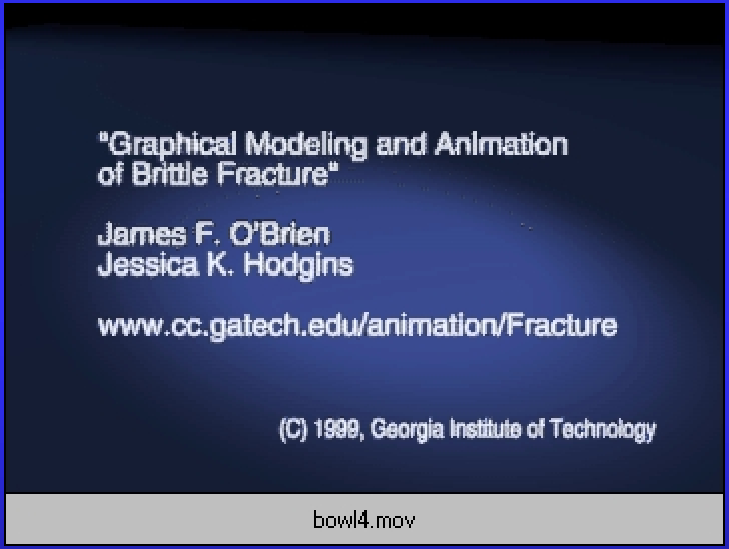
Graphical Modelling and Animation of Brittle Fracture

(SIGGRAPH 99 Paper)



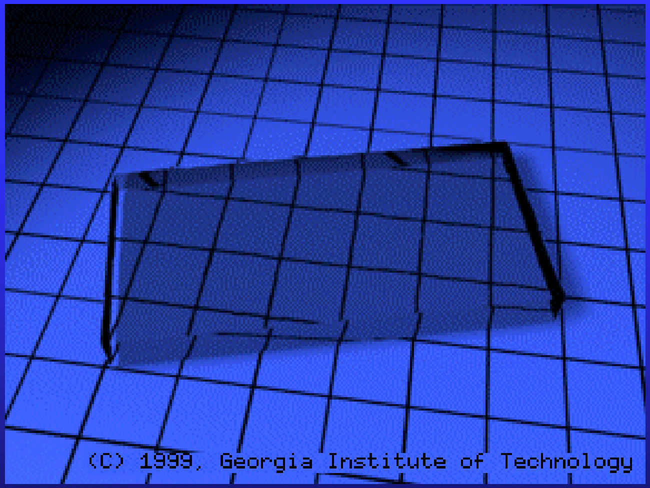
James F. O‘Brien Jessica K. Hodgins
GVU Center and College of Computing
Georgia Institue of Technology

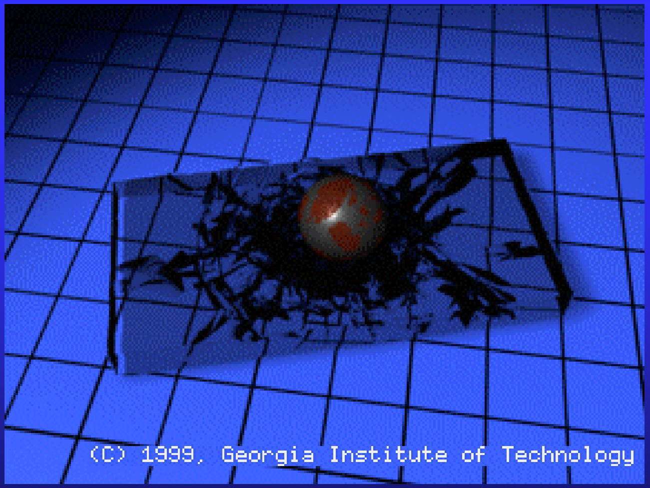
Übersicht

- Motivation / Idee
- Modell
- Algorithmus
- Diskussion
- Video

Brittle Fracture?

- (Zer-)Brechen von Objekten auf Grund von äusseren Einflüssen





motivation
modell
algorithmus
diskussion

Motivation

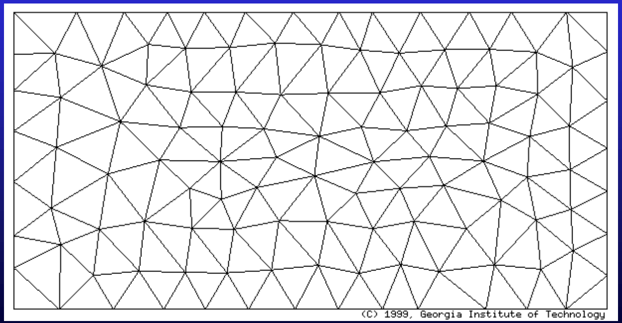
Bisher:

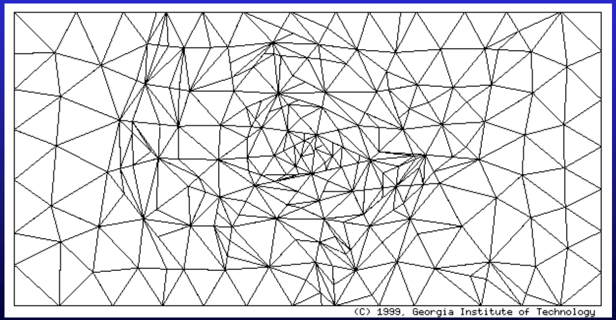
- Zwei bekannte Verfahren für dynamische Bruchmodellierung
- Aber mit entscheidenden Einschränkungen:
  - Bruchort und -richtung unbekannt
  - Nur bei engem Gitter realistisch
  - Ohne Remeshing (homogenes Gitter!!!)

motivation
modell
algorithmus
diskussion

Grundidee

- Aus der Mechanik bekannter Ansatz verwenden
- Bestimmen der Bruchstelle und –richtung anhand von Spannungstensoren
- Diese werden aber nur lokal und nicht als globales Spannungsfeld berechnet
- Remeshing um Richtung beibehalten zu können





motivation
modell
algorithmus
diskussion

Physikalisches Modell

- Bruchstellen entstehen an Orten mit genügend hoher Spannung σ:

$$\sigma = \sigma^{(\varepsilon)} + \sigma^{(\nu)}$$

$$\sigma^{(\varepsilon)} = f(D): \text{ Elastische Spannung}$$

$$\sigma^{(\nu)} = f(D'): \text{Viskose Spannung}$$

motivation
modell
algorithmus
diskussion

Diskretisierung

- FEM mit Thetraedern optimal, da sich diese exakt in neue aufteilen lassen.
- Es ergibt sich die totale interne Kraft auf einen Knoten als

$$F^{tot} = \sum_{alleNachbarknoten} \left\{ \begin{matrix} F^{(\nu)}(V,P,M,\sigma^{(\nu)}) \\ +F^{(\varepsilon)}(V,P,M,\sigma^{(\varepsilon)}) \end{matrix} \right\}$$

(V: Volumen, P: Weltkoordinaten, M: Materialkoordinaten)

(Differenz P-M ergibt die aktuelle Deformation)

Bruchort und -Richtung

- σ hat drei Eigenwerte $v_i(\sigma)$

- $v_i(\sigma) > 0 \rightarrow$ Dehnung $\rightarrow \sigma^+$
- $v_i(\sigma) < 0 \rightarrow$ Kompression $\rightarrow \sigma^-$

- $\sigma = \sigma^+ + \sigma^- \rightarrow F^{tot} = F^+ + F^-$

motivation
modell
algorithmus
diskussion

Bruchort und -Richtung

- Separation Tensor

$$\varsigma = \frac{1}{2}\left(-m(f^{+}) + \sum_{f \in \{f^{+}\}} m(f) + m(f^{-}) - \sum_{f \in \{f^{-}\}} m(f) \right)$$

- v_i^{+} positive Eigenwerte vom Tensor
- Wenn $v_i^{+} > \tau$ entsteht ein Bruch
- Der entsprechende Eigenvektor n_i^{+} steht senkrecht auf der Bruchebene

motivation
modell
algorithmus
diskussion

Algorithmus

- Initialisierung: $F^{tot} = 0$

Bei jedem Zeitschritt:

- Entsteht ein Bruch?
  - → Ort & Ebene bestimmen
  - → Auftrennen des Thetraeders
  - → Anpassen des Mesh zur Erhaltung der Konsistenz
  - → Neuberechnung von σ, etc.

Kollisionen

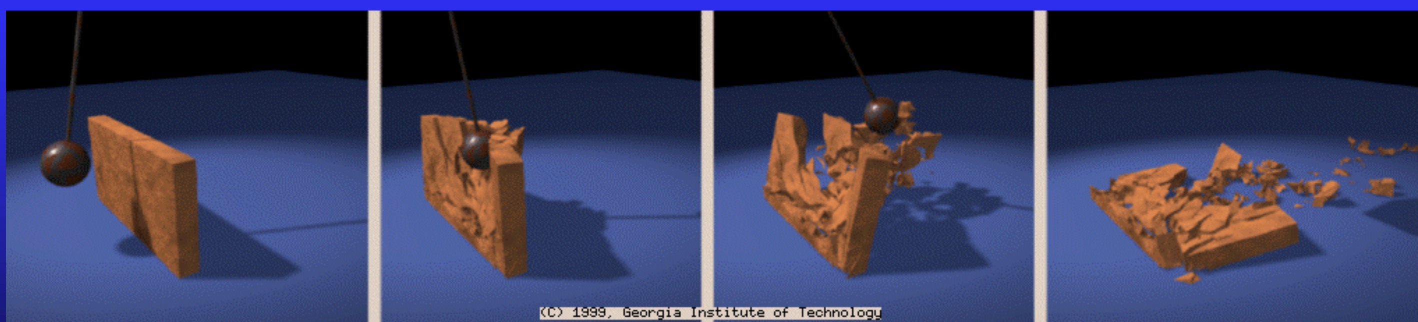
- Node Penetration:
  Kraft proportional zur Eindringtiefe
  → einfach zu berechnen

- Overlap Volume Criteria:
  Kraft proportional zum „gemeinsamen“ Volumen
  → robuster, aber aufwändiger

Konkret

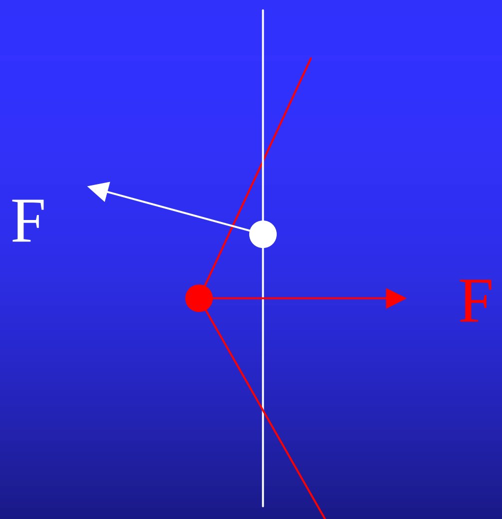
- Ausgangslage

$$\sigma^{(\varepsilon)} = \sigma^{(\nu)} = 0$$
$$\Rightarrow \sum F_i = 0$$



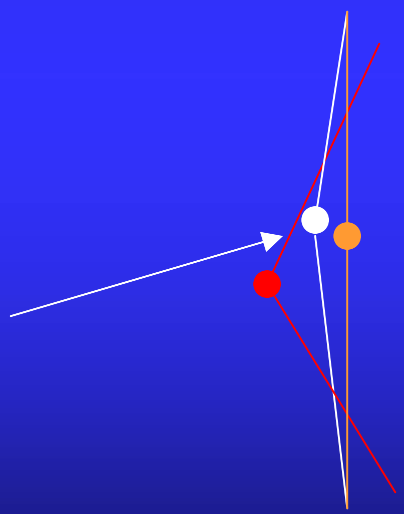
Konkret

- Zeitpunkt der Kollision



$$\sum F_i \neq 0$$

$$\sigma^{(\varepsilon)} > 0$$



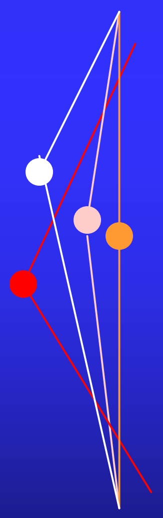
Konkret

- Ein Zeitschritt nach der Kollision

$$\sum F_i \neq 0$$

$$\sigma^{(\varepsilon)} > 0$$

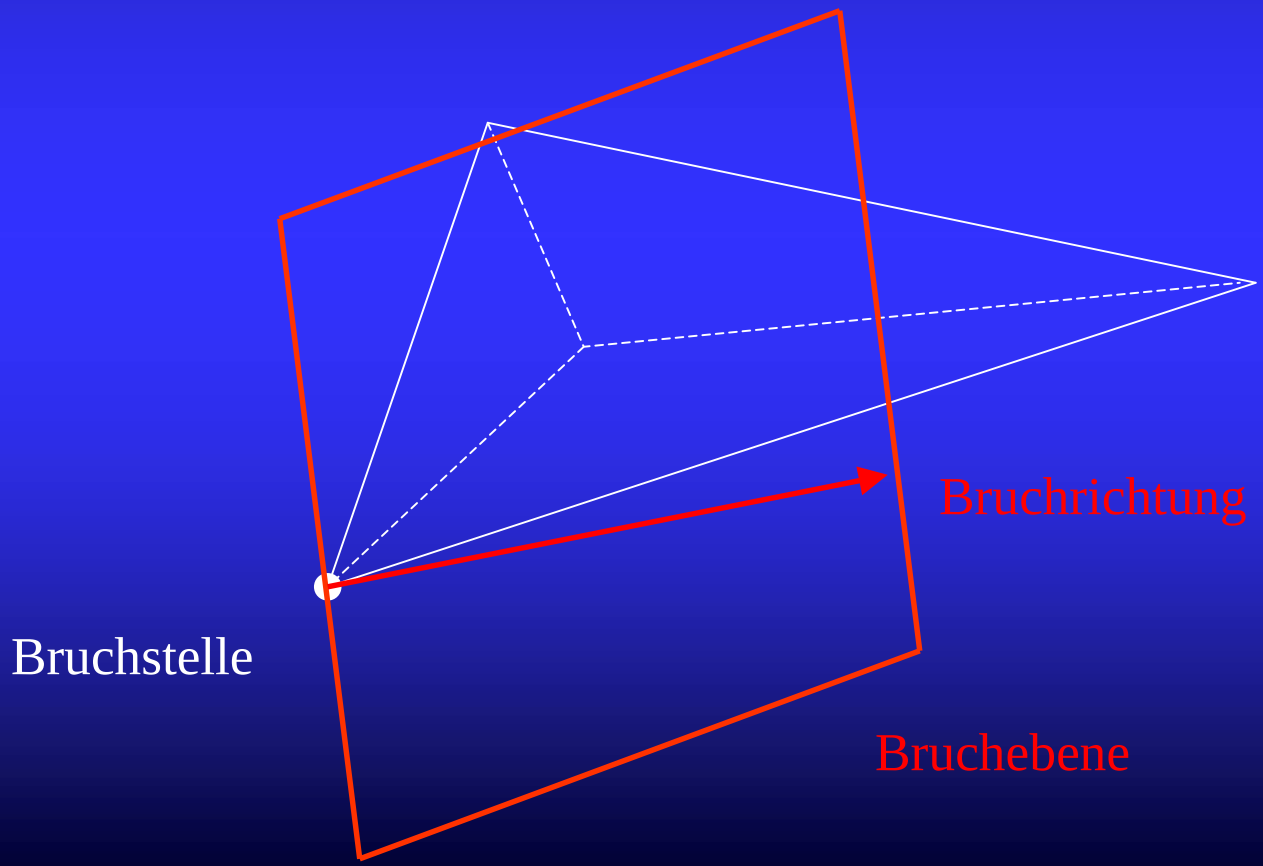
$$\sigma^{(\nu)} > 0$$



motivation
modell
algorithmus
diskussion

Konkret

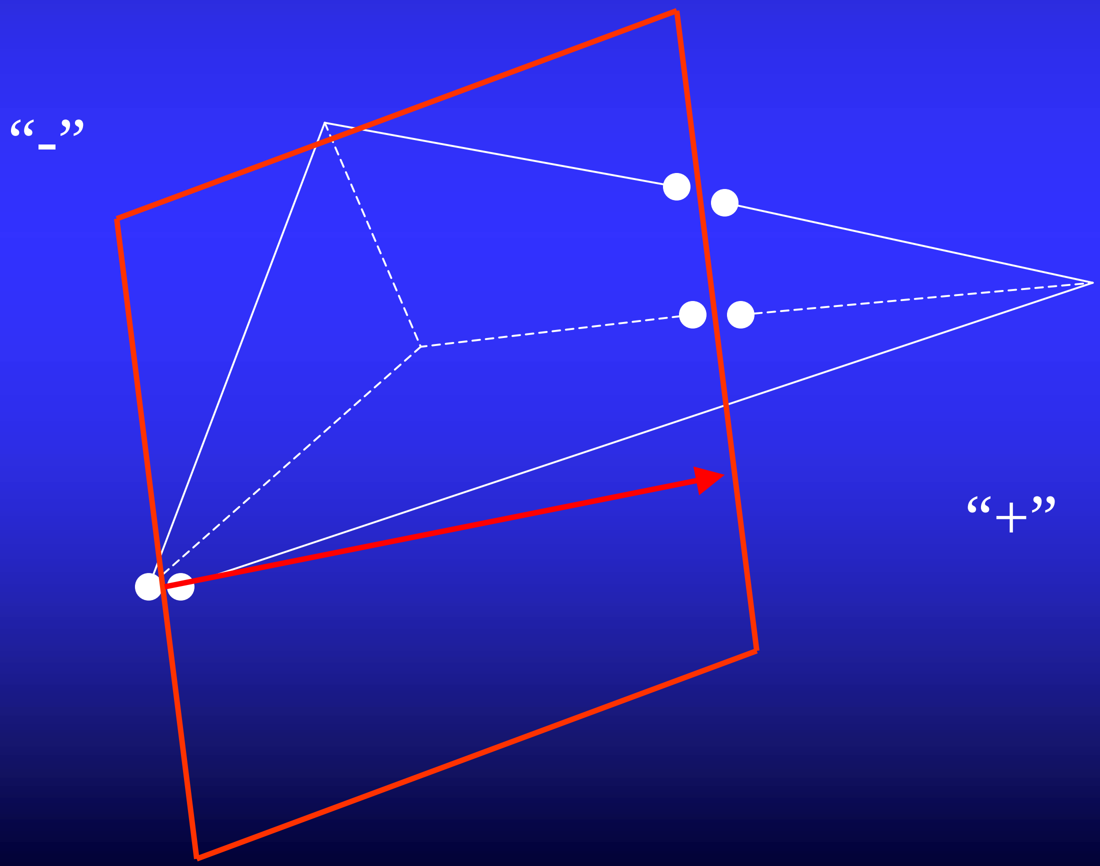
- Ein Bruch wird erkannt



motivation
modell
algorithmus
diskussion

Konkret

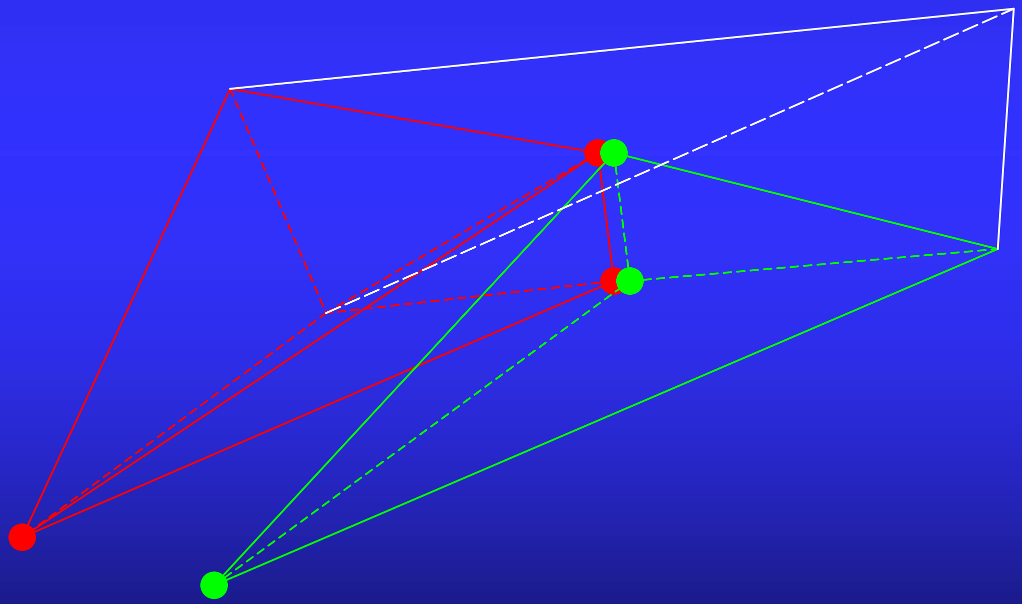
- Entlang der Bruchebene wird getrennt...



motivation
modell
algorithmus
diskussion

Konkret

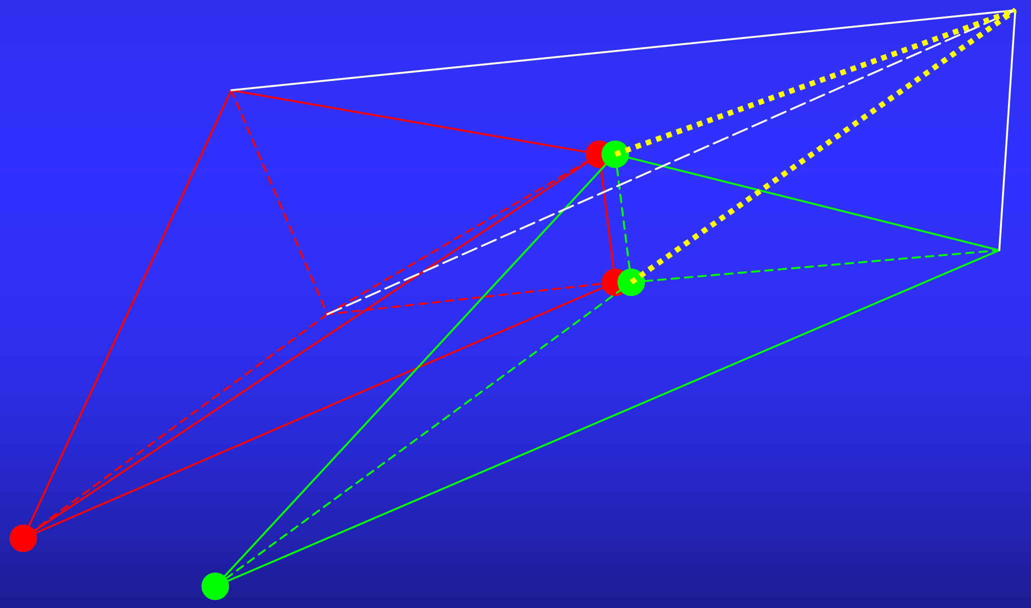
- ... und das Thetraeder in zwei Teile gespalten.



motivation
modell
algorithmus
diskussion

Konkret

- Nach dem Bruch: Anpassen des Mesh



Neuberechnung aller σ für die veränderten Knoten

Diskussion

Immer noch abhängig von der Gittergrösse, da

- nur existierende Knoten angeschaut werden
- nur Nachbarknoten beachtet werden (unabhängig von der Kraft, Wucht)
- nur ein ganzes Element pro Schritt geteilt wird (→ Ausbreitungsgeschwindigkeit)

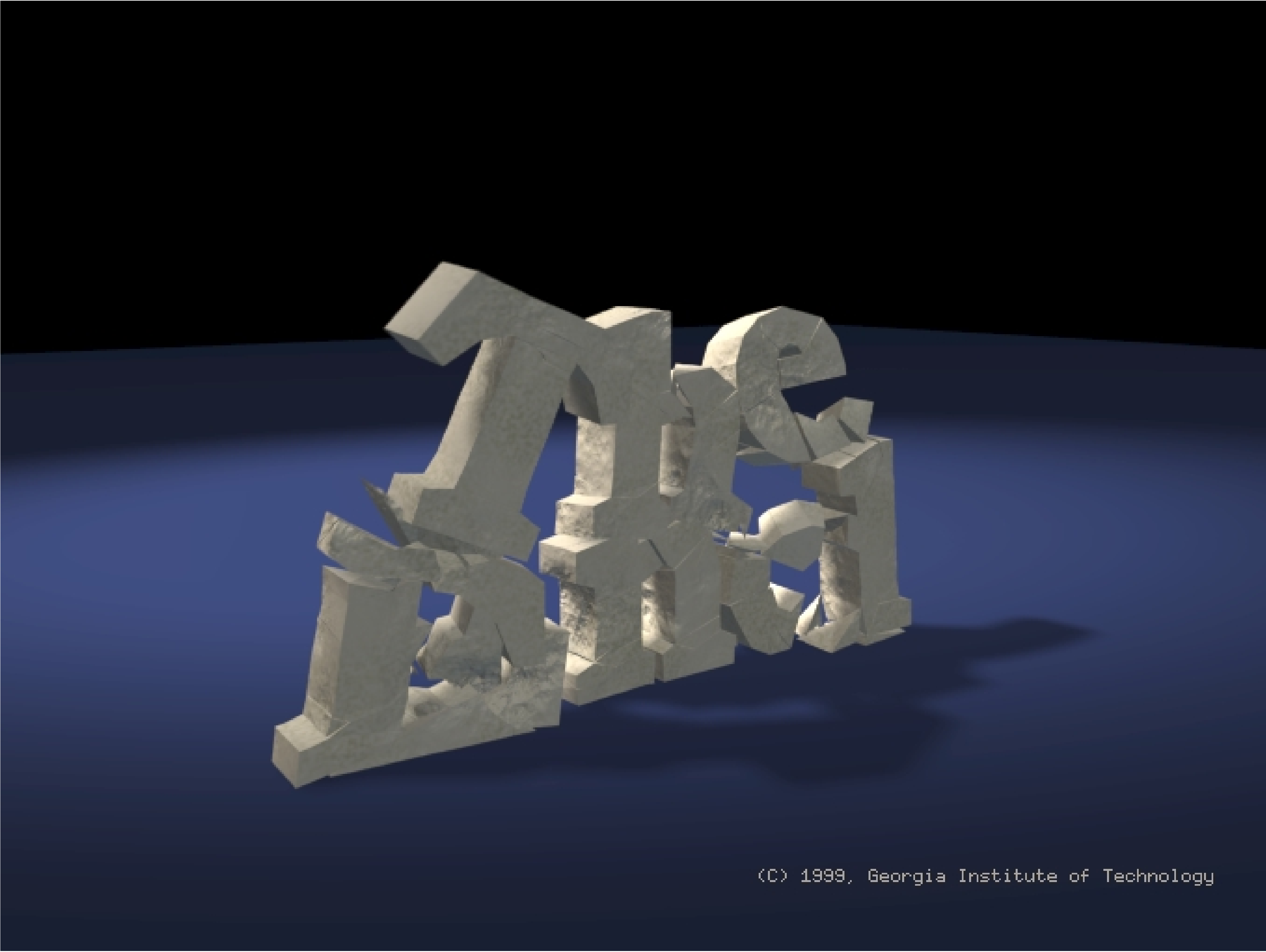
motivation
modell
algorithmus
diskussion

Ausblick

- Inhomogene Materialien
- Besseres Modell, das die Bruchlänge abhängig von der Kraft berechnet und ein entsprechendes Remeshing vornimmt

Referenzen

- http://www.gvu.gatech.edu/animation/Fracture/


(C) 1999, Georgia Institute of Technology