

Visualisierung: 3D Strömungsdaten II

Christof Rezk-Salama

Visualisierung WS 04/05, 02.12.2004

computergraphik und multimedia systeme
universität siegen

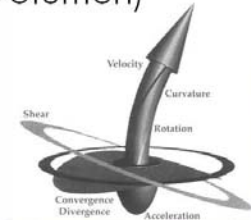


Letzte Stunde

Visualisierungsverfahren

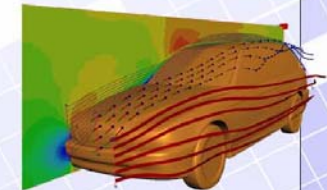
● Direkte Verfahren

- 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

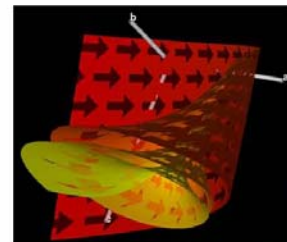
Heute

Visualisierungsverfahren

● Verfahren mit Integration

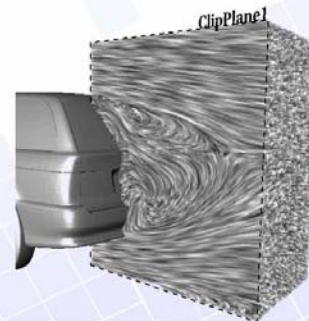
Flächenbasierte Verfahren

- Stream Surfaces
- Time Surfaces



Volumen-basierte Verfahren

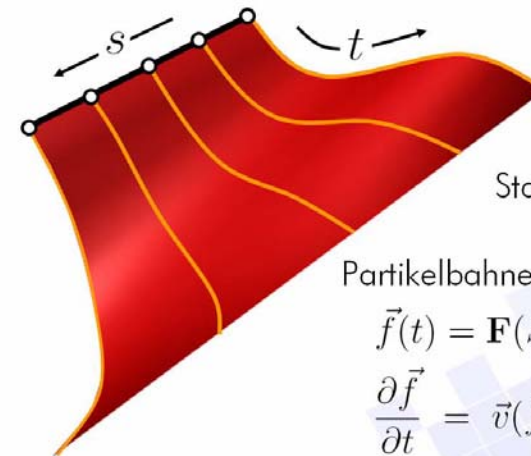
- Flow Volumes
- 3D LIC



christof rezk-salama, computergraphik und multimediasysteme, universität siegen

Stream Surfaces

- **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:

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

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

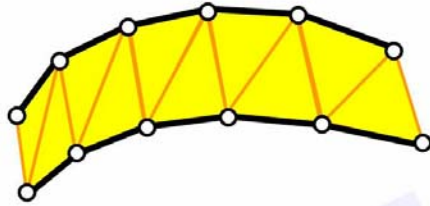
christof rezk-salama, computergraphik und multimediasysteme, universität siegen

Stream Surfaces

5

Bestimmung der Strömungsfläche.

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



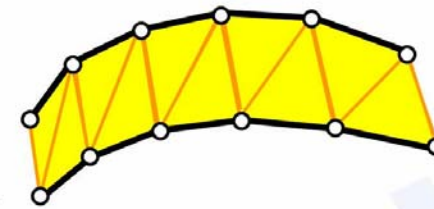
christof rezk-salama, computergraphik und multimediasysteme, universität siegen

Regelmäßige Triangulierung

6

Einfaches Verfahren:

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



Vorteile:

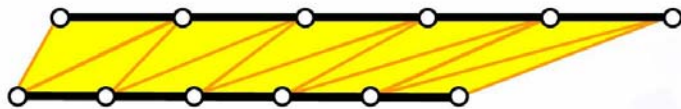
- Schnell und unkompliziert.
- Es entsteht direkt ein *Triangle Strip*, der effizient gerendert werden kann (z.B. `GL_TRIANGLE_STRIP` in OpenGL)

christof rezk-salama, computergraphik und multimediasysteme, universität siegen

Regelmäßige Triangulierung

7

Problematik:



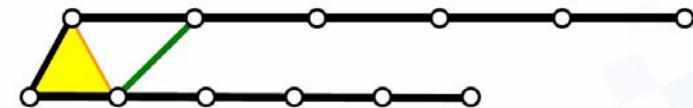
- Durch **Scherung** im Vektorfeld (d.h. starke Beschleunigung senkrecht zur Strömungsrichtung) können sehr lange spitze Dreiecke entstehen.

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:

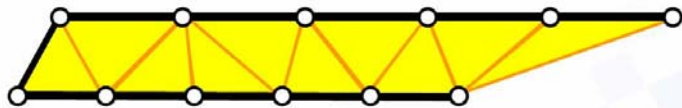
- Wähle von den möglichen Folgekanten jeweils die kürzere

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

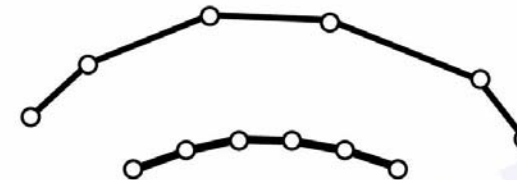
christof rezk-salama, computergraphik und multimediasysteme, universität siegen

Strömungsflächen

9

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

Problem:
Die Kanten werden immer länger



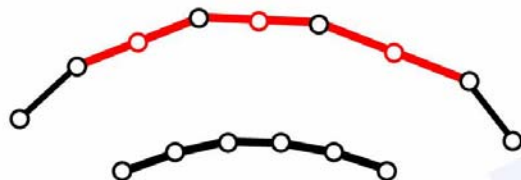
christof rezk-salama, computergraphik und multimediasysteme, universität siegen

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.

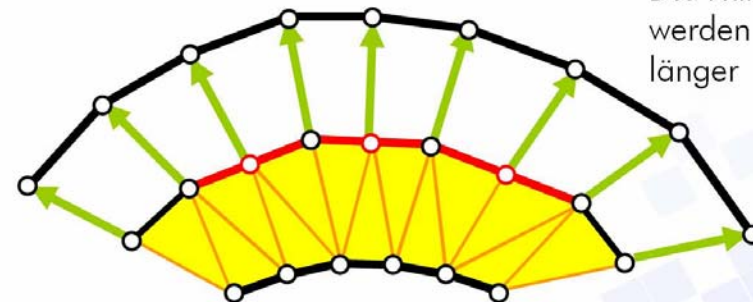
christof rezk-salama, computergraphik und multimediasysteme, universität siegen

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!

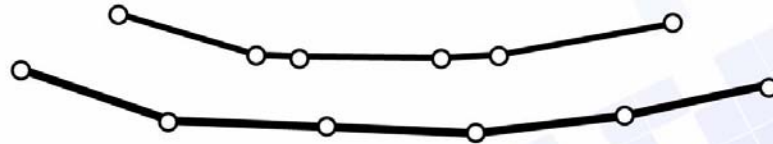
christof rezk-salama, computergraphik und multimediasysteme, universität siegen

Strömungsflächen

10

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

Problem:
Die Kanten
werden immer
kürzer.



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

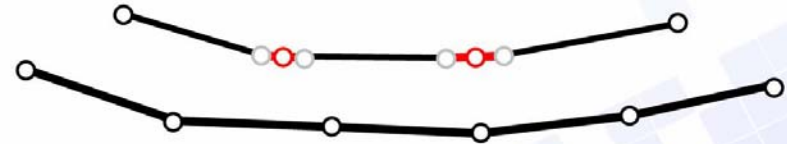
christof rezk-salama, computergraphik und multimediasysteme, universität siegen

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.

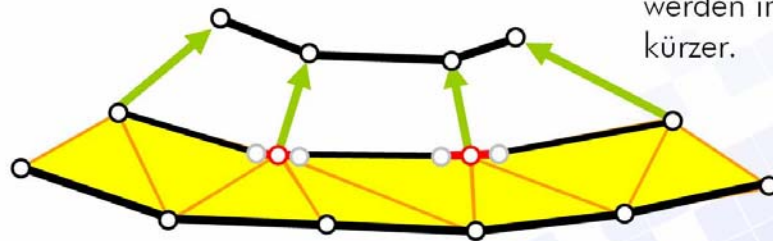
christof rezk-salama, computergraphik und multimediasysteme, universität siegen

Strömungsflächen

10

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

Problem:
Die Kanten
werden immer
kürzer.



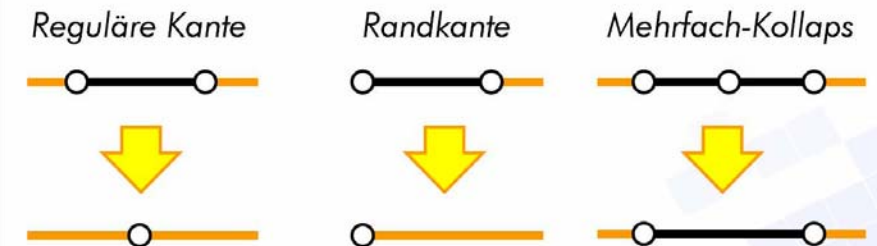
- **Merging:** Kollabiere Kanten der Führungskurve, wenn sie eine bestimmte Länge unterschreiten.

christof rezk-salama, computergraphik und multimediasysteme, universität siegen

Merging

11

- **Edge Collapse:** Kollabieren einer Kante



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

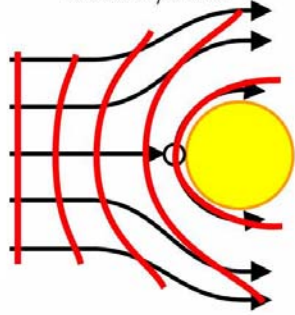
christof rezk-salama, computergraphik und multimediasysteme, universität siegen

Strömungsflächen

12

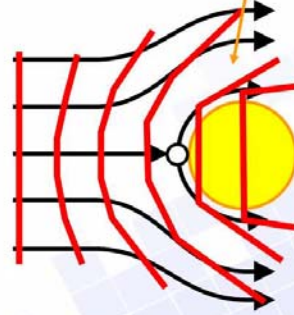
● Problematik: Hindernisse

Beispiel: Strömung um einen Zylinder



Idealer Fall

Strömungsfläche durchdringt das Objekt



Realer Fall

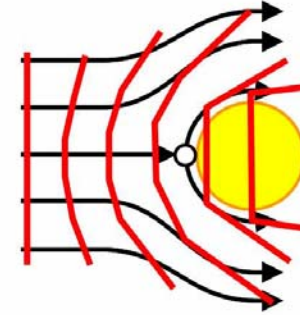
Grund: Diskretisierung

christof rezk-salama, computergraphik und multimediasysteme, universität siegen

Strömungsflächen

13

● Problematik: Hindernisse



Realer Fall

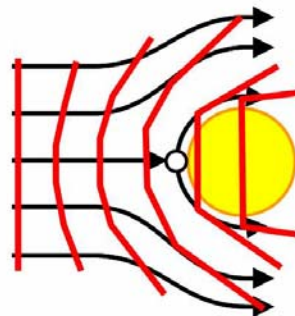
Grund: Diskretisierung

christof rezk-salama, computergraphik und multimediasysteme, universität siegen

Strömungsflächen

13

● Problematik: Hindernisse



Realer Fall

Grund: Diskretisierung

christof rezk-salama, computergraphik und multimediasysteme, universität siegen

Strömungsflächen

13

● Problematik: Hindernisse

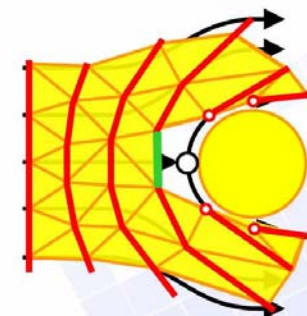
Ripping:

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



Zerreiße die Kante, wenn

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



christof rezk-salama, computergraphik und multimediasysteme, universität siegen

Strömungsflächen

13

● Problematik: Hindernisse

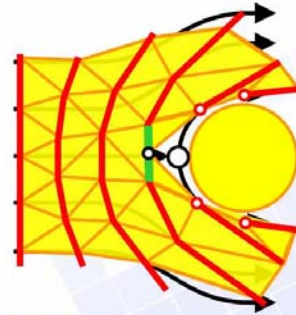
Ripping:

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



Zerreiße die Kante, wenn

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



● „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.

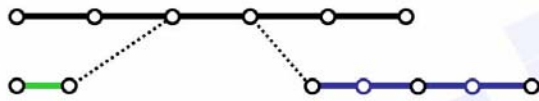
1. Wähle eine **Startkurve** (als Linienzug)
2. Verschiebe jeden Vertex um einen **Zeitschritt**
 - **Ripping**: Entferne Kanten die „zu schnell wachsen“.
 - **Splitting**: Teile Kanten, die zu lang geworden sind.



christof rezk-salama, computergraphik und multimediasysteme, universität siegen

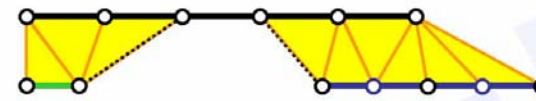
Bestimmung der Strömungsfläche.

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.



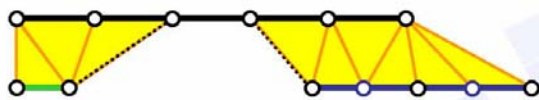
Bestimmung der Strömungsfläche.

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.



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?

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?

Stream Surfaces

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?

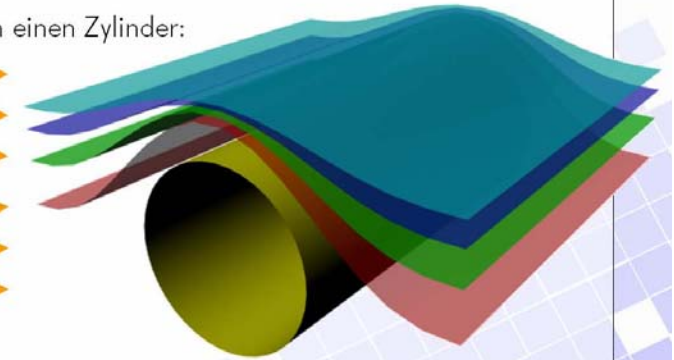
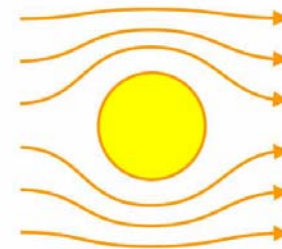
● **Antwort:** Nein.

Die Startkurve sollte möglichst orthogonal zur Strömung verlaufen.

Principal Stream Surface

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

Beispiel: Strömung um einen Zylinder:



Übertrage die erkannten Prinzipien auf komplexe Strömungen.

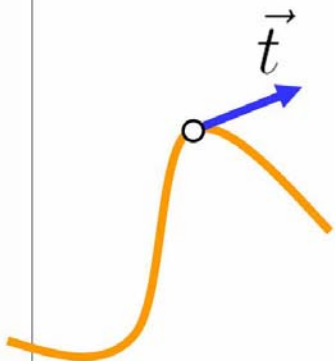
Frenet Frame

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

● Die **Tangente** an die Kurve

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

zeigt in Richtung des Geschwindigkeitsvektors.



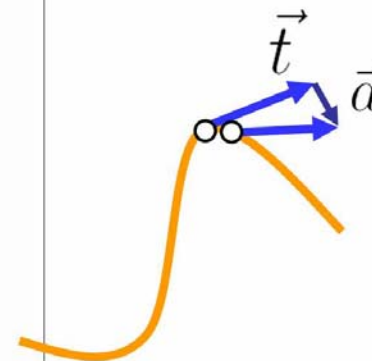
Frenet Frame

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

● Die **Beschleunigung**

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

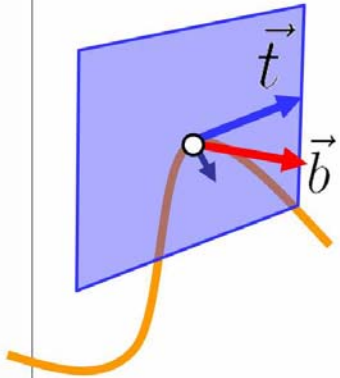
beschreibt die lokale Änderung der Geschwindigkeit und somit die **Krümmung** der Kurve



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

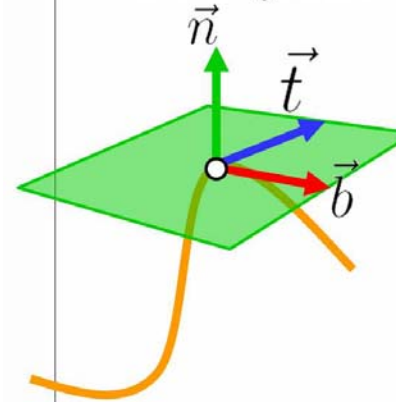
$$\vec{b} = \frac{\vec{t} \times \vec{a}}{\|\vec{t} \times \vec{a}\|}$$

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:

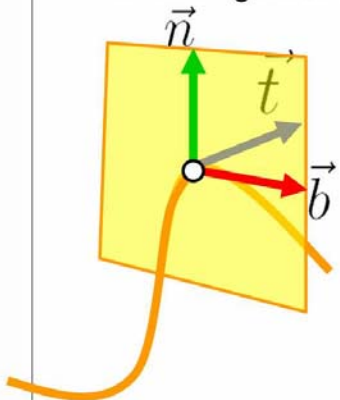
$$\vec{n} = \vec{b} \times \vec{v}$$

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.

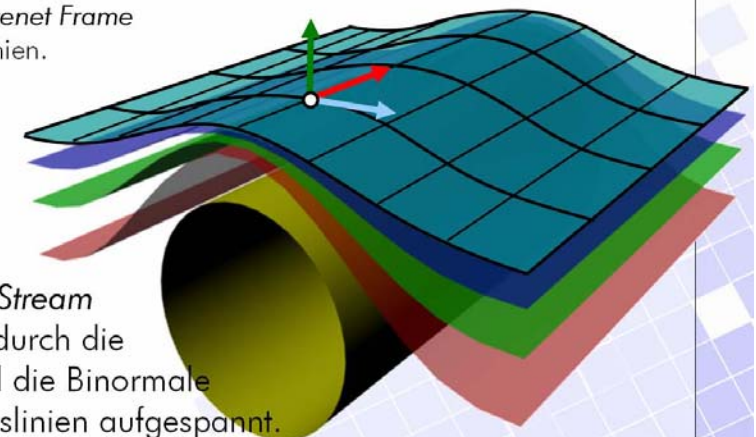
christof rezk-salama, computergraphik und multimediasysteme, universität siegen

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.

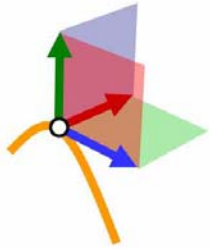
christof rezk-salama, computergraphik und multimediasysteme, universität siegen

Principal Stream Surfaces

23

Bestimmung der Startkurve

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



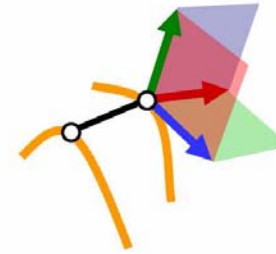
christof rezk-salama, computergraphik und multimediasysteme, universität siegen

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

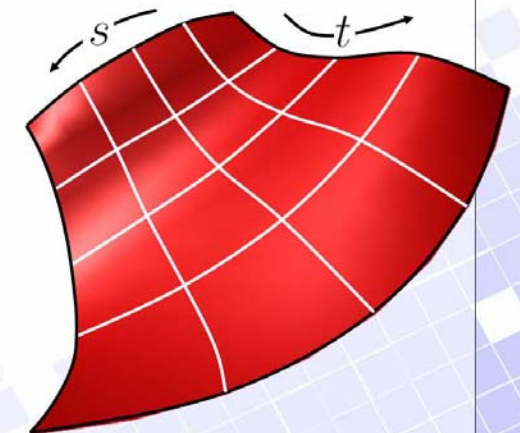
24

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

Verwende **Texturen** 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



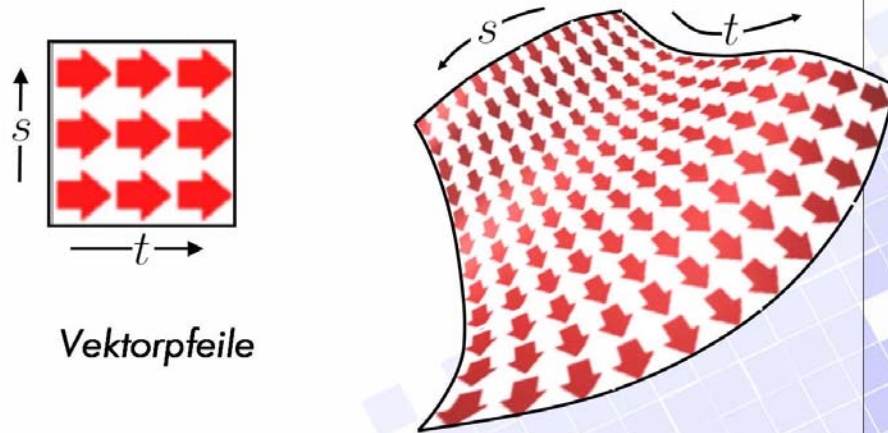
christof rezk-salama, computergraphik und multimediasysteme, universität siegen

Texturierung

25

Beispieltexturen

Farbtextur ersetzt den ambienten Term im Phong-Modell



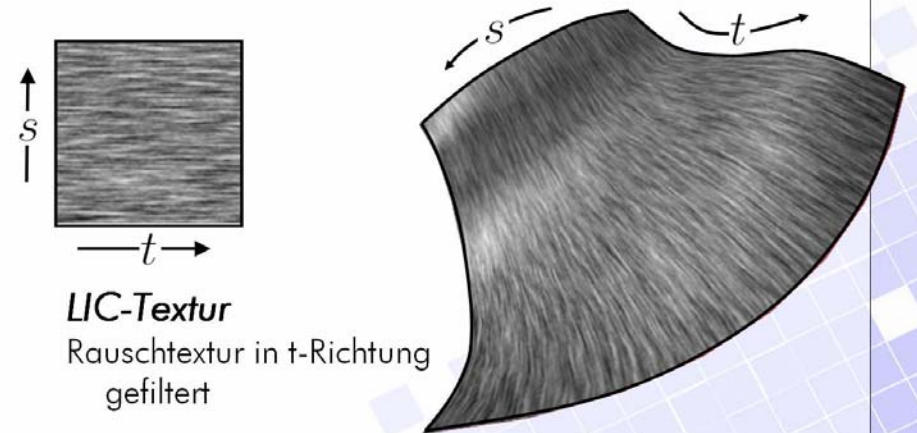
christof rezk-salama, computergraphik und multimediasysteme, universität siegen

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



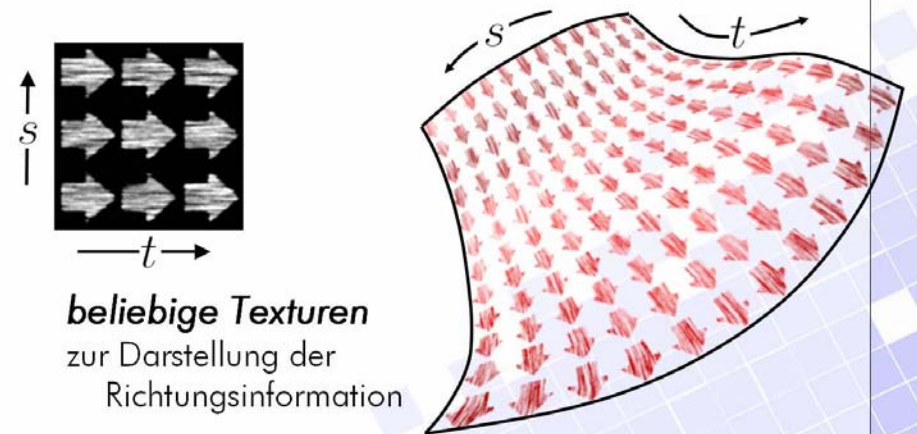
christof rezk-salama, computergraphik und multimediasysteme, universität siegen

Texturierung

28

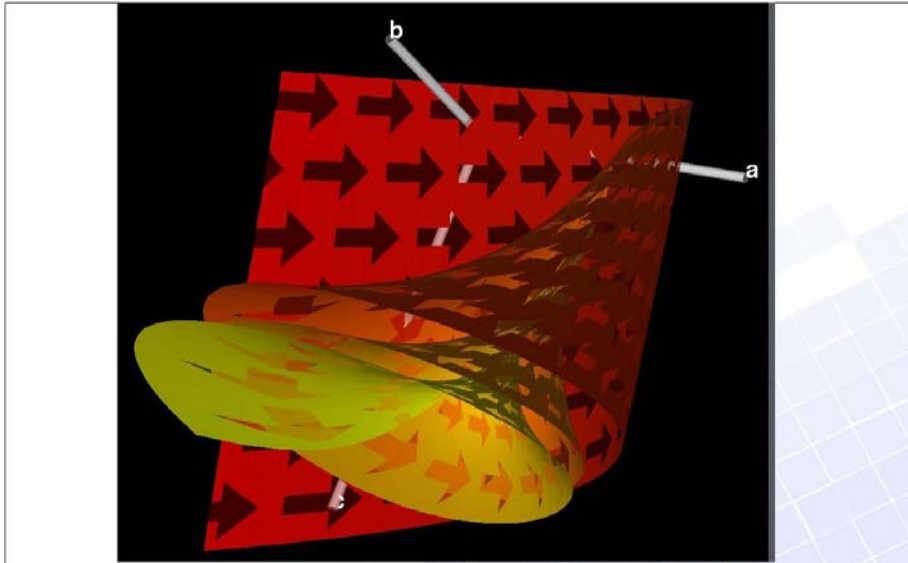
Beispieltexturen:

Farbtextur spezifiziert die Transparenz der Fläche



christof rezk-salama, computergraphik und multimediasysteme, universität siegen

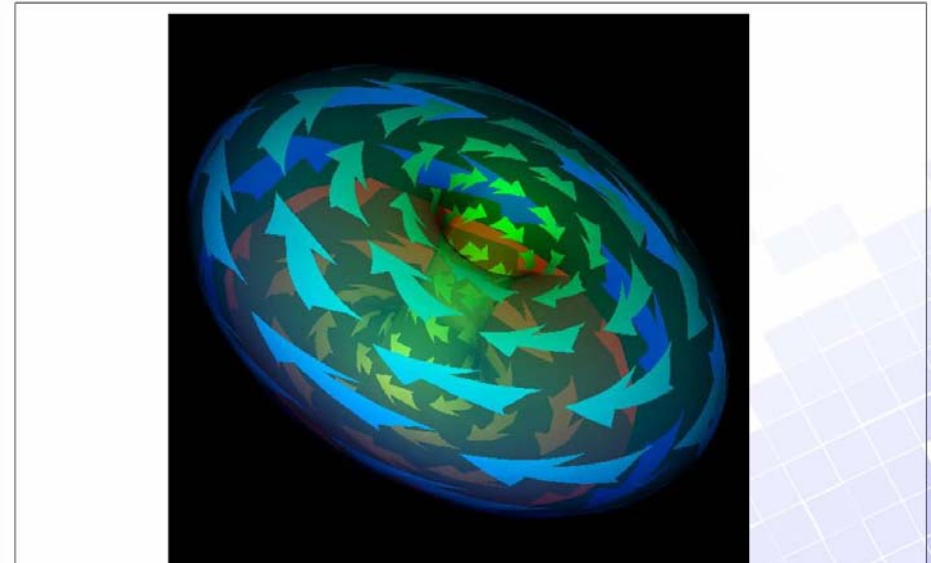
Texturierung



Löffelmann, Mroz, Gröller, and Purgathofer, TU Wien

christof rezk-salama, computergraphik und multimediasysteme, universität siegen

Texturierung



Löffelmann, Mroz, Gröller, and Purgathofer, TU Wien

christof rezk-salama, computergraphik und multimediasysteme, universität siegen

Time Surfaces

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:

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



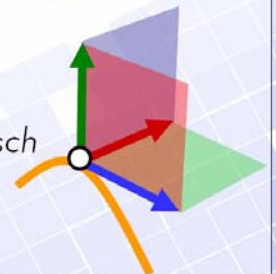
christof rezk-salama, computergraphik und multimediasysteme, universität siegen

Time Surfaces

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

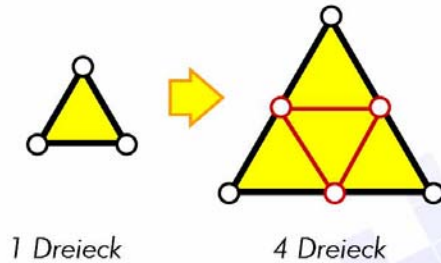
Time Surfaces

34

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

Dreiecksfläche:

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



christof rezk-salama, computergraphik und multimediasysteme, universität siegen

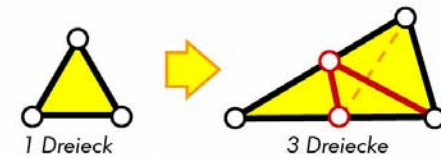
Time Surfaces

35

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

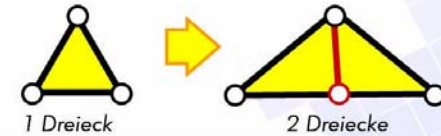
Dreiecksfläche:

- **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

Time Surfaces

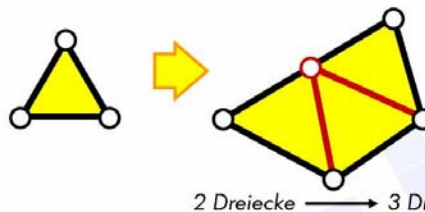
36

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

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

christof rezk-salama, computergraphik und multimediasysteme, universität siegen

Time Surfaces

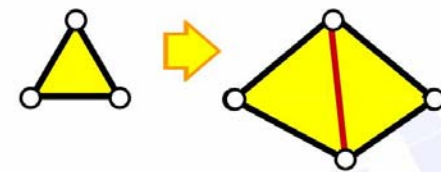
37

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

Dreiecksfläche: Optimierung

- **Fall 3:** Nur 1 Kante ist zu lang:

Falls eines der Nachbardreiecke vom Typ 2 oder 3 ist:



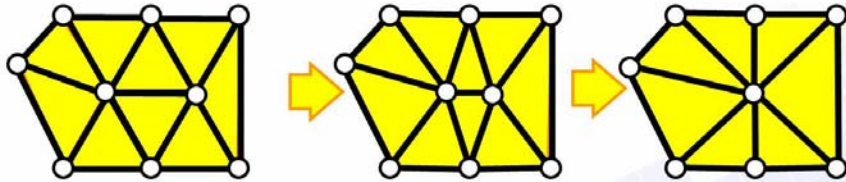
- **Untersuche das Nachbardreieck der langen Kante**

Hier: Anzahl der Dreiecke bleibt konstant.

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

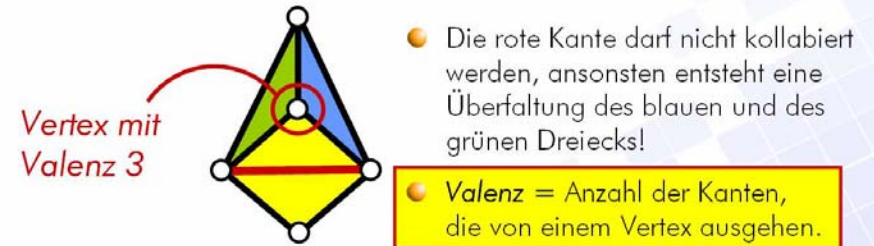


- **Achtung:** nicht alle kurzen Kanten können kollabiert werden!

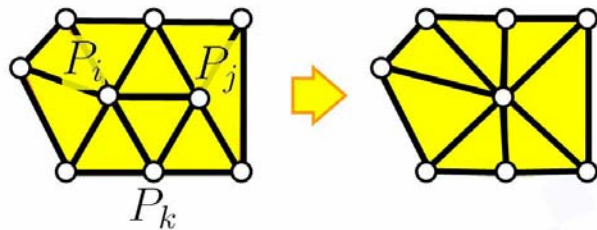
- **Problematik: Konvergenz** $\text{div } \vec{v} < 0$
analog zu Streamsurfaces: Kanten werden zu kurz.

Edge Collapse für Dreiecksnetze

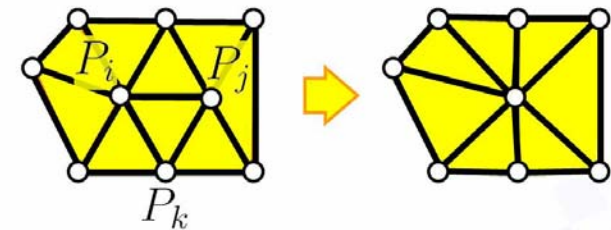
- **Beispiel für einen ungültigen Edge Collapse**



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



- 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



- 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.

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:

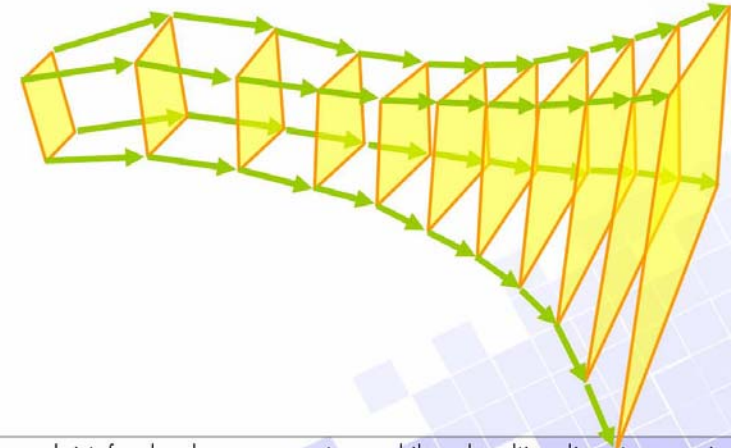
- Divergenz: Unterteilung
- Konvergenz: Edge Collapse
- Startfläche: Manuell, automatisch, semiautomatisch



christof rezk-salama, computergraphik und multimediasysteme, universität siegen

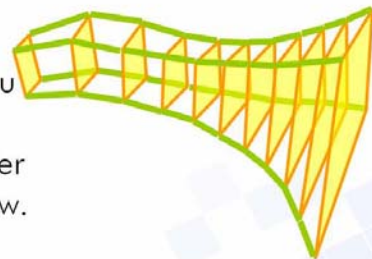
● Idee:

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



christof rezk-salama, computergraphik und multimediasysteme, universität siegen

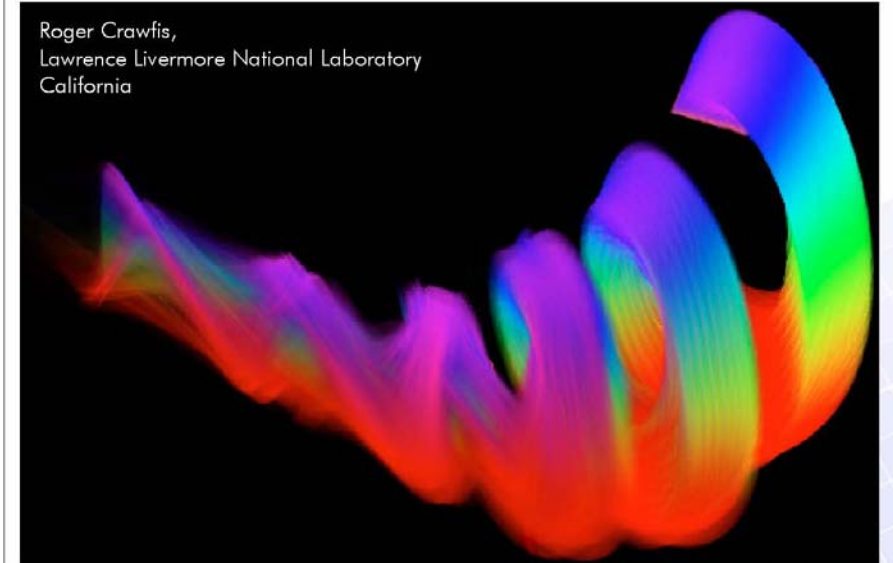
- Startpolygon (Rechteck) wird durch die Strömung bewegt.
- *Splitting und Rippling*: analog zu den Streamsurfaces wird das Volumen in Bereichen mit großer positiver Divergenz unterteilt bzw. zerrissen
- Kein Merging



- 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

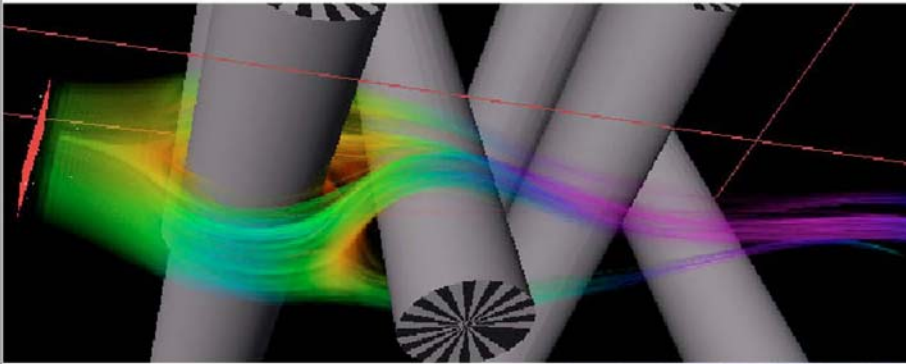
Roger Crawfis,
Lawrence Livermore National Laboratory
California



christof rezk-salama, computergraphik und multimediasysteme, universität siegen

Volume Flow

45



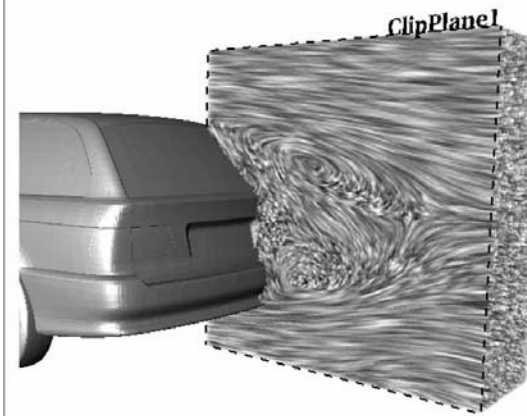
Roger Crawfis,
Lawrence Livermore National Laboratory
California

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.

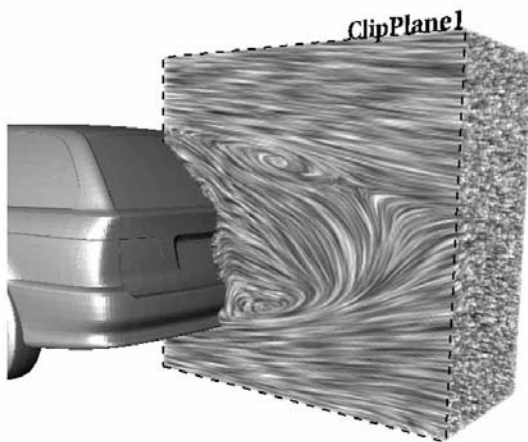
Visualisierung der
Ergebnis-Textur mit
Volume Rendering

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.

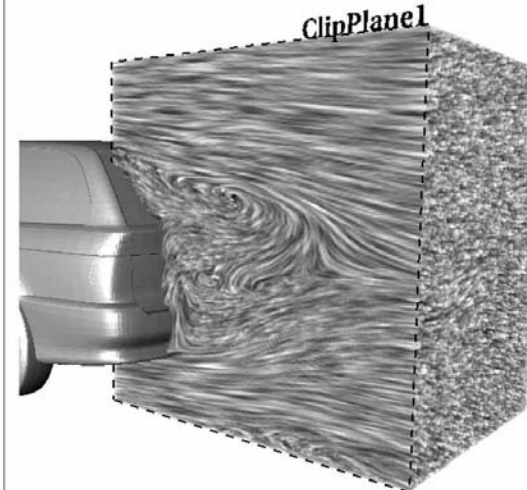
Visualisierung der
Ergebnis-Textur mit
Volume Rendering

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.

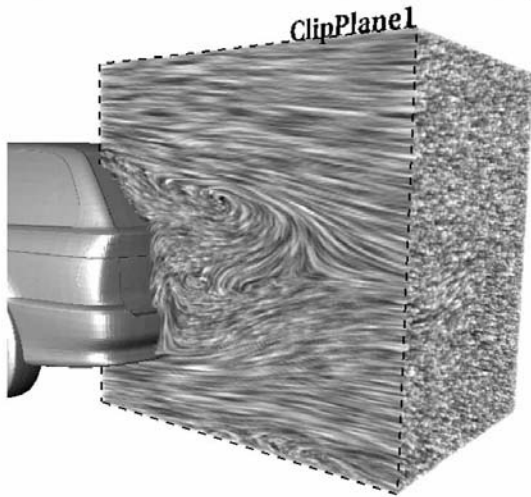
Visualisierung der
Ergebnis-Textur mit
Volume Rendering

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

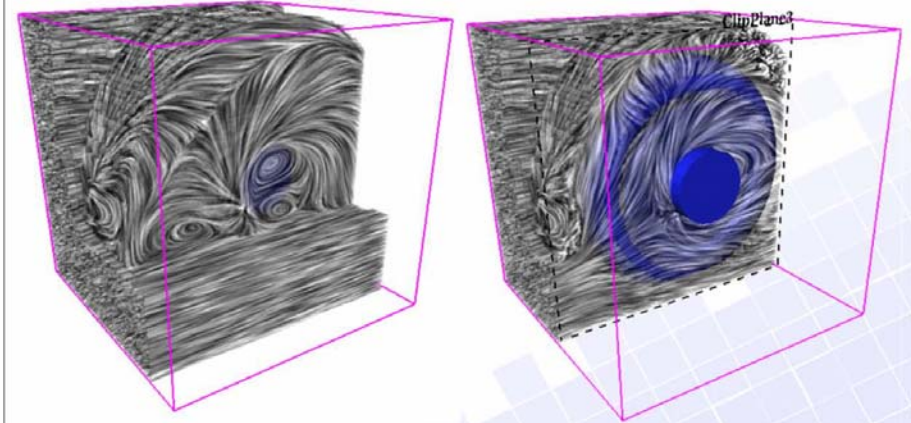
Problem: Die Ergebnis Textur ist zu komplex und verworren

christof rezk-salama, computergraphik und multimediasysteme, universität siegen

3D LIC

47

● Clipping und Transparenz helfen bei nicht allzu komplexen Strömungen

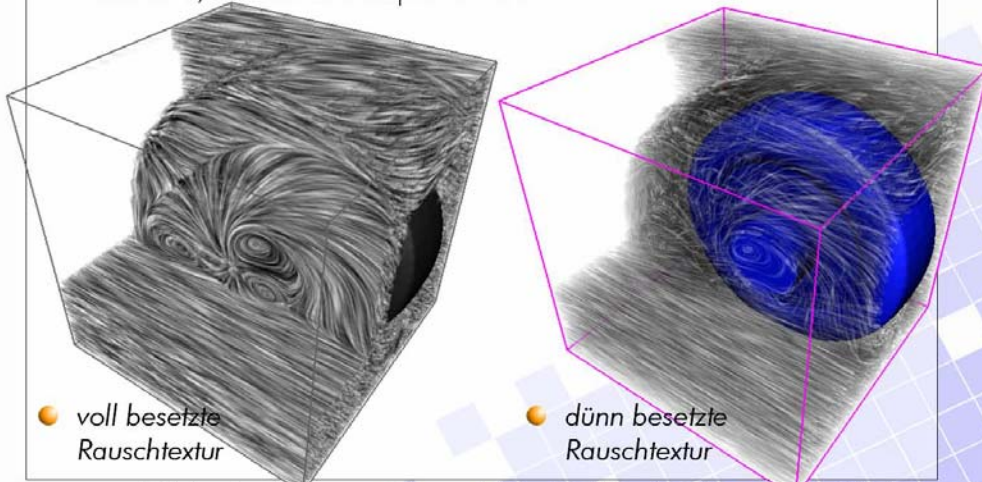


christof rezk-salama, computergraphik und multimediasysteme, universität siegen

3D LIC: Sparse Noise Textures

49

● „Dünn besetzte“ Rauschtexturen: Input-Texturen, die nur an wenigen Punkten Zufallswerte enthalten, ansonsten transparent sind



● voll besetzte Rauschtextur

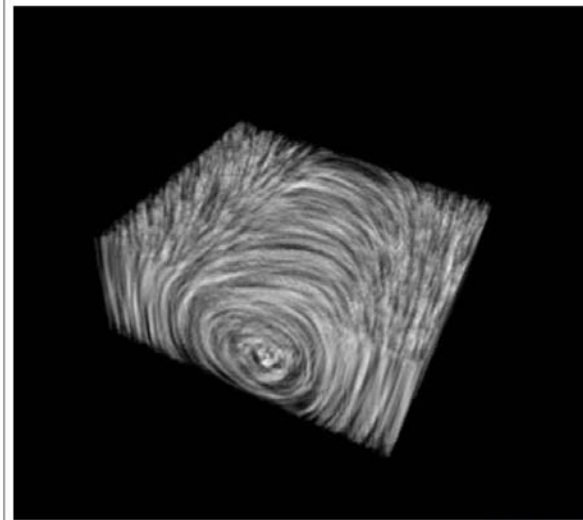
● dünn besetzte Rauschtextur

christof rezk-salama, computergraphik und multimediasysteme, universität siegen

3D LIC Animation

50

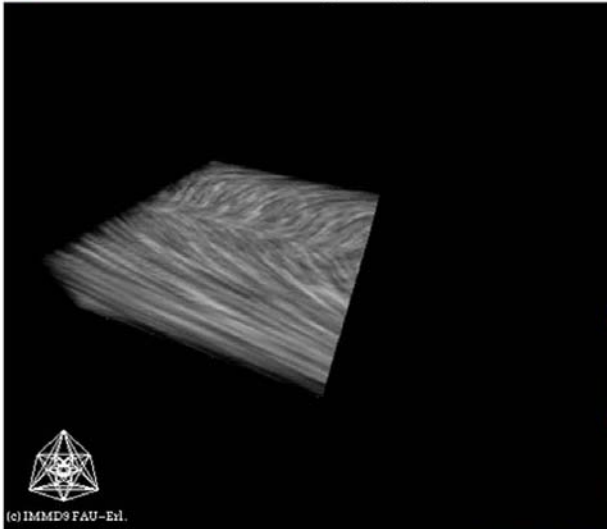
● 3D LIC Textures geclippt an Timesurfaces



- Vorberechnete LIC-Textur
- Volume Rendering und Clipping in Echtzeit

christof rezk-salama, computergraphik und multimediasysteme, universität siegen

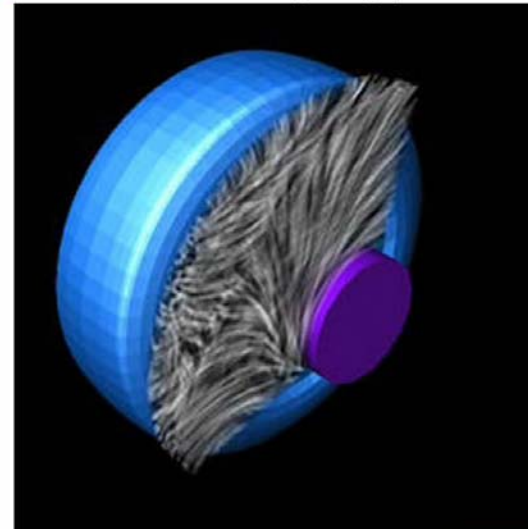
● 3D LIC Textures geclippt an Timesurfaces



- Vorberechnete LIC-Textur
- Volume Rendering und Clipping in Echtzeit

christof rezk-salama, computergraphik und multimediasysteme, universität siegen

● 3D LIC Textures geclippt an Timesurfaces



- Vorberechnete LIC-Textur
- Volume Rendering und Clipping in Echtzeit

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

Principial Stream Surfaces

Proc. IEEE Visualization 1997

● Mesh Processing:

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

Mesh Optimization.

Proc. ACM SIGGRAPH 1993

christof rezk-salama, computergraphik und multimediasysteme, universität siegen

● 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 et al.

Visualizing Flow over Curvilinear Grid Surfaces Using Line Integral Convolution.

Proc. IEEE Visualization 1994

christof rezk-salama, computergraphik und multimediasysteme, universität siegen

● 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

christof rezk-salama, computergraphik und multimediasysteme, universität siegen

● Strömungsvisualisierung allgemein:

F. Post, B. Vrolijk, H. Hauser, R. Laramee and H. Doleisch
State-of-the-Art Report: Feature Extraction and

Visualization of Flow Fields

Proc. Eurographics 2002

christof rezk-salama, computergraphik und multimediasysteme, universität siegen

Zusammenfassung

57

Strömungsvisualisierung

● Direkte Verfahren

Farbkodierung:

2D: Schnell und einfach, aber nur skalare Information

3D: Schnittebenen (wie 2D)

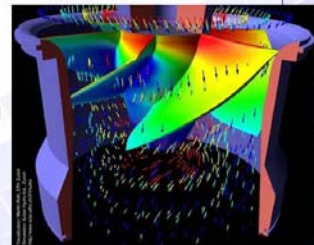
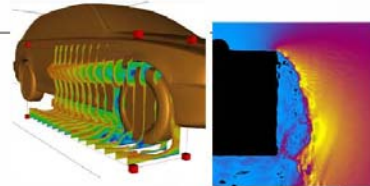
Volume Rendering: Ergebnisse oft irreführend
wegen Farb-Blending

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

Liniensbasierte Verfahren:

2D: Streamlines, Streaklines, Pathlines

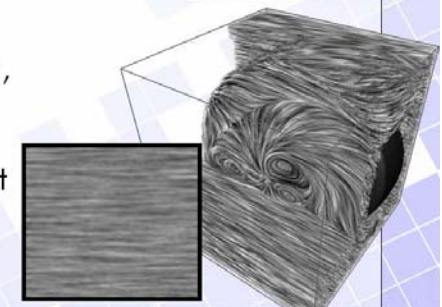
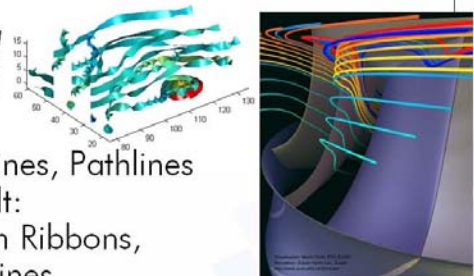
3D: Räumliche Tiefe fehlt:

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

Strömungsvisualisierung

● Verfahren mit Integration

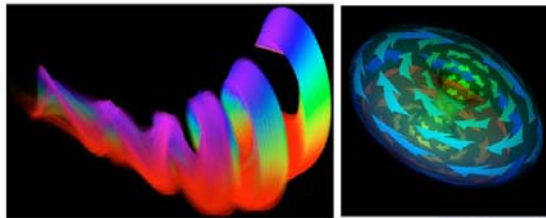
Flächenbasierte Verfahren:

3D: Stream Surfaces mit Texturen,

Time Surfaces:

Volumenbasierte Verfahren:

3D: Volume Flow

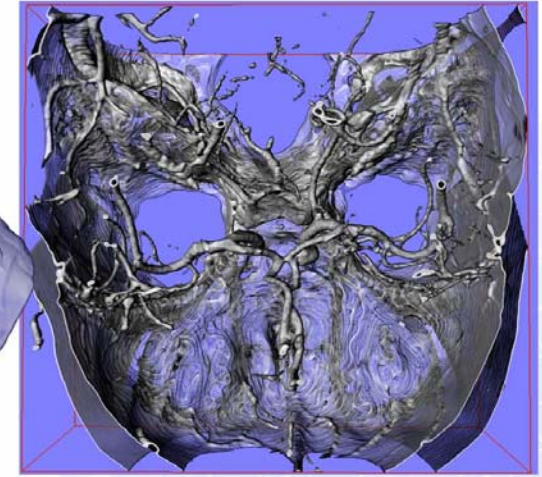


christof rezk-salama, computergraphik und multimediasysteme, universität siegen

● Volumenvisualisierung, Indirekte Verfahren



Daten: Antikensammlung,
Universität Erlangen-Nürnberg



Daten: Abt. f. Neuroradiologie, Kopfklinik Erlangen

christof rezk-salama, computergraphik und multimediasysteme, universität siegen