# Visualisierung: 3D Strömungsdaten II

Andreas Kolb und Martin Lambers

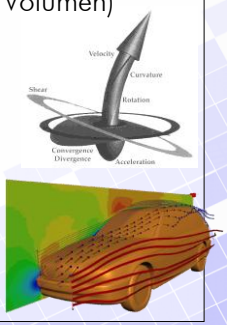
computergraphik und multimedia systeme
universität siegen

## Letzte Stunde



**Visualisierungsverfahren**

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






## Heute



**Visualisierungsverfahren**

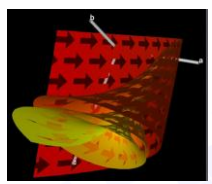
- *Verfahren mit Integration*

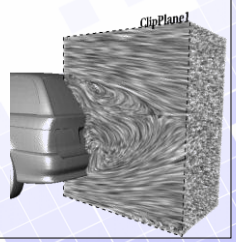
*Flächenbasierte Verfahren*

- Stream Surfaces
- Time Surfaces

*Volumen-basierte Verfahren*

- Flow Volumes
- 3D LIC



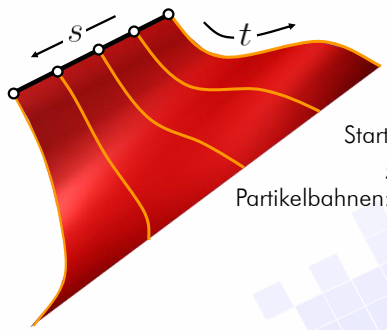





## Stream Surfaces



- *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:

$$\vec{f}(t) = \mathbf{F}(s_{const}; t)$$

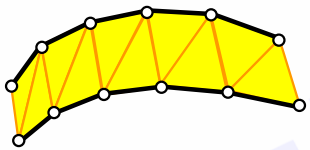
$$\frac{\partial \vec{f}}{\partial t} = \vec{v}(\vec{f}(t))$$

## Stream Surfaces



*Bestimmung der Strömungsfläche.*

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



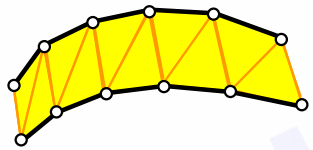


## Regelmäßige Triangulierung



*Einfaches Verfahren:*

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



*Vorteile:*

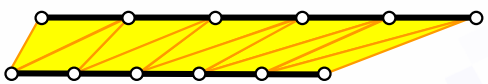
- Schnell und unkompliziert.
- Es entsteht direkt ein ***Triangle Strip***, der effizient gerendert werden kann **(z.B. `GL_TRIANGLE_STRIP` in OpenGL)**



## Regelmäßige Triangulierung



*Problematik:*



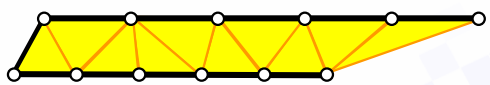
- Durch ***Scherung*** im Vektorfeld (d.h. starke Beschleunigung senkrecht zur Strömungsrichtung) können sehr lange spitze Dreiecke entstehen.



## Minimale Triangulierung



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:*

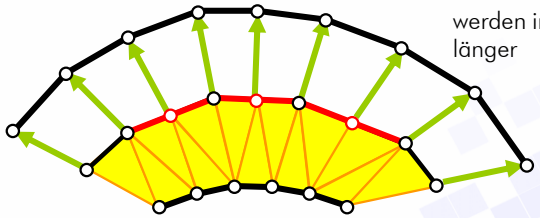
- ❑ Gute Triangulierung der Streifen.
- ❑ Einfach zu berechnen

## Strömungsflächen



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

**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!

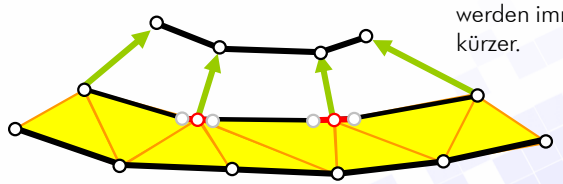


## Strömungsflächen



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

**Problem:**
Die Kanten werden immer kürzer.



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

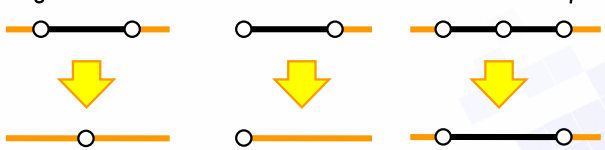


## Merging



- **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!



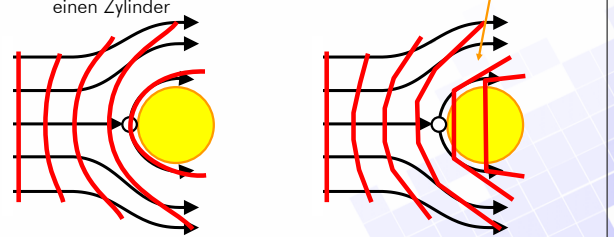
## Strömungsflächen



- *Problematik: Hindernisse*

*Beispiel:* Strömung um einen Zylinder

Strömungsfläche durchdringt das Objekt



*Idealer Fall*

*Realer Fall*
*Grund:* Diskretisierung

## Strömungsflächen

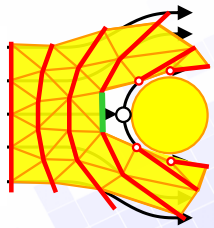


- *Problematik: Hindernisse*

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

Zerreiße die Kante, wenn

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





## Strömungsflächen

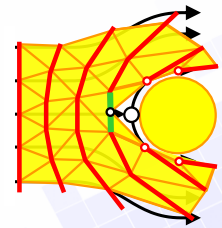


- *Problematik: Hindernisse*

*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



## Stream Surfaces



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

## Stream Surfaces



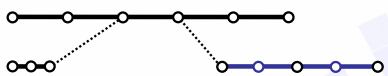
*Bestimmung der Strömungsfläche.*
1. Wähle eine ***Startkurve*** (als Linienzug)
2. Verschiebe jeden Vertex um einen ***Zeitschritt***
   - ***Ripping:*** Entferne Kanten die „zu schnell wachsen“.

## Stream Surfaces



*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.



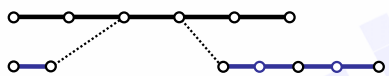


## Stream Surfaces



*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.



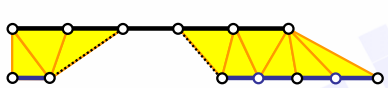


## Stream Surfaces



*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?



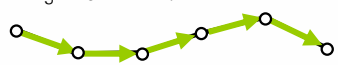
## Stream Surfaces



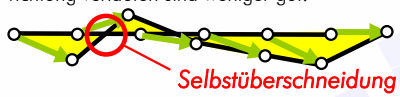
*Bestimmung der Strömungsfläche.*

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?

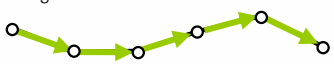
## Stream Surfaces



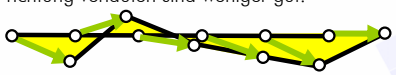
*Bestimmung der Strömungsfläche.*

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.

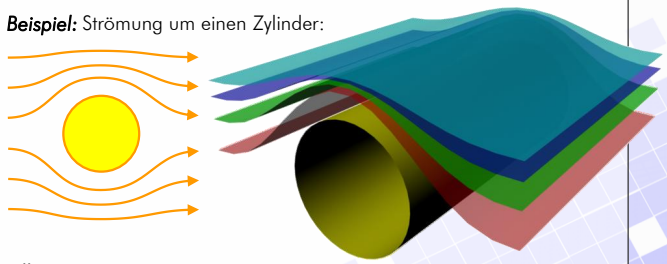


## Principal Stream Surface



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

***Beispiel:*** Strömung um einen Zylinder:



Übertrage die erkannten Prinzipien auf komplexe Strömungen.



## Exkurs: Frenet Frame



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



## Exkurs: Frenet Frame

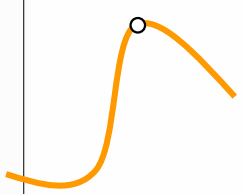


- Betrachte den ***Frenet Frame*** *(Dreibein)* einer Strömungslinie:

## Exkurs: Frenet Frame

25

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

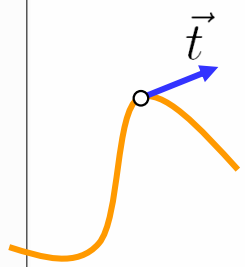




## Exkurs: Frenet Frame

26

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




- ***Die Tangente*** an die Kurve

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

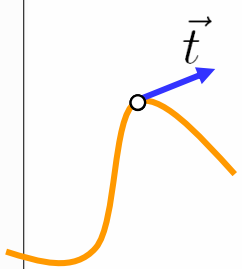
zeigt in Richtung des Geschwindigkeitsvektors.



## Exkurs: Frenet Frame

27

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

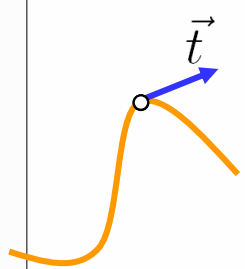





## Exkurs: Frenet Frame

28

- 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

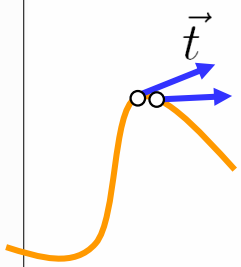
## Exkurs: Frenet Frame



- 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





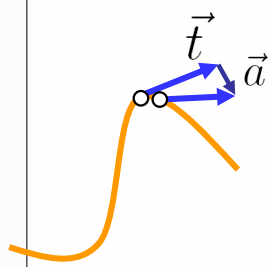

## Exkurs: Frenet Frame



- 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

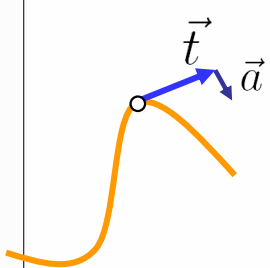





## Exkurs: Frenet Frame



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

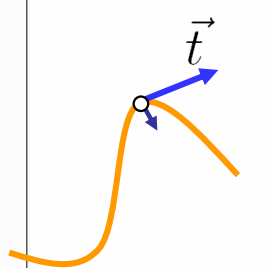





## Exkurs: Frenet Frame



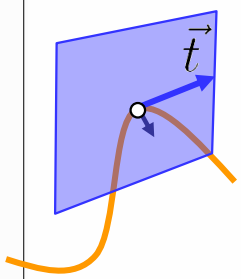
- Betrachte den ***Frenet Frame*** *(Dreibein)* einer Strömungslinie:



## Exkurs: Frenet Frame



- Betrachte den ***Frenet Frame*** *(Dreibein)* einer Strömungslinie:
  - Die Tangente und der Beschleunigungsvektor spannen eine ***Schmiegebene*** auf.

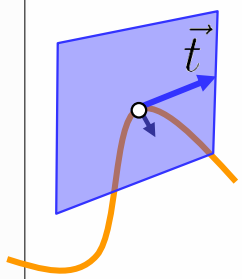





## Exkurs: Frenet Frame



- Betrachte den ***Frenet Frame*** *(Dreibein)* einer Strömungslinie:
  - Die Tangente und der Beschleunigungsvektor spannen eine ***Schmiegebene*** auf.
  - Die Kurve verläuft ***lokal*** innerhalb dieser Ebene.



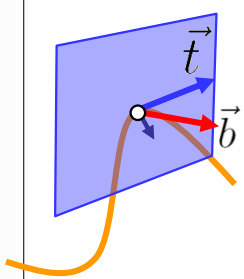



## Exkurs: Frenet Frame



- Betrachte den ***Frenet Frame*** *(Dreibein)* einer Strömungslinie:
  - Die Tangente und der Beschleunigungsvektor spannen eine ***Schmiegebene*** auf.
  - Die Kurve verläuft ***lokal*** innerhalb dieser Ebene.
  - ***Die Binormale*** ist der Normalenvektor dieser Schmiegebene

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

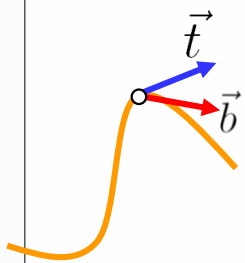





## Exkurs: Frenet Frame



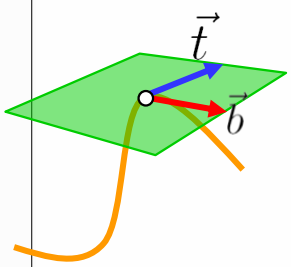
- Betrachte den ***Frenet Frame*** *(Dreibein)* einer Strömungslinie:



## Exkurs: Frenet Frame



- Betrachte den ***Frenet Frame*** *(Dreibein)* einer Strömungslinie:
  - Die Tangente und die Binormale spannen die ***rektifizierende Ebene*** auf.



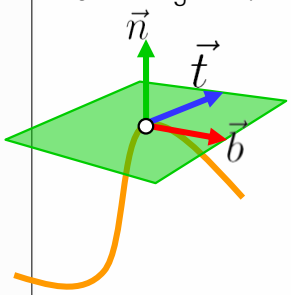



## Exkurs: Frenet Frame



- 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:

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

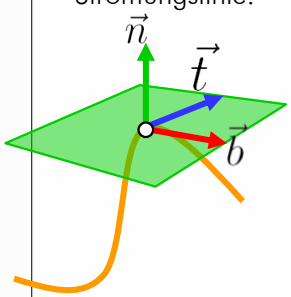





## Exkurs: Frenet Frame



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

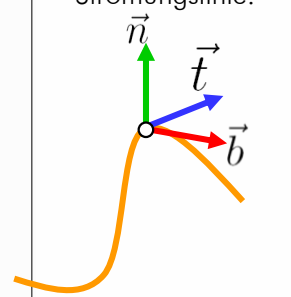





## Exkurs: Frenet Frame



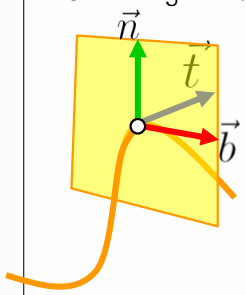
- Betrachte den ***Frenet Frame*** *(Dreibein)* einer Strömungslinie:



## Exkurs: Frenet Frame



- Betrachte den ***Frenet Frame*** *(Dreibein)* einer Strömungslinie:
  - Die Normale und die Binormale spannen die ***Normalebene*** auf.

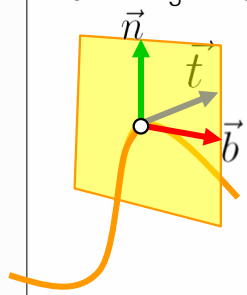





## Exkurs: Frenet Frame



- 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.

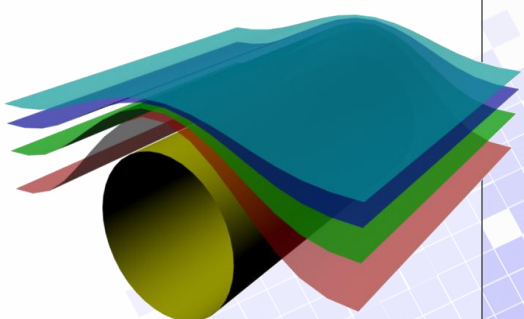





## Principal Stream Surfaces



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

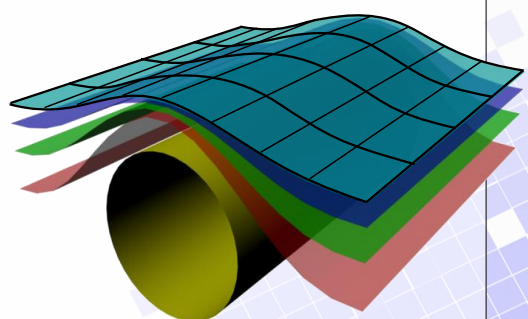




## Principal Stream Surfaces



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

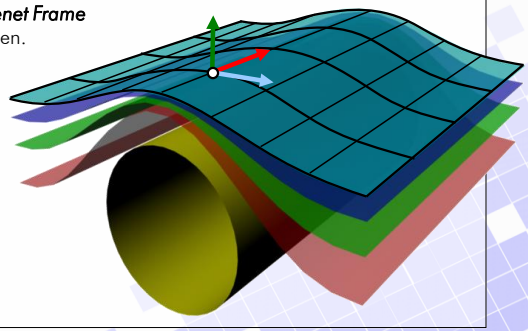


## Principal Stream Surfaces



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

Betrachte den ***Frenet Frame*** der Strömungslinien.



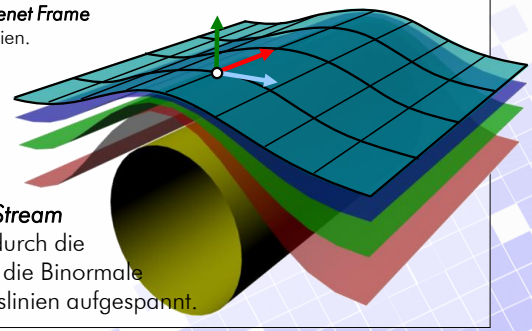


## Principal Stream Surfaces



- *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.

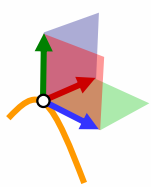


## Principal Stream Surfaces



*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***



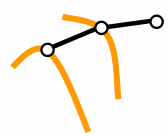


## Principal Stream Surfaces



*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.***

## Strömungsflächen

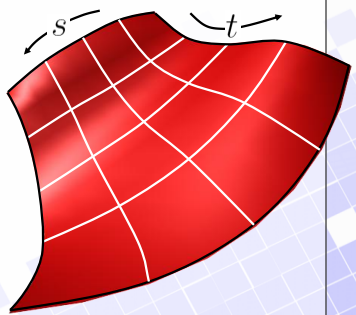


- Strömungsflächen zeigen nicht die Richtung der Strömung innerhalb der Fläche.

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***

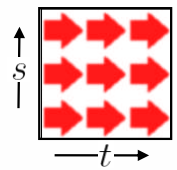




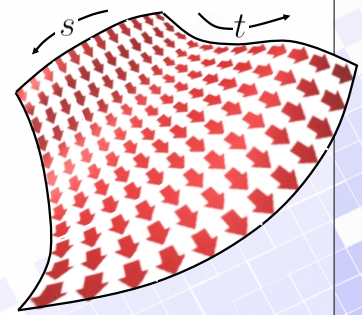

## Texturierung



- ***Beispieltexturen***
  Farbtextur ersetzt den ambienten Term im Phong-Modell




*Vektorpfeile*

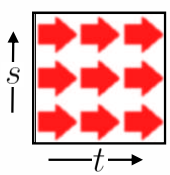


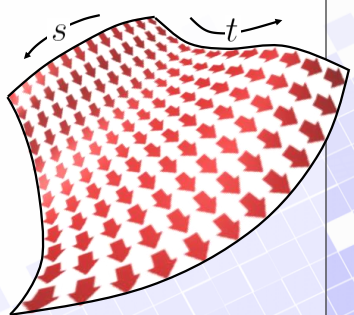



## Texturierung



- ***Beispieltexturen***
  Farbtextur ersetzt den ambienten Term im Phong-Modell



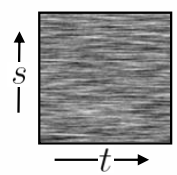





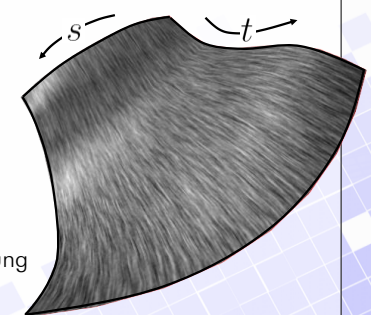

## Texturierung



- ***Beispieltexturen***
  Farbtextur ersetzt den ambienten Term im Phong-Modell



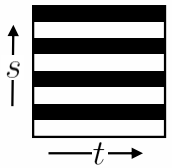

*LIC-Textur*
Rauschtextur in t-Richtung gefiltert



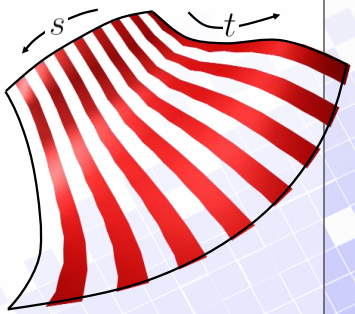
## Texturierung



- *Beispieltexturen:*
  Farbtextur spezifiziert die Transparenz der Fläche




*Stream-Ribbons*
transparente Streifen
in t-Richtung

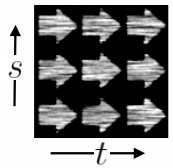




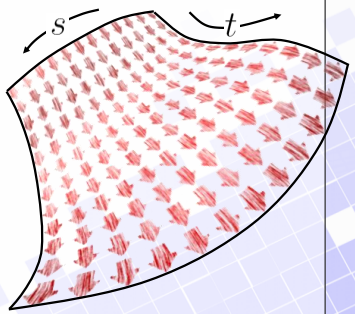

## Texturierung



- *Beispieltexturen:*
  Farbtextur spezifiziert die Transparenz der Fläche



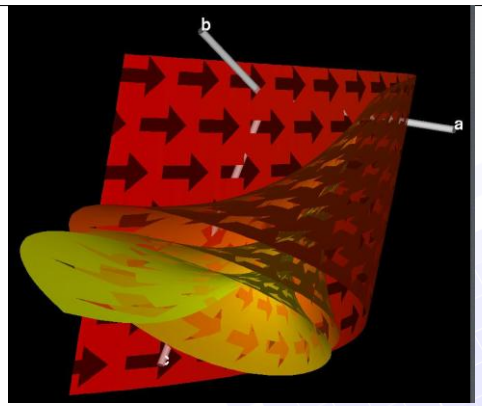

*beliebige Texturen*
zur Darstellung der
Richtungsinformation






## Texturierung



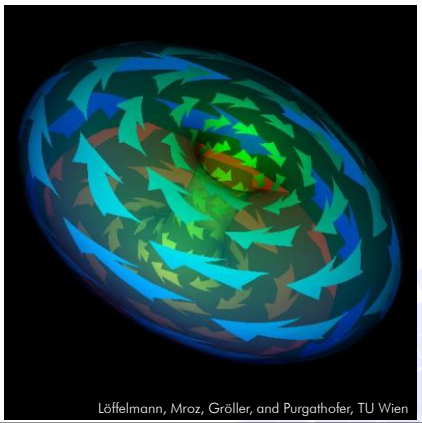



Löffelmann, Mroz, Gröller, and Purgathofer, TU Wien



## Texturierung





Löffelmann, Mroz, Gröller, and Purgathofer, TU Wien

## 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:*

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



## Time Surfaces



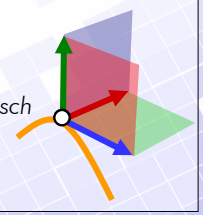
*Wahl der Startfläche:*

Die Startfläche sollte möglichst orthogonal zur Strömung sein:

- *Manuelle Wahl* (als *Flow Field Probe*)
- *Automatrische Wahl* (ausgehend von einem Punkt):

  *Frenet Frame:* Ideale Startfläche durch die Normale und Binormale einer Stromlinie
  - 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





## Time Surfaces

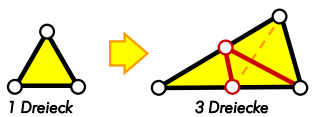


- *Problematik: Divergenz* $\operatorname{div} \vec{v} > 0$

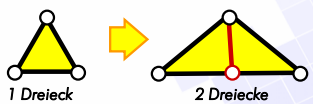
  analog zu Streamsurfaces: Kanten werden zu lang.

*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:






## Time Surfaces



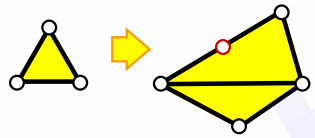
- *Problematik: Divergenz* $\operatorname{div} \vec{v} > 0$

  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*

## Time Surfaces



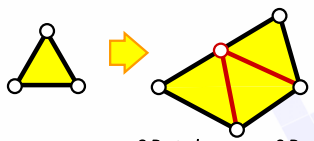
- *Problematik: Divergenz* $\operatorname{div} \vec{v} > 0$

  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*

*2 Dreiecke* → *3 Dreiecke*

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



## Time Surfaces



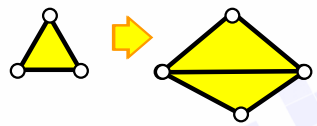
- *Problematik: Divergenz* $\operatorname{div} \vec{v} > 0$

  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*



## Time Surfaces



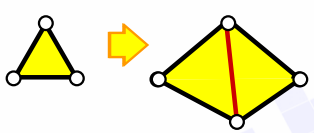
- *Problematik: Divergenz* $\operatorname{div} \vec{v} > 0$

  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.



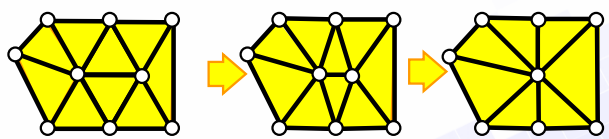
## Time Surfaces



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

  analog zu Streamsurfaces: Kanten werden zu kurz.

  ### *Edge Collapse für Dreiecksnetze*



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

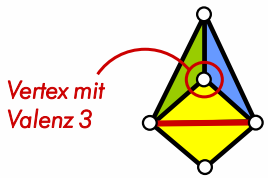
## Time Surfaces



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

*Edge Collapse für Dreiecksnetze*

- *Beispiel für einen ungültigen Edge Collapse*



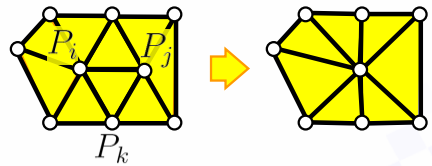

- Die rote Kante darf nicht kollabiert werden, ansonsten entsteht eine Überfaltung des blauen und des grünen Dreiecks!
- *Valenz* = Anzahl der Kanten, die von einem Vertex ausgehen.

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



## Edge Collapse



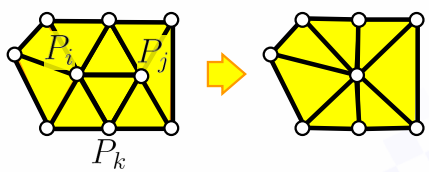



- Bevor ein *Edge-Collapse* $P_i\,P_j$ ausgeführt wird, müssen folgende Bedingungen geprüft werden:
  1. Für jeden Punkt $P_k$, der sowohl mit $P_i$ als auch mit $P_j$ benachbart ist, muß das Dreieck ( $P_k\,P_i\,P_j$ ) existieren.
  2. Wenn $P_i$ und $P_j$ beides Randpunkte sind, dann ist die Kante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



## Edge Collapse






- 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.



## Zusammenfassung



***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*

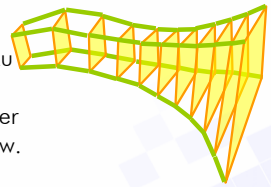
*Time Surfaces:*

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

## Volume Flow



- **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***

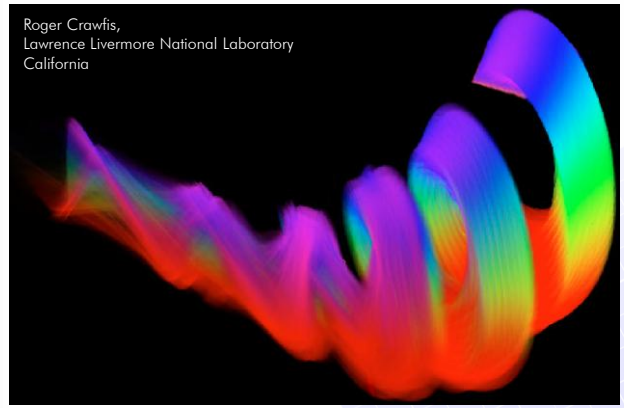


- Innerhalb des Flow Volumes wird ein (konstanter) Skalarwert angenommen (Farbe und Transparenz)
- Das ***Flow Volume*** wird in Tetraeder unterteilt und mit ***Volume Rendering*** *(Shirley & Tuchman)* dargestellt.



## Volume Flow

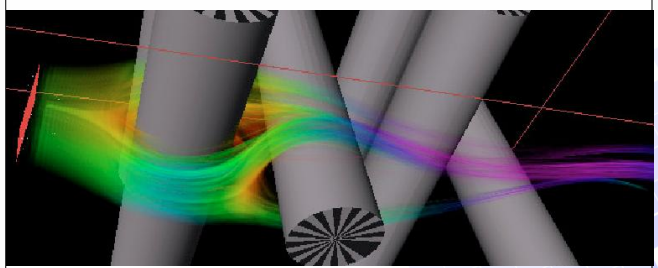







## Volume Flow





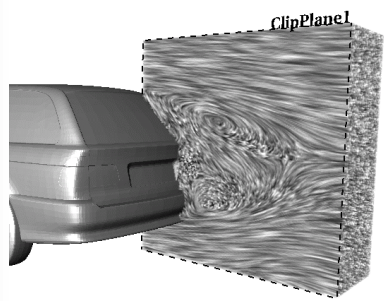
Roger Crawfis,
Lawrence Livermore National Laboratory
California



## Texturbasierte Verfahren in 3D



- *3D LIC:* Berechnung analog zu 2D



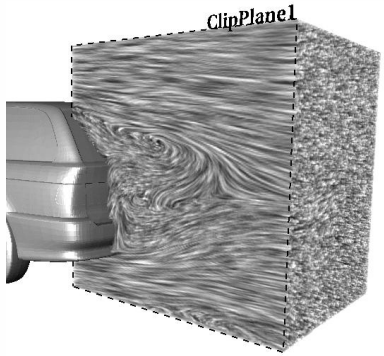

3D Rauschfeld wird geglättet entlang der Strömungslinien des Vektorfeldes.

Visualisierung der Ergebnis-Textur mit Volume Rendering

## Texturbasierte Verfahren in 3D

73

- *3D LIC:* Berechnung analog zu 2D




3D Rauschfeld wird geglättet entlang der Strömungslinien des Vektorfeldes.

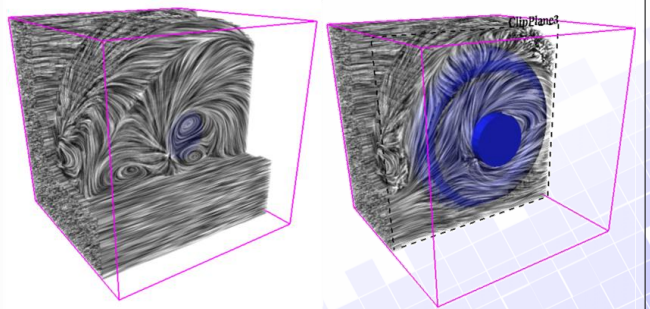
Visualisierung der Ergebnis-Textur mit Volume Rendering



## 3D LIC

74

- Clipping und Transparenz helfen bei nicht allzu komplexen Strömungen

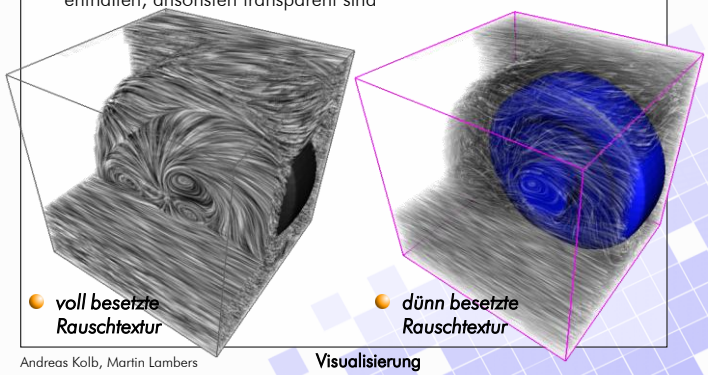





## 3D LIC: Sparse Noise Textures

75

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



- *voll besetzte Rauschtextur*
- *dünn besetzte Rauschtextur*



## Literatur

76


- *Stream Surfaces:*
  J.P. M. Hultquist.
  *Constructing Stream Surfaces in Steady 3D Vector Fields.*
  Proc. IEEE Visualization 1992

  Wenli Cai, Pheng-Ann Heng
  *Prinicipal Stream Surfaces*
  Proc. IEEE Visualization 1997

- *Mesh Processing:*
  H. Hoppe, T. DeRose, T. Duchamp, J. McDonald, W. Stützle.
  *Mesh Optimization.*
  Proc. ACM SIGGRAPH 1993

## Literatur



- *Flow Volumes:*
  N. Max, B. Becker and R. Crawfis.
  *Flow Volumes for interactive vector field visualization.*
  Proc. IEEE Visualization 1993
- *2D LIC auf beliebien Flächen in 3D:*
  L. Forsell et al.
  *Visualizing Flow over Curvilinear Grid Surfaces Using Line Integral Convolution.*
  Proc. IEEE Visualization 1994



## Literatur



- *3D LIC:*
  V. Interrante and C. Grosch.
  *Strategies for efficiently visualizating 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



## Literatur

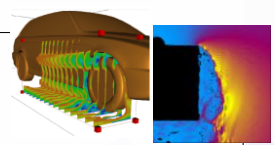


- Strömungsvisualisierung allgemein:
  F. Post, B. Vrolijk, H. Hauser, R. Laramee and H. Doleisch
  State-of-the-Art Report: Feature Extraction and Visualization of Flow Fields
  Proc. Eurographics 2002



## Zusammenfassung



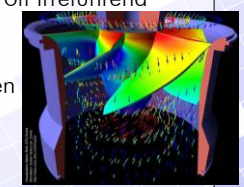


***Strömungsvisualisierung***

- *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

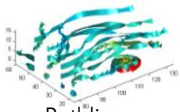
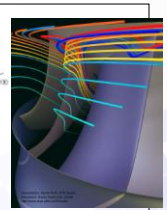
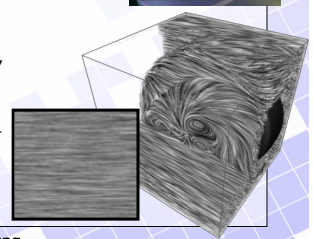


## Zusammenfassung



*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

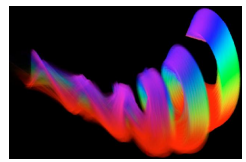
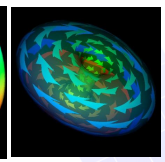


## Zusammenfassung



*Strömungsvisualisierung*

- *Verfahren mit Integration*
  - *Flächenbasierte Verfahren:*
    - *3D:* Stream Surfaces mit Texturen, Time Surfaces:
  - *Volumenbasierte Verfahren:*
    - *3D:* Volume Flow

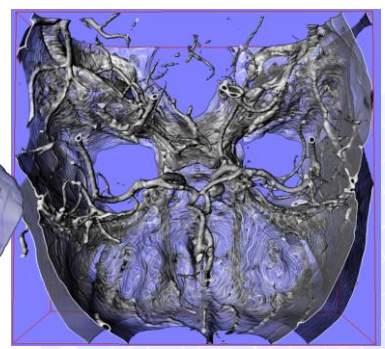


## Nächste Woche



- Volumenvisualisierung, Indirekte Verfahren

Daten: Antikensammlung, Universität Erlangen-Nürnberg


Daten: Abt. f. Neuroradiologie, Kopfklinik Erlangen