ein weicher Übergang erwünscht ist, kann die Gewichtung der Regionen automatisch gesetzt werden





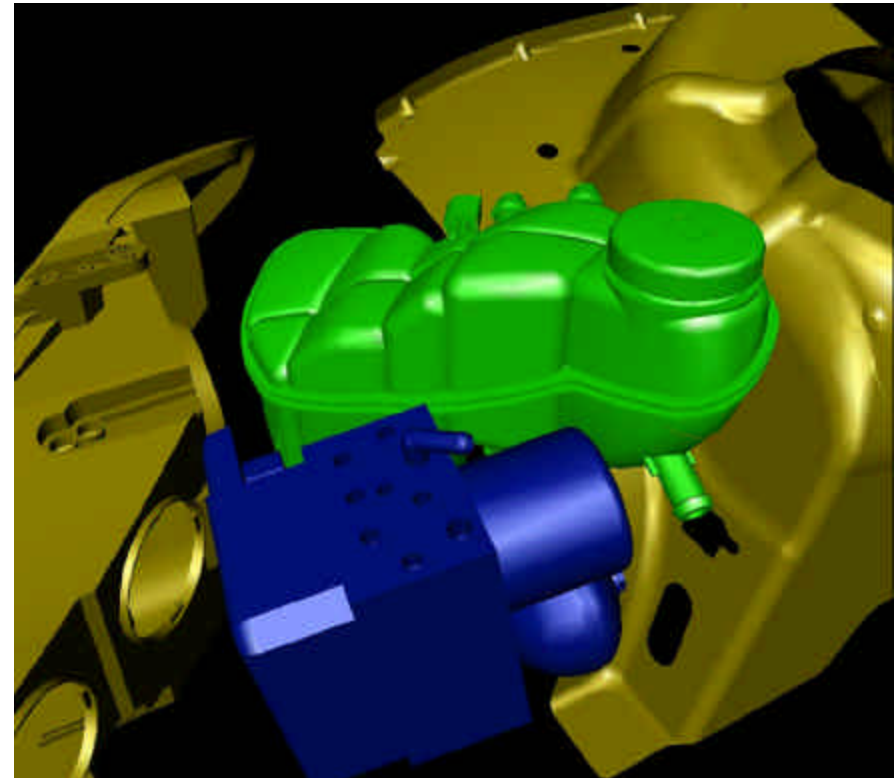
Zusammenfassung

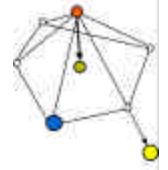
- Laplacian Mesh Editing wurde mit Hilfe von Gewichtungen an die Anwendung angepasst:
 - Einfach zu bedienen
 - Kleine Deformationen können schnell erledigt werden
 - kurze Einarbeitungsphase
 - CAD Umweg wird vermieden
- Einfluss der Gewichte ist begrenzt



Ausblick

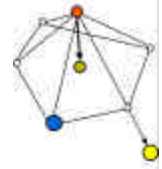
- Beschleunigung des Systems
- Kombination mit Kollisionserkennung
 - realistische Verformung direkt durch Kollision
 - Visualisierung der Kontaktflächen
 - Beschränkung der möglichen Deformation in Abhängigkeit des Materials
 - Vorgegebene Gewichtungen bestimmten Materialien zuordnen





Ende

- Danke für die Aufmerksamkeit
- Fragen?



Quellen der Bilder

- [Kobbelt98]:
 - Leif Kobbelt, Swen Campagna, Jens Vorsatz, and Hans-Peter Seidel. Interactive multi-resolution modeling on arbitrary meshes. In SIGGRAPH '98: Proceedings of the 25th annual conference on Computer graphics and interactive techniques, pages 105–114, New York, NY, USA, 1998. ACM Press.
- [Botsch05]:
 - Mario Botsch and Leif Kobbelt. Real-Time Shape Editing using Radial Basis Functions. In Computer Graphics Forum, volume 24 of Eurographics 2005 proceedings, pages pp. 611 – 621, 2005.
- [Nealen05]
 - Andrew Nealen, Olga Sorkine, Marc Alexa, and Daniel Cohen-Or. A sketchbased interface for detail-preserving mesh editing. ACM Trans. Graph., 24(3):1142–1147, 2005.