

Direkte Volumenvisualisierung

Christof Rezk-Salama

Visualisierung WS 04/05, 21.12.2004

computergraphik und multimedia systeme
universität siegen

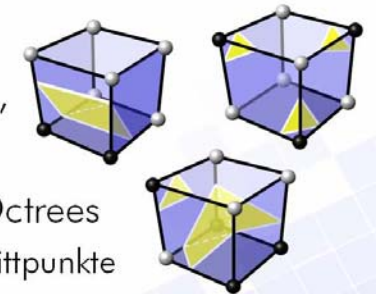


Letzte Stunde

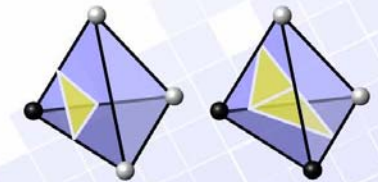
Indirekte Volumenvisualisierung

● *Marching Cubes*

- Tabellen, Triangulierung,
- Mehrdeutige Fälle
- Beschleunigung durch Octrees
 - Hashing-Tabelle für Schnittpunkte



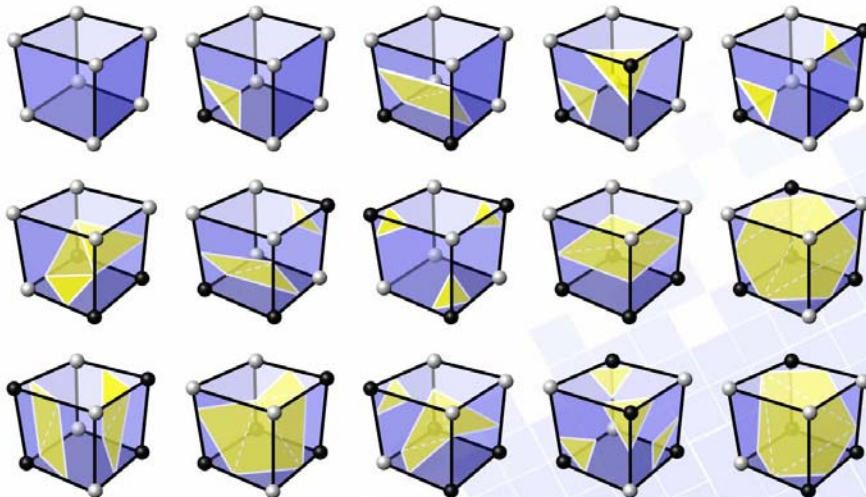
● *Marching Tetrahedra*



christof rezk-salama, computergraphik und multimediasysteme, universität siegen

Letzte Stunde: Marching Cubes

● Triangulierung nach *Lorensen & Cline*



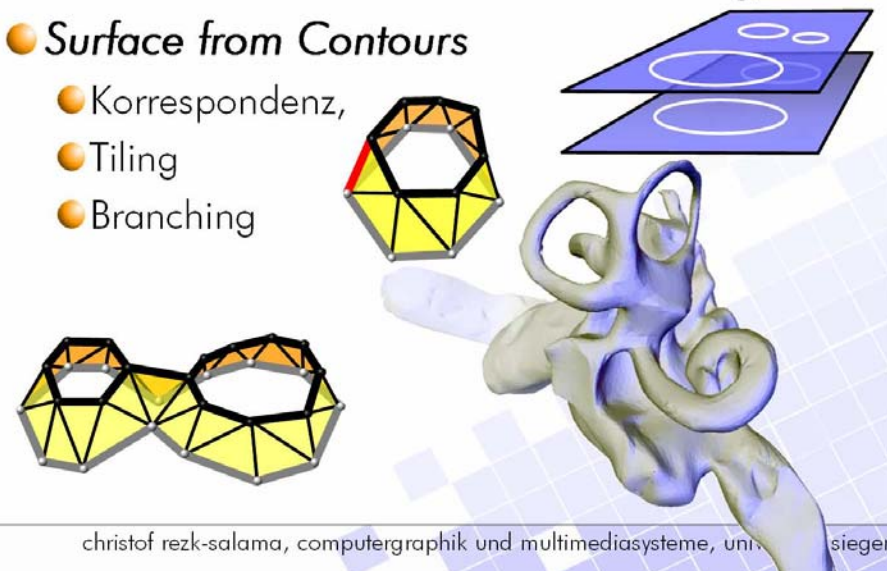
christof rezk-salama, computergraphik und multimediasysteme, universität siegen

Zusammenfassung

Indirekte Volumenvisualisierung

● *Surface from Contours*

- Korrespondenz,
- Tiling
- Branching



christof rezk-salama, computergraphik und multimediasysteme, universität siegen

Einführung

5

Visualisierung von 3D Skalarfeldern

- **bisher: Indirekte** Volumenvisualisierung
 - Bestimme eine Oberfläche innerhalb des Skalarfeldes (z.B. Isofläche)
 - Stelle diese Fläche mittels traditionellen (Polygon-basierten) Rendering-Verfahren dar.
- **Das Problem dabei:**
 - Aufwändige Vorverarbeitung
 - Wie finde ich den richtigen Isowert?
 - Informationsverlust

christof rezk-salama, computergraphik und multimediasysteme, universität siegen

Heute

6

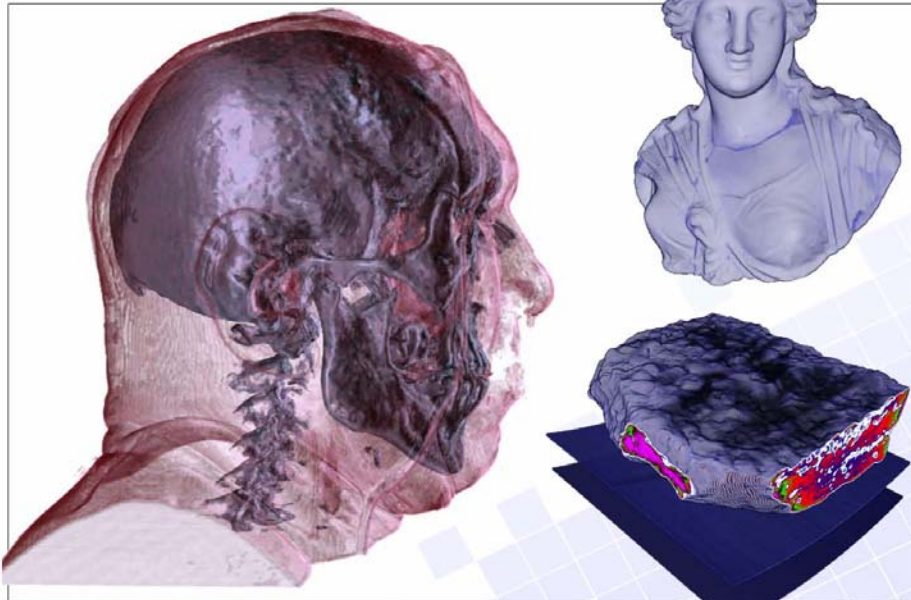
Direkte Volumenvisualisierung

- Interpretiere das Skalarfeld als ein transparentes Medium.
- Betrachte das physikalische Model für die Lichtausbreitung in transparentem Medium. (Emission und Absorption von Licht)
- Verwende diese physikalischen Gleichungen um Bilder zu erzeugen.
- **Vorteil:** Nutze die gesamte Information
 - Transparenz und Semitransparenz
 - Darstellung von „unscharfen“ Objekten

christof rezk-salama, computergraphik und multimediasysteme, universität siegen

Motivation

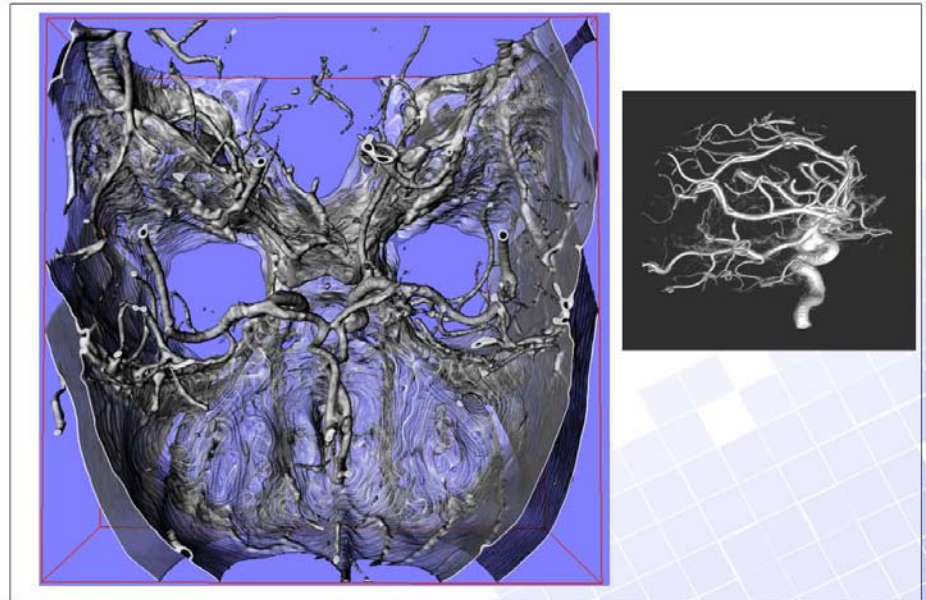
7



christof rezk-salama, computergraphik und multimediasysteme, universität siegen

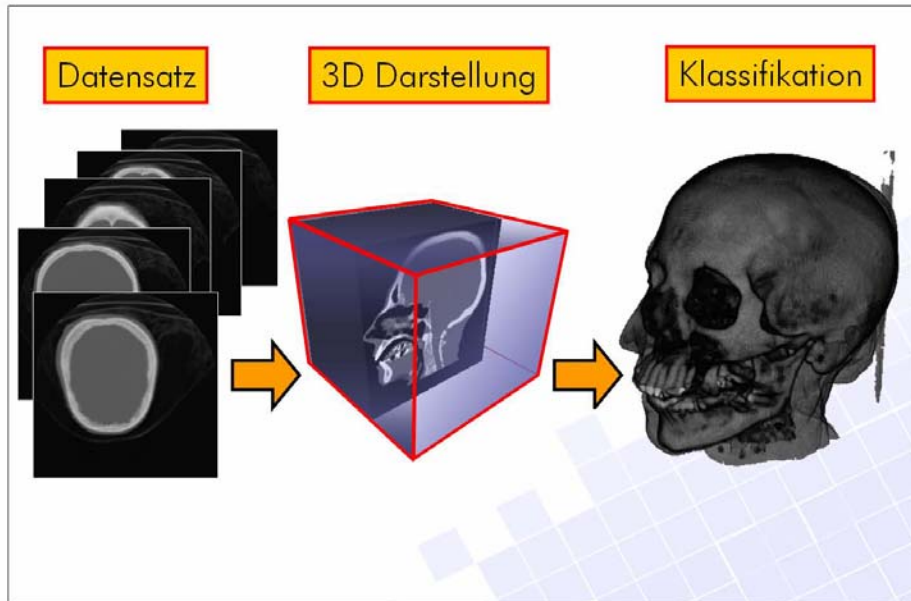
Beispiel CT Angiographie

8



christof rezk-salama, computergraphik und multimediasysteme, universität siegen

Direkte Volumenvisualisierung⁹



christof rezk-salama, computergraphik und multimediasysteme, universität siegen

Volumendaten

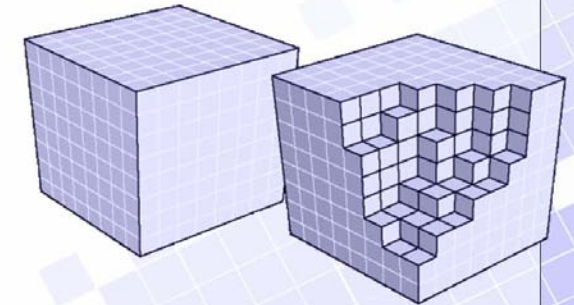
10

Input Daten: Kontinuierliches 3D Skalarfeld:

$$s = f(x, y, z); \quad x, y, z \in \mathbb{R}$$

Abgetastet auf einem uniformen Rechtecksgitter (Voxel)

- Bandbegrenzt
- Rekonstruktion mittels trilinearer Interpolation



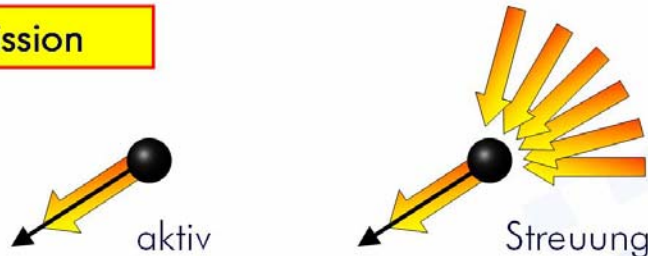
christof rezk-salama, computergraphik und multimediasysteme, universität siegen

Physikalisches Modell

11

Betrachte einen Punkt im Raum und eine bestimmte Richtung:

Emission



Aktive Emission:
An dem betrachteten Punkt wird Lichtenergie erzeugt und in die betrachtete Richtung ausgesandt (Lichtquelle).

Emission durch Streuung:
Zuwachs an Lichtenergie in der betrachteten Richtung durch Brechung des Lichts, das aus anderen Richtungen einfällt.

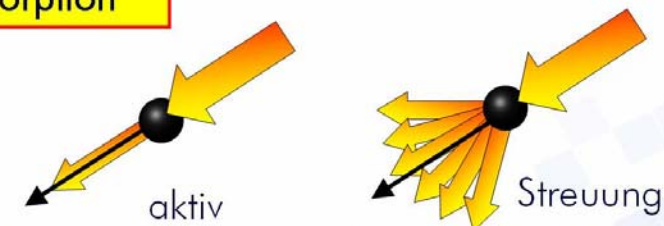
christof rezk-salama, computergraphik und multimediasysteme, universität siegen

Physikalisches Modell

12

Betrachte einen Punkt im Raum und eine bestimmte Richtung:

Absorption

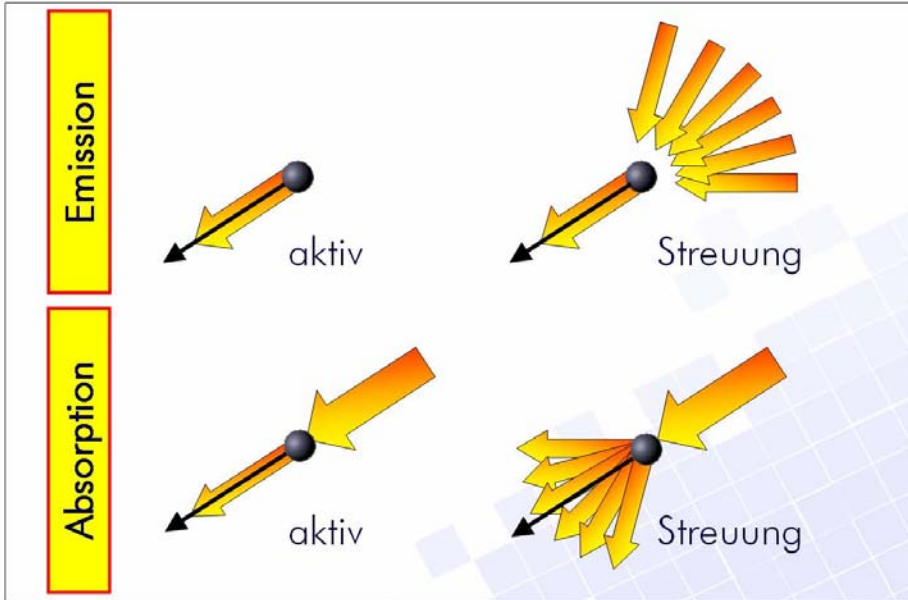


Aktive Absorption:
An dem Punkt wird Licht absorbiert. Lichtenergie wird dem sichtbaren Spektrum entzogen und z.B. in Wärmeenergie umgewandelt.

Absorption durch Streuung:
Verringerung der Lichtenergie in der betrachteten Richtung durch Brechung des Lichts in andere Richtungen.

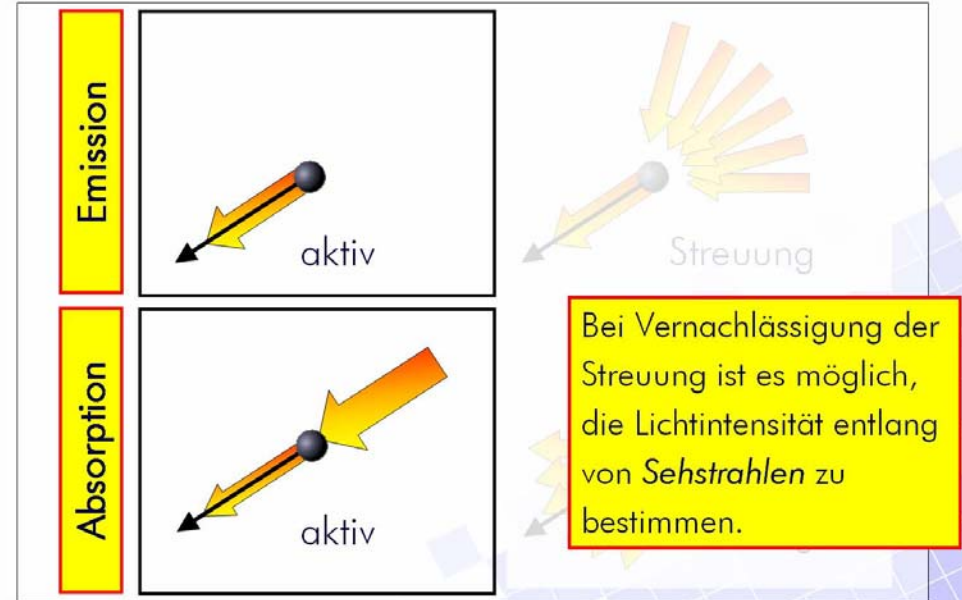
christof rezk-salama, computergraphik und multimediasysteme, universität siegen

Physikalisches Modell



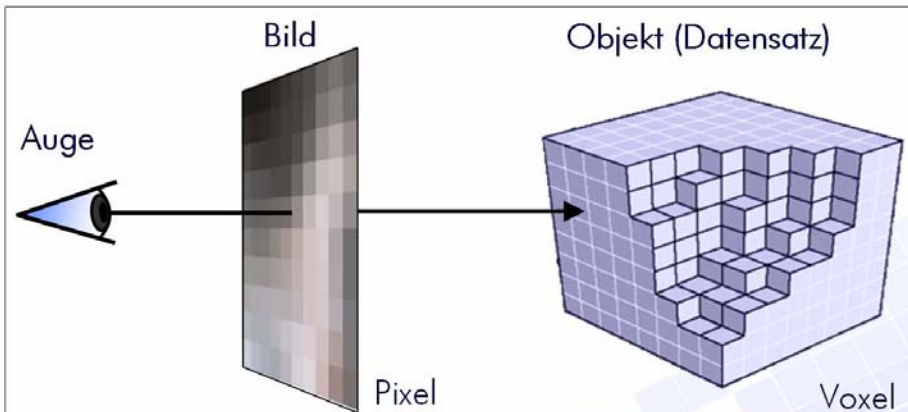
christof rezk-salama, computergraphik und multimediasysteme, universität siegen

Physikalisches Modell



christof rezk-salama, computergraphik und multimediasysteme, universität siegen

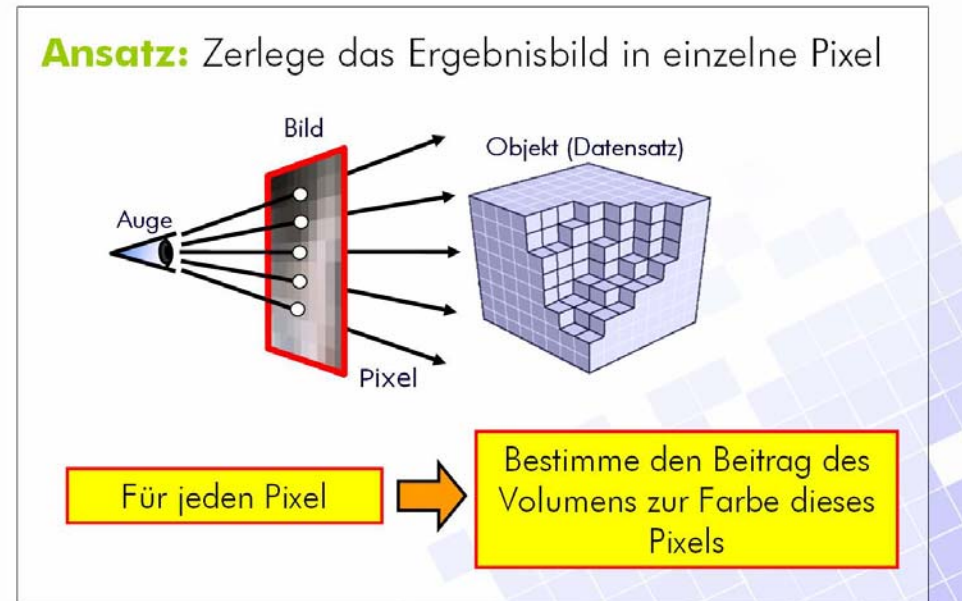
Algorithmen



Divide and Conquer: Zerlege das Problem in kleinere Teilprobleme und löse diese.
Wie wird eine solche Zerlegung durchgeführt?

christof rezk-salama, computergraphik und multimediasysteme, universität siegen

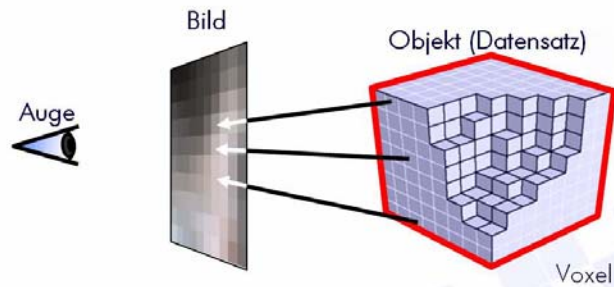
Bildraumverfahren



christof rezk-salama, computergraphik und multimediasysteme, universität siegen

Alternativer Ansatz:

Zerlege das Objekt in einzelne Voxel

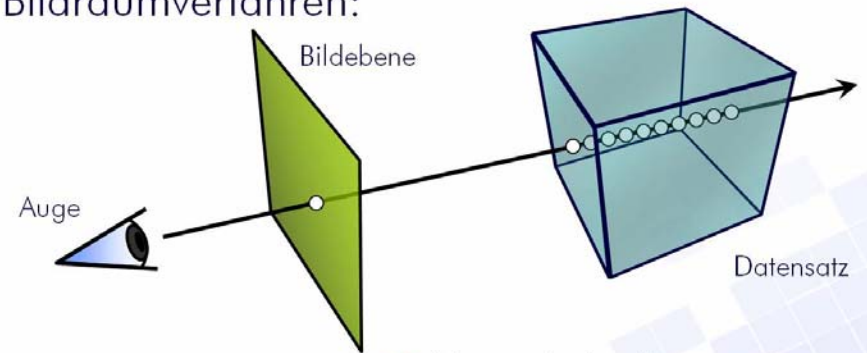


Bestimme den Beitrag des Voxels zum Ergebnisbild



Für jeden Voxel

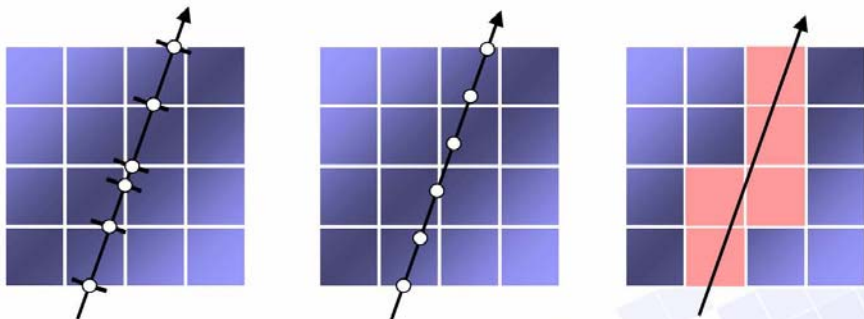
Bildraumverfahren:



- Numerische Integration
- Neuabtastung (Diskretisierung entlang des Sehstrahls)

➔ Hoher Rechenaufwand

Wie wird entlang des Sehstrahls diskretisiert?



Exakte Bestimmung der Schnittpunkte
Aufwändig

Äquidistante Neuabtastung mit Interpolation
Einfach

Rasterisierung z.B. Bresenham
Einfach, aber ungenau

Was wird integriert?

physikalisch korrekt: Emission und Absorption



Anfangsintensität (Emission) bei s_0

$$I(s) = I(s_0)$$

Ohne Absorption würde die Anfangsintensität ohne Verluste am Punkt s ankommen.

Integration entlang des Strahls

Was wird integriert?

physikalisch korrekt: Emission und Absorption



$$I(s) = I(s_0) e^{-\tau(s_0,s)}$$

Integration entlang des Strahls

Was wird integriert?

physikalisch korrekt: Emission und Absorption



$$I(s) = I(s_0) e^{-\tau(s_0,s)}$$

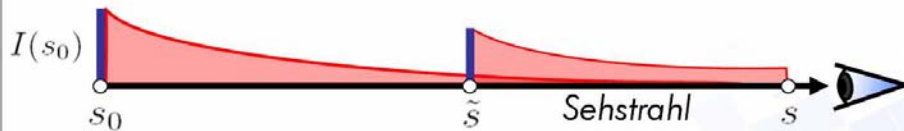
Optische Tiefe τ
 Absorption κ

$$\tau(s_1, s_2) = \int_{s_1}^{s_2} \kappa(s) ds.$$

Integration entlang des Strahls

Was wird integriert?

physikalisch korrekt: Emission und Absorption

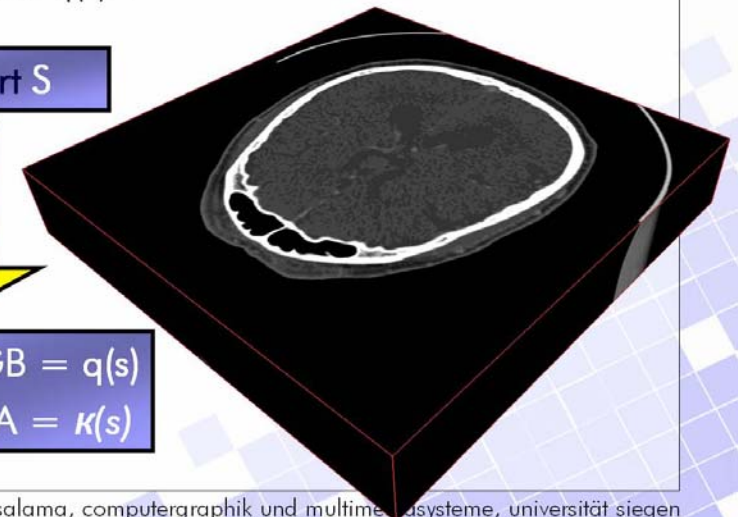
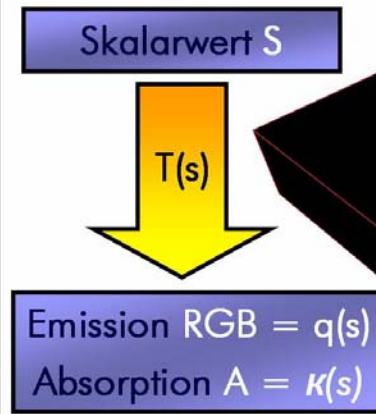


An **jedem** Punkt \tilde{s} entlang des Sehstrahls wird zusätzlich Licht emittiert.

$$I(s) = I(s_0) e^{-\tau(s_0,s)} + \int_{s_0}^s q(\tilde{s}) e^{-\tau(\tilde{s},s)} d\tilde{s}$$

Transferfunktion

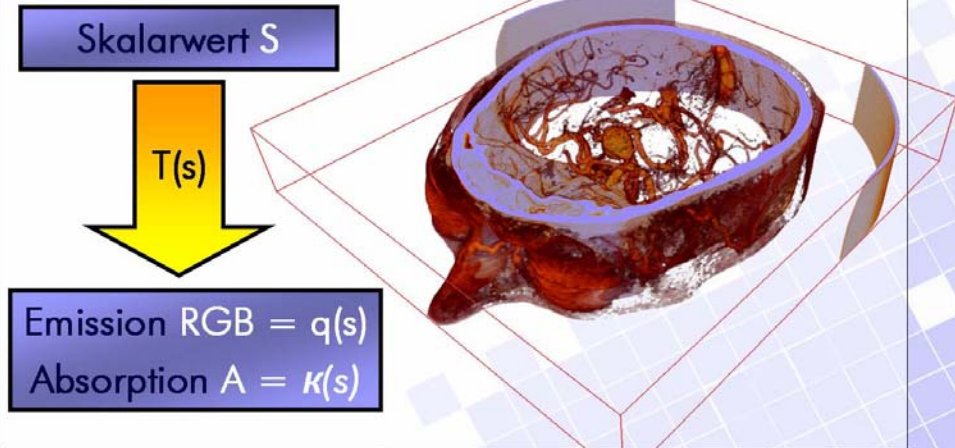
Woher bekomme ich Absorption $\kappa(s)$ und Emission $q(s)$?



Transferfunktion

21

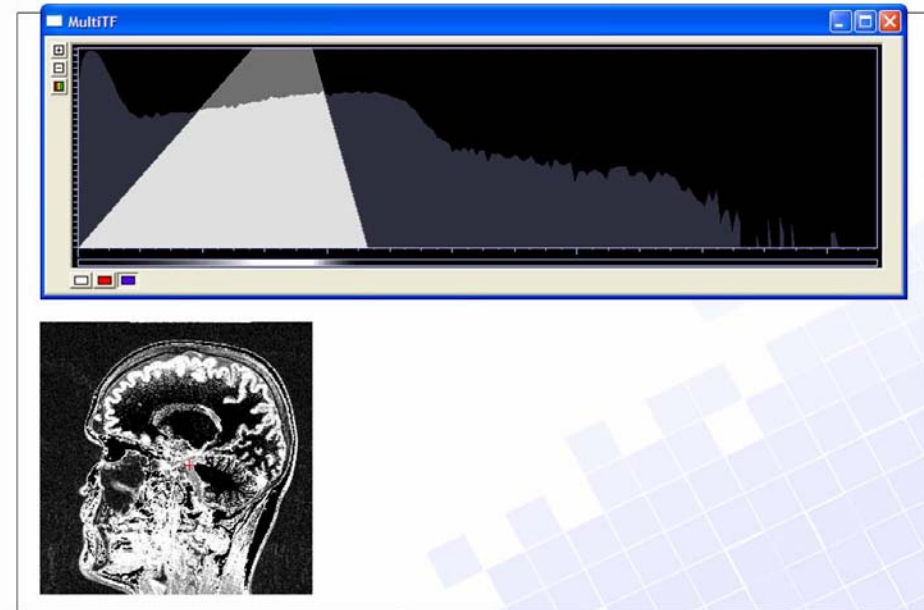
Woher bekomme ich Absorption $\kappa(s)$ und Emission $q(s)$?



christof rezk-salama, computergraphik und multimediasysteme, universität siegen

Transferfunktionen

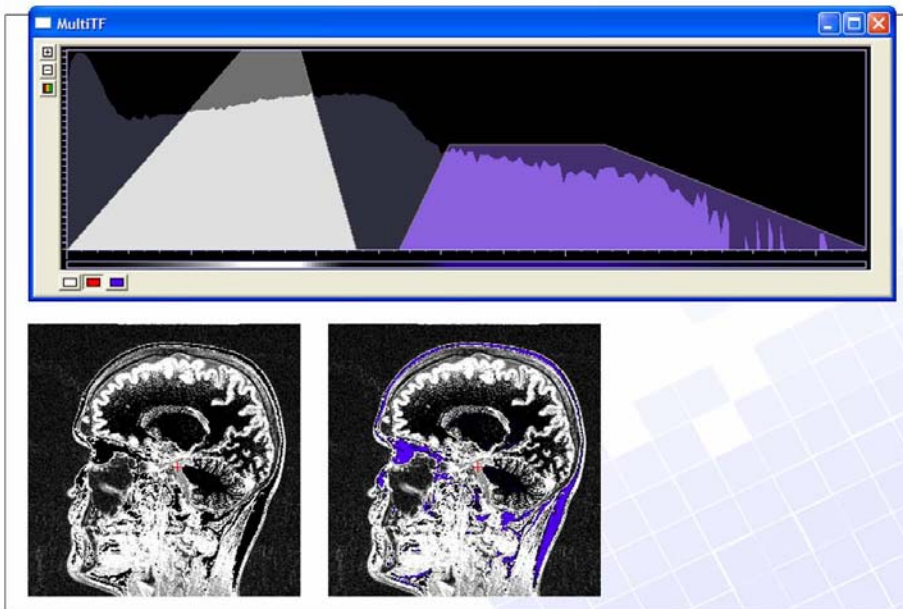
22



christof rezk-salama, computergraphik und multimediasysteme, universität siegen

Transferfunktionen

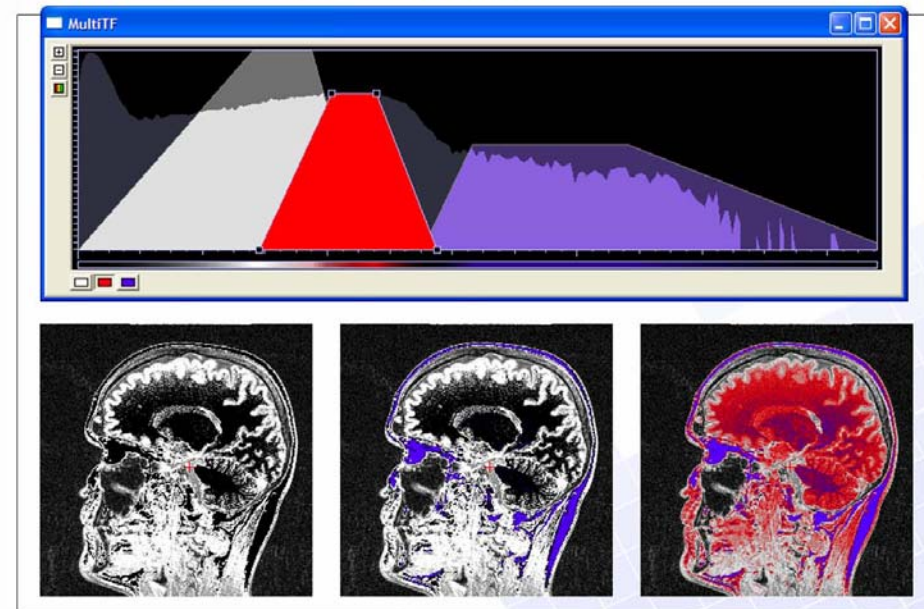
22



christof rezk-salama, computergraphik und multimediasysteme, universität siegen

Transferfunktionen

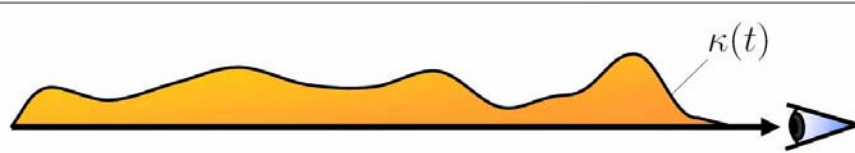
22



christof rezk-salama, computergraphik und multimediasysteme, universität siegen

Numerische Lösung

23



$$\text{Absorption: } \tau(0, t) = \int_0^t \kappa(\hat{t}) d\hat{t}$$

christof rezk-salama, computergraphik und multimediasysteme, universität siegen

Numerische Lösung

23



$$\text{Absorption: } \tau(0, t) = \int_0^t \kappa(\hat{t}) d\hat{t}$$

Approximiere Integral durch Riemann Summe:

$$\tau(0, t) \approx \sum_{i=0}^{\lfloor t/\Delta t \rfloor} \kappa(i \cdot \Delta t) \Delta t$$

christof rezk-salama, computergraphik und multimediasysteme, universität siegen

Numerische Lösung

24



$$\tau(0, t) \approx \tilde{\tau}(0, t) = \sum_{i=0}^{\lfloor t/\Delta t \rfloor} \kappa(i \cdot \Delta t) \Delta t$$

$$e^{-\tilde{\tau}(0, t)} = e^{-\sum_{i=0}^{\lfloor t/\Delta t \rfloor} \kappa(i \cdot \Delta t) \Delta t}$$

christof rezk-salama, computergraphik und multimediasysteme, universität siegen

Numerische Lösung

24



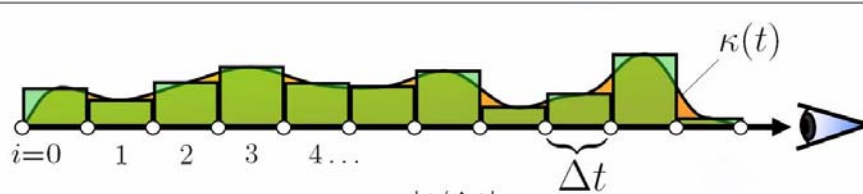
$$\tau(0, t) \approx \tilde{\tau}(0, t) = \sum_{i=0}^{\lfloor t/\Delta t \rfloor} \kappa(i \cdot \Delta t) \Delta t$$

$$e^{-\tilde{\tau}(0, t)} = \prod_{i=0}^{\lfloor t/\Delta t \rfloor} e^{-\kappa(i \cdot \Delta t) \Delta t}$$

christof rezk-salama, computergraphik und multimediasysteme, universität siegen

Numerische Lösung

24



$$\tau(0, t) \approx \tilde{\tau}(0, t) = \sum_{i=0}^{\lfloor t/\Delta t \rfloor} \kappa(i \cdot \Delta t) \Delta t$$

$$e^{-\tilde{\tau}(0, t)} = \prod_{i=0}^{\lfloor t/\Delta t \rfloor} e^{-\kappa(i \cdot \Delta t) \Delta t}$$

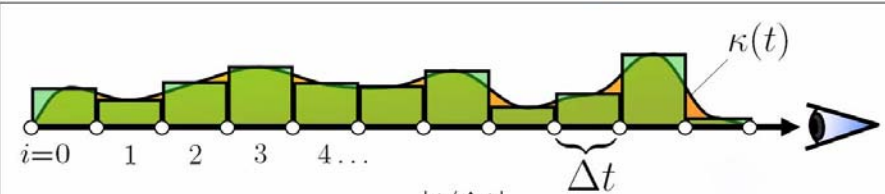
Jetzt wird die Opazität eingeführt:

$$A_i = 1 - e^{-\kappa(i \cdot \Delta t) \Delta t}$$

christof rezk-salama, computergraphik und multimediasysteme, universität siegen

Numerische Lösung

24



$$\tau(0, t) \approx \tilde{\tau}(0, t) = \sum_{i=0}^{\lfloor t/\Delta t \rfloor} \kappa(i \cdot \Delta t) \Delta t$$

$$e^{-\tilde{\tau}(0, t)} = \prod_{i=0}^{\lfloor t/\Delta t \rfloor} e^{-\kappa(i \cdot \Delta t) \Delta t}$$

Jetzt wird die Opazität eingeführt:

$$1 - A_i = e^{-\kappa(i \cdot \Delta t) \Delta t}$$

christof rezk-salama, computergraphik und multimediasysteme, universität siegen

Numerische Lösung

24



$$\tau(0, t) \approx \tilde{\tau}(0, t) = \sum_{i=0}^{\lfloor t/\Delta t \rfloor} \kappa(i \cdot \Delta t) \Delta t$$

$$e^{-\tilde{\tau}(0, t)} = \prod_{i=0}^{\lfloor t/\Delta t \rfloor} e^{-\kappa(i \cdot \Delta t) \Delta t}$$

Jetzt wird die Opazität eingeführt:

$$1 - A_i = e^{-\kappa(i \cdot \Delta t) \Delta t}$$

christof rezk-salama, computergraphik und multimediasysteme, universität siegen

Numerische Lösung

24



$$\tau(0, t) \approx \tilde{\tau}(0, t) = \sum_{i=0}^{\lfloor t/\Delta t \rfloor} \kappa(i \cdot \Delta t) \Delta t$$

$$e^{-\tilde{\tau}(0, t)} = \prod_{i=0}^{\lfloor t/\Delta t \rfloor} (1 - A_i)$$

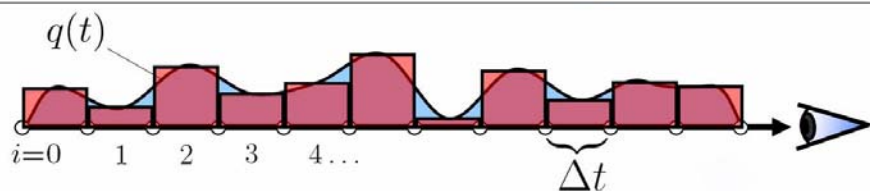
Jetzt wird die Opazität eingeführt:

$$1 - A_i = e^{-\kappa(i \cdot \Delta t) \Delta t}$$

christof rezk-salama, computergraphik und multimediasysteme, universität siegen

Numerische Lösung

25



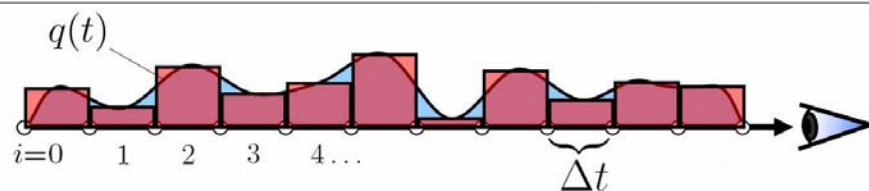
$$e^{-\tilde{\tau}(0,t)} = \prod_{i=0}^{\lfloor t/\Delta t \rfloor} (1 - A_i)$$

$$q(t) \approx C_i = c(i \cdot \Delta t) \Delta t$$

christof rezk-salama, computergraphik und multimediasysteme, universität siegen

Numerische Lösung

25



$$e^{-\tilde{\tau}(0,t)} = \prod_{i=0}^{\lfloor t/\Delta t \rfloor} (1 - A_i)$$

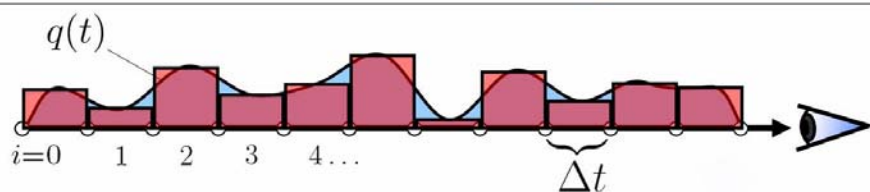
$$q(t) \approx C_i = c(i \cdot \Delta t) \Delta t$$

$$\tilde{C} = \sum_{i=0}^{\lfloor T/\Delta t \rfloor} C_i e^{-\tilde{\tau}(0,t)}$$

christof rezk-salama, computergraphik und multimediasysteme, universität siegen

Numerische Lösung

25



$$e^{-\tilde{\tau}(0,t)} = \prod_{i=0}^{\lfloor t/\Delta t \rfloor} (1 - A_i)$$

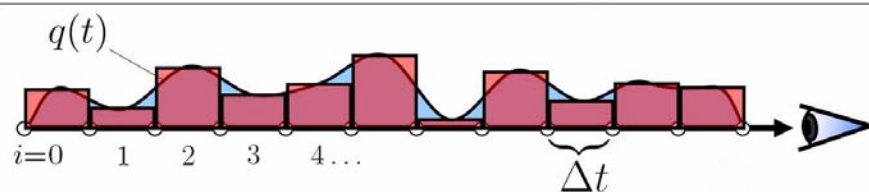
$$q(t) \approx C_i = c(i \cdot \Delta t) \Delta t$$

$$\tilde{C} = \sum_{i=0}^{\lfloor T/\Delta t \rfloor} C_i e^{-\tilde{\tau}(0,t)}$$

christof rezk-salama, computergraphik und multimediasysteme, universität siegen

Numerische Lösung

25



$$e^{-\tilde{\tau}(0,t)} = \prod_{i=0}^{\lfloor t/\Delta t \rfloor} (1 - A_i)$$

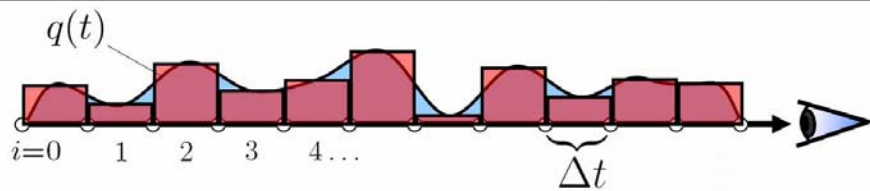
$$q(t) \approx C_i = c(i \cdot \Delta t) \Delta t$$

$$\tilde{C} = \sum_{i=0}^{\lfloor T/\Delta t \rfloor} C_i \prod_{j=0}^{i-1} (1 - A_j)$$

christof rezk-salama, computergraphik und multimediasysteme, universität siegen

Numerische Lösung

26



$$\tilde{C} = \sum_{i=0}^{\lfloor T/\Delta t \rfloor} C_i \prod_{j=0}^{i-1} (1 - A_j)$$

Kann rekursiv berechnet werden:

$$C'_i = C_i + (1 - A_i)C'_{i-1}$$

Lichtenergie an der Position i

Lichtenergie emittiert an Position i

Absorption an Position i

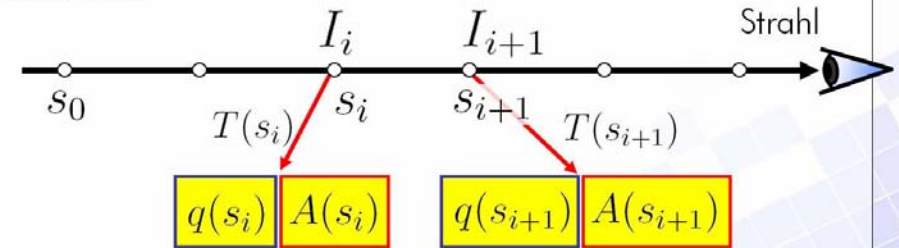
Lichtenergie an der Position $i-1$

christof rezk-salama, computergraphik und multimediasysteme, universität siegen

Diskrete Lösung des Integrals

27

Werte das Skalarfeld an diskreten Punkten entlang des Strahls aus:



Back-to-front Compositing mit $\alpha = A(s_{i+1})$

$$I_{i+1} = \alpha \cdot q(s_{i+1}) + (1 - \alpha) I_i$$

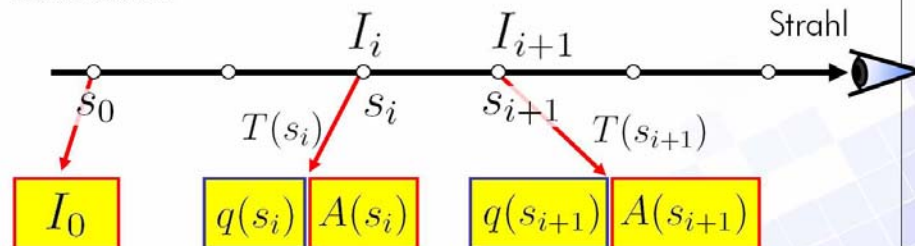
$$= q(s_{i+1}) \text{ OVER } I_i$$

christof rezk-salama, computergraphik und multimediasysteme, universität siegen

Diskrete Lösung des Integrals

27

Werte das Skalarfeld an diskreten Punkten entlang des Strahls aus:



Back-to-front Compositing mit $\alpha = A(s_{i+1})$

$$I_{i+1} = \alpha \cdot q(s_{i+1}) + (1 - \alpha) I_i$$

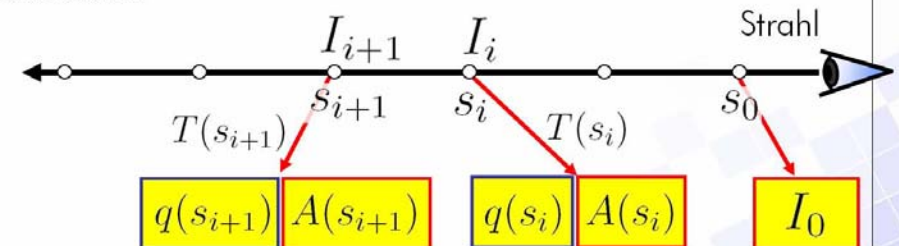
$$= q(s_{i+1}) \text{ OVER } I_i$$

christof rezk-salama, computergraphik und multimediasysteme, universität siegen

Diskrete Lösung des Integrals

28

Werte das Skalarfeld an diskreten Punkten entlang des Strahls aus:



Front-to-back Compositing.

$$I_{i+1} = I_i + T_i \cdot A(s_i) \cdot q(s_i)$$

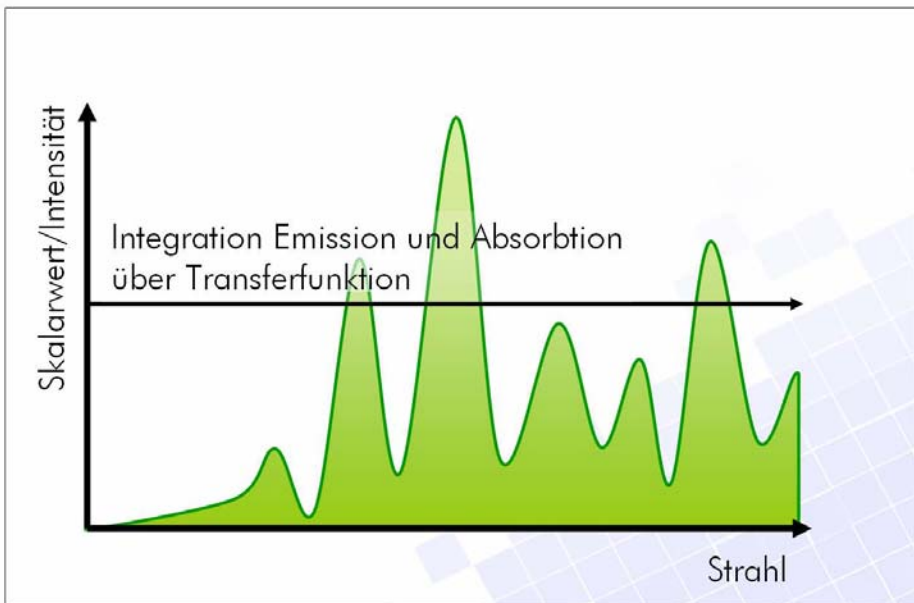
$$T_{i+1} = T_i \cdot (1 - A(s_i))$$

$I_0 = 0; T_0 = 1;$

Early Ray Termination
Berechnung abbrechen, wenn
 $T_i \approx 0$

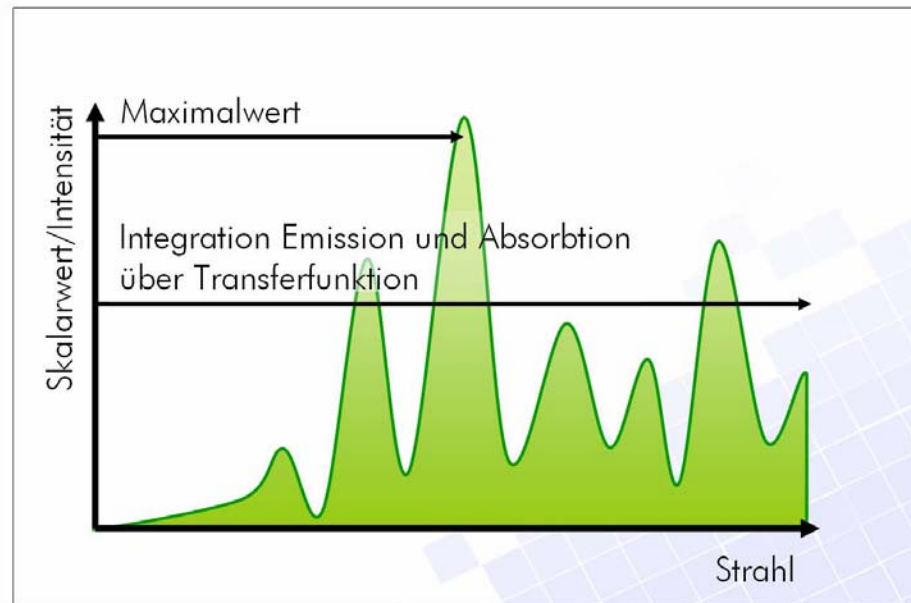
christof rezk-salama, computergraphik und multimediasysteme, universität siegen

Alternative Compositing-Verfahren



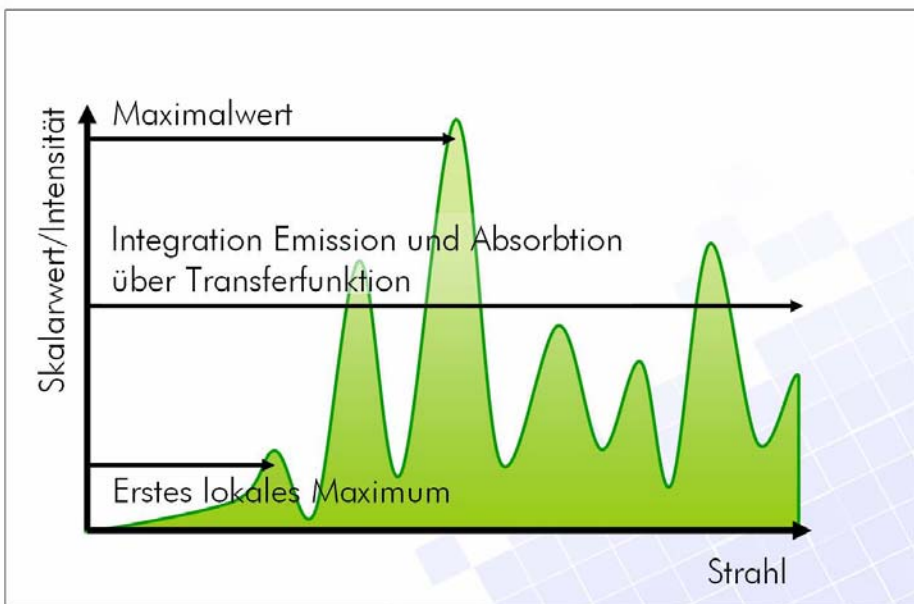
christof rezk-salama, computergraphik und multimediasysteme, universität siegen

Alternative Compositing-Verfahren



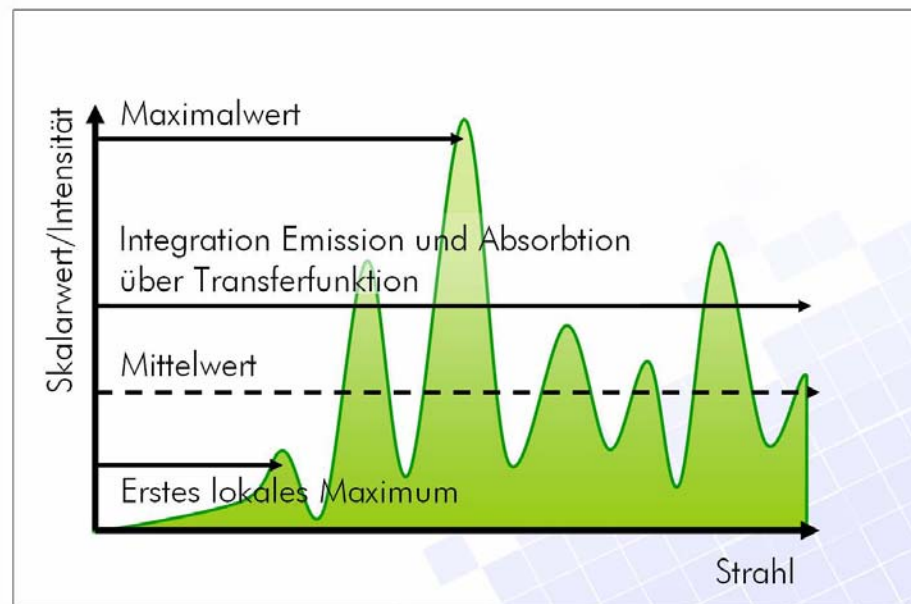
christof rezk-salama, computergraphik und multimediasysteme, universität siegen

Alternative Compositing-Verfahren



christof rezk-salama, computergraphik und multimediasysteme, universität siegen

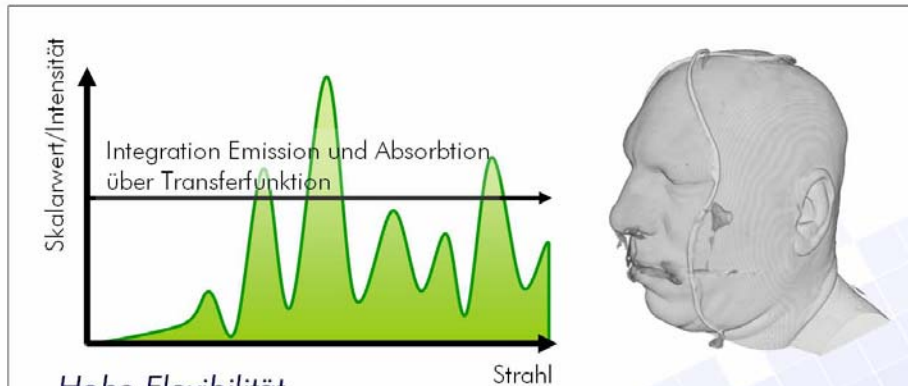
Alternative Compositing-Verfahren



christof rezk-salama, computergraphik und multimediasysteme, universität siegen

Compositing - Integration

30



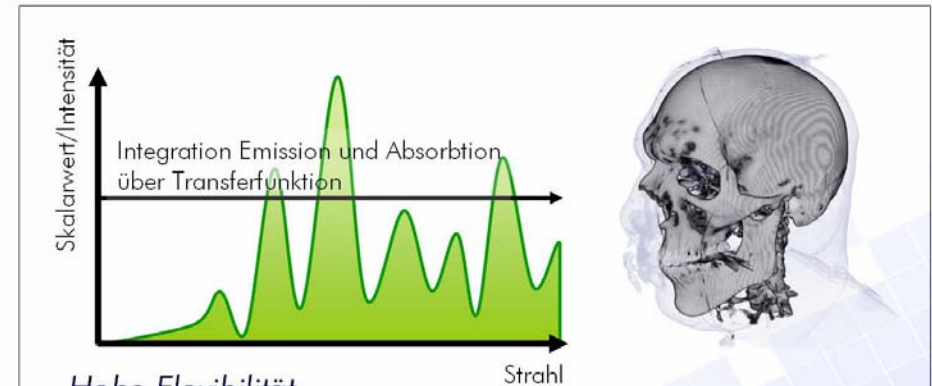
Hohe Flexibilität

- semi-transparente Darstellung, „weiche Kanten“.
- Bereiche im Datensatz können unterschiedlich dargestellt werden.
- **Nachteil:** Einstellung der Transferfunktion ist aufwändig.

christof rezk-salama, computergraphik und multimediasysteme, universität siegen

Compositing - Integration

30



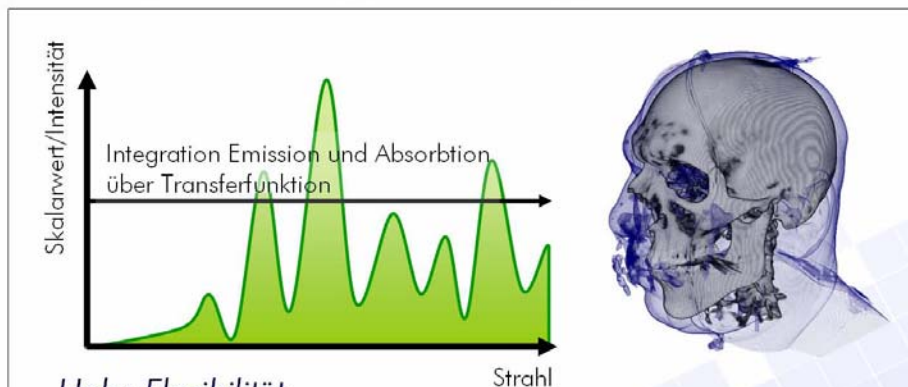
Hohe Flexibilität

- semi-transparente Darstellung, „weiche Kanten“.
- Bereiche im Datensatz können unterschiedlich dargestellt werden.
- **Nachteil:** Einstellung der Transferfunktion ist aufwändig.

christof rezk-salama, computergraphik und multimediasysteme, universität siegen

Compositing - Integration

30



Hohe Flexibilität

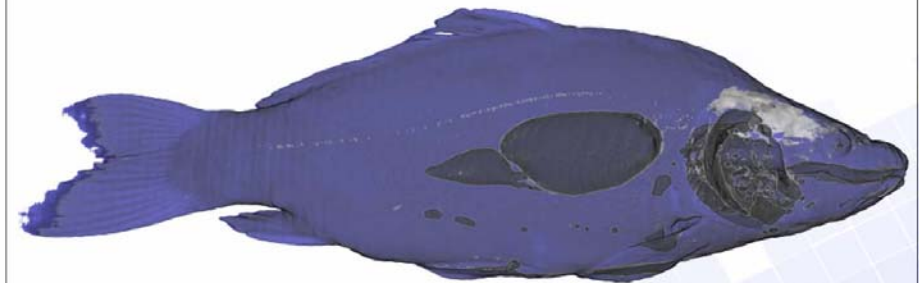
- semi-transparente Darstellung, „weiche Kanten“.
- Bereiche im Datensatz können unterschiedlich dargestellt werden.
- **Nachteil:** Einstellung der Transferfunktion ist aufwändig.

christof rezk-salama, computergraphik und multimediasysteme, universität siegen

Beispiel Transferfunktion

31

Karpfen (Computertomographie)



christof rezk-salama, computergraphik und multimediasysteme, universität siegen

Beispiel Transferfunktion

31

Karpfen (Computertomographie)

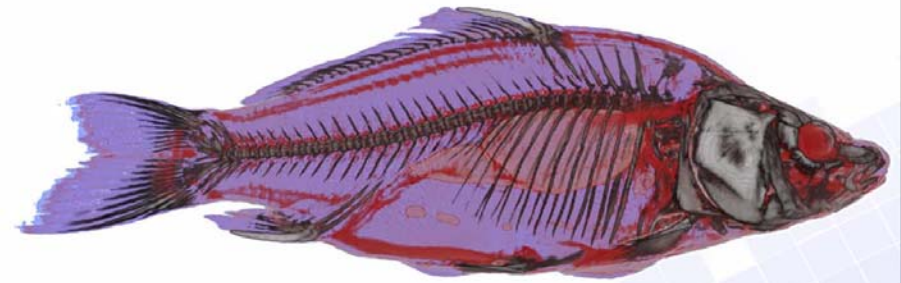


christof rezk-salama, computergraphik und multimediasysteme, universität siegen

Beispiel Transferfunktion

31

Karpfen (Computertomographie)



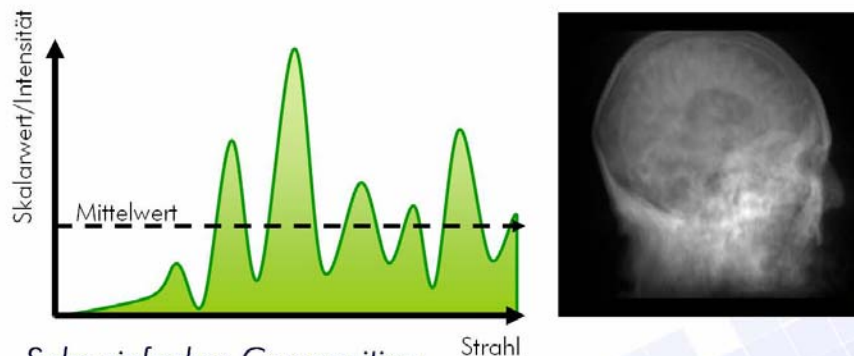
Die Transferfunktion erlaubt die *Klassifikation* der Daten.

- Welche Bereiche sollen welche Farbe haben?
- Welche Bereiche sollen transparent/semi-transparent oder opak dargestellt werden?

christof rezk-salama, computergraphik und multimediasysteme, universität siegen

Compositing - Mittelwert

32



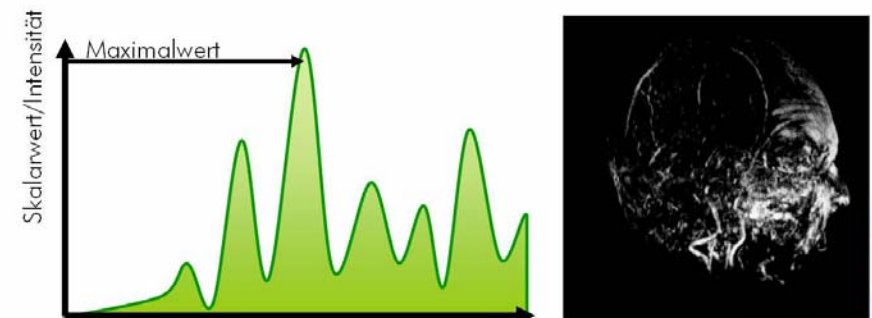
Sehr einfaches Compositing

- Ergebnisbilder sind *Röntgenbildern* sehr ähnlich.
- *Nachteil:* Geringe Flexibilität, keine Klassifikation
- *Vorteil:* Einstellung einer Transferfunktion ist nicht notwendig.

christof rezk-salama, computergraphik und multimediasysteme, universität siegen

Compositing - MIP

33



Maximum Intensity Projection (MIP)

- gut geeignet für Blutgefäße mit Kontrastmittel.
- *Vorteil:* Einstellung einer Transferfunktion nicht nötig
- *Nachteil:* Irreführende Tiefenrelationen! (Tiefeninformation geht verloren!)

christof rezk-salama, computergraphik und multimediasysteme, universität siegen

Maximum Intensity Projection

34



Emission/Absorption

Maximum Intensity Projection

christof rezk-salama, computergraphik und multimediasysteme, universität siegen

Zusammenfassung Ray-Casting

35

- **Bildraumverfahren:** Bestimme einen Strahl für jeden Pixel des Ergebnisbildes
 - **Berechne die Farbe des Pixels mittels**
 - Integration von Emission und Absorption
 - Maximum Intensity Projektion **ODER**
 - Summation der Skalarwerte
 - **Diskretisiere entlang des Strahls**
 - Exakte Bestimmung der Schnittpunkte
 - Resampling äquidistant **ODER**
 - Rasterisierung (z.B. 3D Bresenham)

christof rezk-salama, computergraphik und multimediasysteme, universität siegen

Literatur Ray-Casting

36

J. Foley, A. van Dam, S. Feiner, and J. Hughes.
Computer Graphics, Principle And Practice.

Addison-Wesley, 1993.

J Kajiya and B. Von Herzen.
Ray Tracing Volume Densities.

in *Proc. SIGGRAPH* 1984.

Paolo Sabella:
A Rendering Algorithm for Visualizing 3D Scalar Fields.

in *Proc. SIGGRAPH* 1988.

Marc Levoy:
Display of Surfaces form Volume Data.

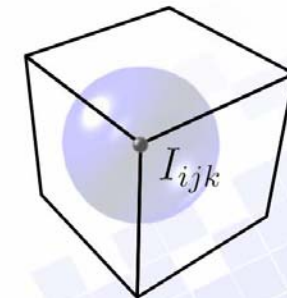
in *IEEE Computer Graphics & Applications*, 8(5):29–37, 1988.

christof rezk-salama, computergraphik und multimediasysteme, universität siegen

Objektraumverfahren

37

Jeder diskrete Datenpunkt im Volumen beeinflusst die optischen Eigenschaften des Raumes in einem bestimmten Bereich.



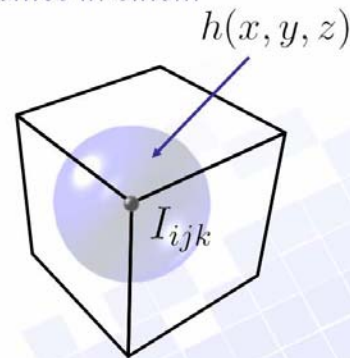
christof rezk-salama, computergraphik und multimediasysteme, universität siegen

Objektraumverfahren

37

Jeder diskrete Datenpunkt im Volumen beeinflusst die optischen Eigenschaften des Raumes in einem bestimmten Bereich.

Dieser Bereich wird durch seine *charakteristische Funktion* $h(x, y, z)$ beschrieben.
(z.B. durch eine Kugel)



christof rezk-salama, computergraphik und multimediasysteme, universität siegen

Objektraumverfahren

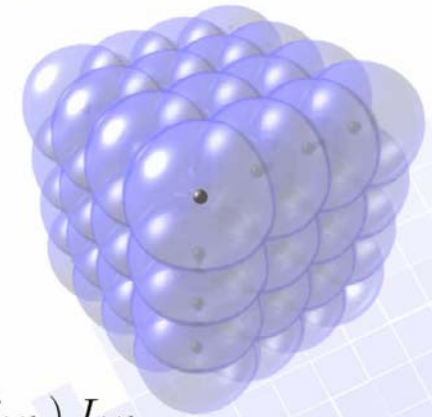
37

Jeder diskrete Datenpunkt im Volumen beeinflusst die optischen Eigenschaften des Raumes in einem bestimmten Bereich.

Dieser Bereich wird durch seine *charakteristische Funktion* $h(x, y, z)$ beschrieben.
(z.B. durch eine Kugel)

Das komplette Skalarfeldes läßt sich beschreiben als:

$$S(\vec{x}) = \sum_{i,j,k} h(\vec{x} - \vec{x}_{ijk}) I_{ijk}$$



christof rezk-salama, computergraphik und multimediasysteme, universität siegen

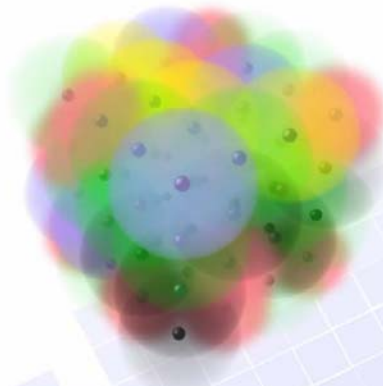
Objektraumverfahren

38

$$S(\vec{x}) = \sum_{i,j,k} h(\vec{x} - \vec{x}_{ijk}) I_{ijk}$$

Die Transferfunktion wird nun angewendet: $I_{ijk} \rightarrow q_{ijk}$

$$S_q(\vec{x}) = \sum_{i,j,k} h(\vec{x} - \vec{x}_{ijk}) q_{ijk}$$



christof rezk-salama, computergraphik und multimediasysteme, universität siegen

Objektraumverfahren

38

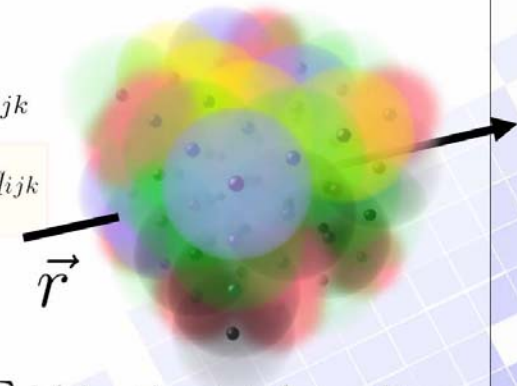
$$S(\vec{x}) = \sum_{i,j,k} h(\vec{x} - \vec{x}_{ijk}) I_{ijk}$$

Die Transferfunktion wird nun angewendet: $I_{ijk} \rightarrow q_{ijk}$

$$S_q(\vec{x}) = \sum_{i,j,k} h(\vec{x} - \vec{x}_{ijk}) q_{ijk}$$

Das Integral der Emissionen entlang eines Sehstrahles: \vec{r}

$$\int S_q(\vec{x} + t\vec{r}) dt = \int \sum_{i,j,k} h(\vec{x} - \vec{x}_{ijk} + t\vec{r}) q_{ijk} dt$$



christof rezk-salama, computergraphik und multimediasysteme, universität siegen

Objektraumverfahren

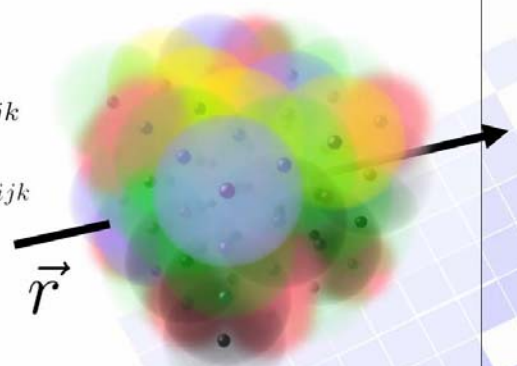
$$S(\vec{x}) = \sum_{i,j,k} h(\vec{x} - \vec{x}_{ijk}) I_{ijk}$$

Die Transferfunktion wird nun angewendet: $I_{ijk} \rightarrow q_{ijk}$

$$S_q(\vec{x}) = \sum_{i,j,k} h(\vec{x} - \vec{x}_{ijk}) q_{ijk}$$

Das Integral der Emissionen entlang eines Sehstrahles:

$$\int S_q(\vec{x} + t\vec{r}) dt = \sum_{i,j,k} \int h(\vec{x} - \vec{x}_{ijk} + t\vec{r}) q_{ijk} dt$$



Objektraumverfahren

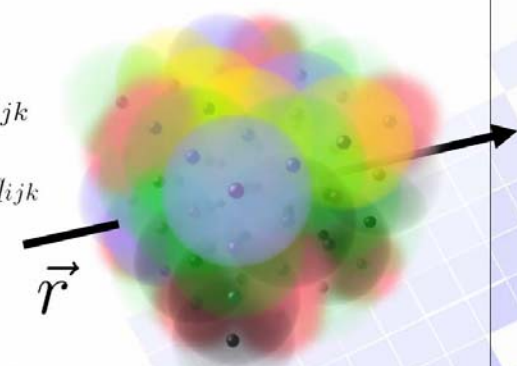
$$S(\vec{x}) = \sum_{i,j,k} h(\vec{x} - \vec{x}_{ijk}) I_{ijk}$$

Die Transferfunktion wird nun angewendet: $I_{ijk} \rightarrow q_{ijk}$

$$S_q(\vec{x}) = \sum_{i,j,k} h(\vec{x} - \vec{x}_{ijk}) q_{ijk}$$

Das Integral der Emissionen entlang eines Sehstrahles:

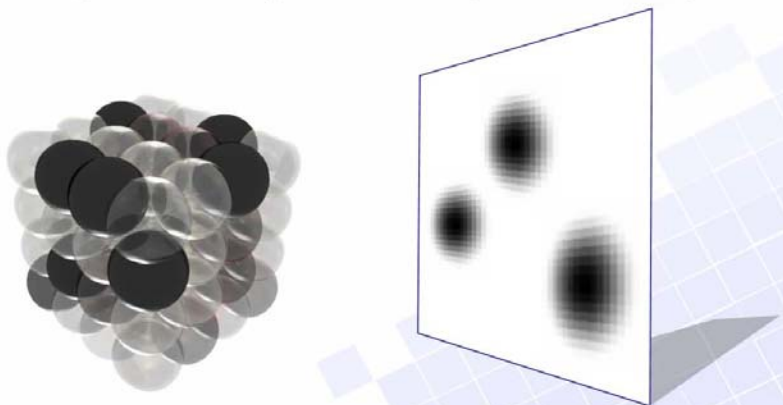
$$\int S_q(\vec{x} + t\vec{r}) dt = \sum_{i,j,k} \left(\int h(\vec{x} - \vec{x}_{ijk} + t\vec{r}) dt \cdot q_{ijk} \right)$$



Splatting

$$\int S_q(\vec{x} + t\vec{r}) dt = \sum_{i,j,k} \left(\int h(\vec{x} - \vec{x}_{ijk} + t\vec{r}) dt \cdot q_{ijk} \right)$$

Der Beitrag eines Abtastpunkts zum Ergebnisbild (*footprint*)



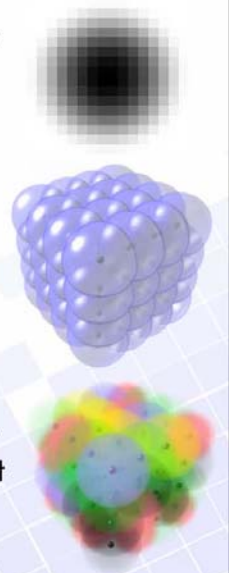
Splatting-Algorithmus

Das Abbild („footprint“) eines einzelnen Voxels kann vorberechnet, und als eine Maske gespeichert werden.

Alle Voxel werden in der Reihenfolge von hinten nach vorne auf die Bildebene projiziert.

Für jeden Voxel wird nun

- der Mittelpunkt auf die Bildebene projiziert,
- die Maske mit dem Emissionswert gewichtet
- mit dem over-Operator verknüpft.



Literatur Splatting

41

L. Westover.
Footprint Evaluation for Volume Rendering.
In Proc. SIGGRAPH 1990

L. Westover.
Splatting: A Parallel, Feed-Forward Volume Rendering Algorithm.
PhD Thesis, UNC Chapel Hill, 1991

K. Mueller, T. Möller, and R. Crawfis.
Splatting Without the Blur.
in Proc. IEEE Visualization, 1999.

christof rezk-salama, computergraphik und multimediasysteme, universität siegen

Der Shear-Warp Algorithmus

42

Hybridverfahren: Mischung zwischen
Bildraum- und Objektraumverfahren

☐ Das schnellste der reinen Software-Verfahrenen.

Berechnung des Ergebnisbildes in zwei Schritten:

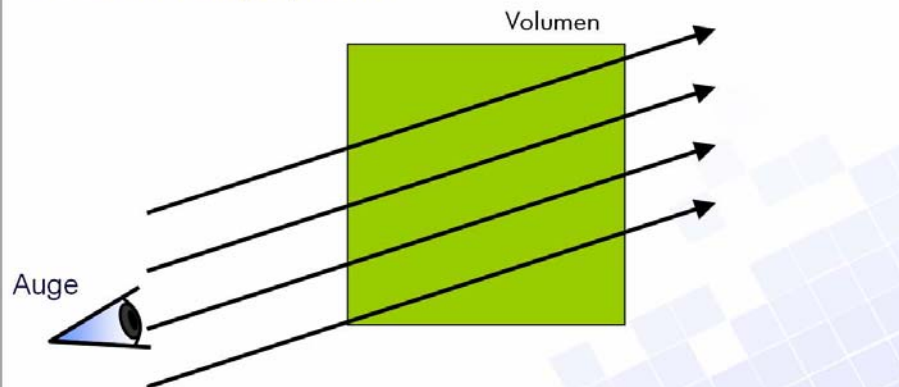
- **Objektraumverfahren:** Erzeuge zunächst ein verzerrtes Zwischenbild
- **Bildraumverfahren:** Entzerre das Zwischenbild in einem 2D Nachbearbeitungsschritt

christof rezk-salama, computergraphik und multimediasysteme, universität siegen

Der Shear-Warp Algorithmus

43

1. Fall: Parallelprojektion

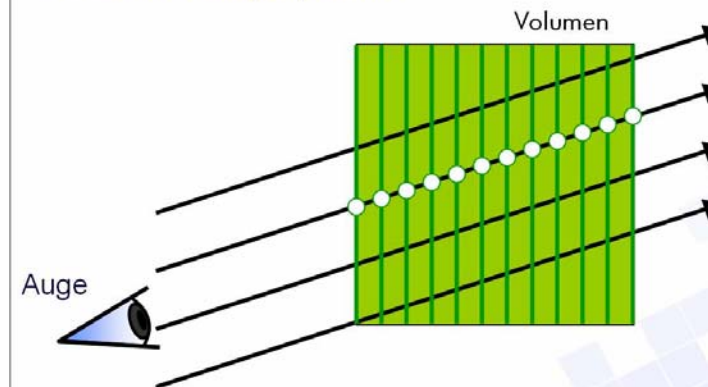


christof rezk-salama, computergraphik und multimediasysteme, universität siegen

Der Shear-Warp Algorithmus

43

1. Fall: Parallelprojektion



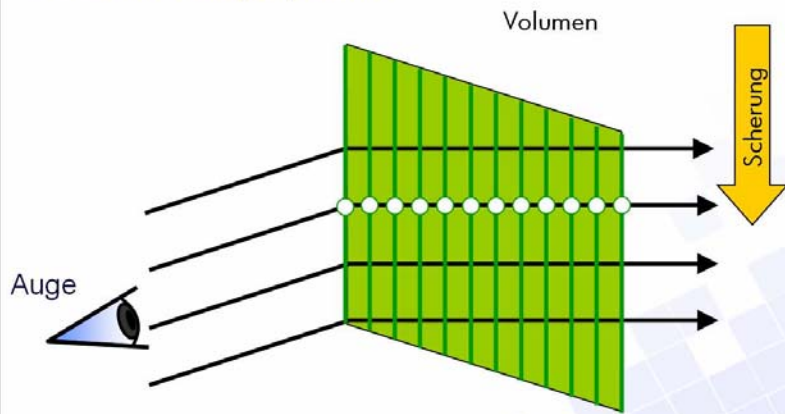
Schritt 1: Zerlege das Volumen in achsenparallele Schichten

christof rezk-salama, computergraphik und multimediasysteme, universität siegen

Der Shear-Warp Algorithmus

43

1. Fall: Parallelprojektion



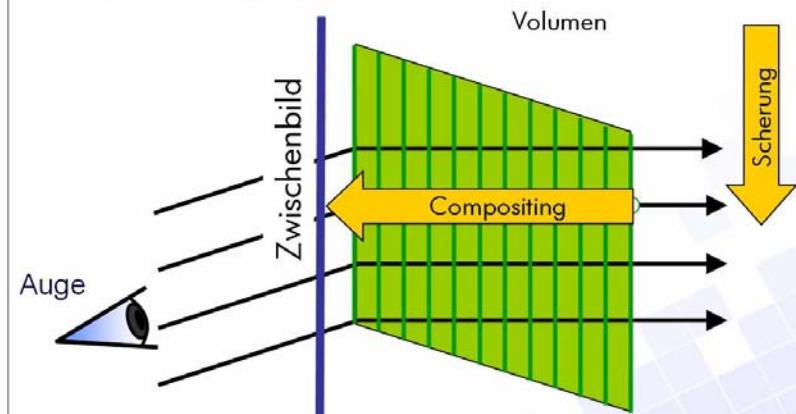
Schritt 2: Bestimme eine Scherung des Raumes so daß die Sehstrahlen senkrecht auf den Schichten stehen.

christof rezk-salama, computergraphik und multimediasysteme, universität siegen

Der Shear-Warp Algorithmus

43

1. Fall: Parallelprojektion



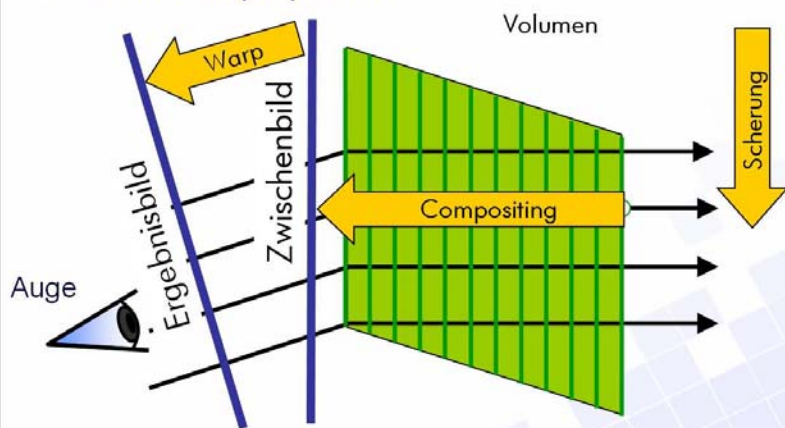
Schritt 3: Erzeugung eines (verzerrten) Bildes als Zwischenergebnis

christof rezk-salama, computergraphik und multimediasysteme, universität siegen

Der Shear-Warp Algorithmus

43

1. Fall: Parallelprojektion



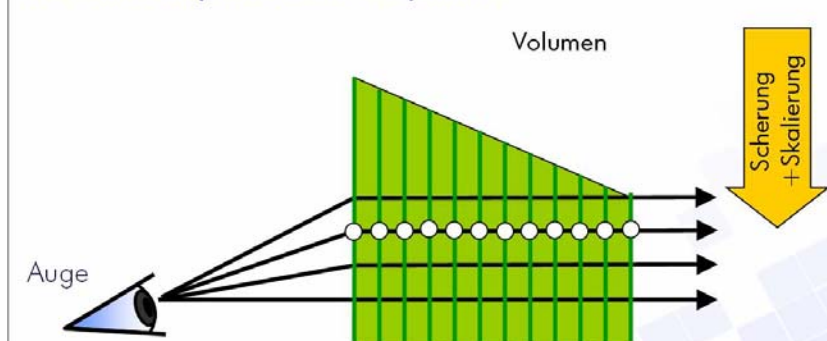
Schritt 4: Entzerrung (Warp) des Zwischenbildes liefert das Ergebnisbild.

christof rezk-salama, computergraphik und multimediasysteme, universität siegen

Der Shear-Warp Algorithmus

44

2. Fall: Perspektivische Projektion

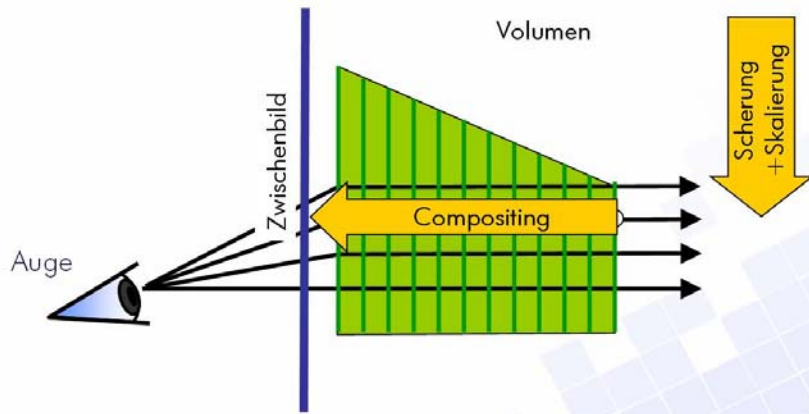


Schritt 2: Scherung und Skalierung, so daß die Sehstrahlen senkrecht auf den Schichten stehen.

christof rezk-salama, computergraphik und multimediasysteme, universität siegen

Der Shear-Warp Algorithmus

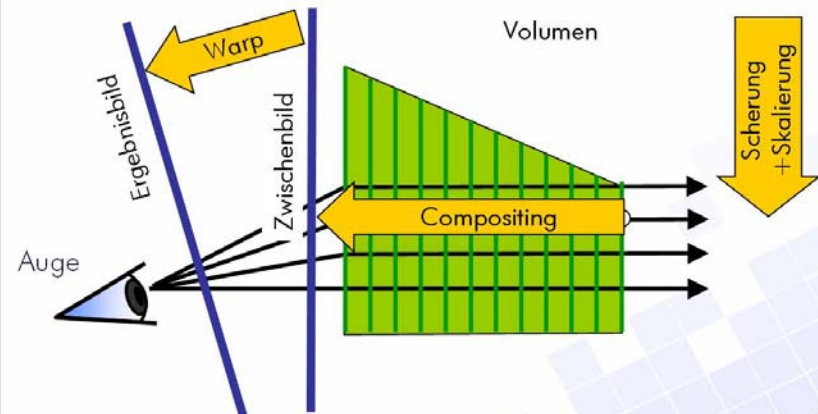
2. Fall: Perspektivische Projektion



Schritt 3: Erzeugung eines (verzerrten) Bildes als Zwischenergebnis

Der Shear-Warp Algorithmus

2. Fall: Perspektivische Projektion



Schritt 4: Entzerrung (Warp) des Zwischenbildes liefert das Ergebnisbild.

Shear-Warp Algorithmus

Mathematisch gesehen:

- Faktorisierung der Viewing Matrix in eine 3D-Scherung und eine 2D-Verzerrung

$$M_{view} = P \cdot S \cdot M_{warp}$$

M_{view} = Viewing Matrix

S = 3D Scherung

M_{warp} = 2D Verzerrung

P = Permutationsmatrix



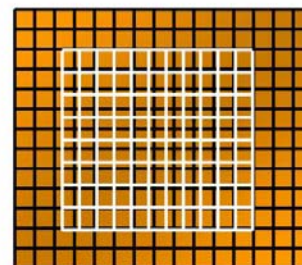
3 Schichtstapel im Speicher

Shear Warp Algorithmus

- Was bringt das ganze?

Nützliche Eigenschaften:

1. Scanlines der Pixel im Zwischenbild verlaufen parallel zu den Scanlines der Voxel im Datensatz.
2. Alle Voxel in einer Schicht werden mit dem gleichen Faktor skaliert.



Vorteil: Interpolationsgewichte müssen nicht für jeden Punkt einzeln berechnet werden.

Sie können Zeilen- und Spaltenweise berechnet werden.

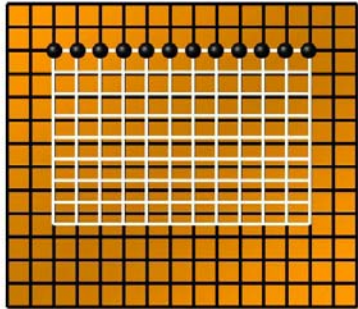
Shear Warp Algorithmus

47

- Was bringt das ganze?

Nützliche Eigenschaften:

- Nur bei Parallelprojektion: Alle Voxelschichten haben den gleichen Skalierungsfaktor.



Dieser Faktor kann frei gewählt werden.

Wähle den Faktor so, dass für eine bestimmte Voxel-Scanline eine 1-zu-1 Abbildung zwischen Voxeln und Pixeln im Zwischenbild gibt.

christof rezk-salama, computergraphik und multimediasysteme, universität siegen

Shear-Warp Algorithmus

48

Vergleich



Shear-Warp



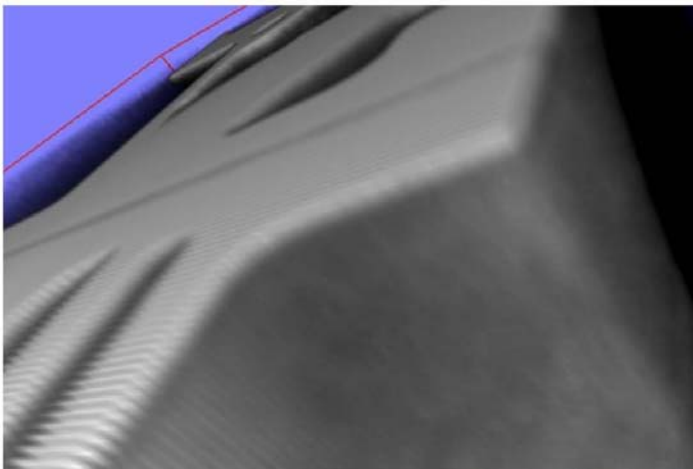
Ray-Casting

christof rezk-salama, computergraphik und multimediasysteme, universität siegen

Shear-Warp Algorithmus

49

- Nachteil – Visuelle Bildartefakte (bei starkem Zoom)



christof rezk-salama, computergraphik und multimediasysteme, universität siegen

Zusammenfassung Shear Warp

50

Mischung aus Bildraum- und Objektraumverfahren:

- Erzeuge ein verzerrtes Zwischenbild,
- Entzerre dieses anschließend in einem 2D Schritt.

Zerlege die Viewing-Matrix in

- Scherung (+ Skalierung)
- Permutationsmatrix
- 2D Warp-Matrix

Vorteile:

- Effizientere Interpolationsberechnung
- Schnellstes Software-Verfahren

Nachteile:

- 3-facher Speicherbedarf für 3 Schichtstapel.
- visuelle Artefakte

christof rezk-salama, computergraphik und multimediasysteme, universität siegen

Literatur Shear Warp

51

P. Lacroute and M. Levoy.
Fast Volume Rendering Using a Shear-Warp Factorization of the Viewing Transform.

In *Comp.Graphics*,28(4),1994.

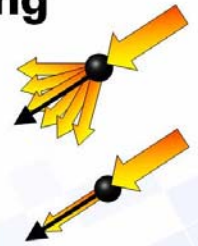
christof rezk-salama, computergraphik und multimediasysteme, universität siegen

Zusammenfassung

52

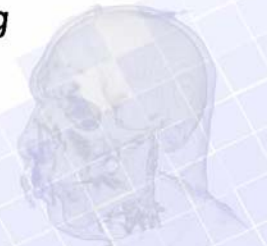
Direkte Volumenvisualisierung

- Optisches Modell:
Emission, Absorption und Streuung
- Objektraum- und Bildraumverfahren
(object order and image-order algorithms)



Standardverfahren:

- *Ein Bildraumverfahren: Raycasting*
Abtastung, Integration,
Compositing (Over-operator)
- Alternatives Compositing
(Mittelwert, Maximum)



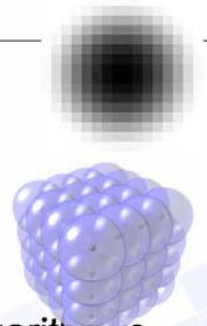
christof rezk-salama, computergraphik und multimediasysteme, universität siegen

Zusammenfassung

53

Standardverfahren

- *Ein Objektraumverfahren: Splatting*
Bestimmung des Abdrucks (footprint)
Projektion aller Voxel auf die Bildebene
Compositing mit Over-Operator
- *Ein Hybridverfahren: Shear-Warp-Algorithmus*
Zerlege die Viewing-Matrix in 3D Scherung und 2D Verzerrung
Vereinfachte Interpolation der Schichten
Schnellste Software-Implementierung
Visuelle Bildartefakte

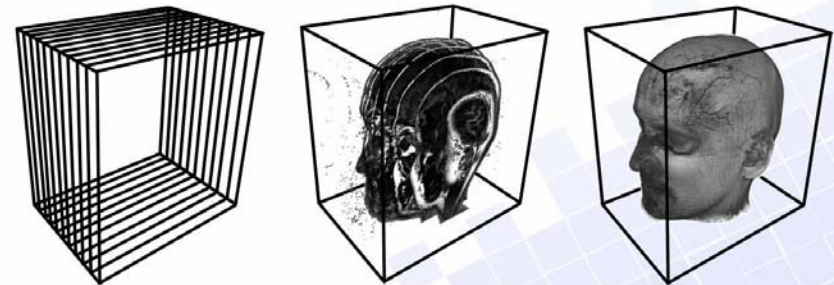


christof rezk-salama, computergraphik und multimediasysteme, universität siegen

Nächste Stunde

54

- Hardware-beschleunigte Verfahren
2D und 3D Texturebasierte Verfahren



christof rezk-salama, computergraphik und multimediasysteme, universität siegen