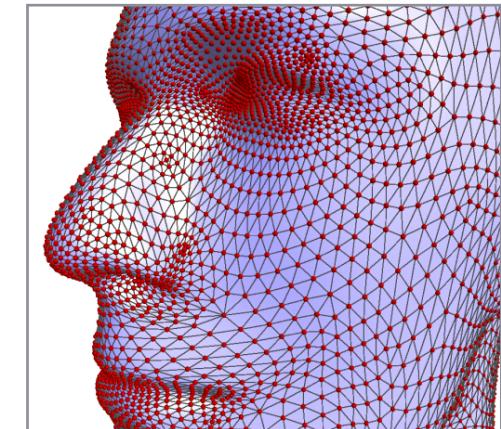


2. Geometrische Modellierung

2.4 Modellierung mit Dreiecksnetzen



- Dreiecke sind die bedeutendsten Rendering-Primitive in graphischen Systemen
- Traditionelle Ansätze verwenden Flächen- oder Volumenmodelle und wandeln die Modelle zum Rendern in Dreiecke um
- Moderne Ansätze: direkte Modellierung auf den Dreiecken
- Dieses Kapitel wurde teilweise entnommen aus
M. Botsch, M. Pauly, Ch. Rössl, S. Bischoff, L. Kobelt: Geometric Modeling Based on Triangle Meshes. Course notes Siggraph 2006.



2. Geometrische Modellierung

2.4 Modellierung mit Dreiecksnetzen

**2.4.1 Speicherung von
Dreiecksnetzen**



Mesh Datenstrukturen

- Wie Geometrie und Konnektivität speichern?
- Kompakte Speicherung
 - Dateiformate

Effiziente Algorithmen für Netze

- zeitkritische Operationen identifizieren
- Alle Ecken/Kanten einer Fläche
- Alle eingehenden Ecken/Kanten/Flächen eines Eckpunktes

2. Geometrische Modellierung

2.4 Modellierung mit Dreiecksnetzen



- **Typisches Datenformat polygonaler Netze**
- Beispiel für Netzformat (Tetraeder):

4 // Anzahl von Eckpunkten

// Liste von Eckpunkten (x, y, z):

1.0 0.0 0.0 (v1)

0.0 1.0 0.0 (v2)

0.0 0.0 1.0 (v3)

0.0 0.0 0.0 (v4)

4 // Anzahl von Dreiecken

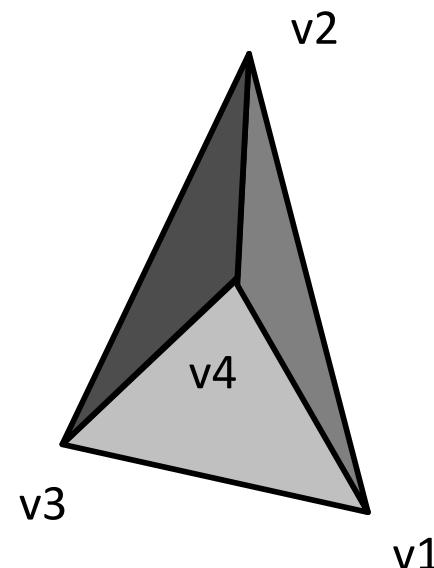
// Liste bezogen auf Eckpunkte

3 2 4 3 = { v2, v4, v3}

3 4 2 1

3 3 1 2

3 1 3 4



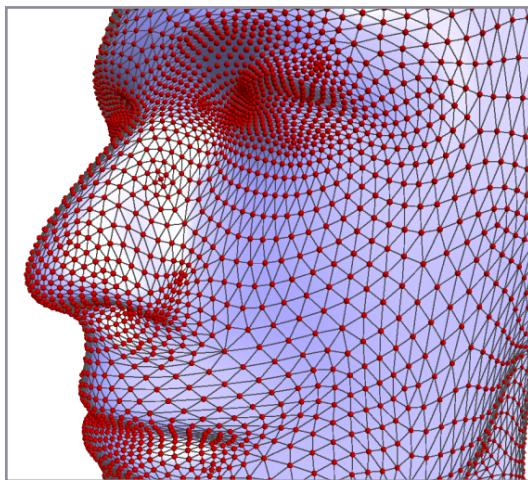
2. Geometrische Modellierung

2.4 Modellierung mit Dreiecksnetzen

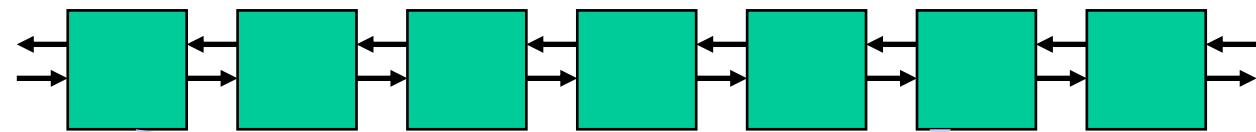


- Einfachste Netzdatenstruktur

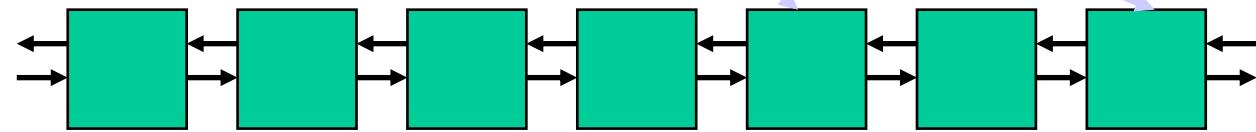
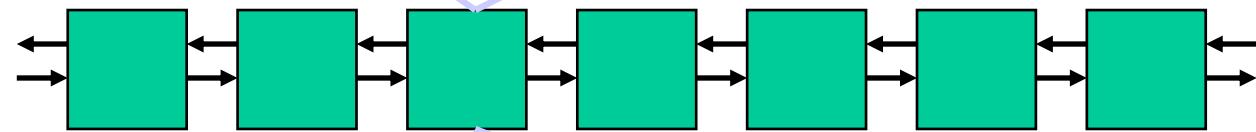
Dreiecksnetz



Verknüpfte Liste von Eckpunkten



Verknüpfte Liste von Kanten



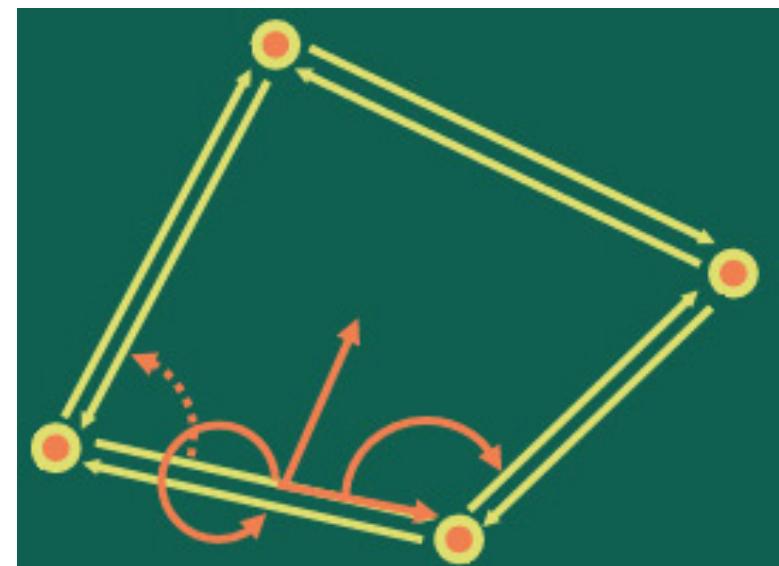
Verknüpfte Liste von Flächen (Dreiecken)



- **Half-edge-Datenstruktur**
- Topologie in Half-edge- (gerichtete Kante)

Datenstruktur gespeichert

- ein Eckpunkt
- eine Fläche
- nächste Half-edge
- gegenüberliegende Half-edge
- (optional) vorherige Half-edge



<http://www.openmesh.org/>

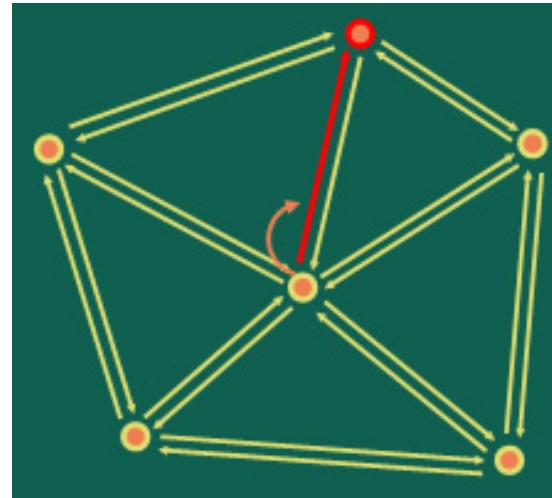
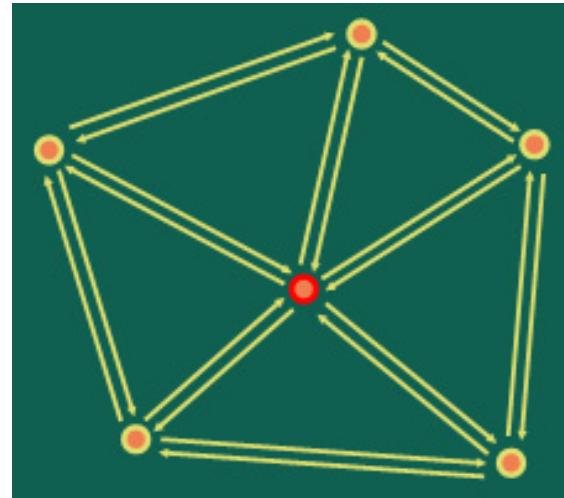
2. Geometrische Modellierung

2.4 Modellierung mit Dreiecksnetzen



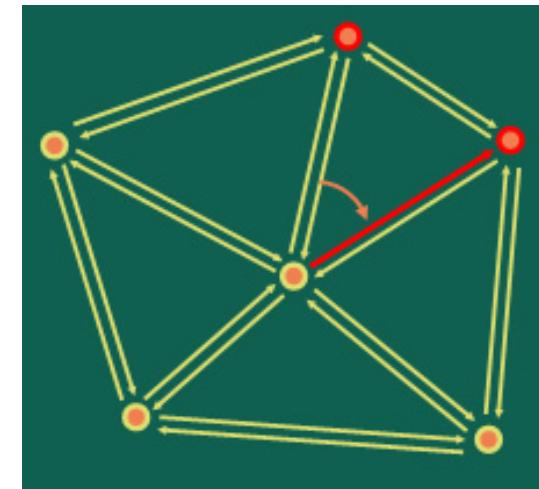
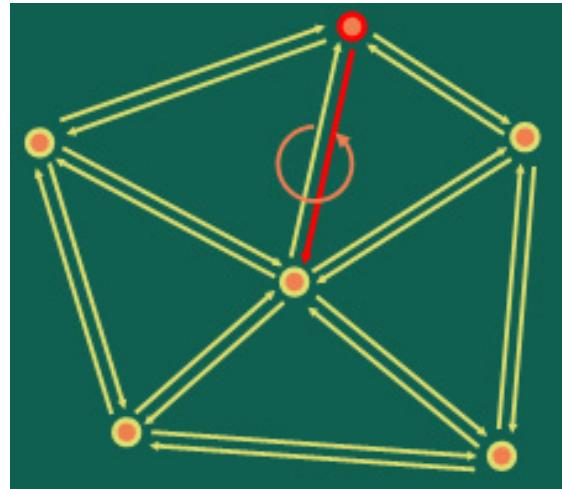
- **Beispiel: Iteration um einen 1-ring**

Beginne
bei einem
Eckpunkt



Finde
abgehende
Half-edge

zur
gegenüber-
liegenden
Half-edge
wechseln



Die nächsten
Half-edge-
Punkte zum
benachbarten
Eckpunkt

2. Geometrische Modellierung

2.4 Modellierung mit Dreiecksnetzen

2.4.2 Qualitätskriterien von Netzen

2. Geometrische Modellierung

2.4 Modellierung mit Dreiecksnetzen



-
- Was ist ein gutes Netz?



Mesh – Qualitätskriterien

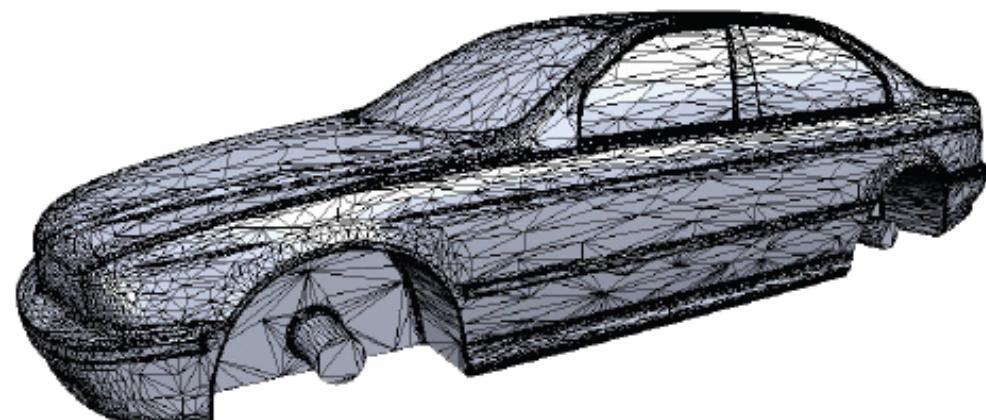
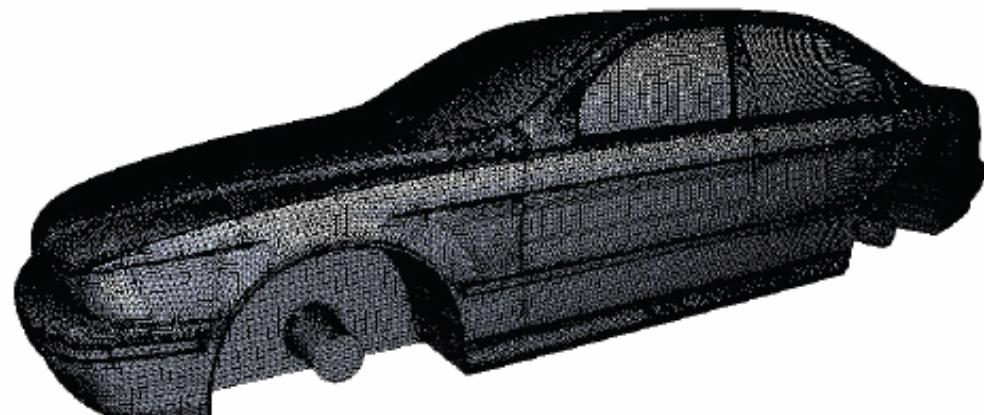
- Glattheit
 - geringe geometrische Störung





Mesh – Qualitätskriterien

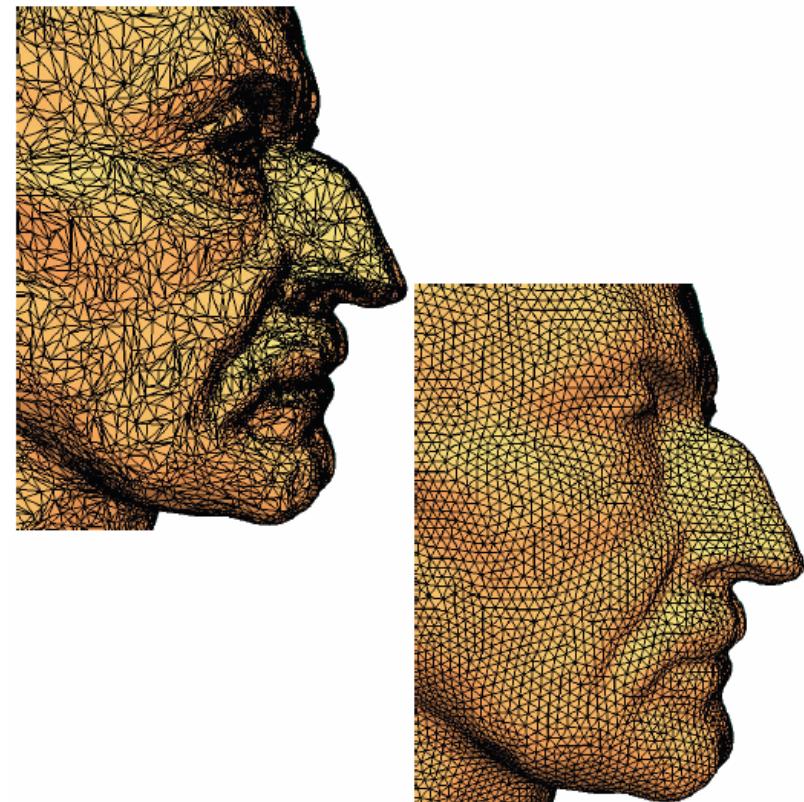
- Glattheit
 - geringe geometrische Störung
- Anpassungsfähige Tessellation
 - geringe Komplexität





Mesh – Qualitätskriterien

- Glattheit
 - geringe geometrische Störung
- Anpassungsfähige Tessellation
 - geringe Komplexität
- Dreiecksform
 - numerische Robustheit

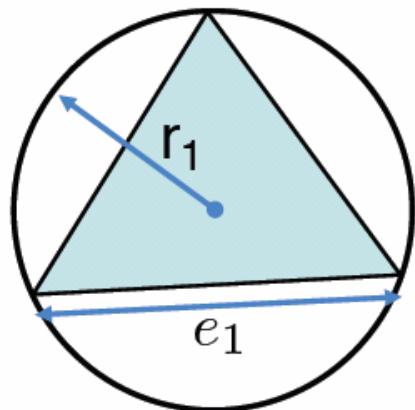


2. Geometrische Modellierung

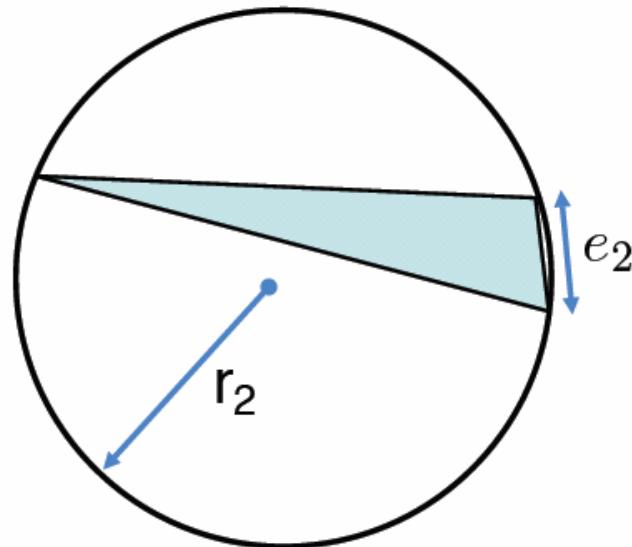
2.4 Modellierung mit Dreiecksnetzen



- Umradius/kürzeste Ecke



$$\frac{r_1}{e_1} < \frac{r_2}{e_2}$$



- Needles and caps



Needles



caps



Mesh – Qualitätskriterien

- Glattheit
 - geringe geometrische Störung
- Anpassungsfähige Tessellation
 - geringe Komplexität
- Dreiecksform
 - numerische Robustheit
- Feature-erhaltung
 - geringes Rauschen auf Oberflächenormalen



2. Geometrische Modellierung

2.4 Modellierung mit Dreiecksnetzen

2.4.3 Netzglättung



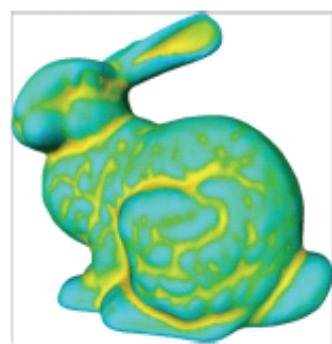
- Rauschen entfernen - einfachster (und weit verbreitetster) Ansatz:
 - Laplace-Glättung verschiebt wiederholt die Eckpunkte zum Durchschnitt ihrer Nachbarn
 - Problem: Schrumpfen



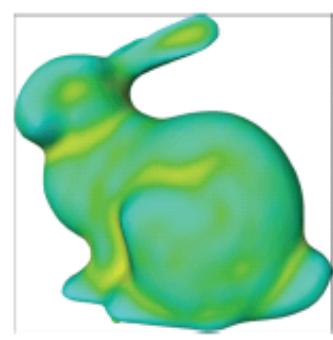
Laplacian Smoothing



0 Iterations



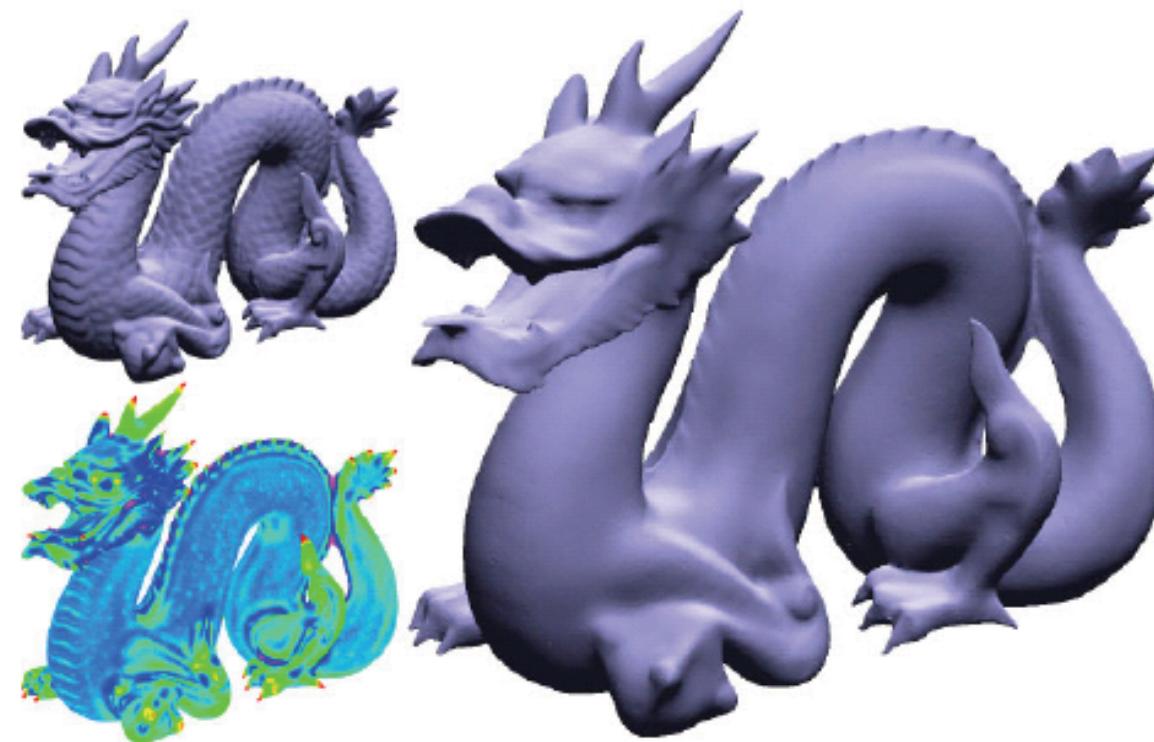
5 Iterations



20 Iterations

2. Geometrische Modellierung

2.4 Modellierung mit Dreiecksnetzen



Jones, Durand, Desbrun: *Non-iterative feature preserving mesh smoothing*, SIGGRAPH 2003



2. Geometrische Modellierung

2.4 Modellierung mit Dreiecksnetzen

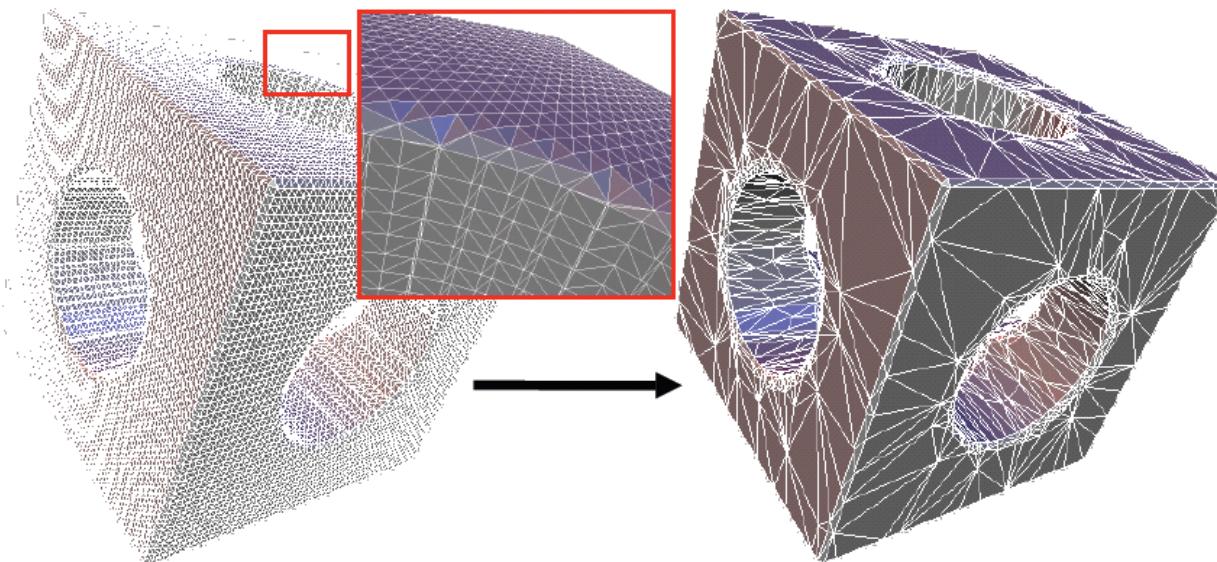
2.4.4 Netzreduktion

2. Geometrische Modellierung

2.4 Modellierung mit Dreiecksnetzen



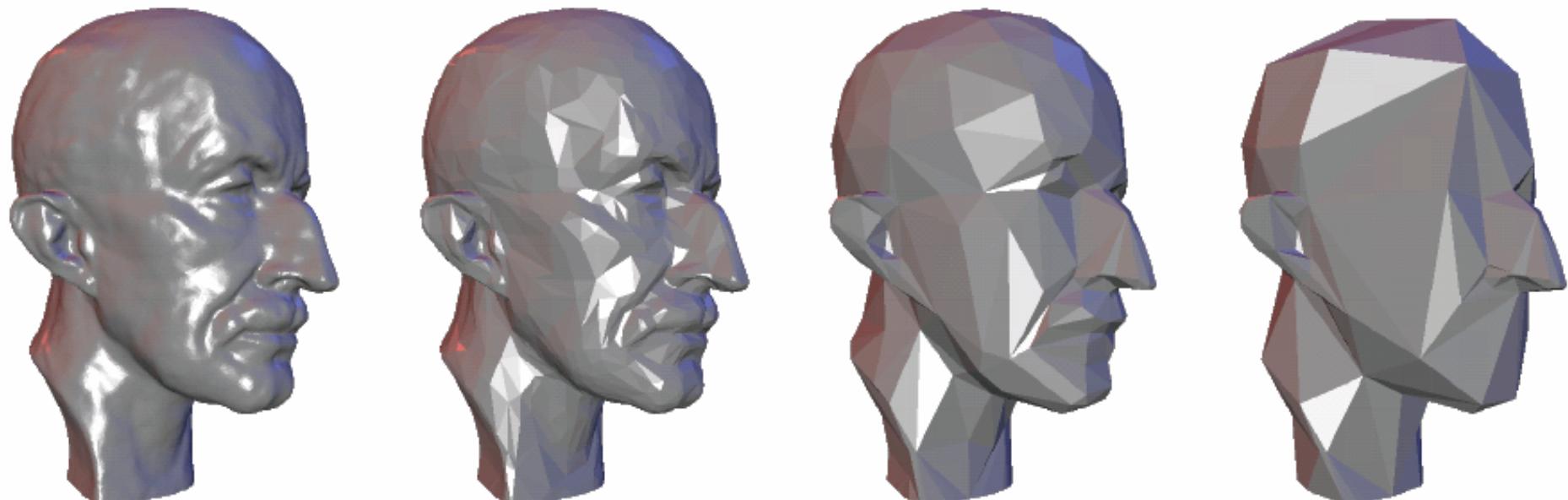
- Anzahl der Dreiecke reduzieren, während wichtige Eigenschaften des Netzes beibehalten werden





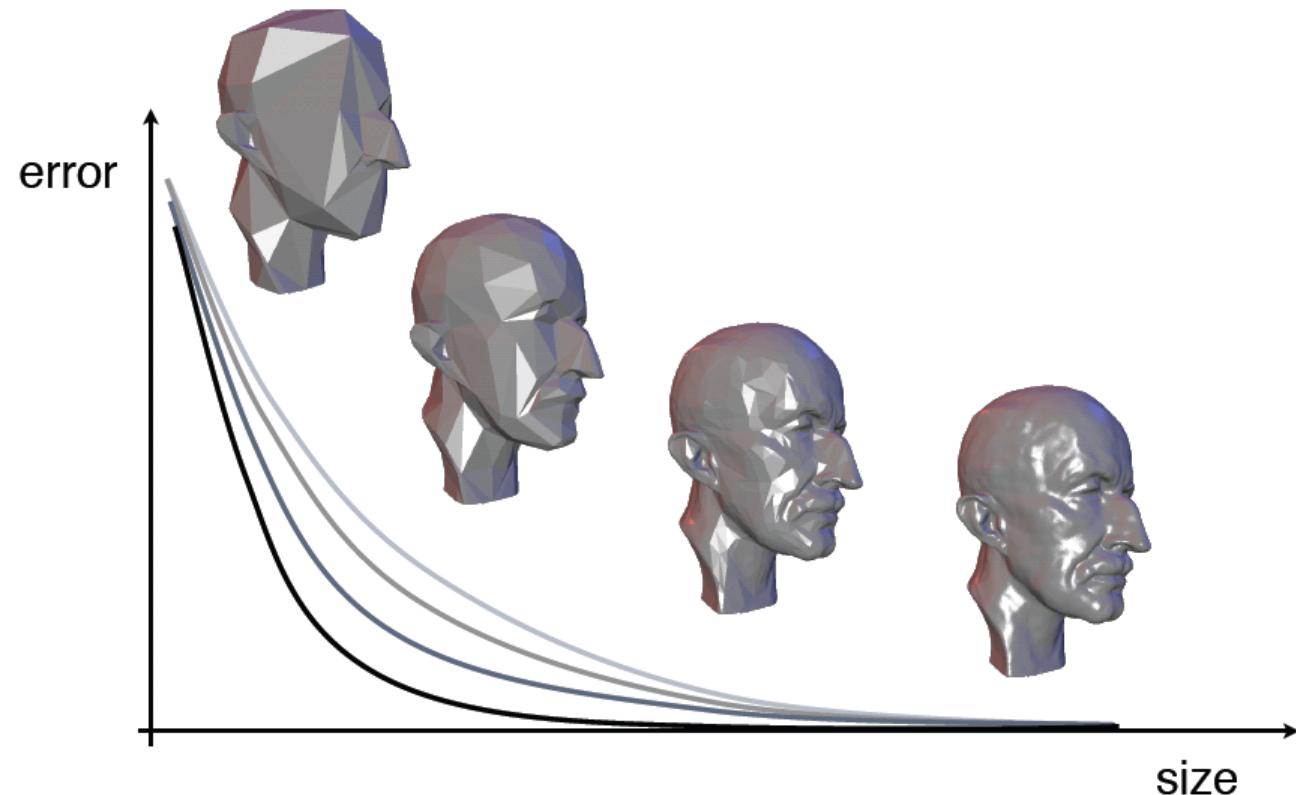
Anwendungen

- Multiskalenhierarchien für
 - effiziente Geometrieverarbeitung
 - Detailstufen-Rendering (LOD)



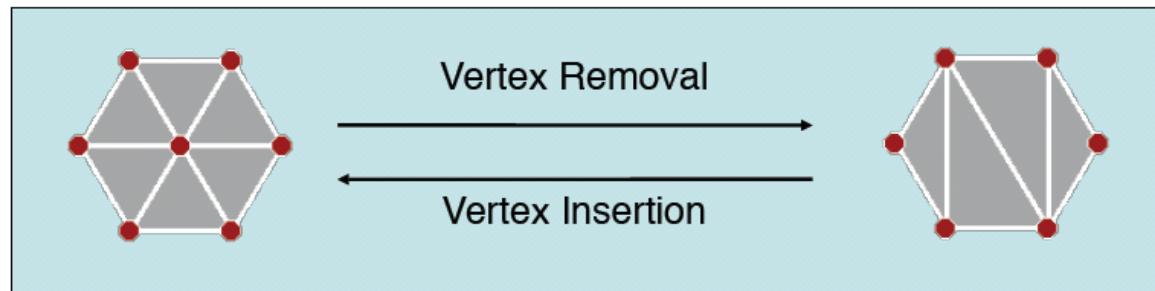


Size-Quality Tradeoff





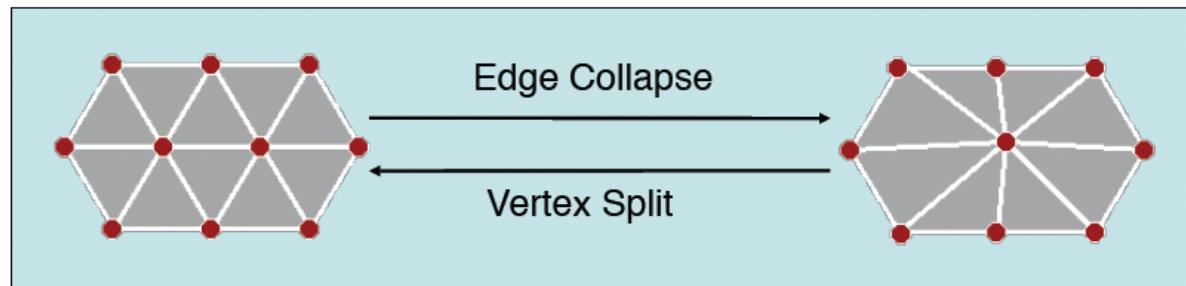
Decimation Operators



- Remove vertex
- Re-triangulate hole
 - Combinatorial DOFs
 - Sub-sampling



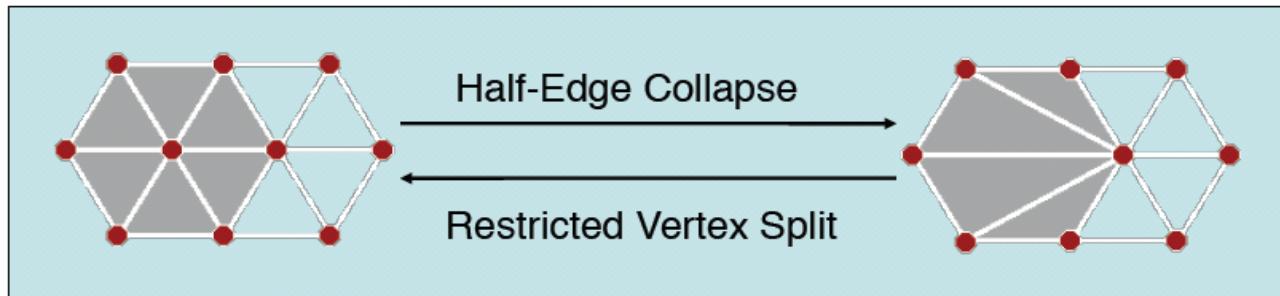
Decimation Operators



- Merge two adjacent triangles
- Define new vertex position
 - Continuous DOF
 - Filtering



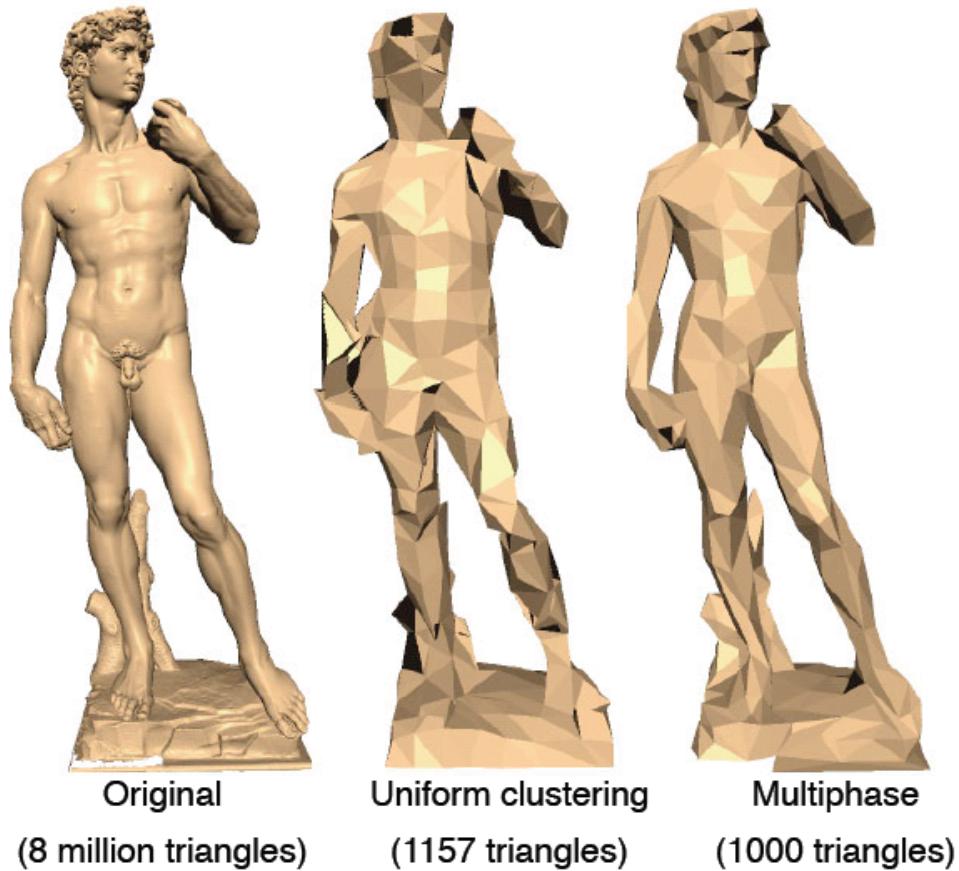
Decimation Operators



- Collapse edge into one end point
 - Special vertex removal
 - Special edge collapse
- No DOFs
 - One operator per half-edge
 - Sub-sampling!

2. Geometrische Modellierung

2.4 Modellierung mit Dreiecksnetzen



Garland, Shaffer: *A Multiphase Approach to Efficient Surface Simplification*, IEEE Visualization 2002



2. Geometrische Modellierung

2.4 Modellierung mit Dreiecksnetzen

2.4.5 Remeshing

2. Geometrische Modellierung

2.4 Modellierung mit Dreiecksnetzen

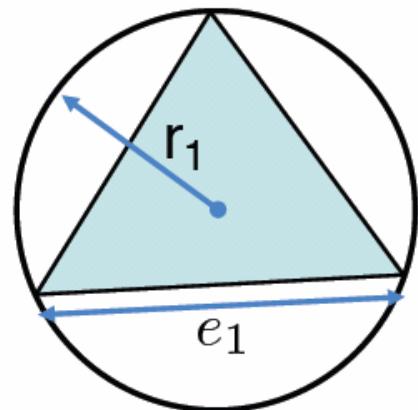


2. Geometrische Modellierung

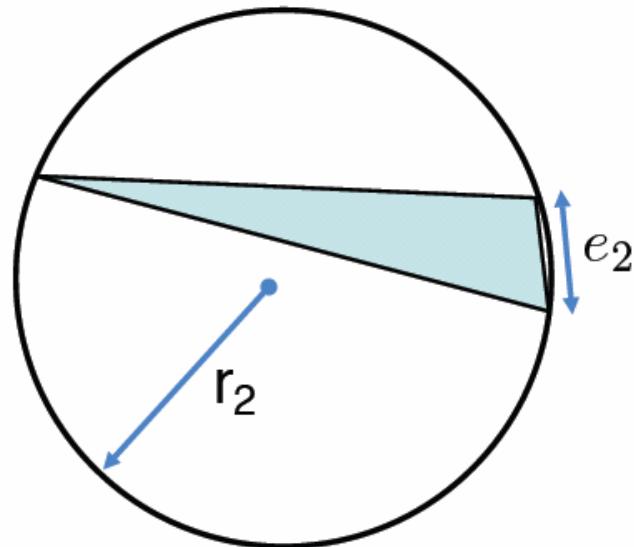
2.4 Modellierung mit Dreiecksnetzen



Umradius/kürzeste Ecke



$$\frac{r_1}{e_1} < \frac{r_2}{e_2}$$



- Needles and caps



needles



caps

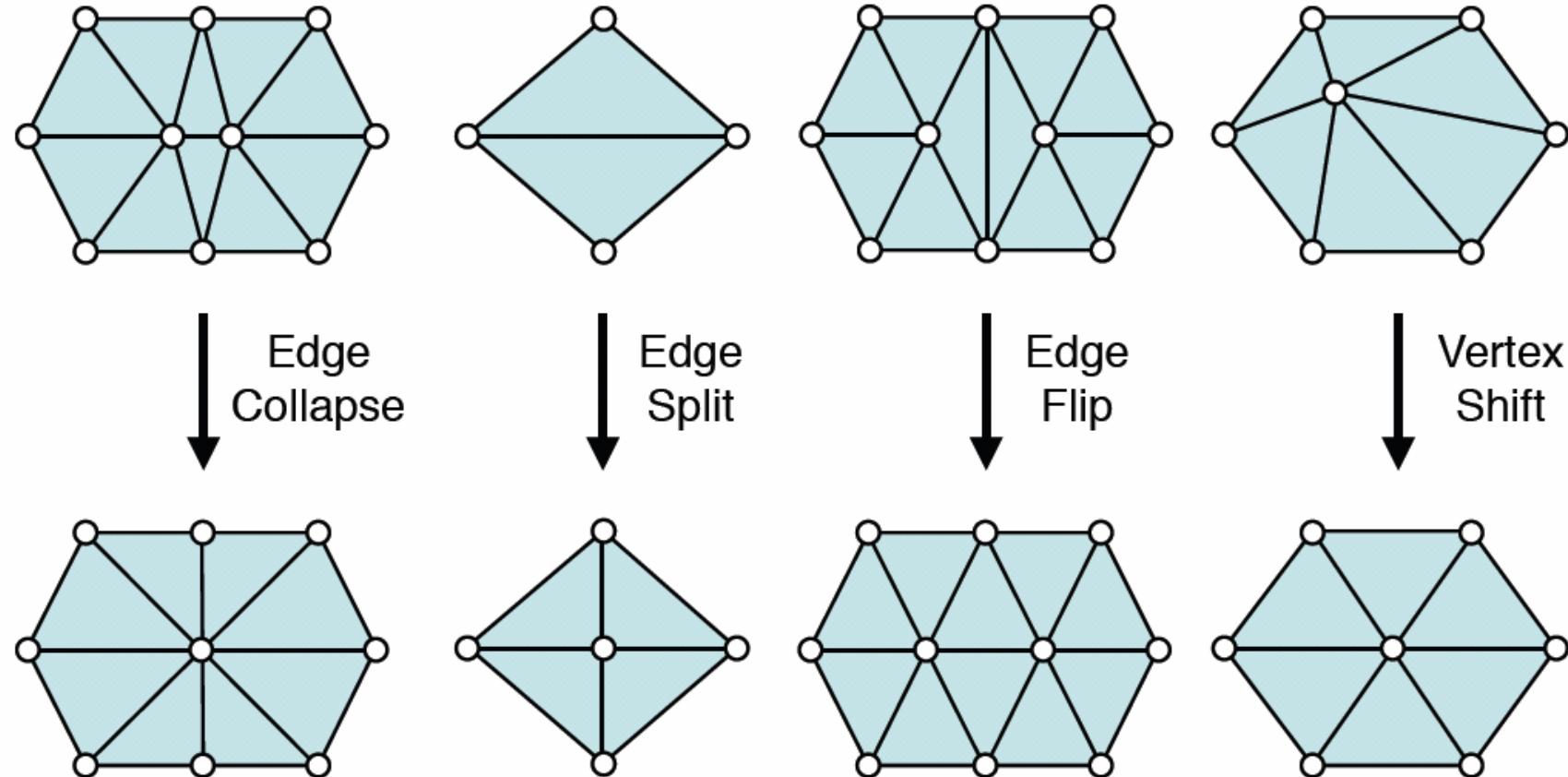


Iterative Mesh Optimization

- isotropic remeshing prefers ...
 - equal edge length
 - remove too short edges edge collapses
 - remove too long edges 2-4 edge split
 - regular valences
 - valence balance edge flip
 - uniform vertex distribution
 - tangential smoothing Laplace operator



Lokale Remeshing Operatoren





Isotropic Remeshing

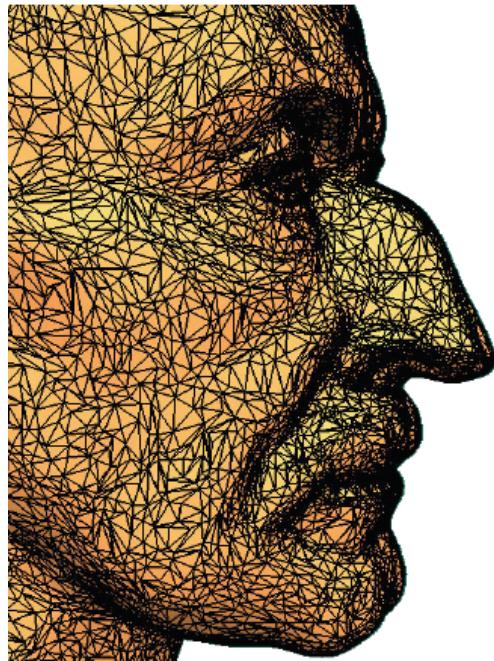
Specify target edge length L

Iterate:

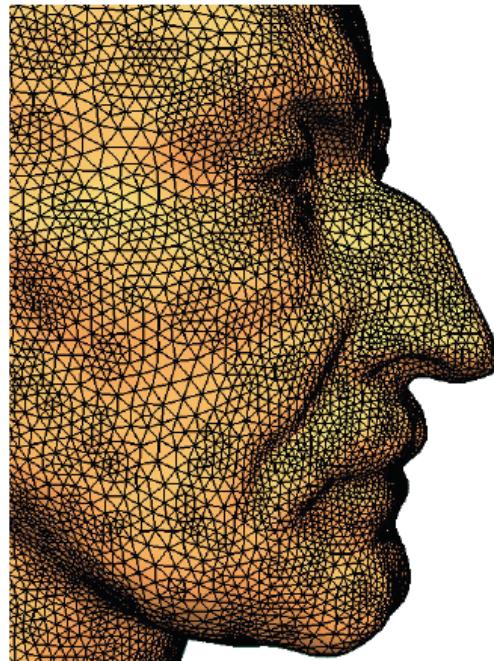
1. Split edges longer than L_{\max}
2. Collapse edges shorter than L_{\min}
3. Flip edges to get closer to valence 6
4. Vertex shift by tangential relaxation
5. Project vertices onto reference mesh



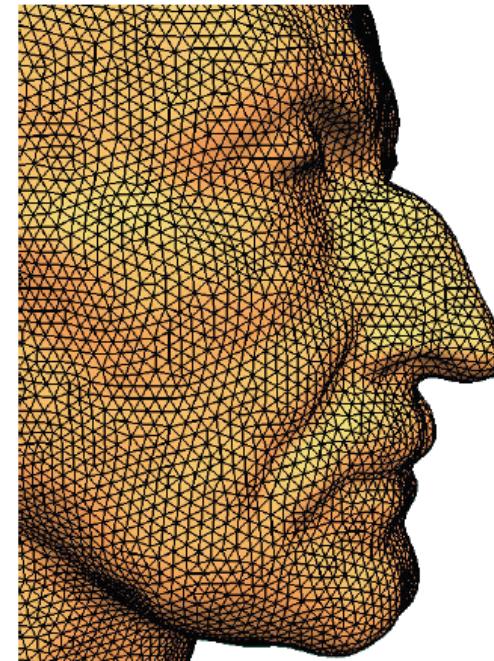
Thresholds L_{\min} and L_{\max}



Original



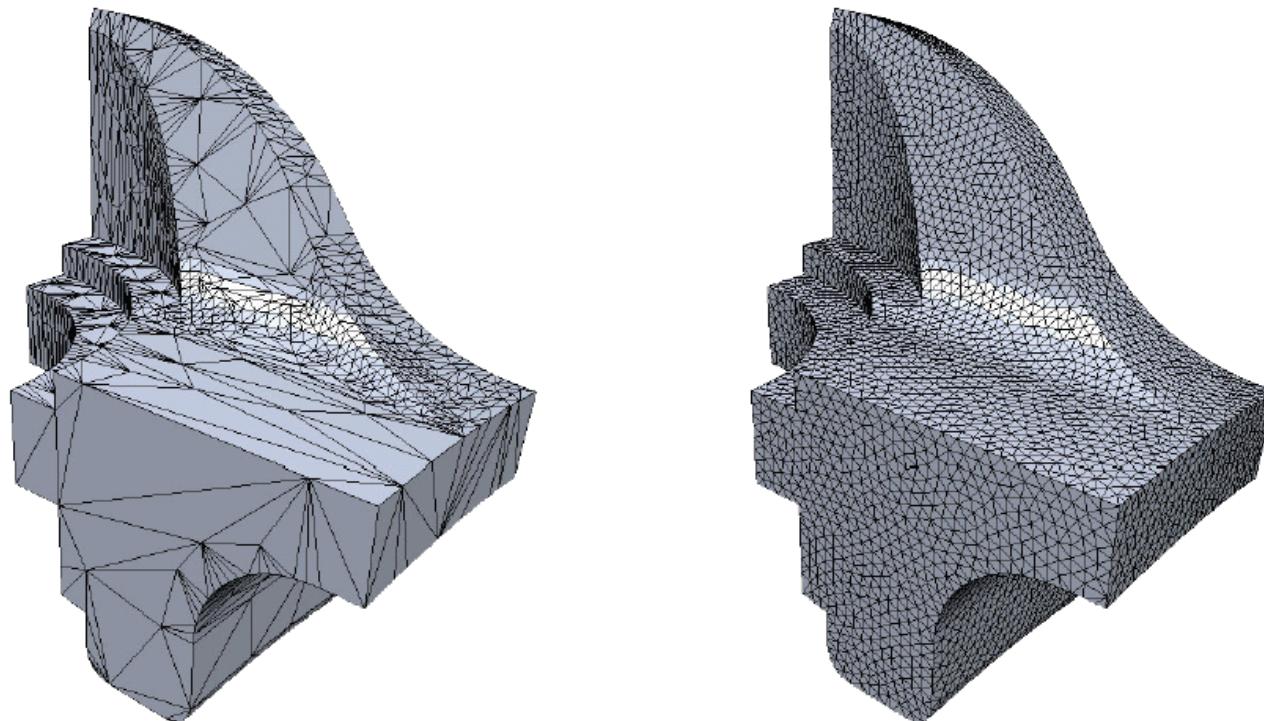
$(\frac{1}{2}, 2)$



$(\frac{4}{5}, \frac{4}{3})$



Feature Preservation





2. Geometrische Modellierung

2.4 Modellierung mit Dreiecksnetzen

2.4.6 Mesh Editing



- direkte Manipulation des Netzes
- übliche Formulierung: (linear oder nichtlinear)

Optimierungsproblem mit Randbedingungen

2. Geometrische Modellierung

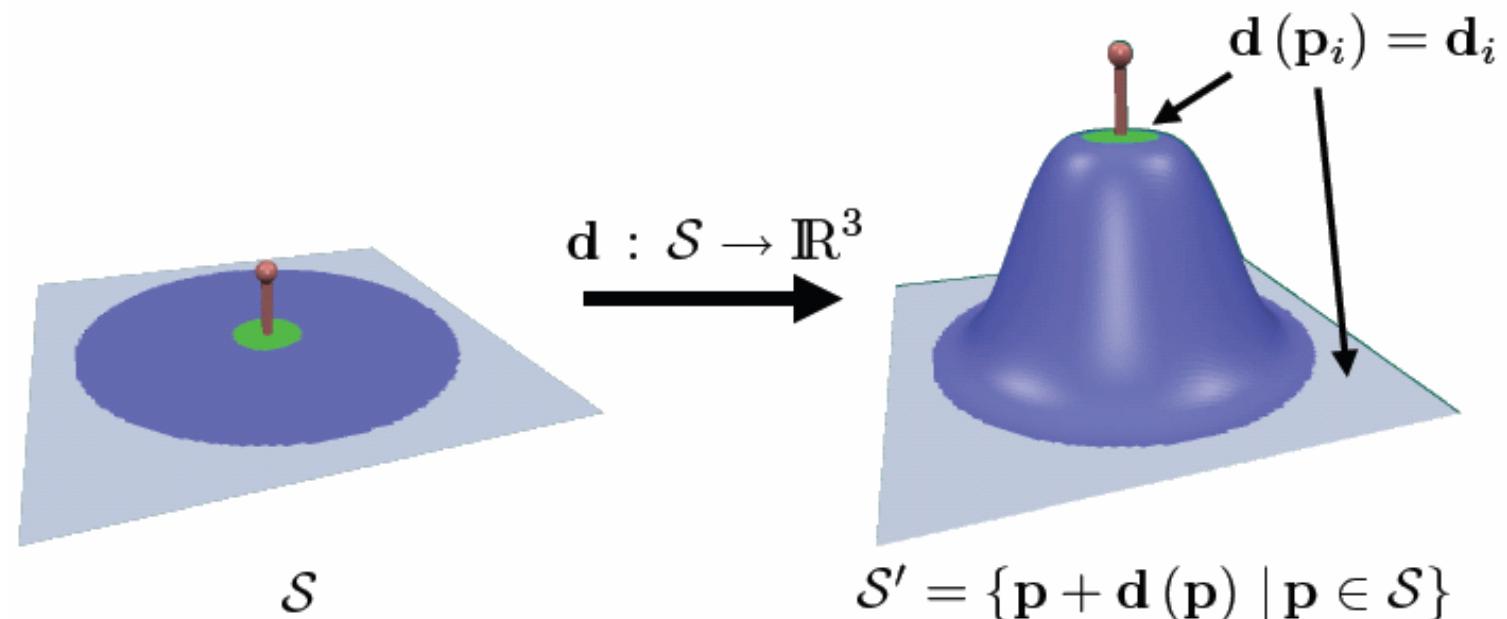
2.4 Modellierung mit Dreiecksnetzen



Netzbearbeitung

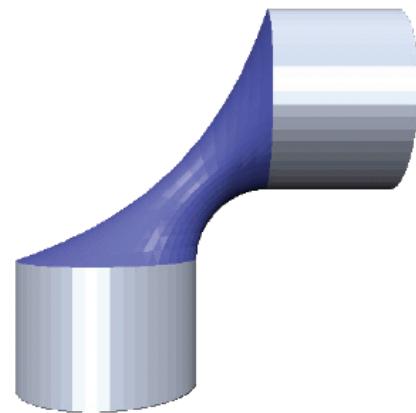
Netzdeformierung durch displacement function \mathbf{d}

- Interpolation der Randbedingungen
- glatte, intuitive Deformation

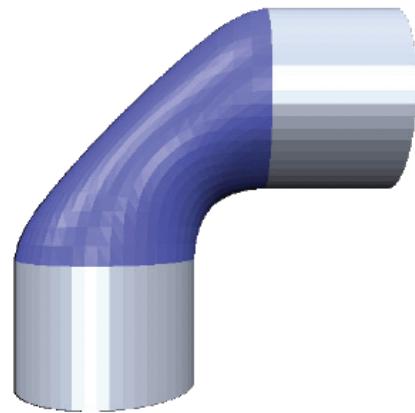




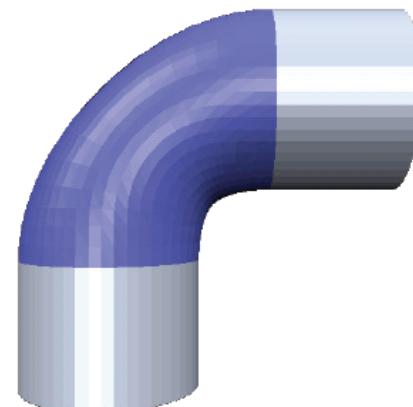
Deformation Energies



$\Delta \mathbf{x} \equiv 0$
(Membrane)



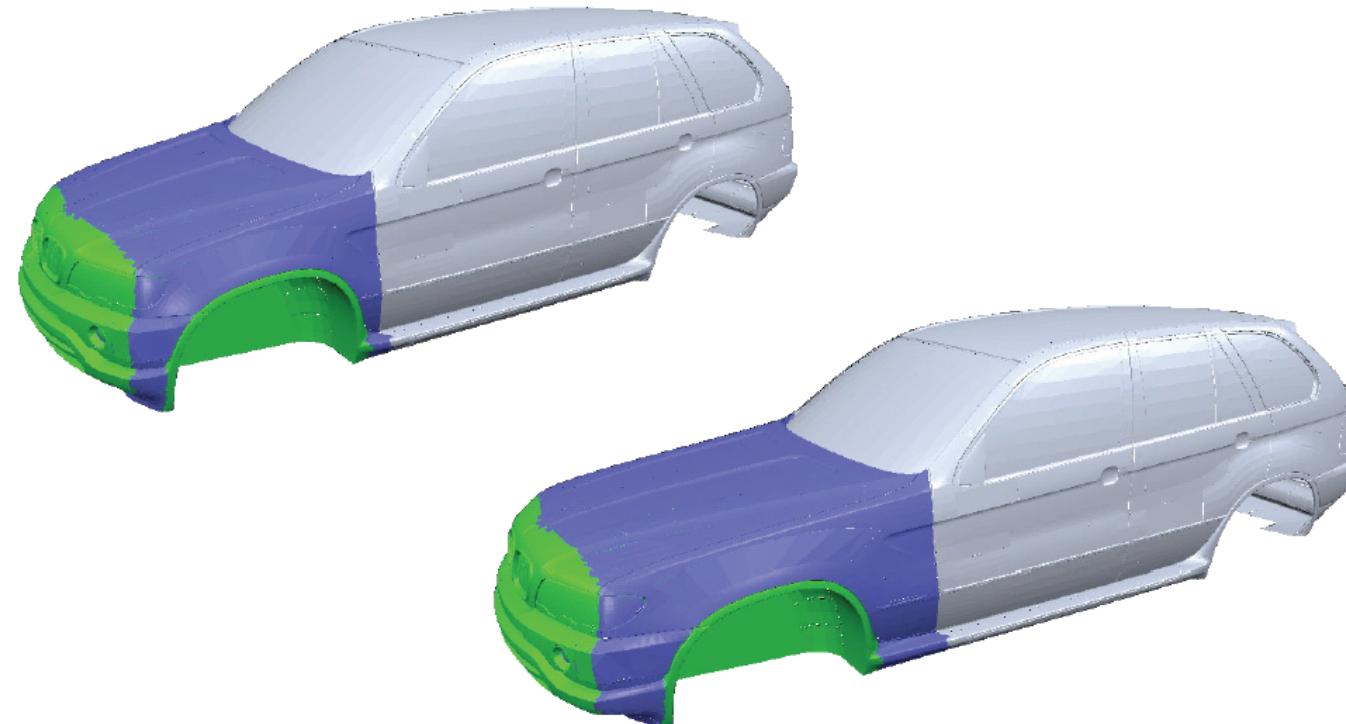
$\Delta^2 \mathbf{x} \equiv 0$
(Thin plate)



$\Delta^3 \mathbf{x} \equiv 0$

2. Geometrische Modellierung

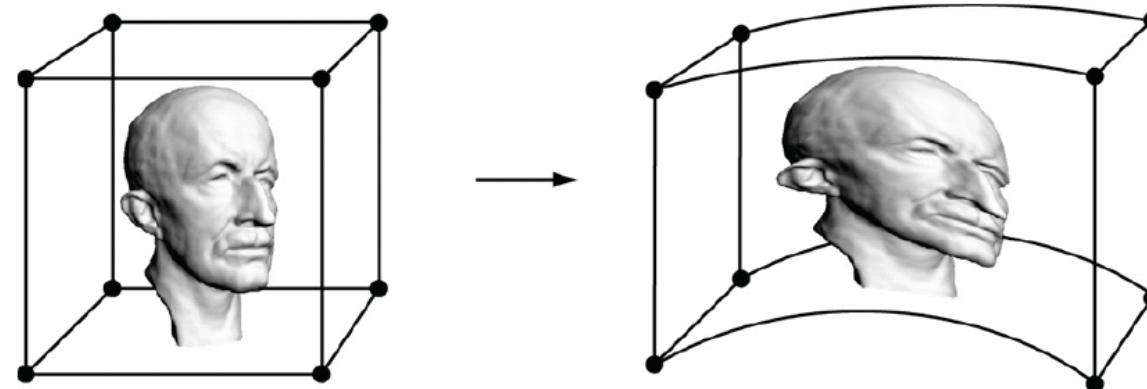
2.4 Modellierung mit Dreiecksnetzen





Freeform Deformation

Deformiere bounding box
-> implizite Deformation der darin befindlichen Objekte



2. Geometrische Modellierung

2.4 Modellierung mit Dreiecksnetzen



Vergleich verschiedener Deformationsverfahren

