

# Volumenvisualisierung auf unstrukturiertem Gitter

Christof Rezk-Salama

Visualisierung WS 03/04, 27.01.2003

computergraphik und multimedia systeme  
universität siegen



## Letzte Stunde

3

### Texturbasierte Volumenvisualisierung

- Ausnutzung der Standard-Grafik-Hardware

#### 2D Texturen:

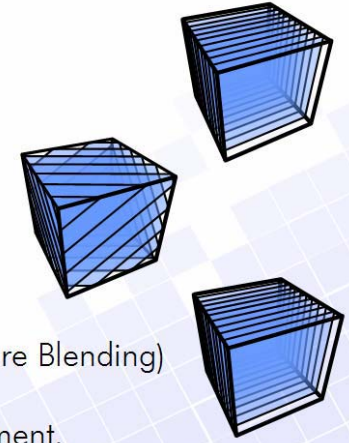
- bilineare Interpolation
- achsenparallele Schichten

#### 3D Texturen:

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

#### 2D Multitexturen

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



christof rezk-salama, computergraphik und multimediasysteme, universität siegen

## Letzte Stunde

4

### Texturbasierte Volumenvisualisierung

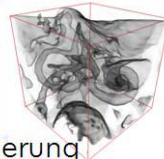
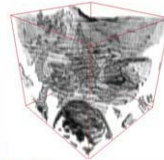
- Klassifikation (Transferfunktionen)

#### 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



christof rezk-salama, computergraphik und multimediasysteme, universität siegen

## Letzte Stunde

5

### Texturbasierte Volumenvisualisierung

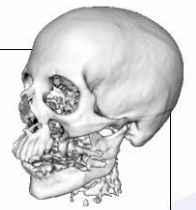
- Lokale Beleuchtung (Shading)

#### 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

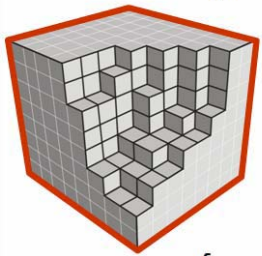


christof rezk-salama, computergraphik und multimediasysteme, universität siegen

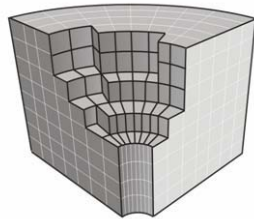
## 3D Skalarfelder

6

### 3D Gittertypen



uniform



curvilinear



unstructured

Bisher besprochene Verfahren

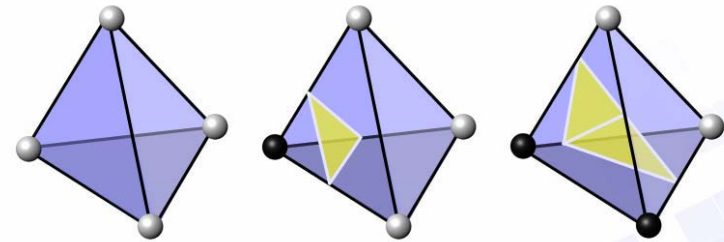
Heute:  
Tetraedergitter

christof rezk-salama, computergraphik und multimediasysteme, universität siegen

## Indirekte Volumenvisualisierung

7

### Isoflächen mit „Marching Tetrahedra“



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

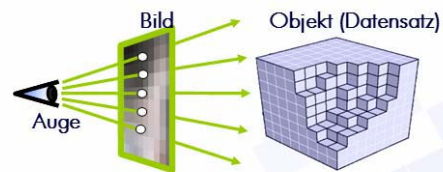
christof rezk-salama, computergraphik und multimediasysteme, universität siegen

## Direkte Volumenvisualisierung

8

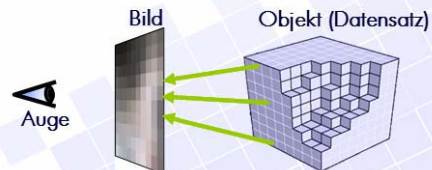
### Bildraumverfahren:

Berechne für jeden Pixel des Ergebnisbildes den Beitrag des Volumens:



### Objektraumverfahren:

Berechne für jeden Abtastpunkt des Volumens den Beitrag zum Ergebnisbild:



christof rezk-salama, computergraphik und multimediasysteme, universität siegen

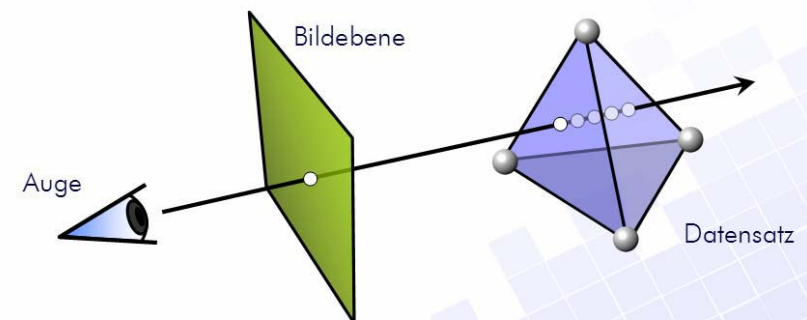
## Direkte Volumenvisualisierung

9

### Bildraumverfahren

#### Raycasting (Software)

Genau wie auf rektilinearen Gittern (plus Zellsuche)

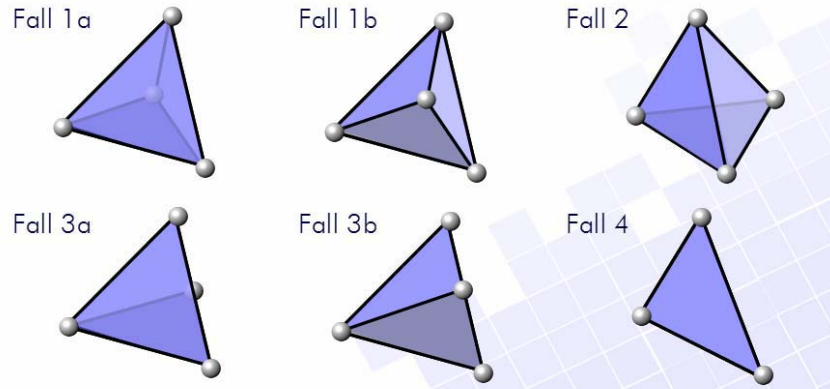


christof rezk-salama, computergraphik und multimediasysteme, universität siegen

# Cell Projection

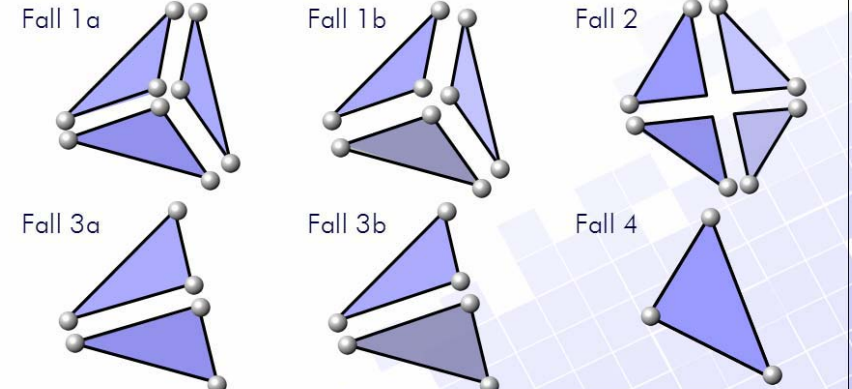
## Objektraumverfahren:

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



# Cell Projection

## Idee: Approximiere den projizierten Tetraeder durch einzelne Polygone



# Unterscheidung der Fälle

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

Welche Tetraeder-Flächen sind mir zugewandt?



# Unterscheidung der Fälle

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

Welche Tetraeder-Flächen sind mir zugewandt?

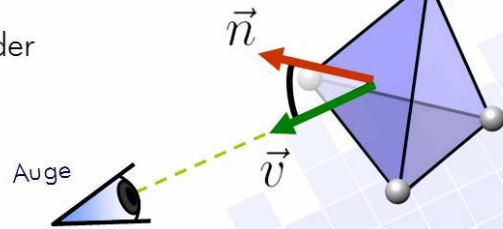


# Unterscheidung der Fälle

- 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  $\vec{v}$ .

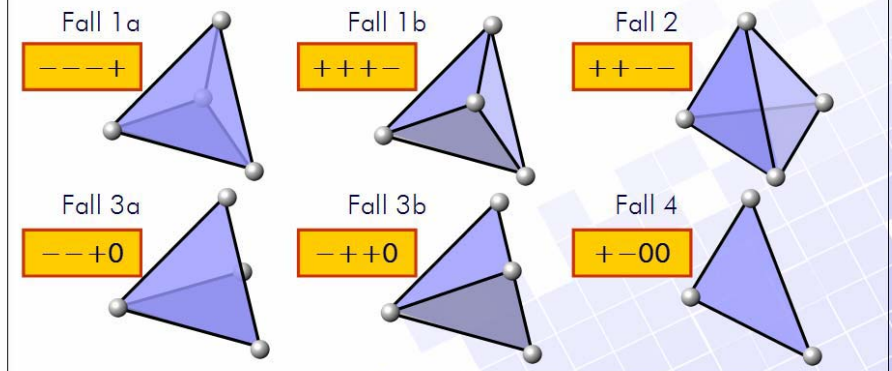
Das Skalarprodukt  $\langle \vec{n} \circ \vec{v} \rangle$  kann entweder

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



# Unterscheidung der Fälle

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

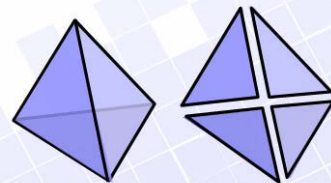


# Cell Projection

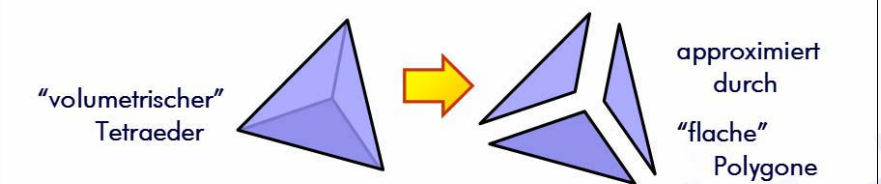
## Rendering-Algorithmus:

- Sortiere alle Tetraeder von hinten nach vorne
- 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 (OVER-Operator)

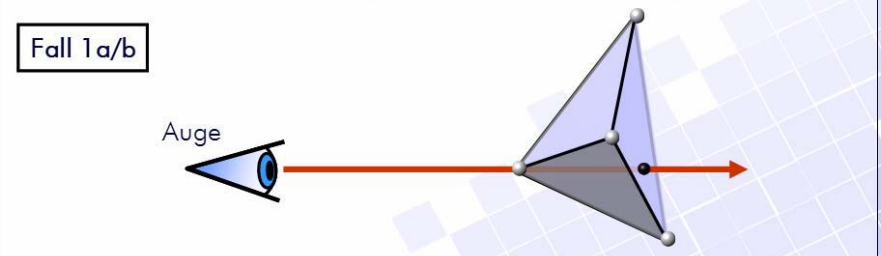
Frage: Wie muß ich die Farb- und Transparenzwerte an den Eckpunkten der Dreiecke setzen?



# Integration bei Cell-Projection



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

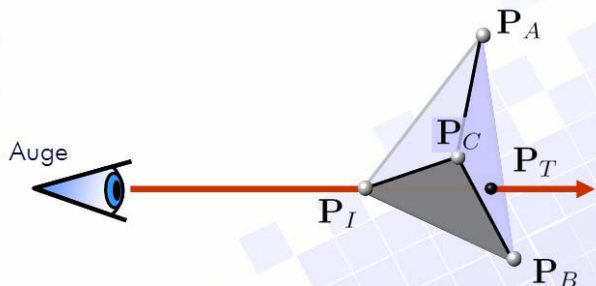


## Integration bei Cell-Projection

18

- Bestimme den Schnittpunkt  $P_T$  des Sehstrahls durch  $P_I$  mit dem Dreieck  $P_A P_B P_C$ .
- Bestimme die baryzentrischen Koordinaten des Punktes  $P_T$  bzgl. des Dreiecks  $P_A P_B P_C$ .
- Interpoliere mit denselben Gewichten den Skalarwert für  $P_T$  aus den Skalarwerten bei  $P_A, P_B$  und  $P_C$ .

Fall 1a/b

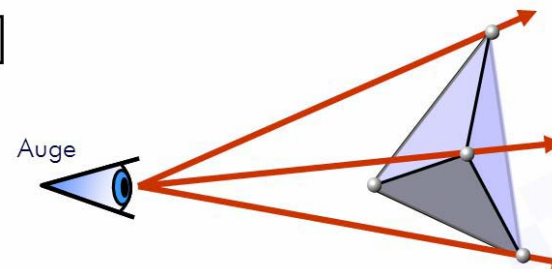


christof rezk-salama, computergraphik und multimediasysteme, universität siegen

## Integration bei Cell-Projection

19

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.

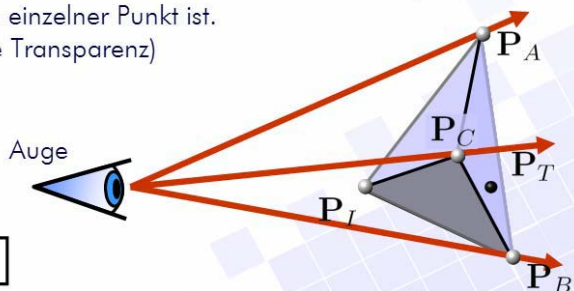
christof rezk-salama, computergraphik und multimediasysteme, universität siegen

## Integration bei Cell Projection

20

- Die Transferfunktion wird angewendet:  
Skalarwerte werden auf Emissions- und Absorptionswerte abgebildet.  
*Emissions- und Absorptionswerte für die Eckpunkte des Tetraeders.*
- 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



christof rezk-salama, computergraphik und multimediasysteme, universität siegen

## Integration bei Cell Projection

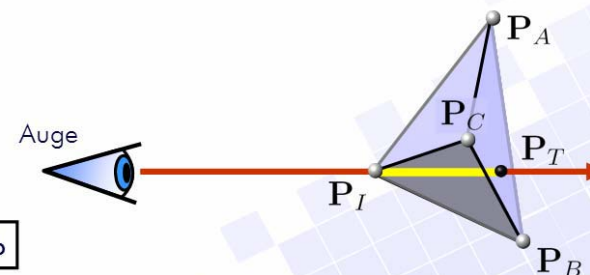
20

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

- Der Emissionswert der Strecke wird approximiert durch den Mittelwert der Emission bei  $P_I$  und  $P_T$  :

$$q(P_I \rightarrow P_T) = \frac{q(P_I) + q(P_T)}{2}$$

Fall 1a/b



christof rezk-salama, computergraphik und multimediasysteme, universität siegen

## Integration bei Cell Projection

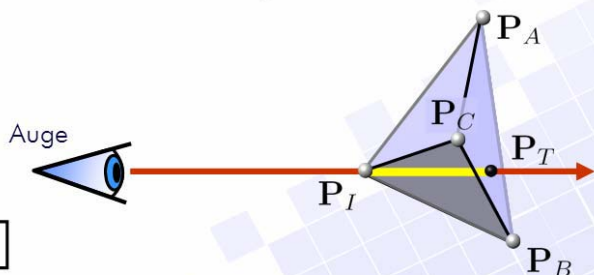
20

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  $P_I$  und  $P_T$  bestimmt:

$$A(P_I \rightarrow P_T) = 1 - e^{-\tau(P_I, P_T)}$$

$$\approx 1 - e^{-\frac{A(P_I) + A(P_T)}{2} \Delta s}$$



Fall 1a/b

christof rezk-salama, computergraphik und multimediasysteme, universität siegen

## 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!

$$\text{RGB} = q(P_A)$$

$$A = 0$$

$$\text{RGB} = q(P_B)$$

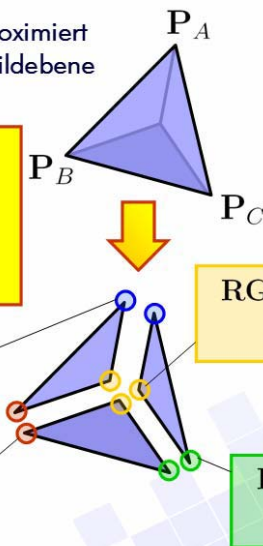
$$A = 0$$

$$\text{RGB} = q(P_I \rightarrow P_T)$$

$$A = A(P_I \rightarrow P_T)$$

$$\text{RGB} = q(P_C)$$

$$A = 0$$

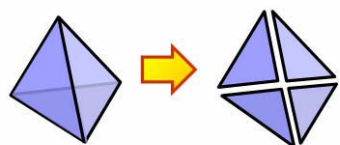


christof rezk-salama, computergraphik und multimediasysteme, universität siegen

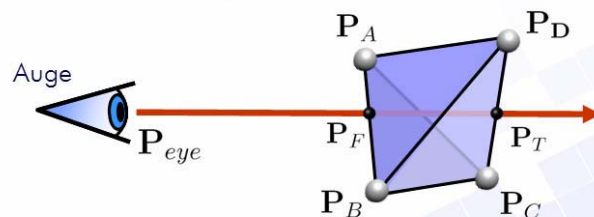
## Integration bei Cell-Projection

22

Fall 2



Wie bestimme ich die Schnittpunkte im Fall 2?



$P_F$  ist der Schnittpunkt der Gerade  $\overline{P_A P_B}$  mit der Ebene  $\langle P_C P_D P_{eye} \rangle$

$P_T$  ist der Schnittpunkt der Gerade  $\overline{P_C P_D}$  mit der Ebene  $\langle P_A P_B P_{eye} \rangle$

christof rezk-salama, computergraphik und multimediasysteme, universität siegen

## Integration bei Cell Projection

23

Projizierter Tetraeder approximiert durch Dreiecke auf der Bildebene

$$\text{RGB} = q(P_A)$$

$$A = 0$$

$$\text{RGB} = q(P_B)$$

$$A = 0$$

$$\text{RGB} = q(P_C)$$

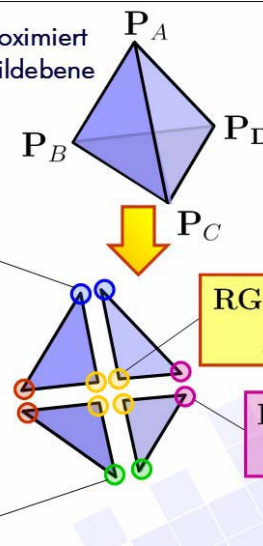
$$A = 0$$

$$\text{RGB} = q(P_F \rightarrow P_T)$$

$$A = A(P_F \rightarrow P_T)$$

$$\text{RGB} = q(P_D)$$

$$A = 0$$



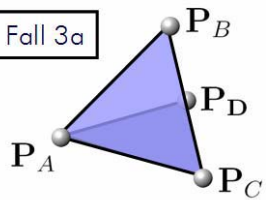
christof rezk-salama, computergraphik und multimediasysteme, universität siegen

## Integration bei Cell Projection

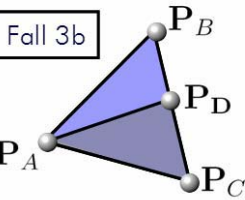
24

Die restlichen Fälle werden analog berechnet

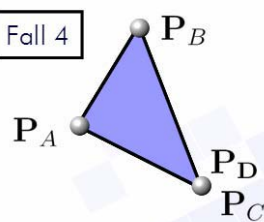
Fall 3a



Fall 3b



Fall 4



$P_D$  wird auf Kante  $P_B P_C$  projiziert

Lineare Interpolation des Skalarwerts entlang der Kante  $P_B P_C$

$P_D$  und  $P_C$  liegen auf dem selben Sehstrahl

keine Interpolation des Skalarwerts notwendig

christof rezk-salama, computergraphik und multimediasysteme, universität siegen

## Tiefensortierung

25

● Tiefensortierung für Tetraederzellen ist *nicht trivial!*

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



Obwohl der Mittelpunkt von Tetraeder A vorne liegt, wird er von Tetraeder B verdeckt!

christof rezk-salama, computergraphik und multimediasysteme, universität siegen

## Tiefensortierung

25

● Tiefensortierung für Tetraederzellen ist *nicht trivial!*

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



Obwohl der Mittelpunkt von Tetraeder A vorne liegt, wird er von Tetraeder B verdeckt!

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

christof rezk-salama, computergraphik und multimediasysteme, universität siegen

## Tiefensortierung

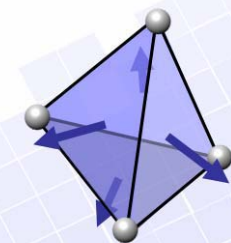
26

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



christof rezk-salama, computergraphik und multimediasysteme, universität siegen

## Tiefensortierung

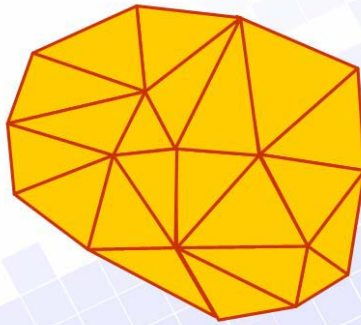
27

### 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



christof rezk-salama, computergraphik und multimediasysteme, universität siegen

## Tiefensortierung

27

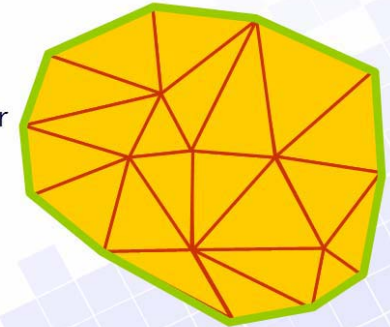
### Sortierverfahren für konvexe Tetraedergitter

Datenstruktur für das Gitter:

Speichere für jeden Tetraeder  
Referenzen auf seine vier  
Flächen

Speichere für jede Fläche  
Referenzen auf die Tetraeder

Speicher eine Liste aller  
Randflächen



christof rezk-salama, computergraphik und multimediasysteme, universität siegen

## Tiefensortierung

28

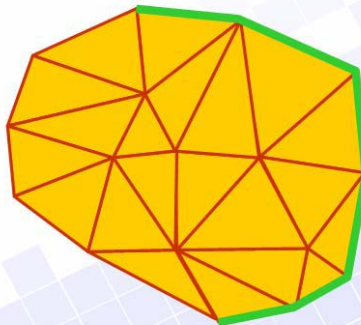
### Sortierverfahren für konvexe Tetraedergitter

Beginne mit der Liste der Randflächen:

Klassifiziere jede Randfläche  
nach Vorder- und Rückseite.



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



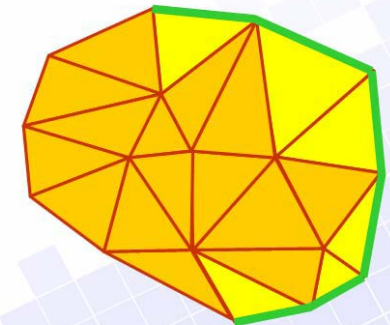
christof rezk-salama, computergraphik und multimediasysteme, universität siegen

## Tiefensortierung

29

### Sortierverfahren für konvexe Tetraedergitter

Betrachte die Tetraeder, die an die Rückseiten anschließen:



christof rezk-salama, computergraphik und multimediasysteme, universität siegen



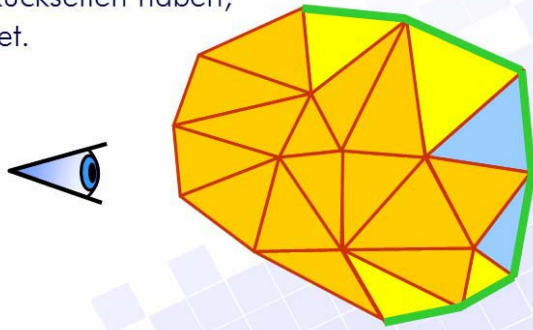
## Tiefensortierung

29

### ● Sortierverfahren für konvexe Tetraedergitter

Betrachte die Tetraeder, die an die Rückseiten anschließen:

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



christof rezk-salama, computergraphik und multimediasysteme, universität siegen

## Tiefensortierung

29

### ● Sortierverfahren 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.



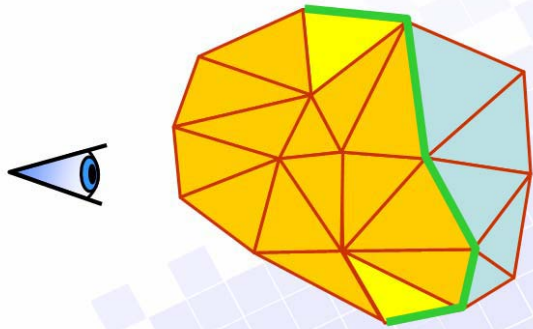
christof rezk-salama, computergraphik und multimediasysteme, universität siegen

## Tiefensortierung

30

### ● Sortierverfahren für konvexe Tetraedergitter

Fahre so fort, bis alle Tetraeder gezeichnet wurden.



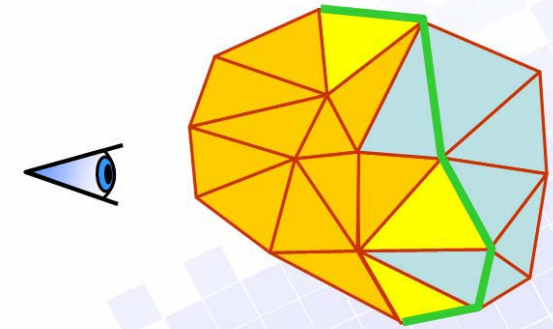
christof rezk-salama, computergraphik und multimediasysteme, universität siegen

## Tiefensortierung

30

### ● Sortierverfahren für konvexe Tetraedergitter

Fahre so fort, bis alle Tetraeder gezeichnet wurden.



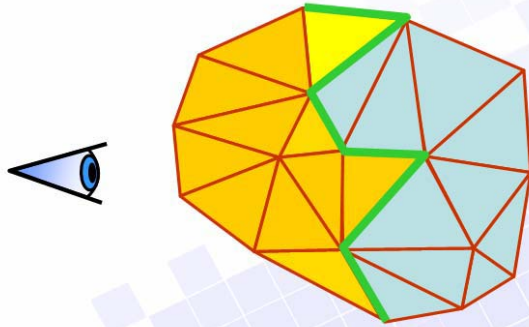
christof rezk-salama, computergraphik und multimediasysteme, universität siegen

## Tiefensortierung

30

- Sortierverfahren für konvexe Tetraedergitter

Fahre so fort, bis alle Tetraeder gezeichnet wurden.



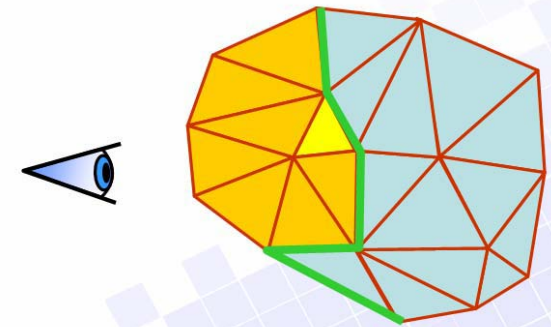
christof rezk-salama, computergraphik und multimediasysteme, universität siegen

## Tiefensortierung

30

- Sortierverfahren für konvexe Tetraedergitter

Fahre so fort, bis alle Tetraeder gezeichnet wurden.



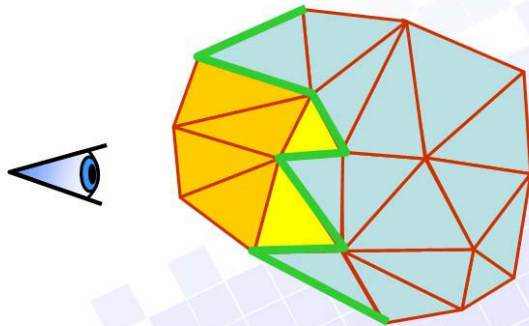
christof rezk-salama, computergraphik und multimediasysteme, universität siegen

## Tiefensortierung

30

- Sortierverfahren für konvexe Tetraedergitter

Fahre so fort, bis alle Tetraeder gezeichnet wurden.



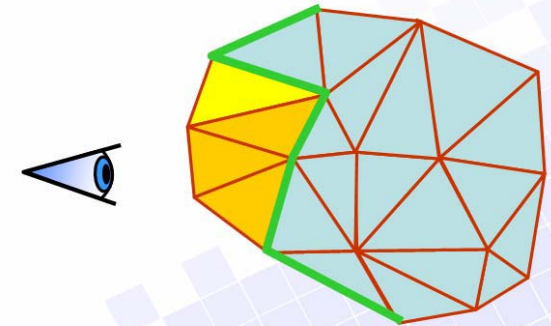
christof rezk-salama, computergraphik und multimediasysteme, universität siegen

## Tiefensortierung

30

- Sortierverfahren für konvexe Tetraedergitter

Fahre so fort, bis alle Tetraeder gezeichnet wurden.



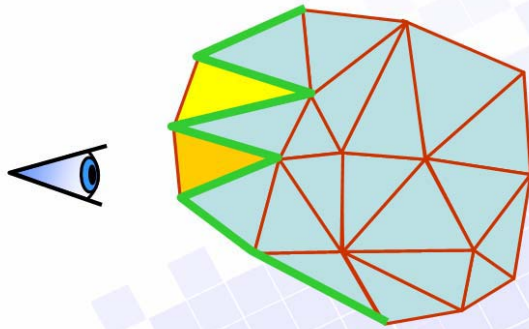
christof rezk-salama, computergraphik und multimediasysteme, universität siegen

## Tiefensortierung

30

### Sortierverfahren für konvexe Tetraedergitter

Fahre so fort, bis alle Tetraeder gezeichnet wurden.



christof rezk-salama, computergraphik und multimediasysteme, universität siegen

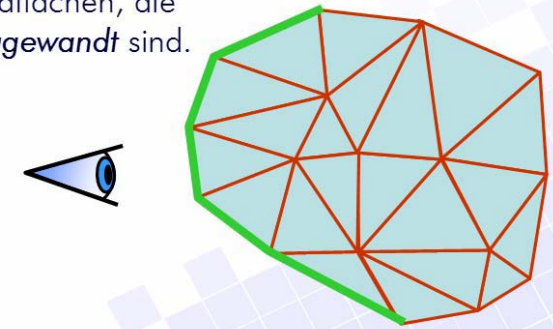
## Tiefensortierung

30

### Sortierverfahren 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.



christof rezk-salama, computergraphik und multimediasysteme, universität siegen

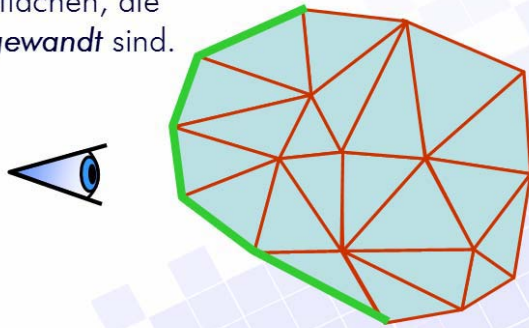
## Tiefensortierung

30

### Sortierverfahren 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.



christof rezk-salama, computergraphik und multimediasysteme, universität siegen

## Tiefensortierung

31

### Besondere Eigenschaft des vorgestellten Algorithmus:

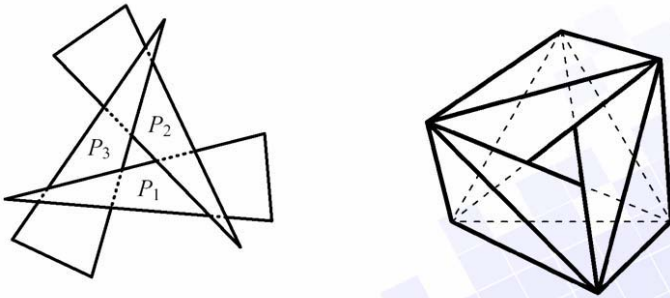
- Das Tetraedergitter wird gezeichnet, *während* es sortiert wird. (Ich kann schon zu zeichnen anfangen, bevor ich die vollständig sortierte Liste bestimmt habe)
- nicht-konvexe Tetraedernetze können leicht zu konvexen ergänzt werden (durch Hinzunahme zusätzlicher Zellen, die nicht unbedingt Tetraeder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

christof rezk-salama, computergraphik und multimediasysteme, universität siegen

## Tiefensortierung

32

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



„visibility cycles“

christof rezk-salama, computergraphik und multimediasysteme, universität siegen

## Literatur

33

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.

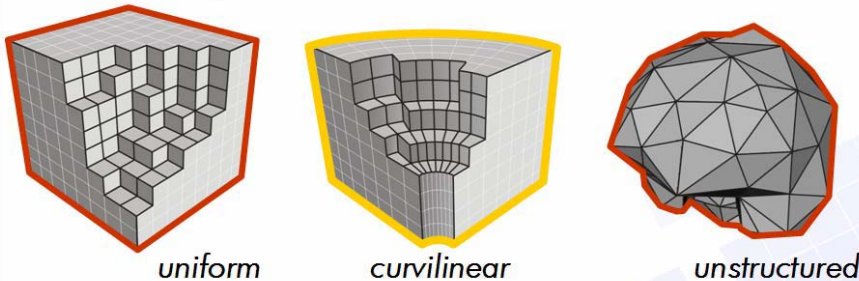
Rüdiger Westermann.  
*The Rendering of Unstructured Grids Revisited.*  
in Data Visualization 2001(Proceedings VisSym'01), pages 65-74.  
Springer-Verlag, 2001.

christof rezk-salama, computergraphik und multimediasysteme, universität siegen

## 3D Skalarfelder

34

- 3D Gittertypen



Volume Rendering für Curvilineare Gitter:

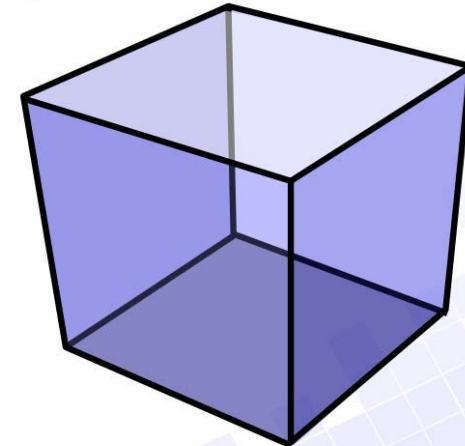
- Raycasting (wie bisher)
- Resampling auf Uniformem Gitter
- Zerlegung in Tetraeder

christof rezk-salama, computergraphik und multimediasysteme, universität siegen

## Tetraedrisierung

35

- Zerlegung eines Hexaeders in Tetraeder

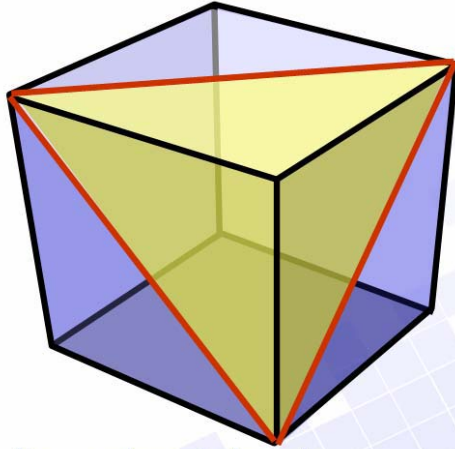


christof rezk-salama, computergraphik und multimediasysteme, universität siegen

# Tetraedrisierung

35

● Zerlegung eines Hexaeders in Tetraeder



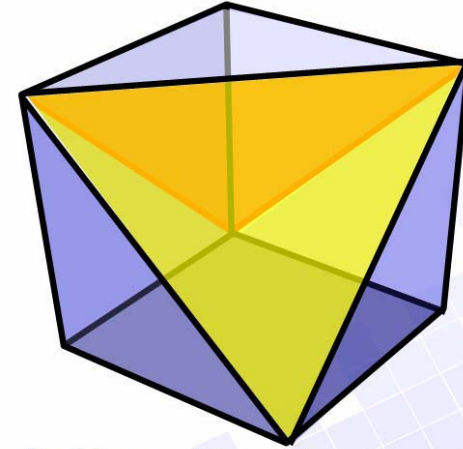
1. Schneide die vordere Ecke ab.

christof rezk-salama, computergraphik und multimediasysteme, universität siegen

# Tetraedrisierung

36

● Zerlegung eines Hexaeders in Tetraeder



2. Schneide die hintere Ecke ab

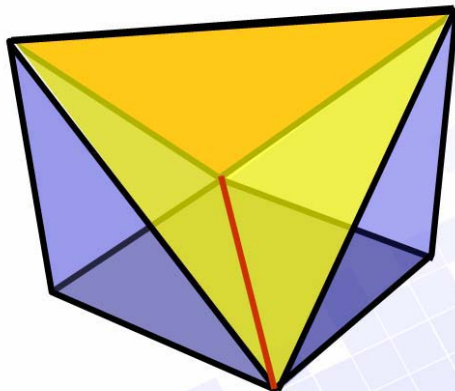
1 Tetraeder

christof rezk-salama, computergraphik und multimediasysteme, universität siegen

# Tetraedrisierung

37

● Zerlegung eines Hexaeders in Tetraeder



3. Teile den Rest in 3 Tetraeder

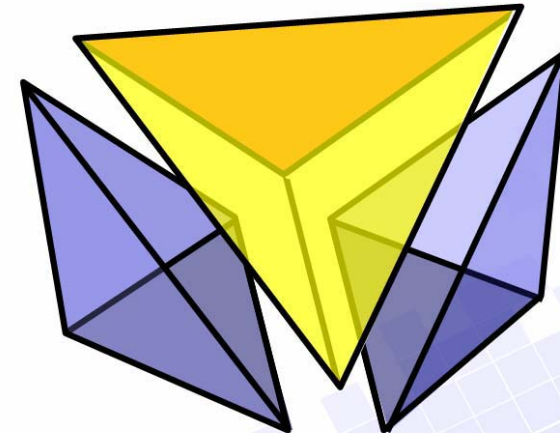
2 Tetraeder

christof rezk-salama, computergraphik und multimediasysteme, universität siegen

# Tetraedrisierung

38

● Zerlegung eines Hexaeders in Tetraeder



3. Teile den Rest in 3 Tetraeder

5 Tetraeder

christof rezk-salama, computergraphik und multimediasysteme, universität siegen

# Zusammenfassung

39

## Volumenvisualisierung auf Tetraedergittern

### ● Raycasting:

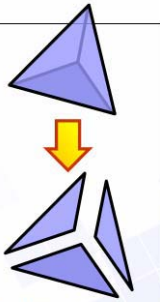
- Abtastung entlang des Sehstrahls
- Zellsuche und Interpolation im Tetraeder

### ● 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.



christof rezk-salama, computergraphik und multimediasysteme, universität siegen

# Zusammenfassung

40

## Volumenvisualisierung auf curvilinearen und heterogenen unstrukturierten Gittern:

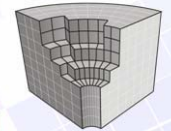
### ● Raycasting:

- 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



christof rezk-salama, computergraphik und multimediasysteme, universität siegen