

Visualisierung: 3D Strömungsdaten II

Christof Rezk-Salama

Visualisierung WS 03/04, 09.12.2003

computergraphik und multimedia systeme
universität siegen

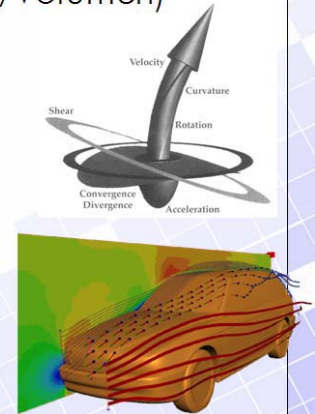


Letzte Stunde

2

Visualisierungsverfahren

- *Direkte Verfahren*
 - Farbkodierung (Schnittebenen/Volumen)
 - Isoflächen
 - Vektorpfeile
 - Glyphen/Icons
- *Verfahren mit Integration*
 - Beleuchtete Partikelbahnen
 - Stream Balls
 - Strömungsbänder
 - Stream Tubes



christof rezk-salama, computergraphik und multimediasysteme, universität siegen

Heute

3

Visualisierungsverfahren

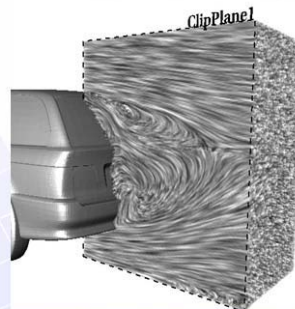
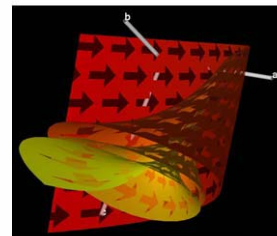
● Verfahren mit Integration

Flächenbasierte Verfahren

- Stream Surfaces
- Time Surfaces

Volumen-basierte Verfahren

- Flow Volumes
- 3D LIC

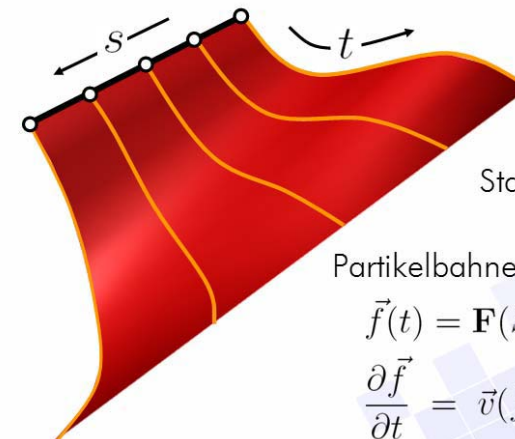


christof rezk-salama, computergraphik und multimediasysteme, universität siegen

Stream Surfaces

4

- *Definition:* Strömungsflächen sind Flächen die sich aus einzelnen Partikelbahnen zusammensetzen.



Als parametrische Fläche:

$$\mathbf{F}(s, t)$$

Startkurve (Time Line):

$$\vec{g}(s) = \mathbf{F}(s, 0)$$

Partikelbahnen:

$$\vec{f}(t) = \mathbf{F}(S, t) \quad \text{mit } S = \text{const.}$$

$$\frac{\partial \vec{f}}{\partial t} = \vec{v}(\vec{f}(t))$$

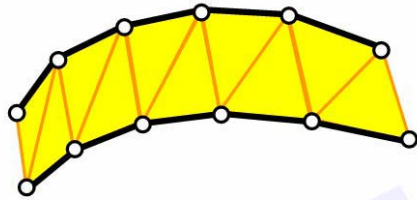
christof rezk-salama, computergraphik und multimediasysteme, universität siegen

Stream Surfaces

5

Bestimmung der Strömungsfläche.

1. Wähle eine *Startkurve* (als Linienzug)
2. Verschiebe jeden Vertex um einen *Zeitschritt*
3. *Trianguliere* die Zwischenfläche.



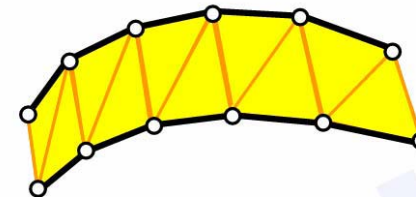
christof rezk-salama, computergraphik und multimediasysteme, universität siegen

Regelmäßige Triangulierung

6

Einfaches Verfahren:

- Füge die Kanten ein, die den Partikelbahnen entsprechen
- Teile die entstehenden Vierecke in regelmäßige Dreiecke.



Vorteile:

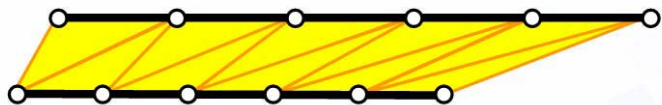
- Schnell und unkompliziert.
- Es entsteht direkt ein *Triangle Strip*, der effizient gerendert werden kann (z.B. `GL_TRIANGLE_STRIP` in OpenGL)

christof rezk-salama, computergraphik und multimediasysteme, universität siegen

Regelmäßige Triangulierung

7

Problematik:



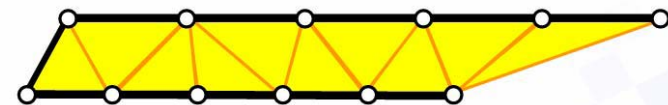
- Durch *Scherung* im Vektorfeld (d.h. starke Beschleunigung senkrecht zur Strömungsrichtung) können sehr lange spitze Dreiecke entstehen.

christof rezk-salama, computergraphik und multimediasysteme, universität siegen

Minimale Triangulierung

8

Triangulierung, die die Kantenlängen des Streifens minimiert (*Greedy Algorithm*).



Betrachte die nächsten Punkte auf den Linien:

- Wähle von den möglichen Folgekanten jeweils die kürzere

Vorteil:

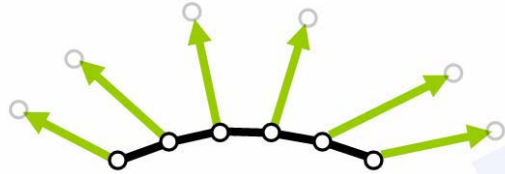
- Gute Triangulierung der Streifen.
- Einfach zu berechnen

christof rezk-salama, computergraphik und multimediasysteme, universität siegen

Strömungsflächen

9

- **Problematik:** Divergenz $\text{div } \vec{v} > 0$



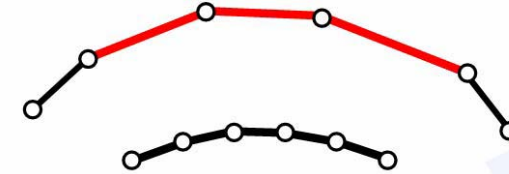
christof rezk-salama, computergraphik und multimediasysteme, universität siegen

Strömungsflächen

9

- **Problematik:** Divergenz $\text{div } \vec{v} > 0$

Problem:
Die Kanten werden immer länger



- **Splitting:** Unterteile die Kanten der Führungskurve, wenn sie eine bestimmte Länge überschreiten.

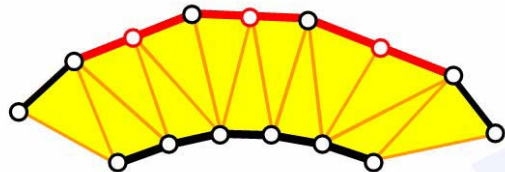
christof rezk-salama, computergraphik und multimediasysteme, universität siegen

Strömungsflächen

9

- **Problematik:** Divergenz $\text{div } \vec{v} > 0$

Problem:
Die Kanten werden immer länger



- **Splitting:** Unterteile die Kanten der Führungskurve, wenn sie eine bestimmte Länge überschreiten.

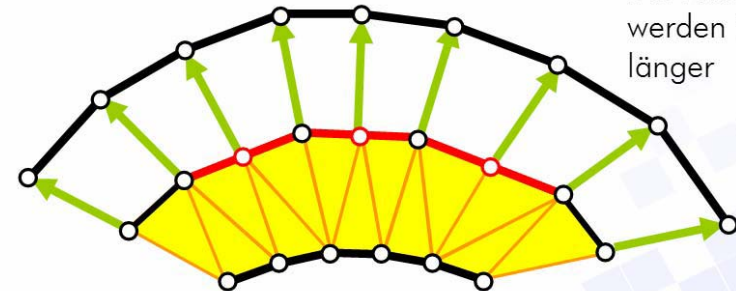
christof rezk-salama, computergraphik und multimediasysteme, universität siegen

Strömungsflächen

9

- **Problematik:** Divergenz $\text{div } \vec{v} > 0$

Problem:
Die Kanten werden immer länger



- **Splitting:** Unterteile die Kanten der Führungskurve, wenn sie eine bestimmte Länge überschreiten.

Anmerkung: Regelmäßige Triangulierung ist nicht mehr möglich, da die Anzahl der Vertices auf den Time Lines unterschiedlich ist!

christof rezk-salama, computergraphik und multimediasysteme, universität siegen

Strömungsflächen

10

- Problematik: Konvergenz $\text{div } \vec{v} < 0$



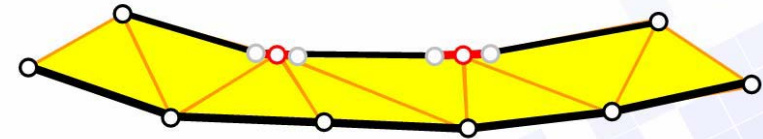
christof rezk-salama, computergraphik und multimediasysteme, universität siegen

Strömungsflächen

10

- Problematik: Konvergenz $\text{div } \vec{v} < 0$

Problem:
Die Kanten
werden immer
kürzer.



- Merging: Kollabiere Kanten der Führungskurve, wenn sie eine bestimmte Länge unterschreiten.

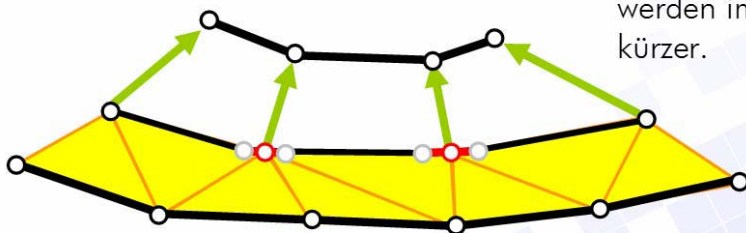
christof rezk-salama, computergraphik und multimediasysteme, universität siegen

Strömungsflächen

10

- Problematik: Konvergenz $\text{div } \vec{v} < 0$

Problem:
Die Kanten
werden immer
kürzer.



- Merging: Kollabiere Kanten der Führungskurve, wenn sie eine bestimmte Länge unterschreiten.

christof rezk-salama, computergraphik und multimediasysteme, universität siegen

Merging

11

- Edge Collapse: Kollabieren einer Kante

Reguläre Kante



Randkante



Mehrfach-Kollaps



- Nach dem **Merging** darf die Führungslinie keine zu kurzen Kanten mehr enthalten!
- Bei sehr starker Konvergenz müssen Kanten rekursiv kollabiert werden!

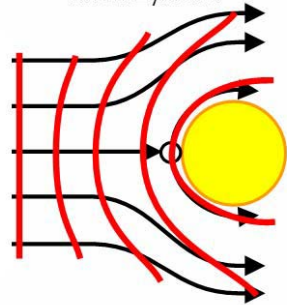
christof rezk-salama, computergraphik und multimediasysteme, universität siegen

Strömungsflächen

12

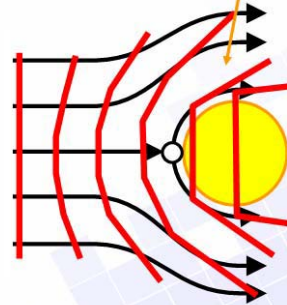
● Problematik: Hindernisse

Beispiel: Strömung um einen Zylinder



Idealer Fall

Strömungsfläche durchdringt das Objekt



Realer Fall

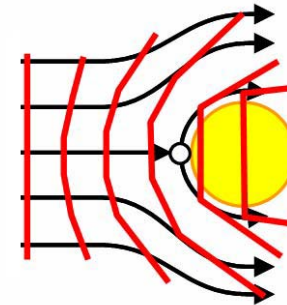
Grund: Diskretisierung

christof rezk-salama, computergraphik und multimediasysteme, universität siegen

Strömungsflächen

13

● Problematik: Hindernisse



Realer Fall

Grund: Diskretisierung

christof rezk-salama, computergraphik und multimediasysteme, universität siegen

Strömungsflächen

13

● Problematik: Hindernisse

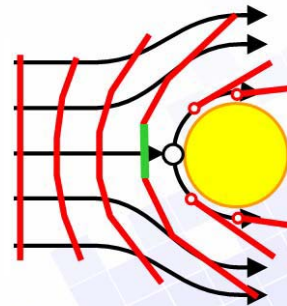
Ripping:

Zerreiße die Strömungsfläche, wenn die Punkte einzelner Liniensegmente sehr stark in unterschiedliche Richtungen gezogen werden.



Zerreiße die Kante, wenn

$$\begin{aligned} \|\vec{v}_a\| &> v_{\max} \\ \|\vec{v}_b\| &> v_{\max} \\ \angle(\vec{v}_a, \vec{v}_b) &> \varphi_{\max} \end{aligned}$$



christof rezk-salama, computergraphik und multimediasysteme, universität siegen

Strömungsflächen

13

● Problematik: Hindernisse

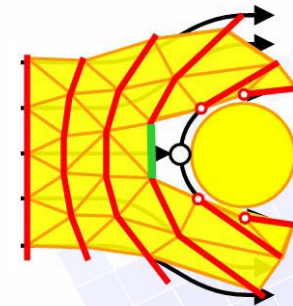
Ripping:

Zerreiße die Strömungsfläche, wenn die Punkte einzelner Liniensegmente sehr stark in unterschiedliche Richtungen gezogen werden.



Zerreiße die Kante, wenn

$$\begin{aligned} \|\vec{v}_a\| &> v_{\max} \\ \|\vec{v}_b\| &> v_{\max} \\ \angle(\vec{v}_a, \vec{v}_b) &> \varphi_{\max} \end{aligned}$$



christof rezk-salama, computergraphik und multimediasysteme, universität siegen

Strömungsflächen

13

● Problematik: Hindernisse

Ripping:

Zerreiße die Strömungsfläche, wenn die Punkte einzelner Liniensegmente sehr stark in unterschiedliche Richtungen gezogen werden.

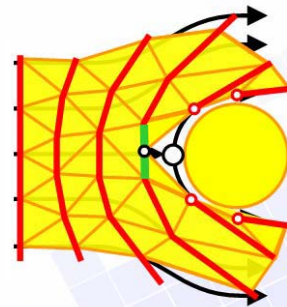


Zerreiße die Kante, wenn

$$\|\vec{v}_a\| > v_{\max}$$

$$\|\vec{v}_b\| > v_{\max}$$

$$\angle(\vec{v}_a, \vec{v}_b) > \varphi_{\max}$$



● „Kosmetik“: Füge den Mittelpunkt der entfernten Kante und zwei Dreiecke ein

christof rezk-salama, computergraphik und multimediasysteme, universität siegen

Stream Surfaces

14

Bestimmung der Strömungsfläche.

1. Wähle eine *Startkurve* (als Linienzug)
2. Verschiebe jeden Vertex um einen *Zeitschritt*



christof rezk-salama, computergraphik und multimediasysteme, universität siegen

Stream Surfaces

14

Bestimmung der Strömungsfläche.

1. Wähle eine *Startkurve* (als Linienzug)
2. Verschiebe jeden Vertex um einen *Zeitschritt*
 - *Ripping*: Entferne Kanten die „zu schnell wachsen“.



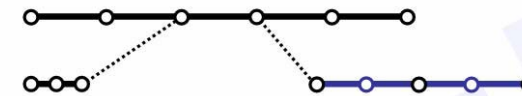
christof rezk-salama, computergraphik und multimediasysteme, universität siegen

Stream Surfaces

14

Bestimmung der Strömungsfläche.

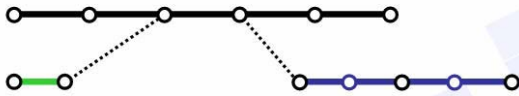
1. Wähle eine *Startkurve* (als Linienzug)
2. Verschiebe jeden Vertex um einen *Zeitschritt*
 - *Ripping*: Entferne Kanten die „zu schnell wachsen“.
 - *Splitting*: Teile Kanten, die zu lang geworden sind.



christof rezk-salama, computergraphik und multimediasysteme, universität siegen

Bestimmung der Strömungsfläche.

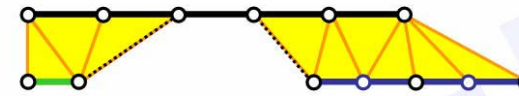
1. Wähle eine **Startkurve** (als Linienzug)
2. Verschiebe jeden Vertex um einen **Zeitschritt**
 - **Ripping**: Entferne Kanten die „zu schnell wachsen“.
 - **Splitting**: Teile Kanten, die zu lang geworden sind.
 - **Merging**: Kollabiere Kanten die zu kurz geworden sind.



christof rezk-salama, computergraphik und multimediasysteme, universität siegen

Bestimmung der Strömungsfläche.

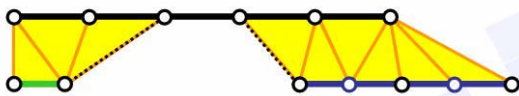
1. Wähle eine **Startkurve** (als Linienzug)
2. Verschiebe jeden Vertex um einen **Zeitschritt**
 - **Ripping**: Entferne Kanten die „zu schnell wachsen“.
 - **Splitting**: Teile Kanten, die zu lang geworden sind.
 - **Merging**: Kollabiere Kanten die zu kurz geworden sind.
3. **Trianguliere** die Zwischenfläche.



christof rezk-salama, computergraphik und multimediasysteme, universität siegen

Bestimmung der Strömungsfläche.

1. Wähle eine **Startkurve** (als Linienzug)
2. Verschiebe jeden Vertex um einen **Zeitschritt**
 - **Ripping**: Entferne Kanten die „zu schnell wachsen“.
 - **Splitting**: Teile Kanten, die zu lang geworden sind.
 - **Merging**: Kollabiere Kanten die zu kurz geworden sind.
3. **Trianguliere** die Zwischenfläche.



● **Frage**: Ist jede beliebige Linie als Startkurve geeignet?

christof rezk-salama, computergraphik und multimediasysteme, universität siegen

Bestimmung der Strömungsfläche.

1. Wähle eine **Startkurve** (als Linienzug)

Eine Strömungslinie selbst ist beispielsweise keine gute Startkurve:



● **Frage**: Ist jede beliebige Linie als Startkurve geeignet?

christof rezk-salama, computergraphik und multimediasysteme, universität siegen

Stream Surfaces

15

Bestimmung der Strömungsfläche.

1. Wähle eine *Startkurve* (als Linienzug)

Eine Strömungslinie selbst ist beispielsweise keine gute Startkurve:



Auch Kurven, die annähernd in Strömungsrichtung verlaufen sind weniger gut:



● **Frage:** Ist jede beliebige Linie als Startkurve geeignet?

● **Antwort:** Nein.

Die Startkurve sollte möglichst orthogonal zur Strömung verlaufen.

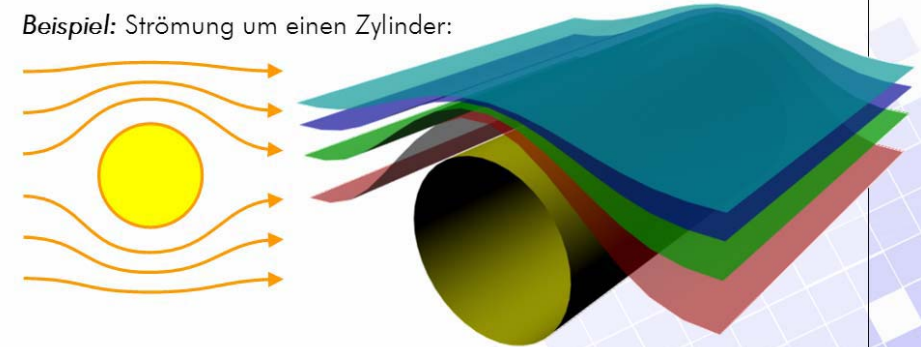
christof rezk-salama, computergraphik und multimediasysteme, universität siegen

Principal Stream Surface

16

● **Idee:** Untersuche die Strömungsflächen, die man bei einfachen Strömungen „intuitiv wählen würde“.

Beispiel: Strömung um einen Zylinder:



Übertrage die erkannten Prinzipien auf komplexe Strömungen.

christof rezk-salama, computergraphik und multimediasysteme, universität siegen

Frenet Frame

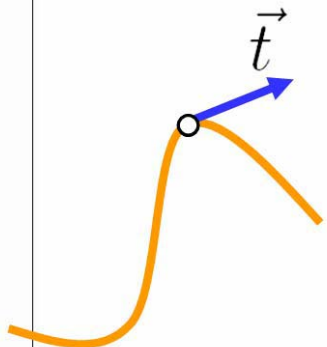
18

● Betrachte den *Frenet Frame* (Dreibein) einer Strömungslinie:

● Die *Tangente* an die Kurve

$$\vec{t} = \frac{\vec{v}}{\|\vec{v}\|}$$

zeigt in Richtung des Geschwindigkeitsvektors



christof rezk-salama, computergraphik und multimediasysteme, universität siegen

Frenet Frame

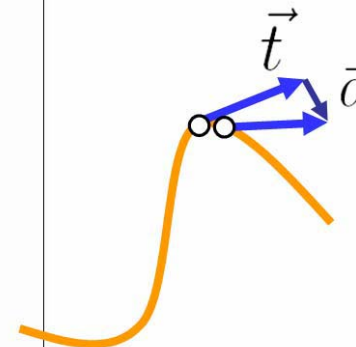
18

● Betrachte den *Frenet Frame* (Dreibein) einer Strömungslinie:

● Die *Beschleunigung*

$$\vec{a} = \frac{\partial \vec{v}}{\partial t}$$

beschreibt die lokale Änderung der Geschwindigkeit und somit die *Krümmung* der Kurve

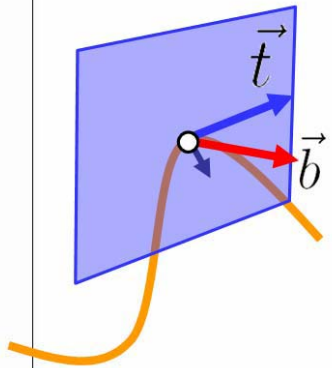


christof rezk-salama, computergraphik und multimediasysteme, universität siegen

Frenet Frame

19

- Betrachte den *Frenet Frame* (Dreibein) einer Strömungslinie:



- Die Tangente und der Beschleunigungsvektor spannen eine *Schmiegeebene* auf.
- Die Kurve verläuft *lokal* innerhalb dieser Ebene.
- Die *Binormale* ist der Normalenvektor dieser Schmiegeebene

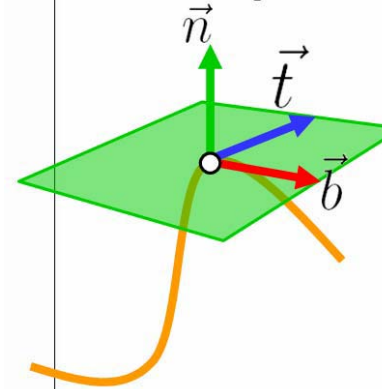
$$\vec{b} = \frac{\vec{t} \times \vec{a}}{\|\vec{t} \times \vec{a}\|}$$

christof rezk-salama, computergraphik und multimediasysteme, universität siegen

Frenet Frame

20

- Betrachte den *Frenet Frame* (Dreibein) einer Strömungslinie:



- Die Tangente und die Binormale spannen die *rektifizierende Ebene* auf.
- Die *Normale der Kurve* ist der Normalenvektor dieser rektifizierenden Ebene:

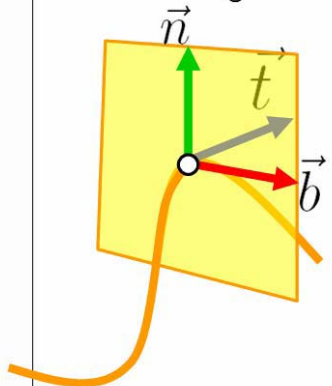
$$\vec{n} = \vec{b} \times \vec{v}$$

christof rezk-salama, computergraphik und multimediasysteme, universität siegen

Frenet Frame

21

- Betrachte den *Frenet Frame* (Dreibein) einer Strömungslinie:



- Die Normale und die Binormale spannen die *Normalebene* auf.
- Die *Tangente der Kurve* ist der Normalenvektor dieser Normalebene.

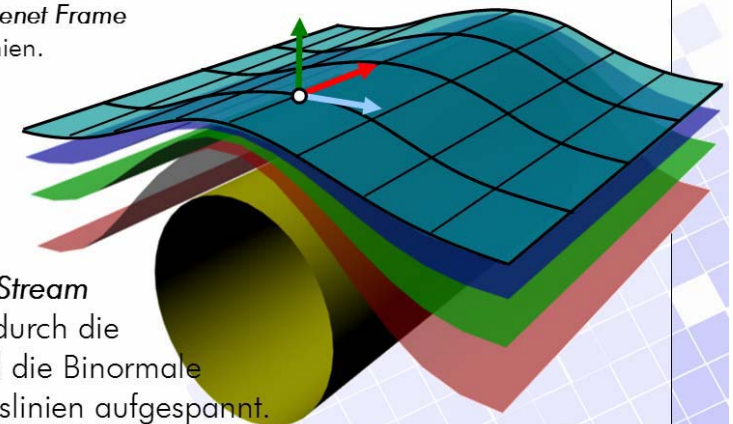
christof rezk-salama, computergraphik und multimediasysteme, universität siegen

Principal Stream Surfaces

22

- Idee*: Untersuche die Strömungsflächen, die man bei einfachen Strömungen „intuitiv wählen würde“.

Betrachte den *Frenet Frame* der Strömungslinien.



Die *Principal Stream Surface* wird durch die Tangente und die Binormale der Strömungslinien aufgespannt.

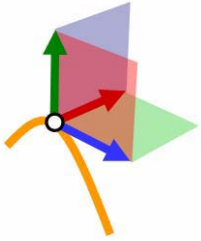
christof rezk-salama, computergraphik und multimediasysteme, universität siegen

Principal Stream Surfaces

23

Bestimmung der Startkurve

- Beginne mit einem Punkt.
- Bestimme den *Frenet Frame* an die Strömungslinie in diesem Punkt



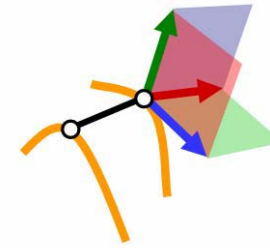
christof rezk-salama, computergraphik und multimediasysteme, universität siegen

Principal Stream Surfaces

23

Bestimmung der Startkurve

- Beginne mit einem Punkt.
- Bestimme den *Frenet Frame* an die Strömungslinie in diesem Punkt
- Gehe einen kleinen Schritt in Richtung der *Binormalen*



christof rezk-salama, computergraphik und multimediasysteme, universität siegen

Principal Stream Surfaces

23

Bestimmung der Startkurve

- Beginne mit einem Punkt.
- Bestimme den *Frenet Frame* an die Strömungslinie in diesem Punkt
- Gehe einen kleinen Schritt in Richtung der *Binormalen*



Die Startkurve der Principal Stream Surface ist eine Integralkurve in Richtung der Binormalen.

christof rezk-salama, computergraphik und multimediasysteme, universität siegen

Strömungsflächen

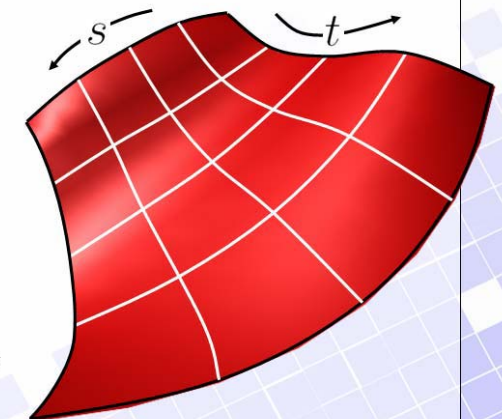
24

- Strömungsflächen zeigen nicht die Richtung der Strömung innerhalb der Fläche.

Verwende *Textures* um die Strömung innerhalb der Strömungsfläche darzustellen.

Texturkoordinaten (u,v) können direkt aus der Parametrisierung der Fläche $\mathbf{F}(s,t)$ abgeleitet werden.

Texturkoordinate $u = s$: Time Lines
Texturkoordinate $v = t$: Path Lines



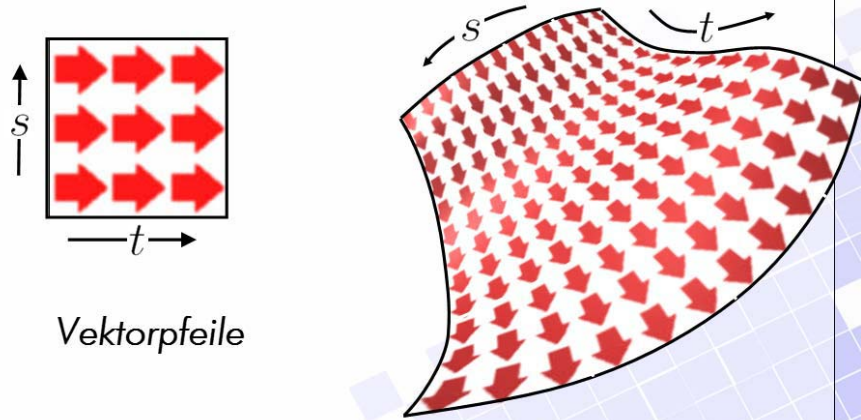
christof rezk-salama, computergraphik und multimediasysteme, universität siegen

Texturierung

25

Beispieltexturen

Farbtextur ersetzt den ambienten Term im Phong-Modell



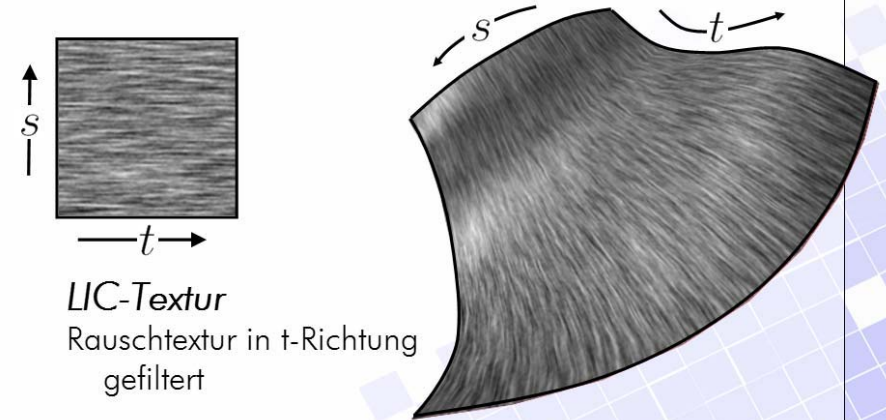
christof rezk-salama, computergraphik und multimediasysteme, universität siegen

Texturierung

26

Beispieltexturen

Farbtextur ersetzt den ambienten Term im Phong-Modell



christof rezk-salama, computergraphik und multimediasysteme, universität siegen

Texturierung

27

Beispieltexturen:

Farbtextur spezifiziert die Transparenz der Fläche



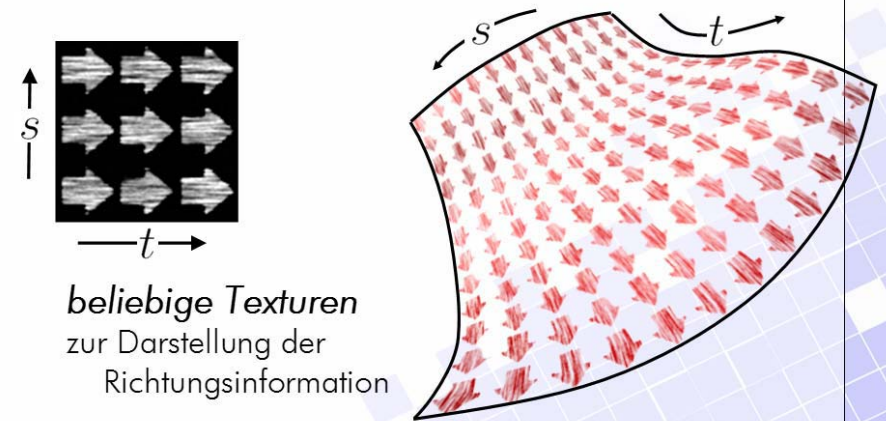
christof rezk-salama, computergraphik und multimediasysteme, universität siegen

Texturierung

28

Beispieltexturen:

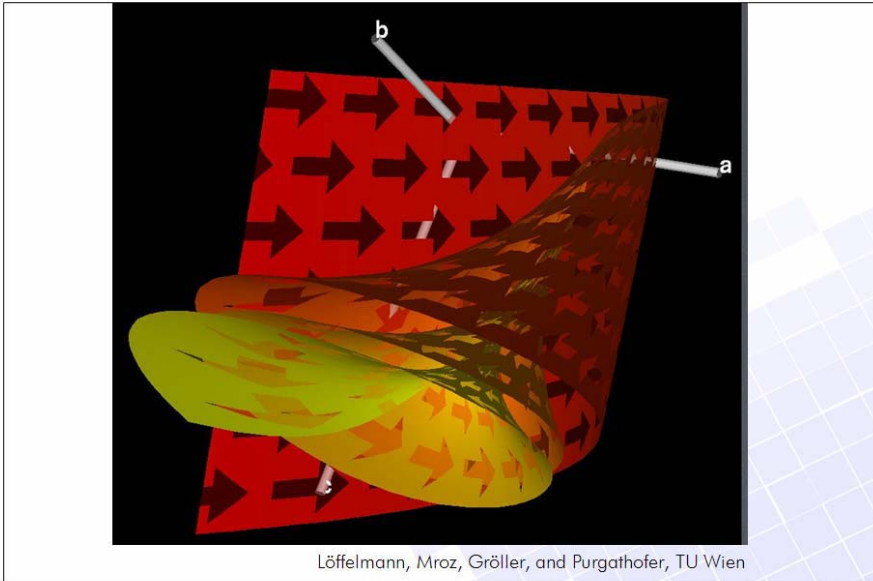
Farbtextur spezifiziert die Transparenz der Fläche



christof rezk-salama, computergraphik und multimediasysteme, universität siegen

Texturierung

29

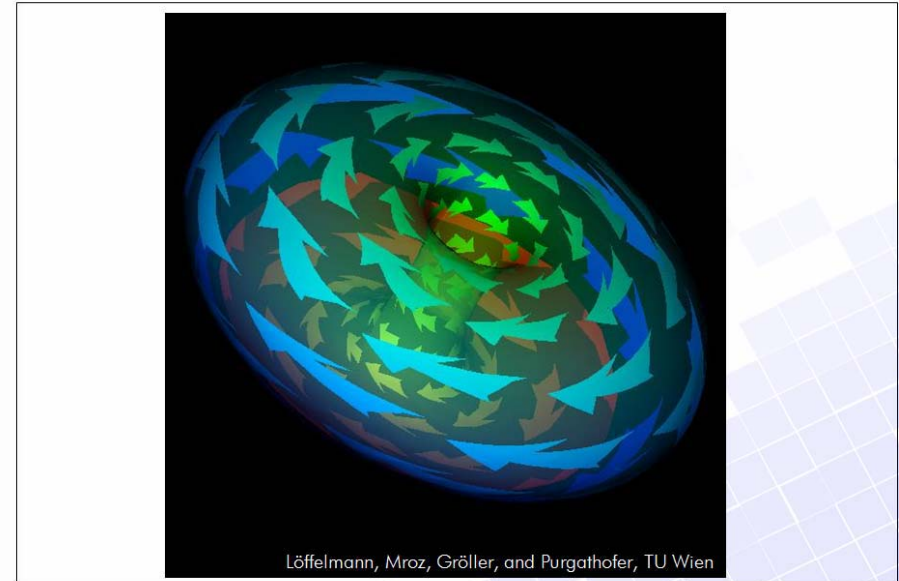


Löffelmann, Mroz, Gröller, and Purgathofer, TU Wien

christof rezk-salama, computergraphik und multimediasysteme, universität siegen

Texturierung

30



Löffelmann, Mroz, Gröller, and Purgathofer, TU Wien

christof rezk-salama, computergraphik und multimediasysteme, universität siegen

Time Surfaces

32

Definition: Time Surfaces (Flächen gleicher Zeit)

Time Surfaces zeigen die durch die Strömung verursachte Deformation einer Startfläche zu einem bestimmten Zeitpunkt.



christof rezk-salama, computergraphik und multimediasysteme, universität siegen

Time Surfaces

32

Definition: Time Surfaces (Flächen gleicher Zeit)

Time Surfaces zeigen die durch die Strömung verursachte Deformation einer Startfläche zu einem bestimmten Zeitpunkt.

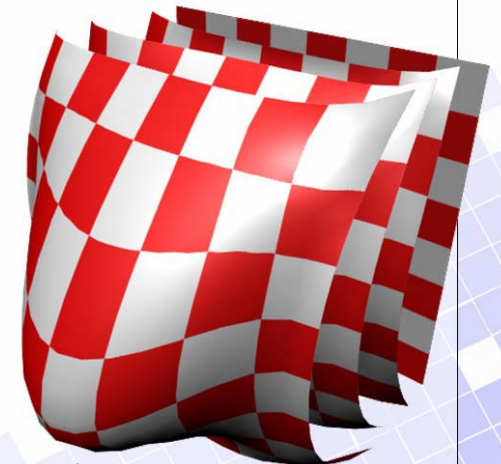
Startfläche $\mathbf{F}_0(u, v)$

Time Surface $\mathbf{F}_t(u, v)$

$$\frac{\partial \mathbf{F}_t(u, v)}{\partial t} = \vec{v}(\mathbf{F}_t(u, v))$$

Jeder Punkt der Fläche bewegt sich auf einer Partikelbahn:

$$\vec{f}(t) = \mathbf{F}_t(U, V) \quad \text{mit } U, V = \text{const.}$$

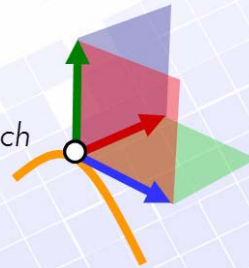


christof rezk-salama, computergraphik und multimediasysteme, universität siegen

Wahl der Startfläche:

Die Startfläche sollte möglichst orthogonal zur Strömung sein:

- **Manuelle Wahl** (als *Flow Field Probe*)
- **Automatische Wahl** (ausgehend von einem Punkt):
Frenet Frame: Ideale Startfläche wird durch die Normale und die Binormale aufgespannt.
 - Bestimme zunächst eine Integralkurve in Richtung der Binormalen.
 - Bestimme dann eine „Strömungsfläche“ in Richtung der Normalen
- **Übliche Alternative:** Semiautomatisch
 Eine Ebene wird automatisch entlang der Normalen und Binormalen ausgerichtet

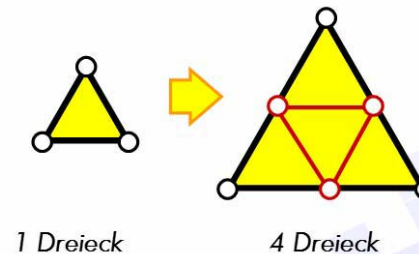


christof rezk-salama, computergraphik und multimediasysteme, universität siegen

- **Problematik: Divergenz** $\text{div } \vec{v} > 0$
 analog zu Streams-surfaces: Kanten werden zu lang.

Dreiecksfläche:

- **Fall 1:** 3 Kanten sind zu lang

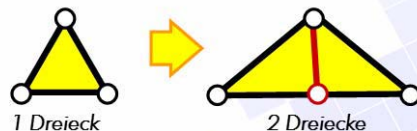
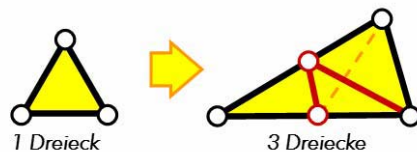


christof rezk-salama, computergraphik und multimediasysteme, universität siegen

- **Problematik: Divergenz** $\text{div } \vec{v} > 0$
 analog zu Streams-surfaces: Kanten werden zu lang.

Dreiecksfläche:

- **Fall 2:** 2 Kanten sind zu lang:
 Wähle von den beiden möglichen Diagonalen des Vierecks die kürzere
- **Fall 3:** Nur 1 Kante ist zu lang:

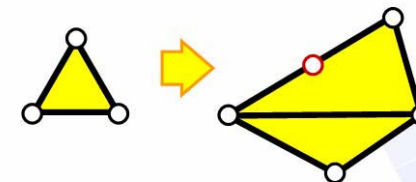


christof rezk-salama, computergraphik und multimediasysteme, universität siegen

- **Problematik: Divergenz** $\text{div } \vec{v} > 0$
 analog zu Streams-surfaces: Kanten werden zu lang.

Dreiecksfläche: Optimierung

- **Fall 2:** 2 Kanten sind zu lang:
 Falls eines der Nachbardreiecke vom Typ 2 oder 3 ist:
 Untersuche die Nachbardreiecke der langen Kanten



christof rezk-salama, computergraphik und multimediasysteme, universität siegen

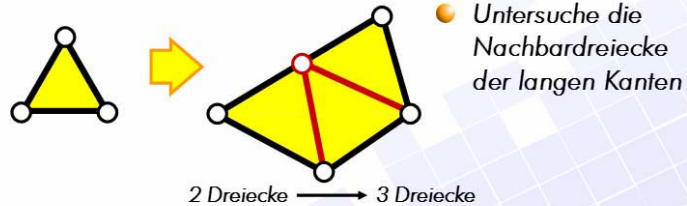
● Problematik: Divergenz $\text{div } \vec{v} > 0$

analog zu Streams-surfaces: Kanten werden zu lang.

Dreiecksfläche: Optimierung

● Fall 2: 2 Kanten sind zu lang:

Falls eines der Nachbardreiecke vom Typ 2 oder 3 ist:



Mit dieser Methode wächst die Anzahl der Dreiecke nicht so schnell.

christof rezk-salama, computergraphik und multimediasysteme, universität siegen

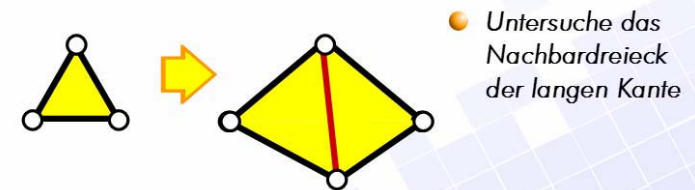
● Problematik: Divergenz $\text{div } \vec{v} > 0$

analog zu Streams-surfaces: Kanten werden zu lang.

Dreiecksfläche: Optimierung

● Fall 3: Nur 1 Kante ist zu lang:

Falls eines der Nachbardreiecke vom Typ 2 oder 3 ist:



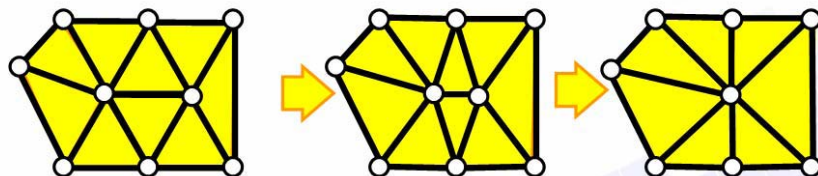
Hier: Anzahl der Dreiecke bleibt konstant.

christof rezk-salama, computergraphik und multimediasysteme, universität siegen

● Problematik: Konvergenz $\text{div } \vec{v} < 0$

analog zu Streams-surfaces: Kanten werden zu kurz.

Edge Collapse für Dreiecksnetze



● Achtung: nicht alle kurzen Kanten können kollabiert werden!

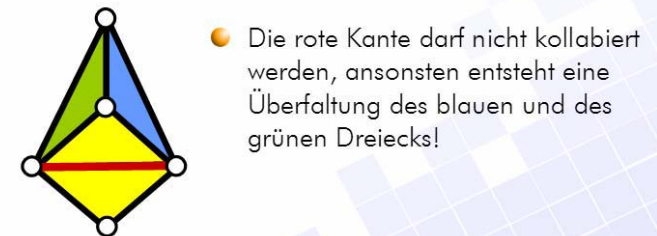
christof rezk-salama, computergraphik und multimediasysteme, universität siegen

● Problematik: Konvergenz $\text{div } \vec{v} < 0$

analog zu Streams-surfaces: Kanten werden zu kurz.

Edge Collapse für Dreiecksnetze

● Beispiel für einen ungültigen Edge Collapse

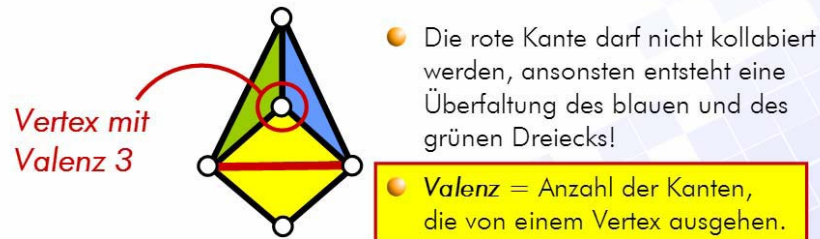


christof rezk-salama, computergraphik und multimediasysteme, universität siegen

- **Problematik: Konvergenz** $\text{div } \vec{v} < 0$
analog zu Streamsurfaces: Kanten werden zu kurz.

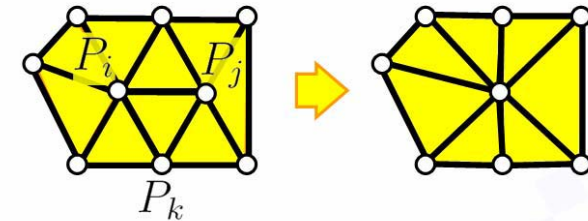
Edge Collapse für Dreiecksnetze

- **Beispiel für einen ungültigen Edge Collapse**



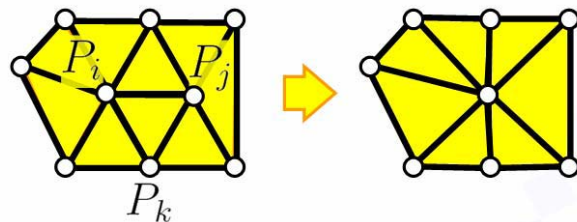
- **Vor dem Edge Collapse muß geprüft werden, ob die Topologie des Dreiecksnetzes erhalten bleibt!**

christof rezk-salama, computergraphik und multimediasysteme, universität siegen



- Bevor ein **Edge-Collapse** $P_i P_j$ ausgeführt wird, müssen folgende Bedingungen geprüft werden:
 1. Für jeden Punkt P_k , der sowohl mit P_i als auch mit P_j benachbart ist, muß das Dreieck $(P_k P_i P_j)$ existieren.
 2. Wenn P_i und P_j beides Randpunkte sind, dann ist die Kante $P_i P_j$ eine Randkante

christof rezk-salama, computergraphik und multimediasysteme, universität siegen



- Bevor ein **Edge-Collapse** $P_i P_j$ ausgeführt wird, müssen folgende Bedingungen geprüft werden:
 3. Wenn P_i und P_j keine Randpunkte sind, muß das Dreiecksnetz mehr als 4 Punkte haben.
Wenn einer der beiden Punkte P_i oder P_j ein Randpunkt ist, muß das Dreiecksnetz aus mehr als 3 Punkten bestehen.

christof rezk-salama, computergraphik und multimediasysteme, universität siegen

Flächenbasierte Verfahren

Stream Surfaces

- **Scherung:** *Triangulierung* der Streifen
- **Divergenz:** *Splitting* der Führungslinie
- **Konvergenz:** *Merging* von Kanten der Führungslinie
- **Hindernisse:** *Ripping*, Zerreißen der Führungslinie
- **Startfläche (Principal Stream Surface)**
- **Texturierung**



Time Surfaces:

- **Divergenz:** Unterteilung
- **Konvergenz:** Edge Collapse
- **Startfläche:** Manuell, automatisch, semiautomatisch



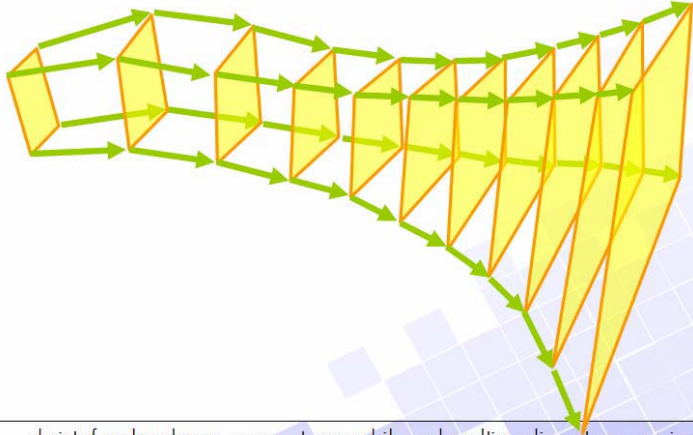
christof rezk-salama, computergraphik und multimediasysteme, universität siegen

Volume Flow

42

Idee:

Kombiniere *Stream Surfaces* mit *Time Surfaces*:
Betrachte das Volumen.



christof rezk-salama, computergraphik und multimediasysteme, universität siegen

Volume Flow

43

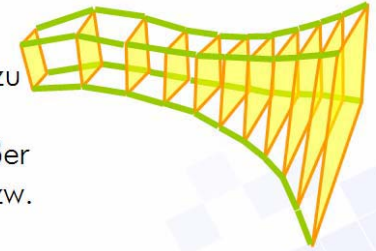
- Startpolygon (Rechteck) wird durch die Strömung bewegt.

- Splitting und Rippling:** analog zu den Streamsurfaces wird das Volumen in Bereichen mit großer positiver Divergenz unterteilt bzw. zerrissen

- Kein *Merging*

- Innerhalb des Flow Volumes wird ein (konstanter) Skalarwert angenommen (Farbe und Transparenz)

- Das *Flow Volume* wird in Tetraeder unterteilt und mit *Volume Rendering* (Shirley & Tuchman) dargestellt.

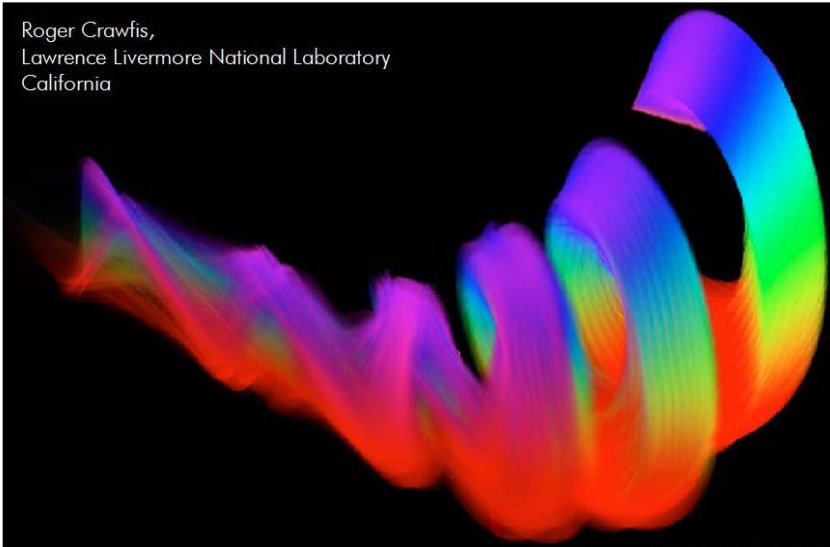


christof rezk-salama, computergraphik und multimediasysteme, universität siegen

Volume Flow

44

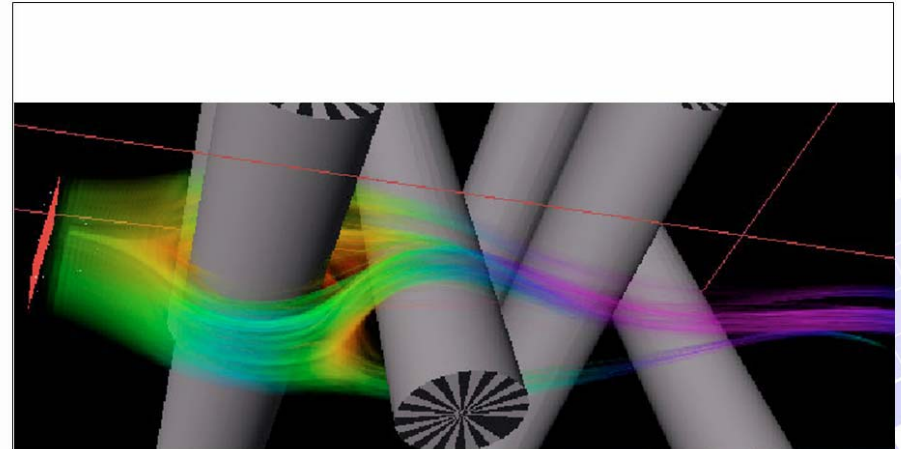
Roger Crawfis,
Lawrence Livermore National Laboratory
California



christof rezk-salama, computergraphik und multimediasysteme, universität siegen

Volume Flow

45



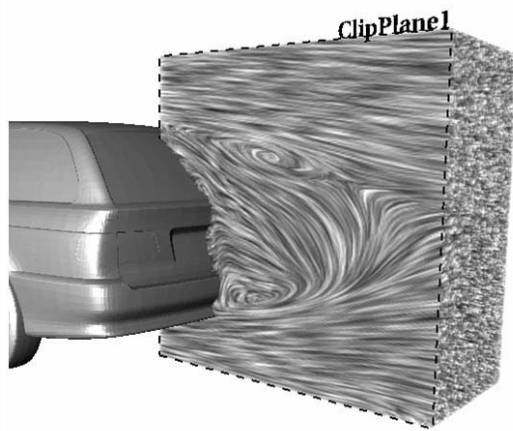
Roger Crawfis,
Lawrence Livermore National Laboratory
California

christof rezk-salama, computergraphik und multimediasysteme, universität siegen

Texturbasierte Verfahren in 3D

46

● 3D LIC: Berechnung analog zu 2D



3D Rauschfeld wird geglättet entlang der Strömungslinien des Vektorfeldes.

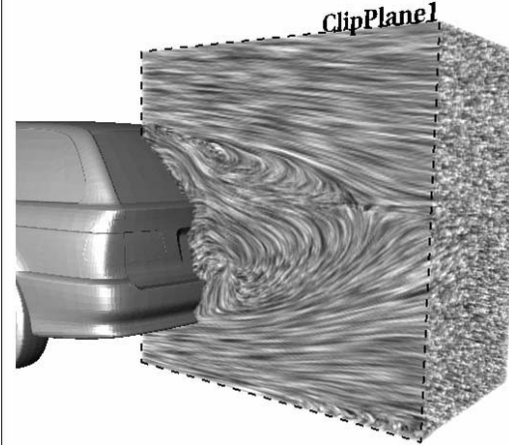
Visualisierung der Ergebnis-Textur mit Volume Rendering

christof rezk-salama, computergraphik und multimediasysteme, universität siegen

Texturbasierte Verfahren in 3D

46

● 3D LIC: Berechnung analog zu 2D



3D Rauschfeld wird geglättet entlang der Strömungslinien des Vektorfeldes.

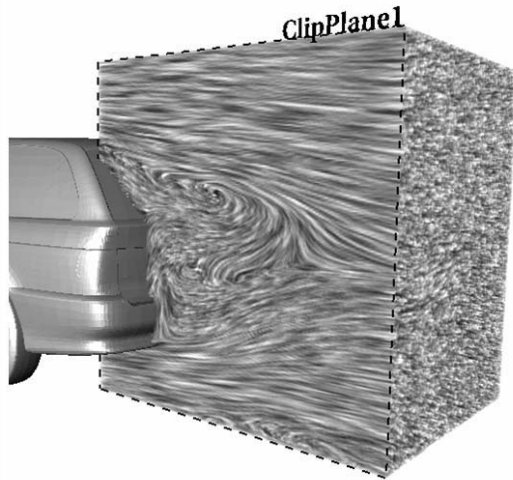
Visualisierung der Ergebnis-Textur mit Volume Rendering

christof rezk-salama, computergraphik und multimediasysteme, universität siegen

Texturbasierte Verfahren in 3D

46

● 3D LIC: Berechnung analog zu 2D



3D Rauschfeld wird geglättet entlang der Strömungslinien des Vektorfeldes.

Visualisierung der Ergebnis-Textur mit Volume Rendering

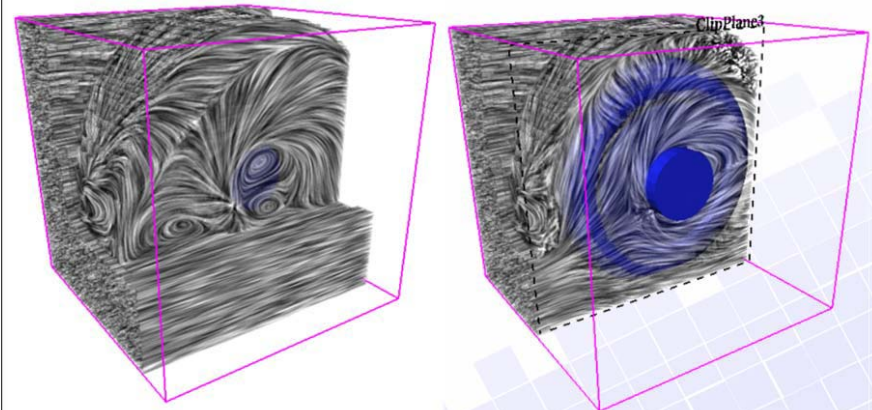
Problem: Die Ergebnis Textur ist zu komplex und verworren

christof rezk-salama, computergraphik und multimediasysteme, universität siegen

3D LIC

47

● Clipping und Transparenz helfen bei nicht allzu komplexen Strömungen



christof rezk-salama, computergraphik und multimediasysteme, universität siegen

● Stream Surfaces:

J.P. M. Hultquist.

Constructing Stream Surfaces in Steady 3D Vector Fields.

Proc. IEEE Visualization 1992

Wenli Cai, Pheng-Ann Heng

Principal Stream Surfaces

Proc. IEEE Visualization 1997

● Mesh Processing:

H. Hoppe, T. DeRose, T. Duchamp, J. McDonald, W. Stützle.

Mesh Optimization.

Proc. ACM SIGGRAPH 1993



● Flow Volumes:

N. Max, B. Becker and R. Crawfis.

Flow Volumes for interactive vector field visualization.

Proc. IEEE Visualization 1993

● 2D LIC auf beliebigen Flächen in 3D:

L. Forsell.

Visualizing Flow over Curvilinear Grid Surfaces Using Line Integral Convolution.

Proc. IEEE Visualization 1994



● 3D LIC:

V. Interrante and C. Grosch.

Strategies for efficiently visualizing 3D flow with volume LIC.

Proc. IEEE Visualization 1997

V. Interrante.

Visualizing 3D flow.

Proc. IEEE CGA 1998

C. Rezk-Salama, P. Hastreiter, C. Teitzel and T. Ertl.

Interactive Exploration of Volume LIC based on 3D Texture Mapping.

Proc. IEEE Visualization 1999



● Strömungsvisualisierung allgemein:

F. Post, B. Vrolijk, H. Hauser, R. Laramée and H. Doleisch

State-of-the-Art Report: Feature Extraction and

Visualization of Flow Fields

Proc. Eurographics 2002

Zusammenfassung

57

Strömungsvisualisierung

● Direkte Verfahren

Farbkodierung:

2D: Schnell und einfach, aber nur skalare Information

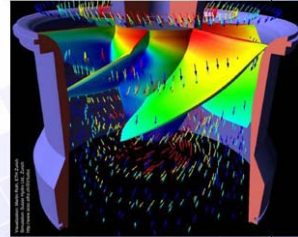
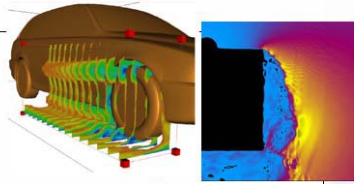
3D: Schnittebenen (wie 2D)

Volume Rendering: Ergebnisse oft irreführend
wegen Farb-Blending

Vektorpfeile/Glyphen/Icons:

2D: Einfach und gut, keine zeitlichen
Zusammenhänge

3D: räumliche Orientierung
ist problematisch,
Darstellung wird leicht unübersichtlich



christof rezk-salama, computergraphik und multimediasysteme, universität siegen

Zusammenfassung

58

Strömungsvisualisierung

● Verfahren mit Integration

Linienbasierte Verfahren:

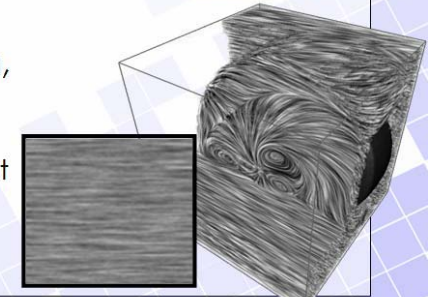
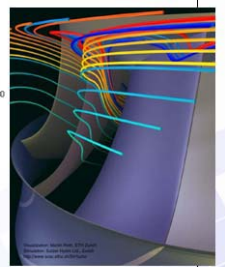
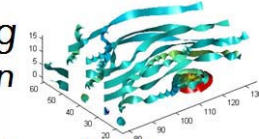
2D: Streamlines, Streaklines, Pathlines

3D: Räumliche Tiefe fehlt:
Streamtubes, Stream Ribbons,
Beleuchtete Streamlines

Texturbasierte Verfahren:

2D: Line Integral Convolution,
Texture Advection

3D: räumliche Orientierung
problematisch, wird leicht
unübersichtlich



christof rezk-salama, computergraphik und multimediasysteme, universität siegen

Zusammenfassung

59

Strömungsvisualisierung

● Verfahren mit Integration

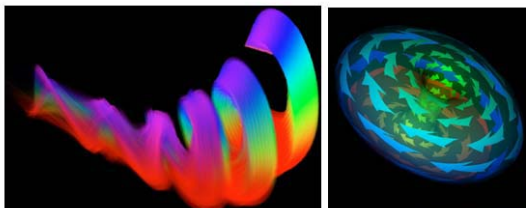
Flächenbasierte Verfahren:

3D: Stream Surfaces mit Texturen,

Time Surfaces:

Volumenbasierte Verfahren:

3D: Volume Flow



christof rezk-salama, computergraphik und multimediasysteme, universität siegen

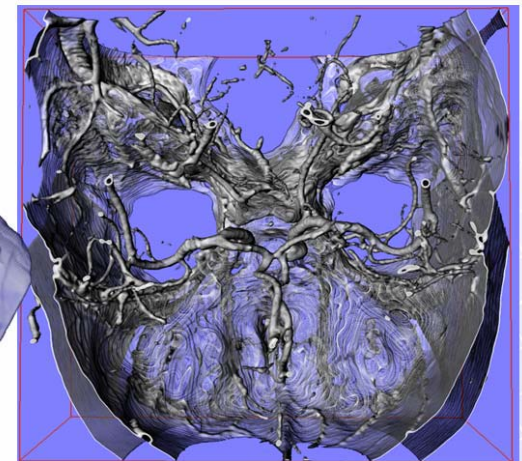
Nächste Woche

60

● Volumenvisualisierung, Indirekte Verfahren



Daten: Antikensammlung,
Universität Erlangen-Nürnberg



Daten: Abt. f. Neuroradiologie, Kopfklinik Erlangen

christof rezk-salama, computergraphik und multimediasysteme, universität siegen