

Volumenvisualisierung auf unstrukturierten Gittern

Andreas Kolb und Martin Lambers

computergraphik und multimedia systeme
universität siegen



Letzte Stunde

2

Texturbasierte Volumenvisualisierung

- Ausnutzung der Standard-Grafik-Hardware

2D Texturen:

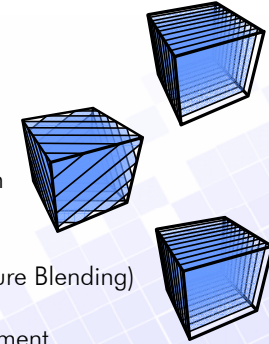
- bilineare Interpolation
- achsenparallele Schichten

3D Texturen:

- trilineare Interpolation
- Viewport-parallele Schichten
- ein Texturblock, Bricking

2D Multitexturen

- trilineare Interpolation (Texture Blending)
- achsenparallele Schichten
- Effizientes Memory Management.



Andreas Kolb, Martin Lambers

Visualisierung

Letzte Stunde

3

Texturbasierte Volumenvisualisierung

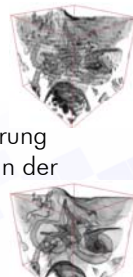
- Klassifikation (Transferfunktionen)

Präklassifikation:

- Farbtabelle vor der Interpolation/Rasterisierung
- Aliasing Artefakte durch hohe Frequenzen in der Transferfunktion.
- Einfache Implementierung

Postklassifikation:

- Farbtabelle nach der Interpolation/Rasterisierung
- Anpassung an hohe Frequenzen in der Transferfunktion durch Erhöhung der Schichtenzahl (Überabtastung).
- Aufwändigere Implementierung



Andreas Kolb, Martin Lambers

Visualisierung

Letzte Stunde

4

Texturbasierte Volumenvisualisierung

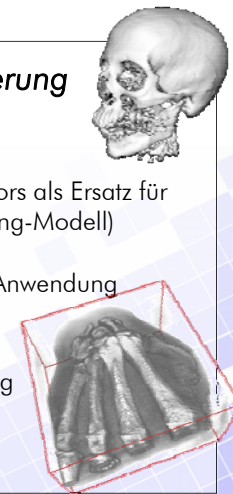
- Lokale Beleuchtung (Shading)

Grundprinzip:

- Vorberechnung des Gradientenvektors als Ersatz für die Oberflächennormale (Blinn-Phong-Modell)
- Speichern in zusätzlicher Textur.
- Beleuchtungsberechnung in Textur-Anwendung

Implementierungsbeispiele:

- Non-polygonal Isosurfaces
- Emission/Absorption mit Beleuchtung



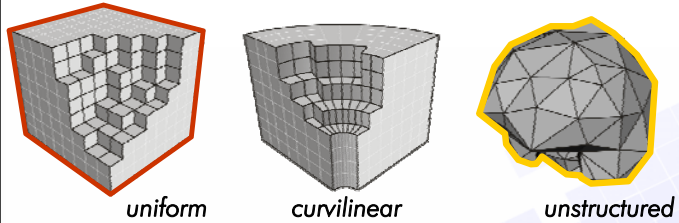
Andreas Kolb, Martin Lambers

Visualisierung

3D Skalarfelder

5

3D Gittertypen



Bisher besprochene
Verfahren

Heute:
Tetraedergitter

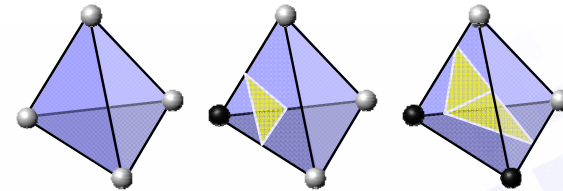
Andreas Kolb, Martin Lambers

Visualisierung

Indirekte Volumenvisualisierung

6

Isoflächen mit „Marching Tetrahedra“



- 3 mögliche Fälle (Symmetrie, Rotation)
- keine Mehrdeutigkeiten
- keine mehrdeutigen Zellen

Andreas Kolb, Martin Lambers

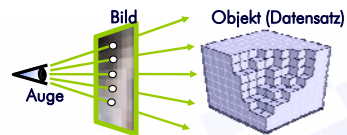
Visualisierung

Direkte Volumenvisualisierung

7

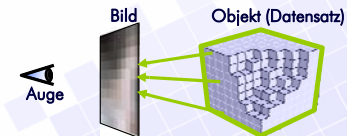
Bildraumverfahren:

Berechne für jeden Pixel des Ergebnisbildes den Beitrag des Volumens:



Objektraumverfahren:

Berechne für jeden Abtastpunkt des Volumens den Beitrag zum Ergebnisbild:



Andreas Kolb, Martin Lambers

Visualisierung

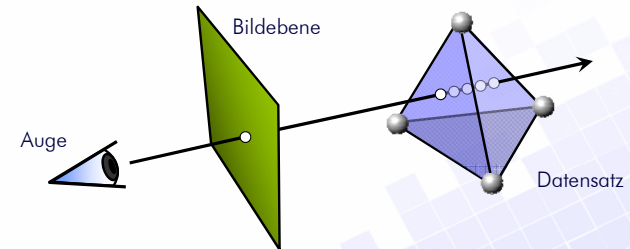
Direkte Volumenvisualisierung

8

Bildraumverfahren

Raycasting (Software)

Genau wie auf rektilinearen Gittern (plus Zellsuche)



Andreas Kolb, Martin Lambers

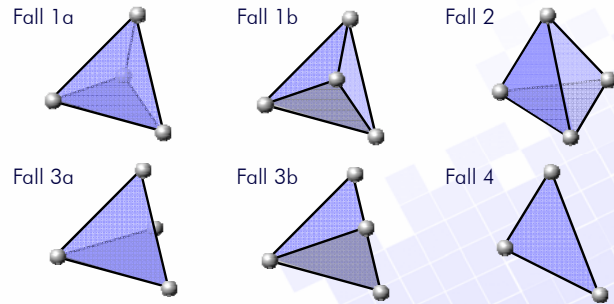
Visualisierung

Cell Projection

9

Objektraumverfahren:

Wie kann ein Tetraeder aussehen, wenn er auf die Bildebene projiziert wird?



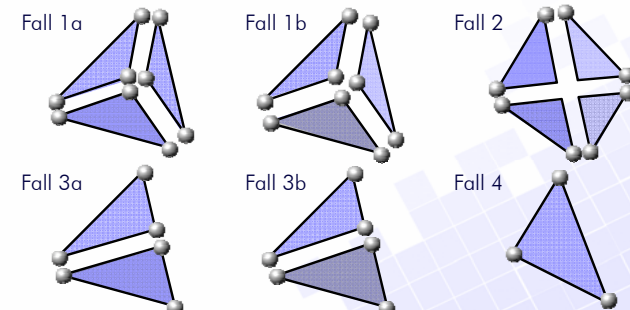
Andreas Kolb, Martin Lambers

Visualisierung

Cell Projection

10

Idee: Approximiere den projizierten Tetraeder durch einzelne Polygone



Andreas Kolb, Martin Lambers

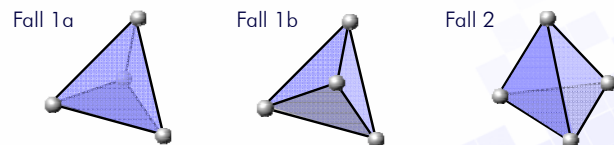
Visualisierung

Unterscheidung der Fälle

11

Wie finde ich heraus, um welchen Projektions-Fall es sich handelt?

Welche Tetraeder-Flächen sind mir zugewandt?



1 zugewandte Fläche
3 abgewandte Flächen

3 zugewandte Flächen
1 abgewandte Fläche

2 zugewandte Flächen
2 abgewandte Flächen

Andreas Kolb, Martin Lambers

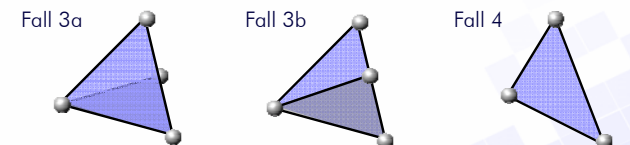
Visualisierung

Unterscheidung der Fälle

12

Wie finde ich heraus, um welchen Projektions-Fall es sich handelt?

Welche Tetraeder-Flächen sind mir zugewandt?



1 zugewandte Fläche
2 abgewandte Flächen
1 Fläche parallel zur Blickrichtung

2 zugewandte Flächen
1 abgewandte Fläche
1 Fläche parallel zur Blickrichtung

1 zugewandte Fläche
1 abgewandte Fläche
2 Flächen parallel zur Blickrichtung

Andreas Kolb, Martin Lambers

Visualisierung

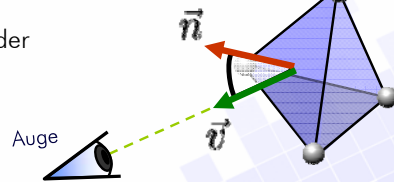
Unterscheidung der Fälle

13

- Wie finde ich heraus um welchen Projektions-Fall es sich handelt?
 Berechne für jede Tetraeder-Fläche den Winkel zwischen der Flächennormale $\vec{n}$ und der Blickrichtung $\vec{v}$.

Das Skalarprodukt $\langle \vec{n} \circ \vec{v} \rangle$ kann entweder

- + positiv,
- negativ oder
- 0 null sein.



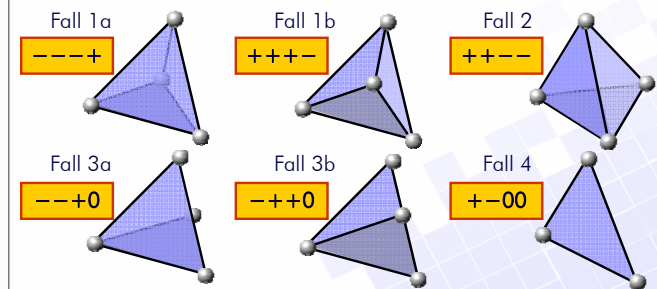
Andreas Kolb, Martin Lambers

Visualisierung

Unterscheidung der Fälle

14

- Wie finde ich heraus um welchen Projektions-Fall es sich handelt?
 Fallunterscheidung nach Vorzeichen des Skalarproduktes zwischen Flächennormalen $\vec{n}$ und Blickvektor $\vec{v}$.



Andreas Kolb, Martin Lambers

Visualisierung

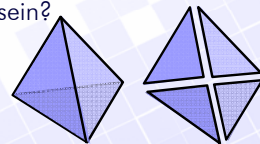
Cell Projection

15

Rendering-Algorithmus:

1. Sortiere alle Tetraeder von hinten nach vorne
2. Für jeden Tetraeder:
 - Bestimme den Projektions-Fall (1a/b, 2, 3a/b, 4)
 - Zerlege den projizierten Tetraeder in entsprechende Dreiecke
 - Blende diese Dreiecke transparent übereinander

Frage: Wie müssen die Farb- und Transparenzwerte an den Eckpunkten der Dreiecke gesetzt sein?

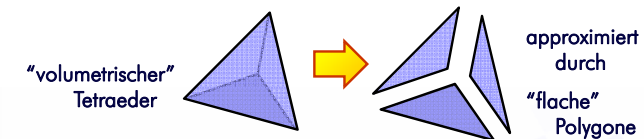


Andreas Kolb, Martin Lambers

Visualisierung

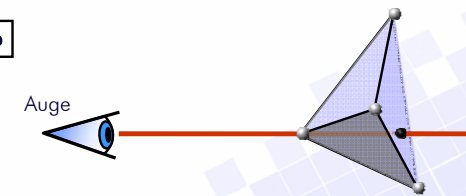
Integration bei Cell-Projection

16



Wie müssen Farbe und Transparenz an den Polygon-Vertices setzen, damit das gleiche visuelle Ergebnis wie beim Raycasting herauskommt?

Fall 1a/b



Andreas Kolb, Martin Lambers

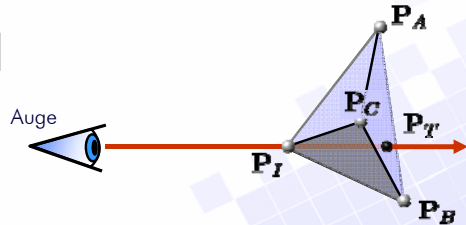
Visualisierung

Integration bei Cell-Projection

17

- Bestimme den Schnittpunkt $\mathbf{P}_T$ des Sehstrahls (=Eckpunkt der Dreiecke) durch $\mathbf{P}_I$ mit dem Dreieck $\mathbf{P}_A\mathbf{P}_B\mathbf{P}_C$.
- Bestimme die baryzentrischen Koordinaten des Punktes $\mathbf{P}_T$ bzgl. des Dreiecks $\mathbf{P}_A\mathbf{P}_B\mathbf{P}_C$.
- Interpoliere mit denselben Gewichten den Skalarwert für $\mathbf{P}_T$ aus den Skalarwerten bei $\mathbf{P}_A$, $\mathbf{P}_B$ und $\mathbf{P}_C$.

Fall 1a/b



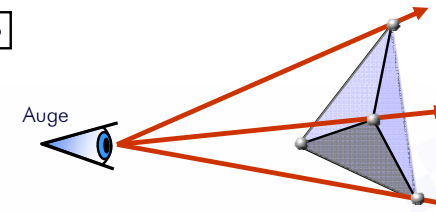
Andreas Kolb, Martin Lambers

Visualisierung

Integration bei Cell-Projection

18

Fall 1a/b



Für die äußeren Ecken ist die Lösung trivial:

Der Sehstrahl schneidet die Zelle in exakt einem Eckpunkt.

Der Skalarwert an den Eckpunkten der Zelle ist bekannt.

Andreas Kolb, Martin Lambers

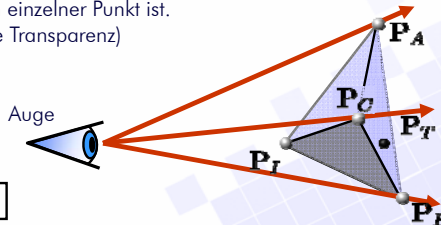
Visualisierung

Integration bei Cell Projection

19

- Die Transferfunktion wird angewendet:
Skalarwerte werden auf Emissions- und Absorptionswerte abgebildet.
- Bestimme Emission und Absorption für die Vertices der Dreiecke:
Für die äußeren, "dünnen" Ecken ist es wiederum trivial:
 - Der Emissionswert ist an dem Vertex durch die TF gegeben.
 - Absorption findet nicht statt, da der Schnittpunkt mit dem Strahl nur ein einzelner Punkt ist. (völlige Transparenz)

Fall 1a/b



Andreas Kolb, Martin Lambers

Visualisierung

Integration bei Cell Projection

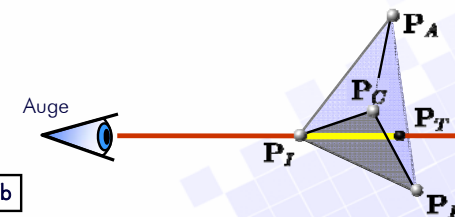
20

Für den inneren, "dicken" Vertex muß das Integral der Emission und Absorption entlang der Strecke approximiert werden:

- Der Absorptionswert der Strecke wird durch Approximation der optischen Tiefe zwischen $\mathbf{P}_I$ und $\mathbf{P}_T$ bestimmt:

$$A(\mathbf{P}_I \rightarrow \mathbf{P}_T) = 1 - e^{-\tau(\mathbf{P}_I, \mathbf{P}_T)}$$

$$\approx 1 - e^{-\frac{A(\mathbf{P}_I) + A(\mathbf{P}_T)}{2} \Delta s}$$



Fall 1a/b

Andreas Kolb, Martin Lambers

Visualisierung

Integration bei Cell Projection

21

Projizierter Tetraeder approximiert durch Dreiecke auf der Bildebene

Anmerkung:

Die lineare Interpolation der RGBA-Werte im Inneren der Dreiecke ist auch nur eine Approximation!

$$\begin{matrix} \text{RGB} = q(\mathbf{P}_A) \\ \mathbf{A} = 0 \end{matrix}$$

$$\begin{matrix} \text{RGB} = q(\mathbf{P}_B) \\ \mathbf{A} = 0 \end{matrix}$$

$$\begin{matrix} \text{RGB} = q(\mathbf{P}_I \rightarrow \mathbf{P}_T) \\ \mathbf{A} = \mathbf{A}(\mathbf{P}_I \rightarrow \mathbf{P}_T) \end{matrix}$$

$$\begin{matrix} \text{RGB} = q(\mathbf{P}_C) \\ \mathbf{A} = 0 \end{matrix}$$

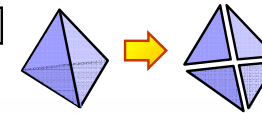
Andreas Kolb, Martin Lambers

Visualisierung

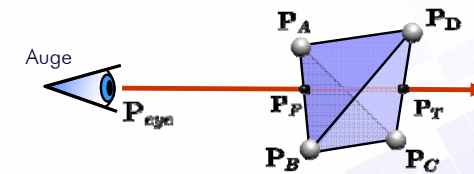
Integration bei Cell-Projection

22

Fall 2



Wie bestimme ich die Schnittpunkte im Fall 2?



$\mathbf{P}_F$ ist der Schnittpunkt der Gerade $\overline{\mathbf{P}_A \mathbf{P}_B}$ mit der Ebene $\langle \mathbf{P}_C \mathbf{P}_D \mathbf{P}_{eye} \rangle$

$\mathbf{P}_T$ ist der Schnittpunkt der Gerade $\overline{\mathbf{P}_C \mathbf{P}_D}$ mit der Ebene $\langle \mathbf{P}_A \mathbf{P}_B \mathbf{P}_{eye} \rangle$

Andreas Kolb, Martin Lambers

Visualisierung

Integration bei Cell Projection

23

Projizierter Tetraeder approximiert durch Dreiecke auf der Bildebene

$$\begin{matrix} \text{RGB} = q(\mathbf{P}_A) \\ \mathbf{A} = 0 \end{matrix}$$

$$\begin{matrix} \text{RGB} = q(\mathbf{P}_B) \\ \mathbf{A} = 0 \end{matrix}$$

$$\begin{matrix} \text{RGB} = q(\mathbf{P}_C) \\ \mathbf{A} = 0 \end{matrix}$$

$$\begin{matrix} \text{RGB} = q(\mathbf{P}_F \rightarrow \mathbf{P}_T) \\ \mathbf{A} = \mathbf{A}(\mathbf{P}_F \rightarrow \mathbf{P}_T) \end{matrix}$$

$$\begin{matrix} \text{RGB} = q(\mathbf{P}_D) \\ \mathbf{A} = 0 \end{matrix}$$

Andreas Kolb, Martin Lambers

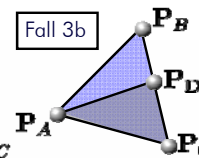
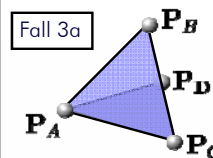
Visualisierung

Integration bei Cell Projection

24

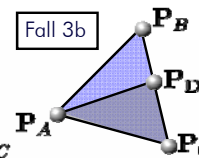
Die restlichen Fälle werden analog berechnet

Fall 3a



$\mathbf{P}_D$ wird auf Kante $\mathbf{P}_B \mathbf{P}_C$ projiziert

Lineare Interpolation des Skalarwerts entlang der Kante $\mathbf{P}_B \mathbf{P}_C$



$\mathbf{P}_D$ und $\mathbf{P}_C$ liegen auf dem selben Sehstrahl

keine Interpolation des Skalarwerts notwendig

Andreas Kolb, Martin Lambers

Visualisierung

Tiefensortierung

25

- Tiefensortierung für Tetraederzellen ist *nicht trivial!*

Falscher Ansatz: Bestimme den Mittelpunkt jedes Tetraeders und sortiere die Mittelpunkte



Das gleiche Problem haben Sortieralgorithmen, die nach dem vordersten Tetraederpunkt in Blickrichtung sortieren!

Andreas Kolb, Martin Lambers

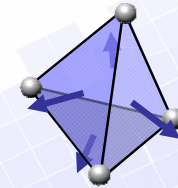
Visualisierung

Tiefensortierung

26

Sortierverfahren für Tetraedergitter

- Prinzip:** Betrachte einen Tetraeder
Bestimme für jede Tetraederfläche, ob sie zugewandt oder abgewandt ist (front/back-face).
- Ein benachbarter Tetraeder, der an eine abgewandte Fläche anschließt, muss hinten einsortiert werden.
- Ein benachbarter Tetraeder, der an eine zugewandte Fläche anschließt muss vorne einsortiert werden



Andreas Kolb, Martin Lambers

Visualisierung

Tiefensortierung

27

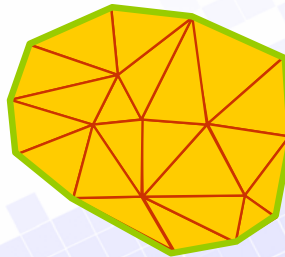
- Sortierverfahren für *konvexe* Tetraedergitter

Datenstruktur für das Gitter:

Speichere für jeden Tetraeder
Referenzen auf seine vier
Flächen

Speichere für jede Fläche
Referenzen auf die Tetraeder

Speichere eine Liste aller
Randflächen



Andreas Kolb, Martin Lambers

Visualisierung

Tiefensortierung

28

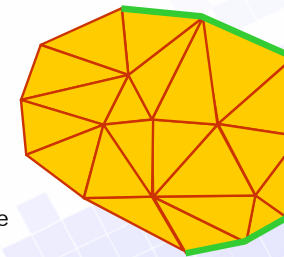
- Sortierverfahren für *konvexe* Tetraedergitter

Beginne mit der Liste der Randflächen:

Klassifiziere jede Randfläche
nach Vorder- und Rückseite.



Speichere eine Liste aller
„Rückseiten“. Markiere alle
Rückseiten als „erledigt“.



Andreas Kolb, Martin Lambers

Visualisierung

Tiefensortierung

29

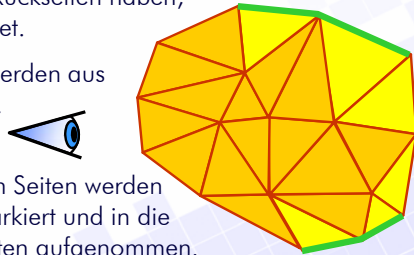
● Sortiervverfahren für *konvexe* Tetraedergitter

Betrachte die Tetraeder, die an die Rückseiten anschließen:

Tetraeder, die nur Vorderseiten und „erledigte“ Rückseiten haben, werden gezeichnet.

Die Rückseiten werden aus der Liste entfernt.

Die unmarkierten Seiten werden als „erledigt“ markiert und in die Liste der Rückseiten aufgenommen.



Andreas Kolb, Martin Lambers

Visualisierung

Tiefensortierung

30

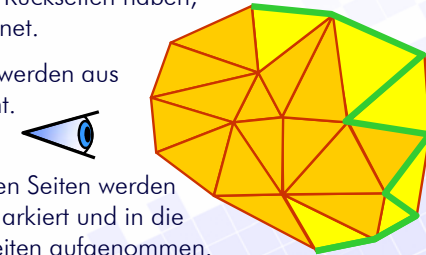
● Sortiervverfahren für *konvexe* Tetraedergitter

Betrachte die Tetraeder, die an die Rückseiten anschließen:

Tetraeder, die nur Vorderseiten und „erledigte“ Rückseiten haben, werden gezeichnet.

Die Rückseiten werden aus der Liste entfernt.

Die unmarkierten Seiten werden als „erledigt“ markiert und in die Liste der Rückseiten aufgenommen.



Andreas Kolb, Martin Lambers

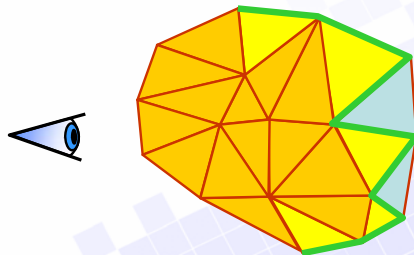
Visualisierung

Tiefensortierung

31

● Sortiervverfahren für *konvexe* Tetraedergitter

Fahre so fort, bis alle Tetraeder gezeichnet wurden.



Andreas Kolb, Martin Lambers

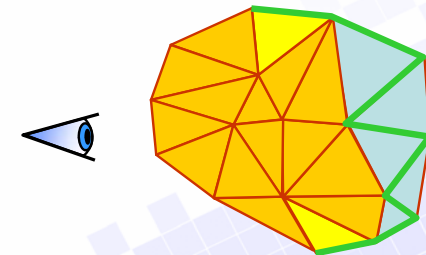
Visualisierung

Tiefensortierung

32

● Sortiervverfahren für *konvexe* Tetraedergitter

Fahre so fort, bis alle Tetraeder gezeichnet wurden.



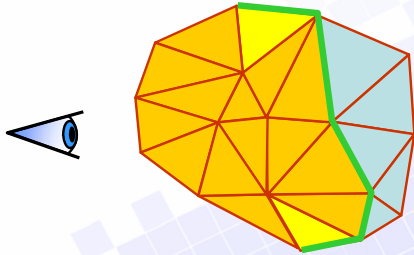
Andreas Kolb, Martin Lambers

Visualisierung

Tiefensortierung

33

- Sortiervorgang für **konvexe** Tetraedergitter
- Fahre so fort, bis alle Tetraeder gezeichnet wurden.



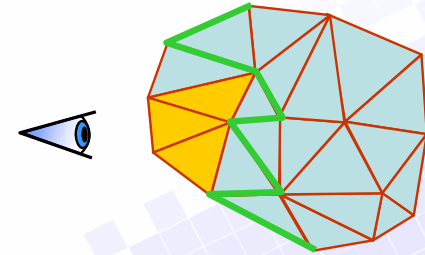
Andreas Kolb, Martin Lambers

Visualisierung

Tiefensortierung

34

- Sortiervorgang für **konvexe** Tetraedergitter
- Fahre so fort, bis alle Tetraeder gezeichnet wurden.



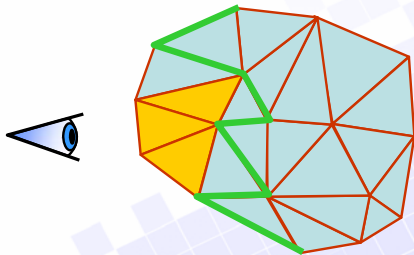
Andreas Kolb, Martin Lambers

Visualisierung

Tiefensortierung

35

- Sortiervorgang für **konvexe** Tetraedergitter
- Fahre so fort, bis alle Tetraeder gezeichnet wurden.



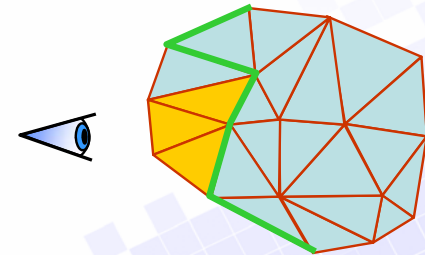
Andreas Kolb, Martin Lambers

Visualisierung

Tiefensortierung

36

- Sortiervorgang für **konvexe** Tetraedergitter
- Fahre so fort, bis alle Tetraeder gezeichnet wurden.



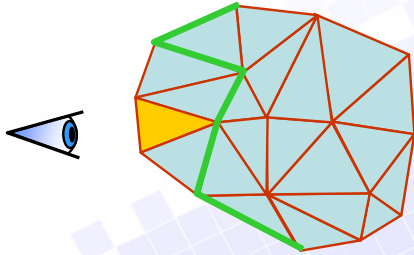
Andreas Kolb, Martin Lambers

Visualisierung

Tiefensortierung

37

- Sortiervorgang für **konvexe** Tetraedergitter
- Fahre so fort, bis alle Tetraeder gezeichnet wurden.



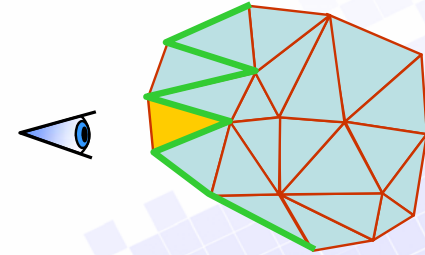
Andreas Kolb, Martin Lambers

Visualisierung

Tiefensortierung

38

- Sortiervorgang für **konvexe** Tetraedergitter
- Fahre so fort, bis alle Tetraeder gezeichnet wurden.



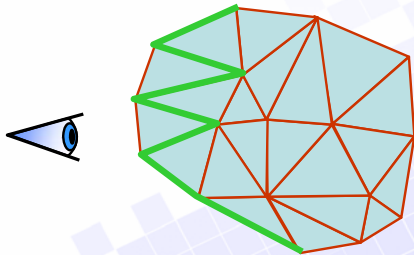
Andreas Kolb, Martin Lambers

Visualisierung

Tiefensortierung

39

- Sortiervorgang für **konvexe** Tetraedergitter
- Fahre so fort, bis alle Tetraeder gezeichnet wurden.



Andreas Kolb, Martin Lambers

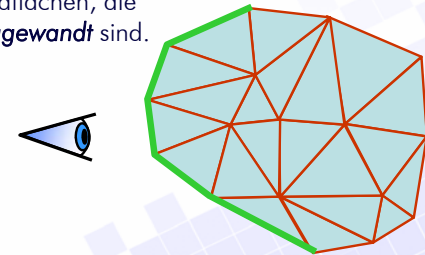
Visualisierung

Tiefensortierung

40

- Sortiervorgang für **konvexe** Tetraedergitter
- Fahre so fort, bis alle Tetraeder gezeichnet wurden.

Die Liste der Rückseiten enthält
am Ende alle Randflächen,
die dem Betrachter **zugewandt** sind.



Andreas Kolb, Martin Lambers

Visualisierung

Tiefensortierung

41

● Besondere Eigenschaft des vorgestellten Algorithmus:

- Das Tetraedergitter wird gezeichnet, **während** es sortiert wird. (Ich kann schon zu zeichnen anfangen, bevor ich die vollständig sortierte Liste bestimmt habe)
- nicht-konvexe Tetraedernetze können leicht zu konvexen ergänzt werden (durch Hinzunahme zusätzlicher Zellen, die nicht unbedingt Tetraeder sein müssen und auch nicht gezeichnet werden!)

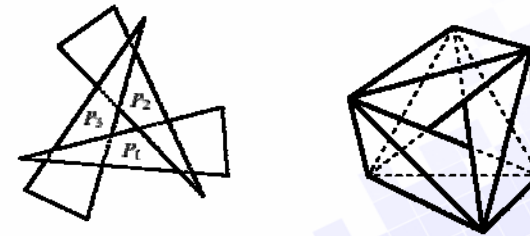
Andreas Kolb, Martin Lambers

Visualisierung

Tiefensortierung

42

- Korrekte Tiefensortierung von Dreiecken ist nicht immer möglich!
- Das gilt auch für Tetraeder



„visibility cycles“

Andreas Kolb, Martin Lambers

Visualisierung

Literatur

43

Peter Shirley, Allan Tuchman
A Polygonal Approximation to Direct Scalar Volume Rendering.
 ACM Computer Graphics
 (Proceedings SanDiego Workshop on Volume Visualization),
 24(5):63-70, 1990.

Martin Kraus.
Direct Volume Visualization of Geometrically Unpleasant Meshes.

Dissertation, VIS Universität Stuttgart, 2003.

Rüdiger Westermann.
The Rendering of Unstructured Grids Revisited.
 in Data Visualization 2001 (Proceedings VisSym'01), pages 65-74.
 Springer-Verlag, 2001.

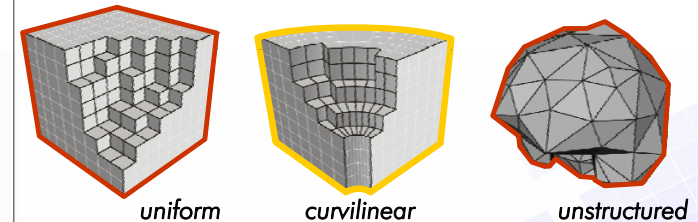
Andreas Kolb, Martin Lambers

Visualisierung

3D Skalarfelder

44

● 3D Gittertypen



uniform

curvilinear

unstructured

Volume Rendering für Curvilineare Gitter:

- Raycasting (wie bisher)
- Resampling auf Uniformem Gitter
- Zerlegung in Tetraeder

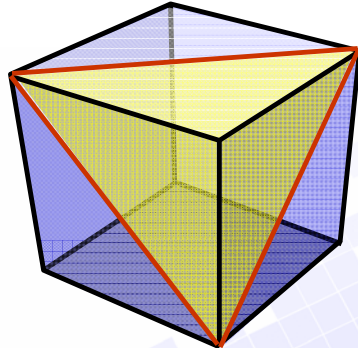
Andreas Kolb, Martin Lambers

Visualisierung

Tetraedrisierung

45

● Zerlegung eines Hexaeders in Tetraeder



1. Schneide die vordere Ecke ab.

1 Tetraeder

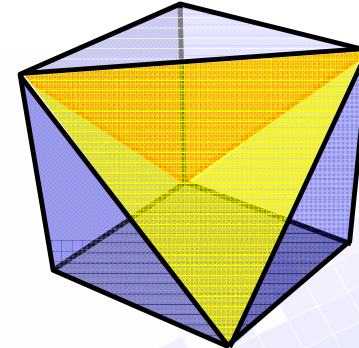
Andreas Kolb, Martin Lambers

Visualisierung

Tetraedrisierung

46

● Zerlegung eines Hexaeders in Tetraeder



2. Schneide die hintere Ecke ab

1 Tetraeder

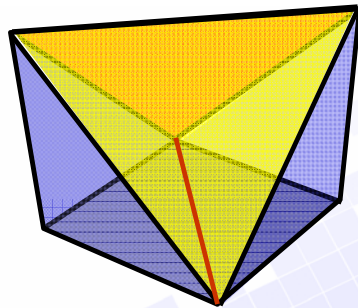
Andreas Kolb, Martin Lambers

Visualisierung

Tetraedrisierung

47

● Zerlegung eines Hexaeders in Tetraeder



3. Teile den Rest in 3 Tetraeder

2 Tetraeder

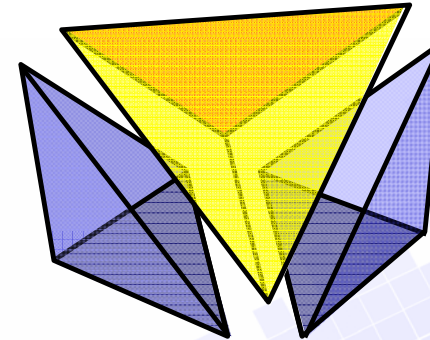
Andreas Kolb, Martin Lambers

Visualisierung

Tetraedrisierung

48

● Zerlegung eines Hexaeders in Tetraeder



3. Teile den Rest in 3 Tetraeder

5 Tetraeder

Andreas Kolb, Martin Lambers

Visualisierung

Zusammenfassung

49

Volumenvisualisierung auf Tetraedergittern

● Raycasting:

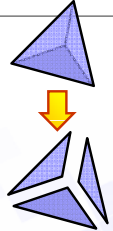
- Abtastung entlang des Sehstrahls
- Zellsuche und Interpolation im Tetraeder

● Cell-Projection (Shirley-Tuchman)

- Objektraumverfahren
- Approximiere Projektion des Tetraeders durch Dreiecke
- Bestimme korrekte Farbe/Transparenz der Dreiecke

● Tiefensortieren von Tetraederzellen

- Sortieren nach Zellmittelpunkten führt nicht zum Ziel!
- Bei Zellen mit gemeinsamen Flächen, muß die Zelle zuerst gezeichnet werden, bei der die Fläche eine Vorderseite (front face) ist.



Andreas Kolb, Martin Lambers

Visualisierung

Zusammenfassung

50

Volumenvisualisierung auf curvilinearen und heterogenen unstrukturierten Gittern:

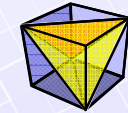
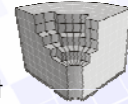
● Raycasting:

- Abtastung entlang des Sehstrahls
- Zellsuche und Interpolation im entsprechenden Zelltyp

● Zerlegung der Zellen in Tetraeder

- Hexaeder wird in 5 Tetraeder zerlegt

● Neuabtastung auf uniformem Gitter



Andreas Kolb, Martin Lambers

Visualisierung