

# Direkte Volumenvisualisierung

Christof Rezk-Salama

Visualisierung WS 03/04, 06.01.2004

computergraphik und multimedia systeme  
universität siegen

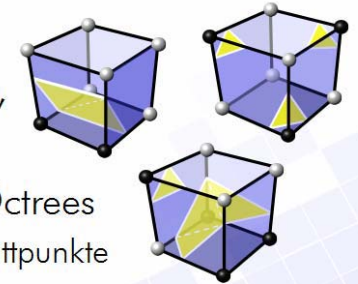


## Letzte Stunde

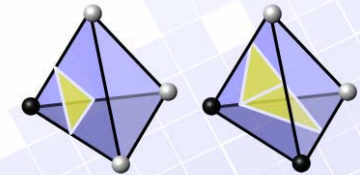
### Indirekte Volumenvisualisierung

- *Marching Cubes*

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



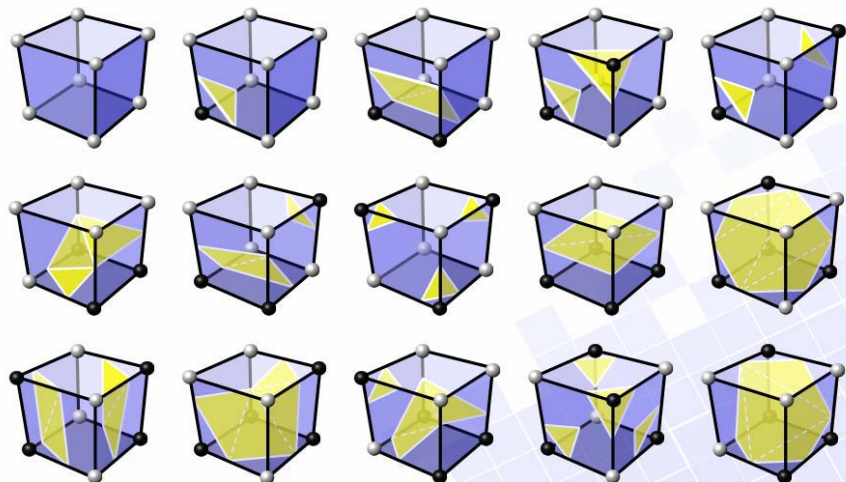
- *Marching Tetrahedra*



christof rezk-salama, computergraphik und multimediasysteme, universität siegen

## Letzte Stunde: Marching Cubes

- Triangulierung nach *Lorenson & Cline*



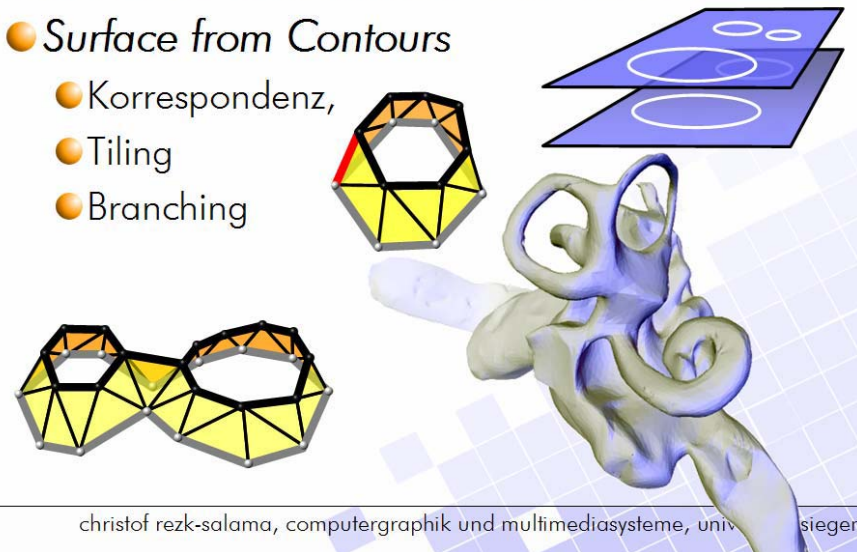
christof rezk-salama, computergraphik und multimediasysteme, universität siegen

## 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

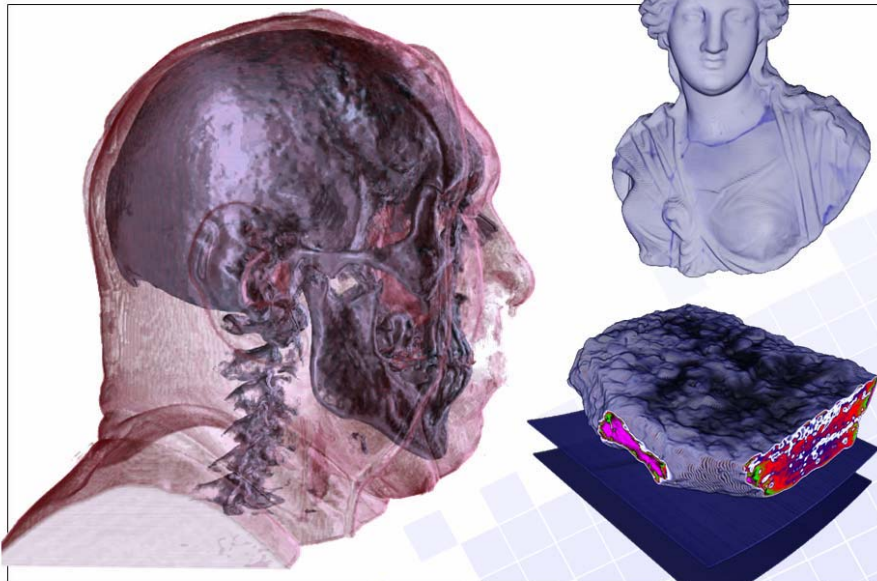
### Direkte Volumenvisualisierung

- 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

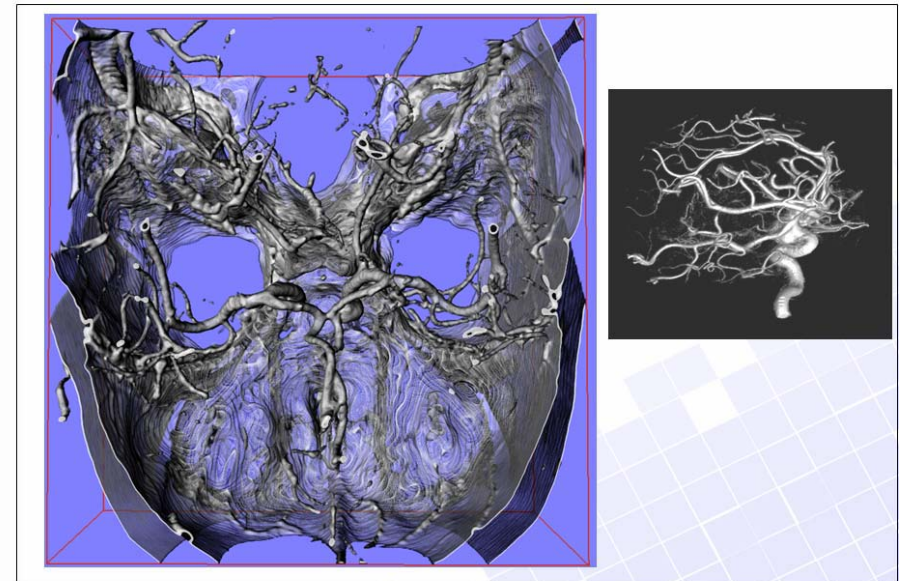
7



christof rezk-salama, computergraphik und multimediasysteme, universität siegen

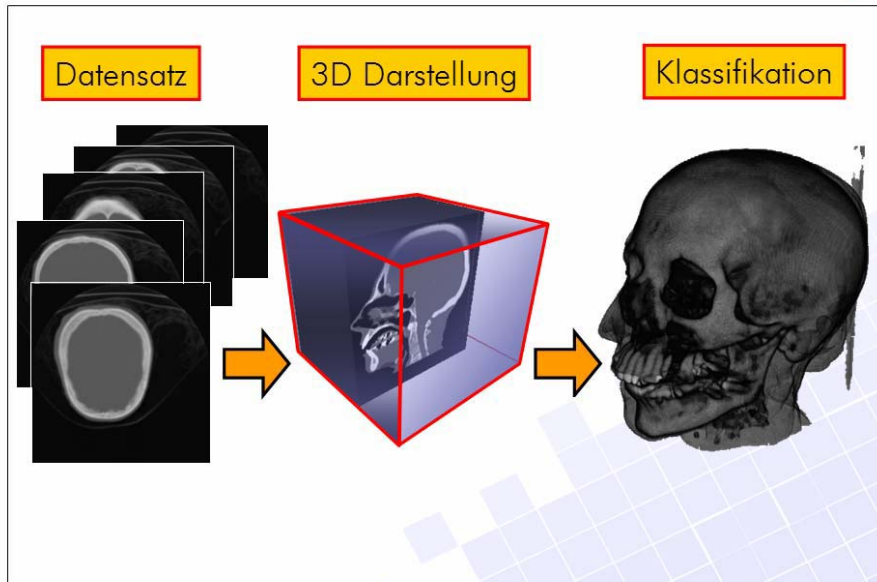
## Beispiel CT Angiographie

8



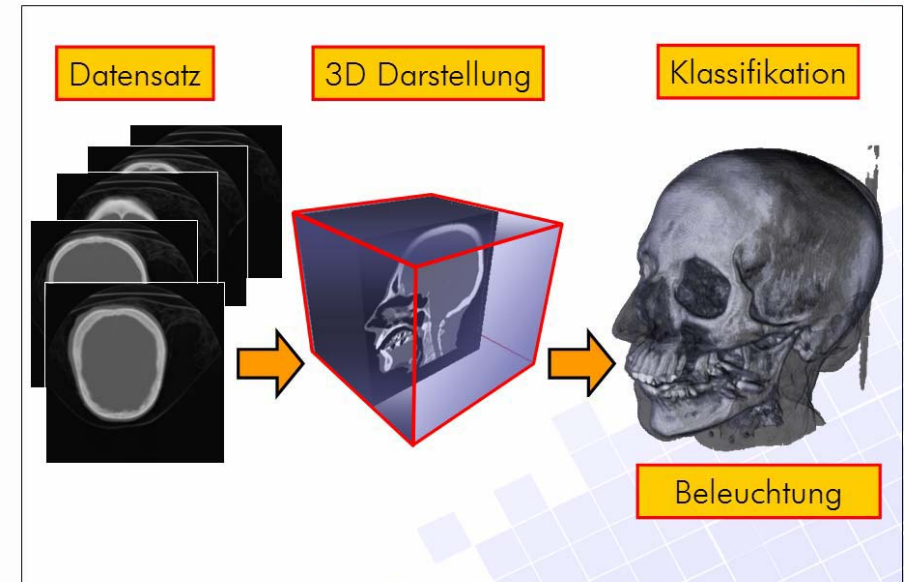
christof rezk-salama, computergraphik und multimediasysteme, universität siegen

## Direkte Volumenvisualisierung<sup>9</sup>



christof rezk-salama, computergraphik und multimediasysteme, universität siegen

## Direkte Volumenvisualisierung<sup>9</sup>



christof rezk-salama, computergraphik und multimediasysteme, universität siegen

## Volumendaten<sup>10</sup>

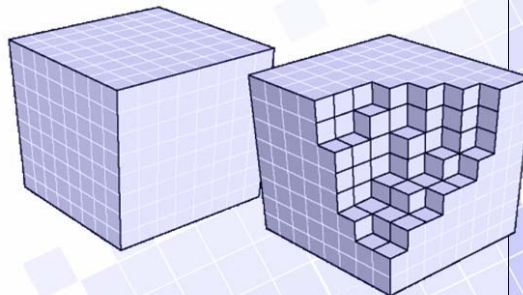
10

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 trilinear Interpolation



christof rezk-salama, computergraphik und multimediasysteme, universität siegen

## Physikalisches Modell<sup>11</sup>

11

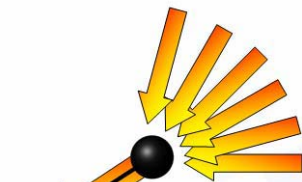
Betrachte einen Punkt im Raum und eine bestimmte Richtung:

Emission



aktiv

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



Streuung

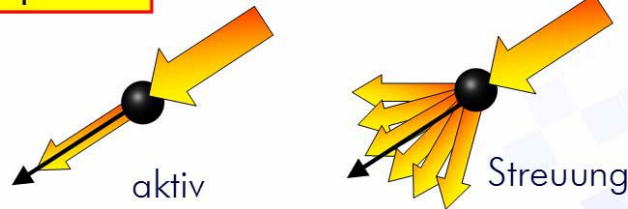
**Emission durch Streuung:**  
Zuwachs an Lichtenergie in der betrachteten Richtung durch Brechung des Lichts, das aus anderen Richtungen einfällt.

christof rezk-salama, computergraphik und multimediasysteme, universität siegen

# Physikalisches Modell

Betrachte einen Punkt im Raum und eine bestimmte Richtung:

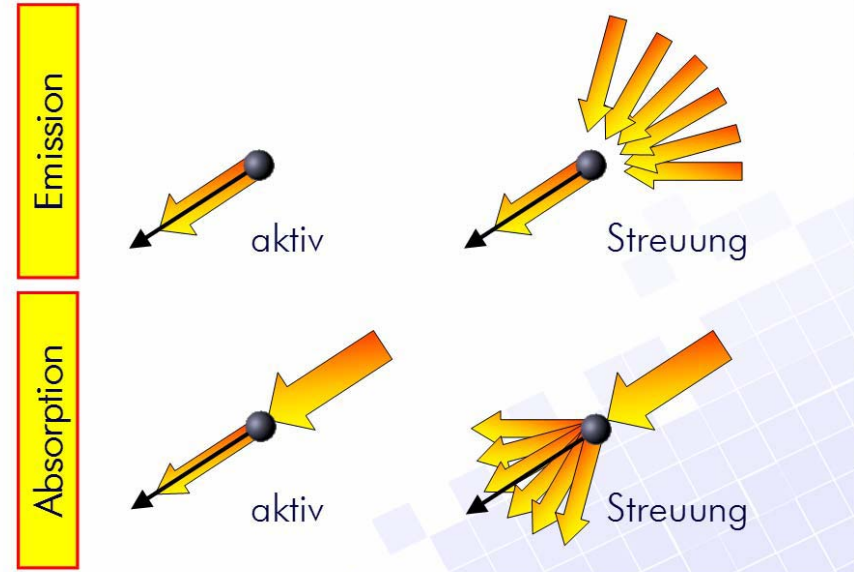
## Absorption



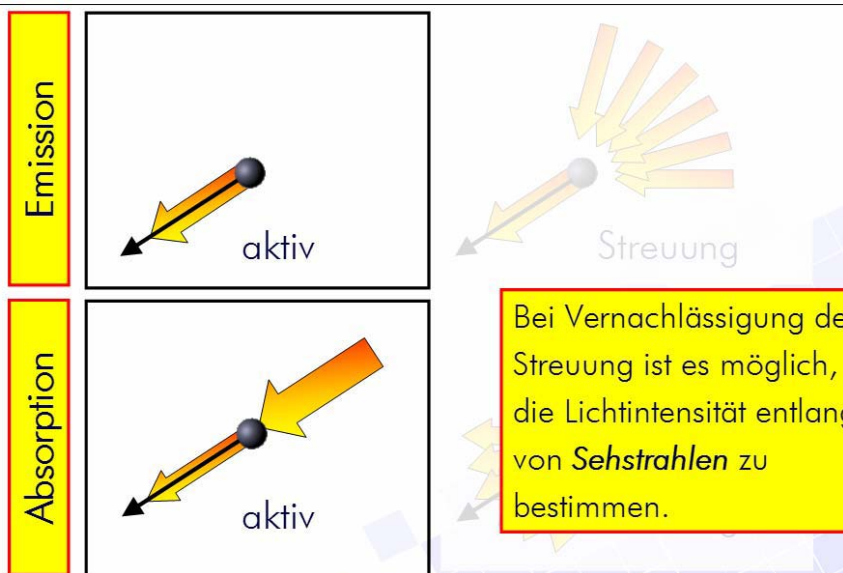
**Aktive Absorption:**  
An dem Punkt wird Licht absorbiert. Lichtenergie wird dem sichtbaren Spektrum entzogen und z.B. in Wärmenergie umgewandelt.

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

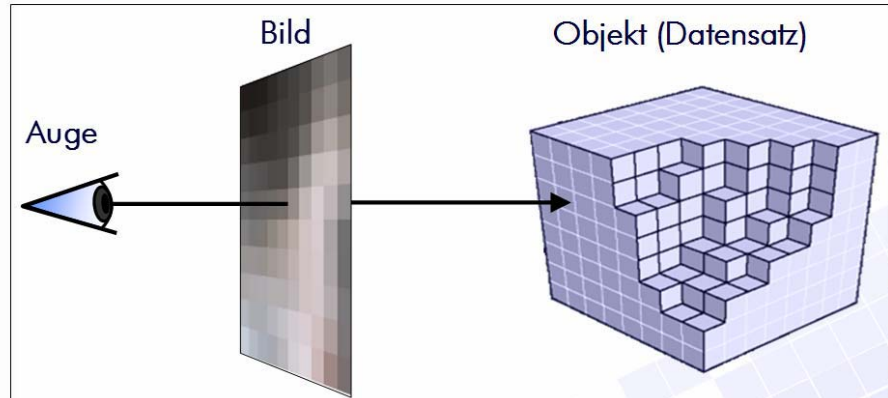
# Physikalisches Modell



# Physikalisches Modell



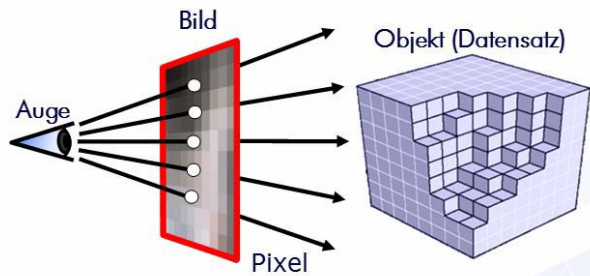
# Algorithmen



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

# Bildraumverfahren

**Ansatz:** Zerlege das Ergebnisbild in einzelne Pixel

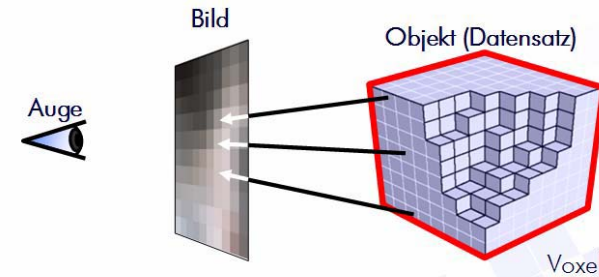


Für jeden Pixel → Bestimme den Beitrag des Volumens zur Farbe dieses Pixels

# Objektraumverfahren

**Alternativer Ansatz:**

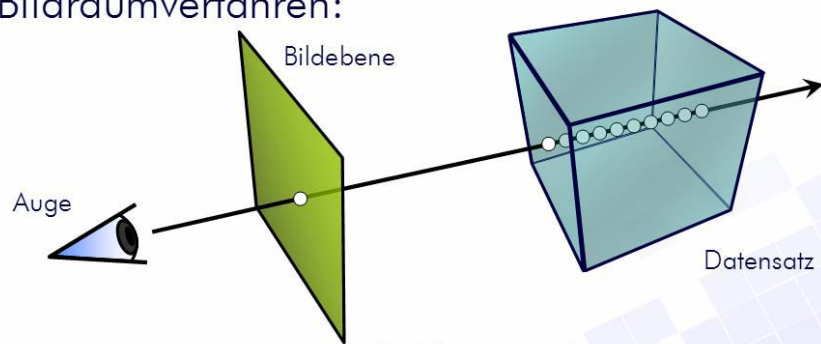
Zerlege das Objekt in einzelne Voxel



Bestimme den Beitrag des Voxels zum Ergebnisbild ← Für jeden Voxel

# Ray Casting

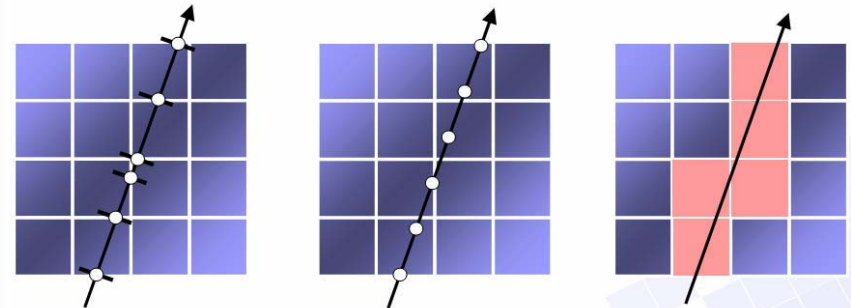
Bildraumverfahren:



- Numerische Integration
- Neuabtastung
- ➔ Hoher Rechenaufwand

# Abtastung (Sampling)

Wie wird entlang des Sehstrahls diskretisiert?



Exakte Bestimmung der Schnittpunkte  
Aufwändig

Äquidistante Neuabtastung mit Interpolation  
Einfach

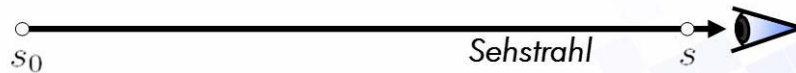
Rasterisierung z.B. Bresenham  
Einfach, aber ungenau

## Integration entlang des Strahls

19

Was wird integriert?

physikalisch korrekt: Emission und Absorption



$$I(s) =$$

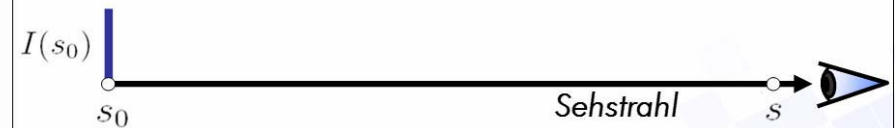
christof rezk-salama, computergraphik und multimediasysteme, universität siegen

## Integration entlang des Strahls

19

Was wird integriert?

physikalisch korrekt: Emission und Absorption



Anfangsintensität  
(Emission) bei  $s_0$

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

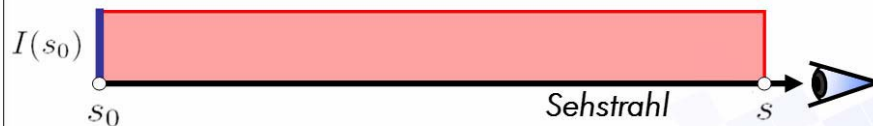
christof rezk-salama, computergraphik und multimediasysteme, universität siegen

## Integration entlang des Strahls

19

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.

christof rezk-salama, computergraphik und multimediasysteme, universität siegen

## Integration entlang des Strahls

19

Was wird integriert?

physikalisch korrekt: Emission und Absorption



Absorption  
entlang der  
Strecke  $s_0 - s$

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

christof rezk-salama, computergraphik und multimediasysteme, universität siegen

## Integration entlang des Strahls

19

### Was wird integriert?

physikalisch korrekt: Emission und Absorption



Optische Tiefe  $\tau$   
Absorption  $\kappa$

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

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

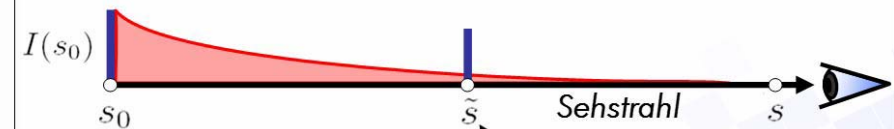
christof rezk-salama, computergraphik und multimediasysteme, universität siegen

## Integration entlang des Strahls

20

### Was wird integriert?

physikalisch korrekt: Emission und Absorption



An einem Punkt  $\tilde{s}$  entlang  
des Sehstrahls wird  
zusätzlich Licht emittiert.

Aktive Emission  
bei  $\tilde{s}$

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

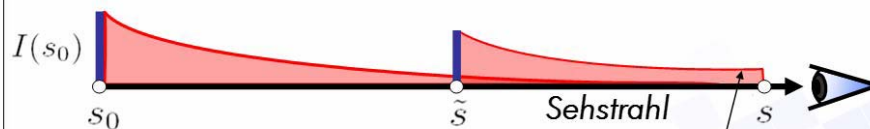
christof rezk-salama, computergraphik und multimediasysteme, universität siegen

## Integration entlang des Strahls

20

### Was wird integriert?

physikalisch korrekt: Emission und Absorption



An einem Punkt  $\tilde{s}$  entlang  
des Sehstrahls wird  
zusätzlich Licht emittiert.

Absorbtion  
entlang der  
Strecke  $\tilde{s} - s$

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

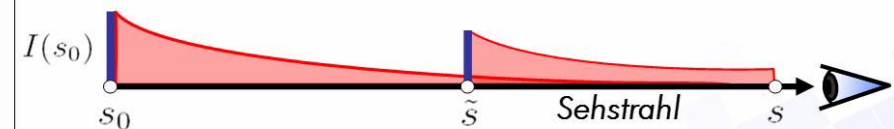
christof rezk-salama, computergraphik und multimediasysteme, universität siegen

## Integration entlang des Strahls

20

### Was wird integriert?

physikalisch korrekt: Emission und Absorption



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

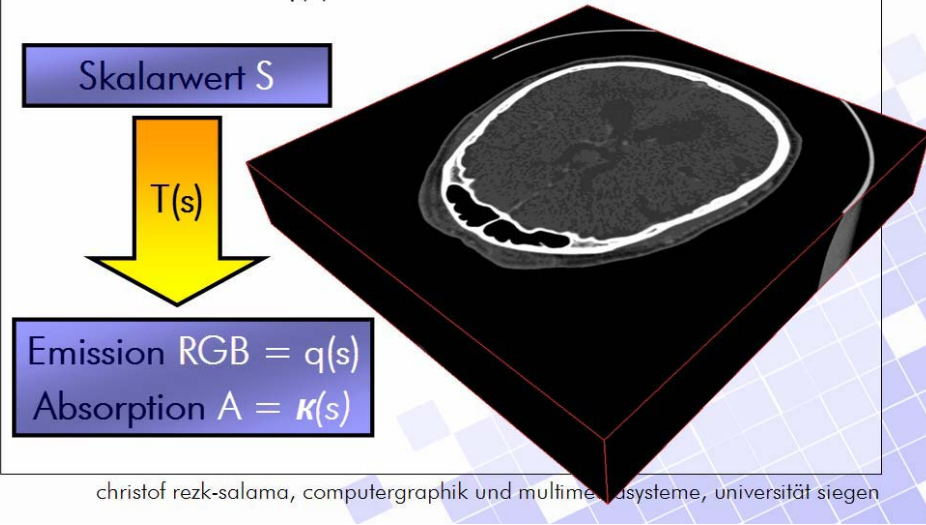
$$I(s) = I(s_0) e^{-\tau(s_0, s)} + \int_{s_0}^s q(\tilde{s}) e^{-\tau(\tilde{s}, s)} d\tilde{s}$$

christof rezk-salama, computergraphik und multimediasysteme, universität siegen

# Transferfunktion

21

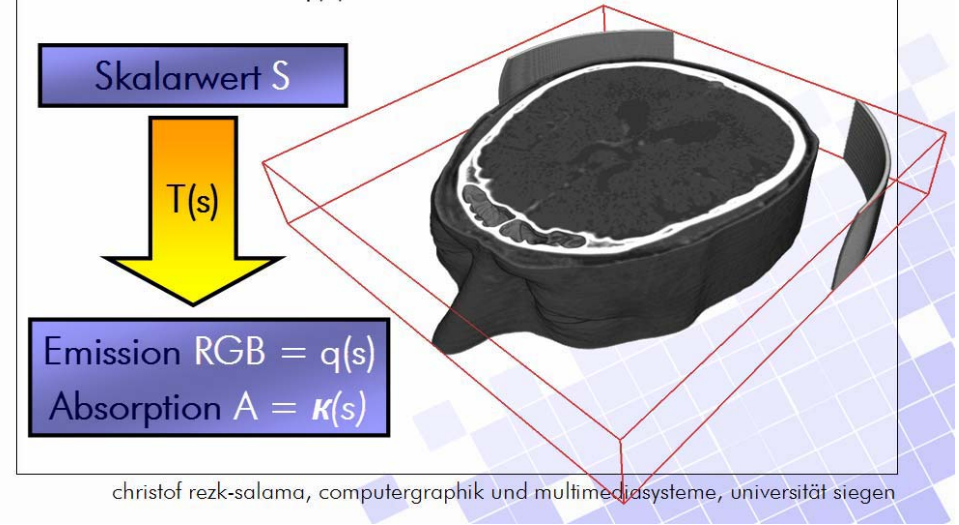
Woher bekomme ich Absorption  $\kappa(s)$   
und Emission  $q(s)$  ?



# Transferfunktion

21

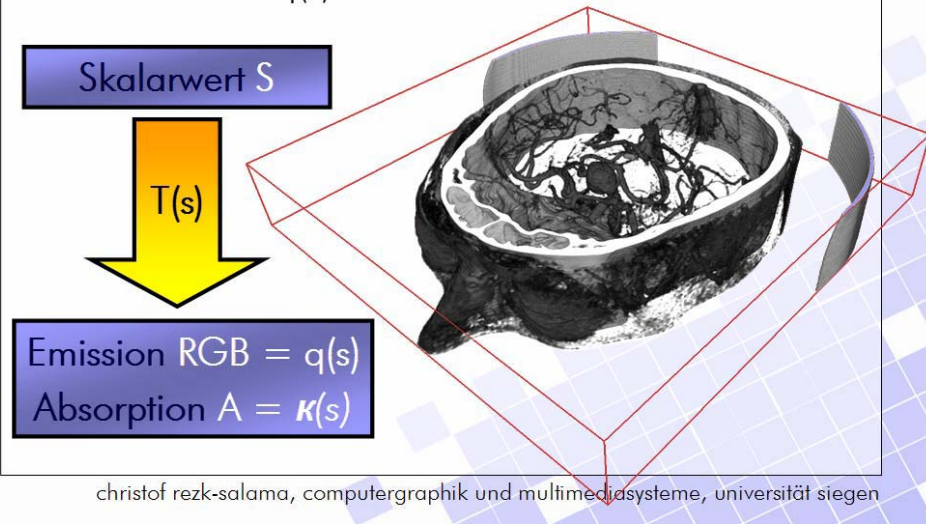
Woher bekomme ich Absorption  $\kappa(s)$   
und Emission  $q(s)$  ?



# Transferfunktion

21

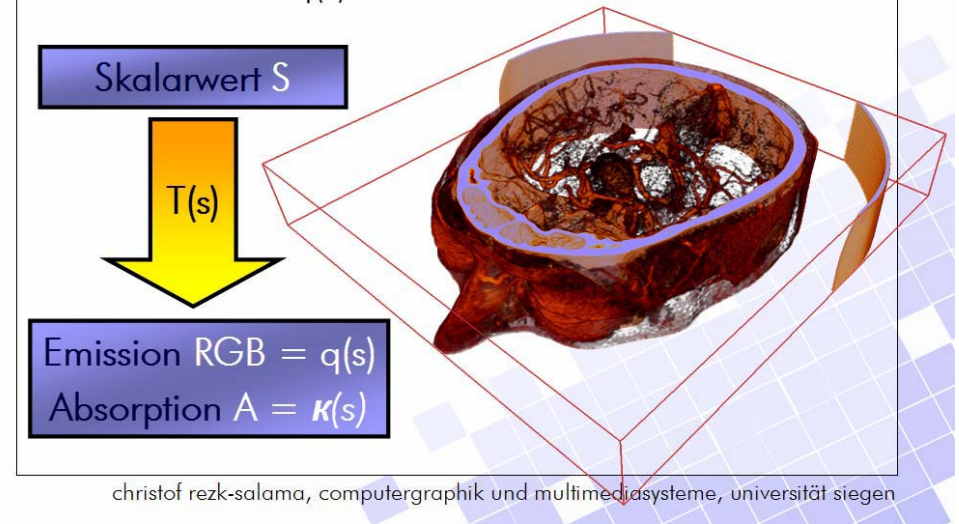
Woher bekomme ich Absorption  $\kappa(s)$   
und Emission  $q(s)$  ?



# Transferfunktion

21

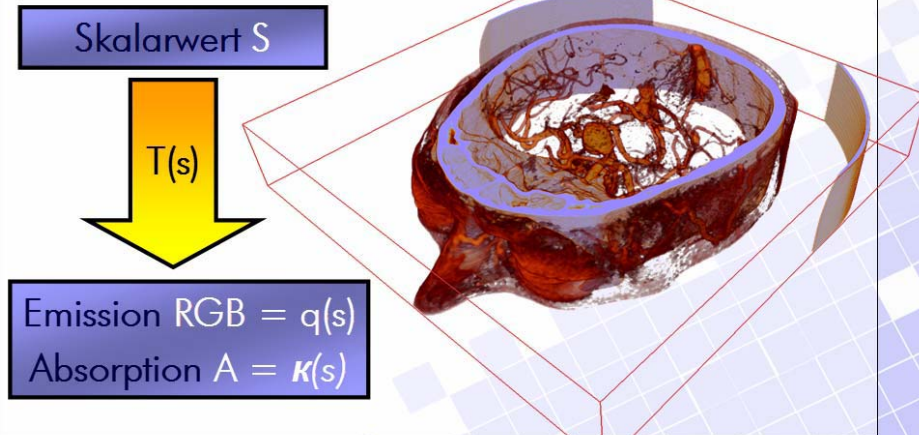
Woher bekomme ich Absorption  $\kappa(s)$   
und Emission  $q(s)$  ?





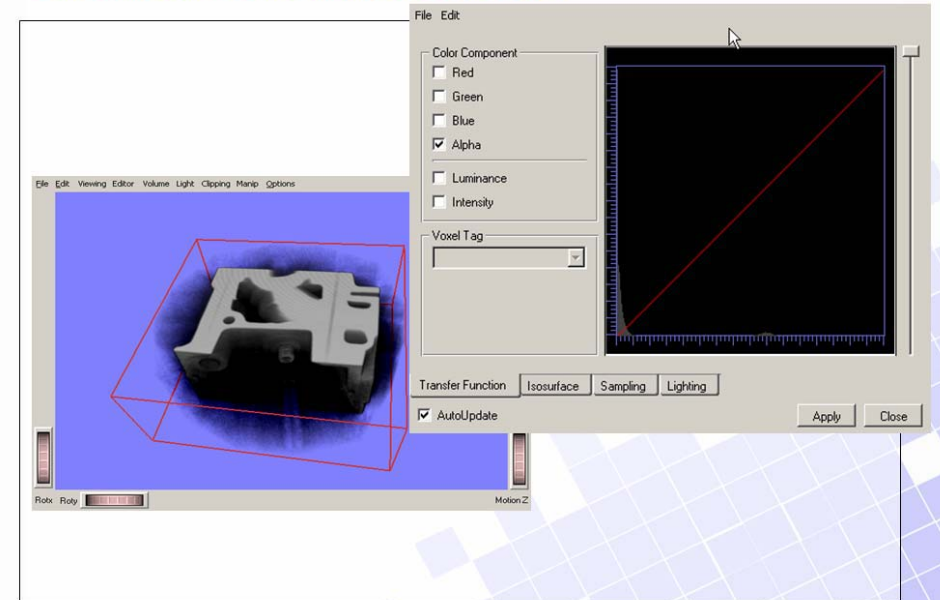
# Transferfunktion

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



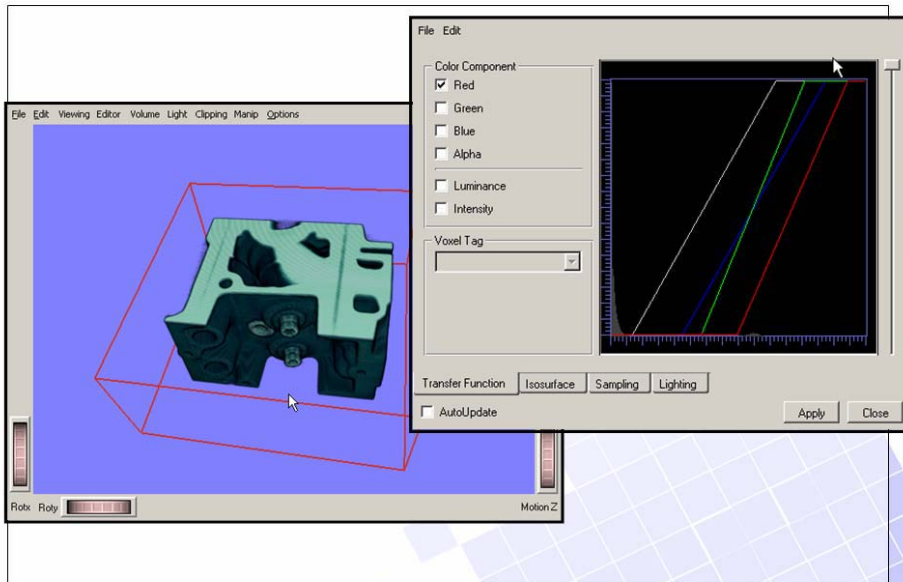
christof rezk-salama, computergraphik und multimediasysteme, universität siegen

# Transferfunktionen



christof rezk-salama, computergraphik und multimediasysteme, universität siegen

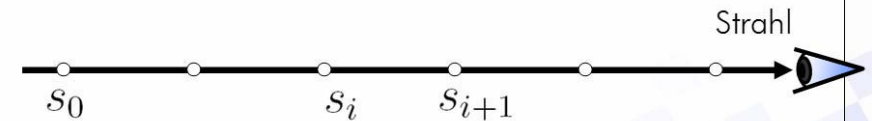
# Transferfunktionen



christof rezk-salama, computergraphik und multimediasysteme, universität siegen

# Diskrete Lösung des Integrals

Werte des Skalarfelds an diskreten Punkten entlang des Strahls aus:

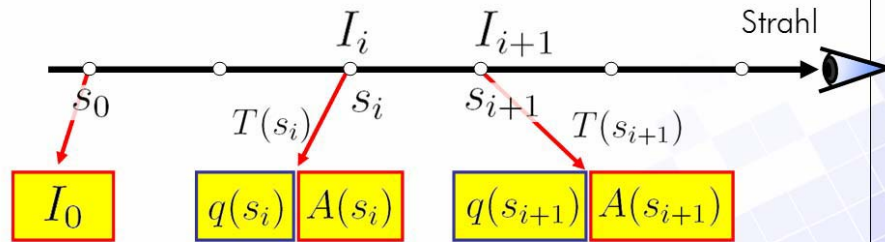


christof rezk-salama, computergraphik und multimediasysteme, universität siegen

## Diskrete Lösung des Integrals

24

Werte das Skalarfeld an diskreten Punkten entlang des Strahls aus:



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

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

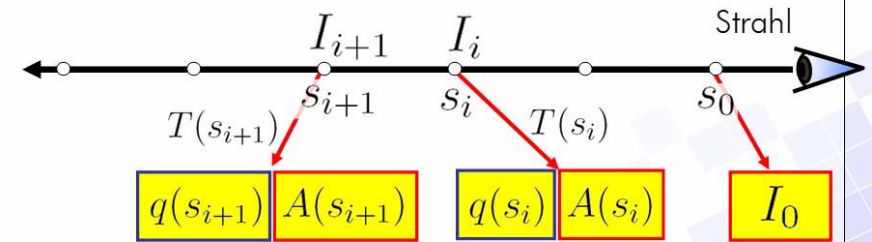
$$= q(s_{i+1}) \text{ OVER } I_i$$

christof rezk-salama, computergraphik und multimediasysteme, universität siegen

## Diskrete Lösung des Integrals

25

Werte das Skalarfeld an diskreten Punkten entlang des Strahls aus:



Front-to-back Compositing.

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

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

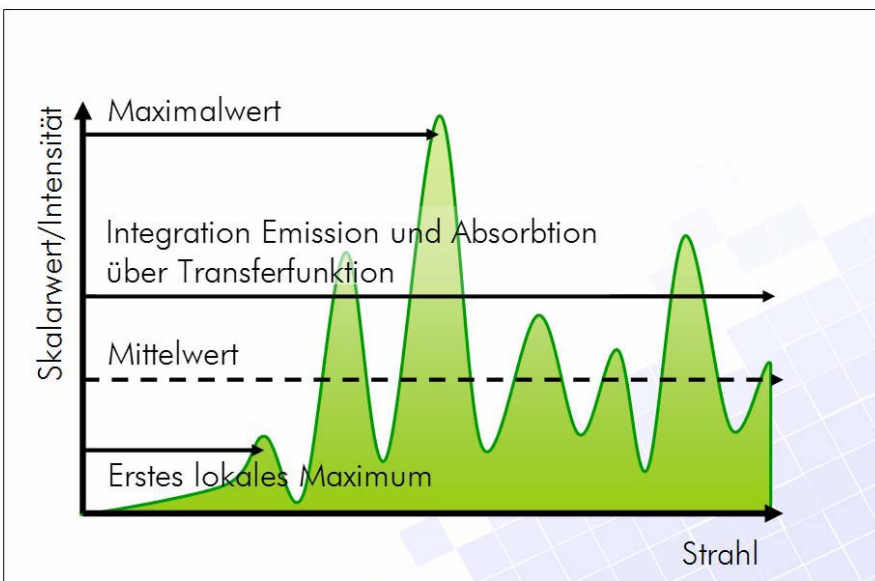
$I_0 = 0; T_0 = 1;$

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

christof rezk-salama, computergraphik und multimediasysteme, universität siegen

## Alternative Compositing-Verfahren

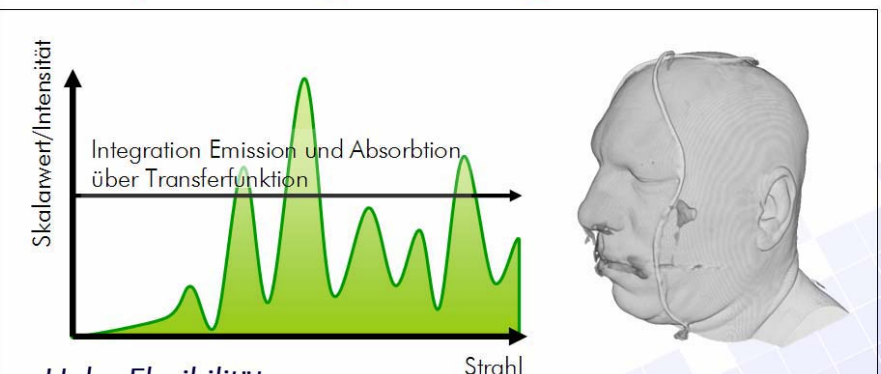
26



christof rezk-salama, computergraphik und multimediasysteme, universität siegen

## Compositing - Integration

27



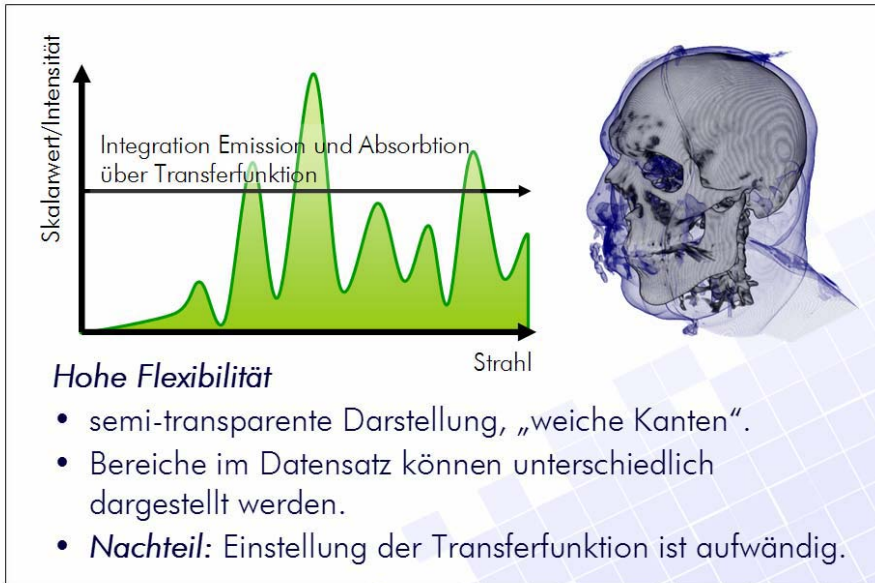
**Hohe Flexibilität**

- 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

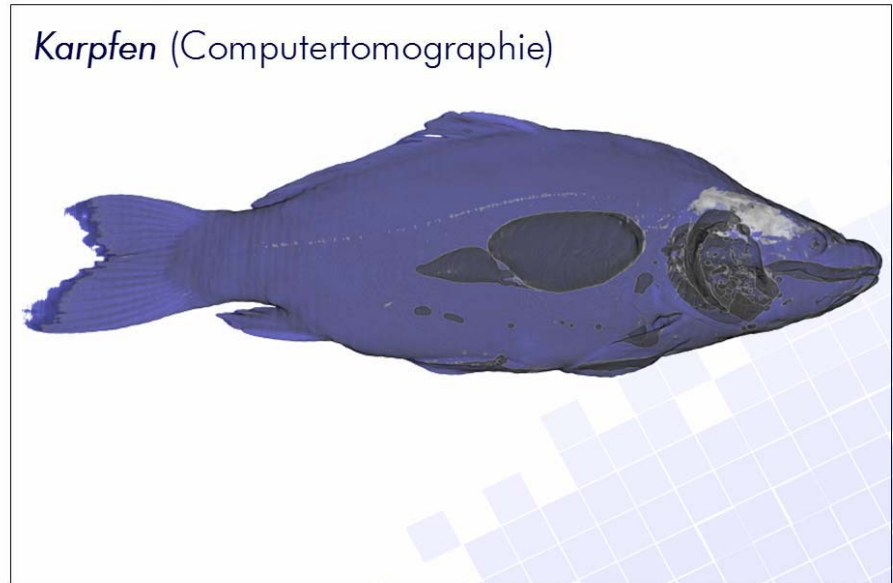
27



christof rezk-salama, computergraphik und multimediasysteme, universität siegen

## Beispiel Transferfunktion

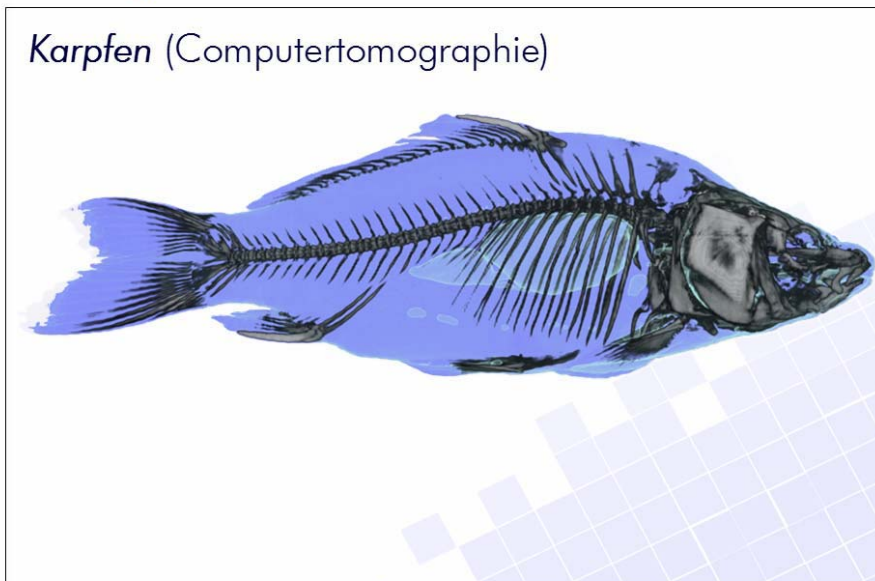
28



christof rezk-salama, computergraphik und multimediasysteme, universität siegen

## Beispiel Transferfunktion

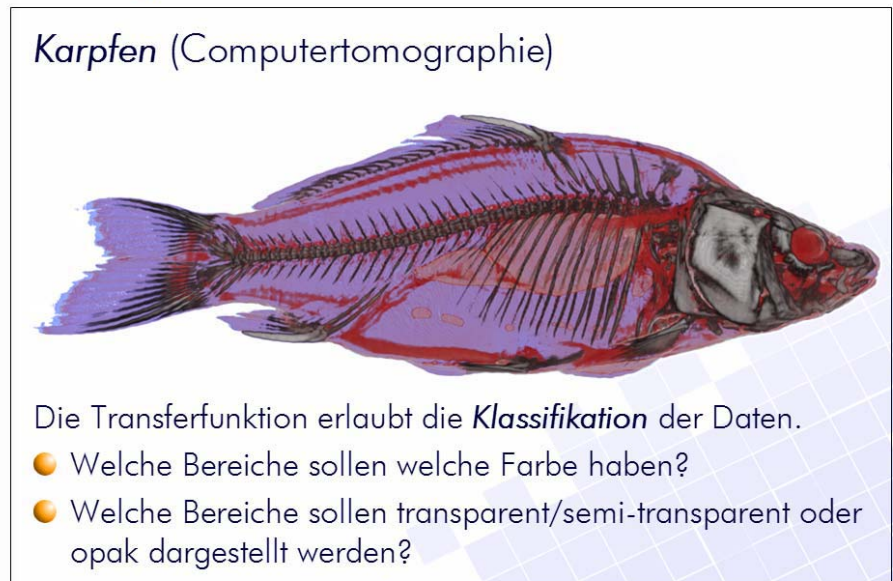
28



christof rezk-salama, computergraphik und multimediasysteme, universität siegen

## Beispiel Transferfunktion

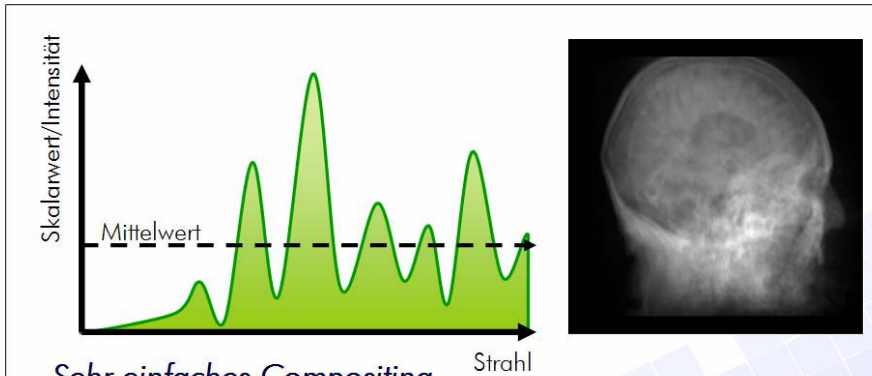
28



christof rezk-salama, computergraphik und multimediasysteme, universität siegen

## Compositing - Mittelwert

29



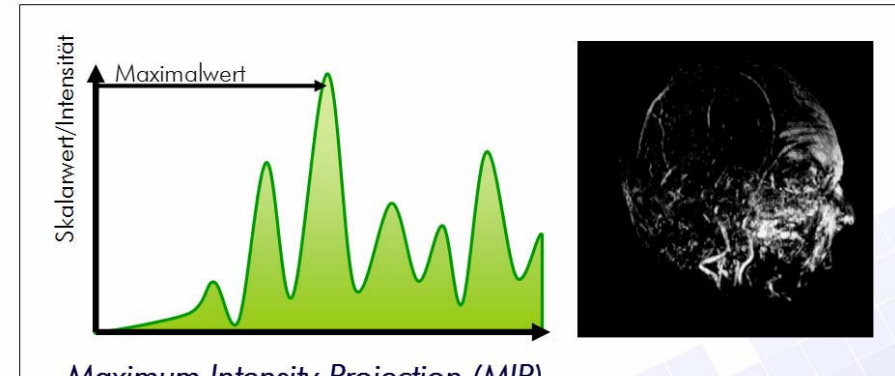
### Sehr einfaches Compositing

- 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

30



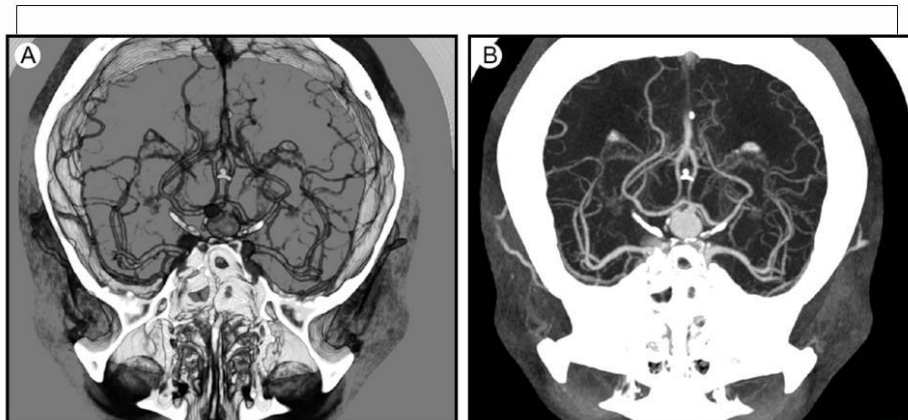
### Maximum Intensity Projection (MIP)

- 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

31



Emission/Absorption

Maximum Intensity Projection

christof rezk-salama, computergraphik und multimediasysteme, universität siegen

## Zusammenfassung Ray-Casting

32

- **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

33

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.

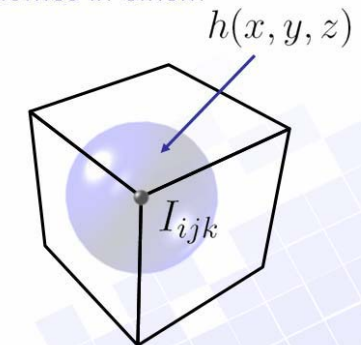
christof rezk-salama, computergraphik und multimediasysteme, universität siegen

# Objektraumverfahren

34

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)



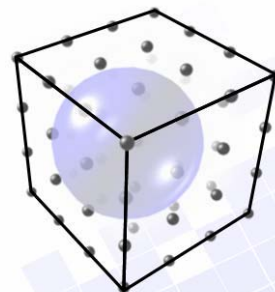
christof rezk-salama, computergraphik und multimediasysteme, universität siegen

# Objektraumverfahren

34

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)



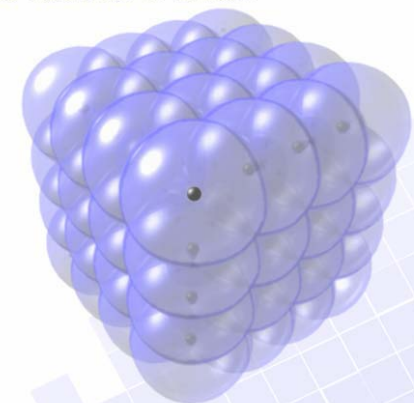
christof rezk-salama, computergraphik und multimediasysteme, universität siegen

# Objektraumverfahren

34

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)

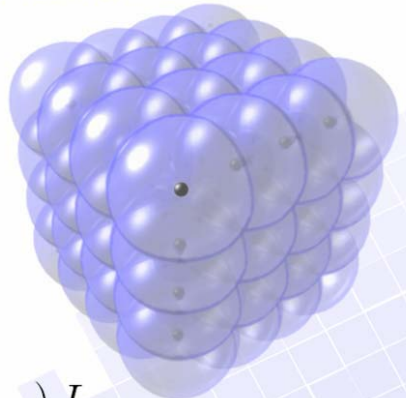


christof rezk-salama, computergraphik und multimediasysteme, universität siegen

# Objektraumverfahren

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:

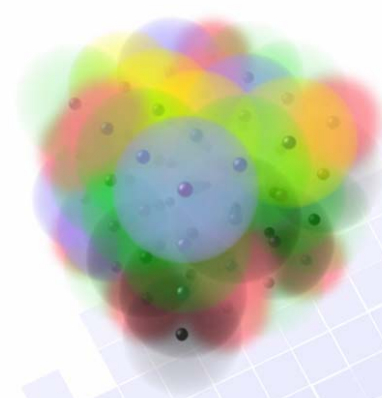
$$S(\vec{x}) = \sum_{i,j,k} h(\vec{x} - \vec{x}_{ijk}) I_{ijk}$$

# Objektraumverfahren

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

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

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



# Objektraumverfahren

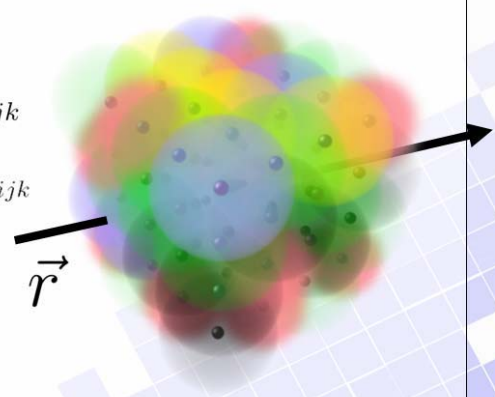
$$S(\vec{x}) = \sum_{i,j,k} h(\vec{x} - \vec{x}_{ijk}) I_{ijk}$$

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:

$$\int S_q(\vec{x} + t \vec{r}) dt =$$



# Objektraumverfahren

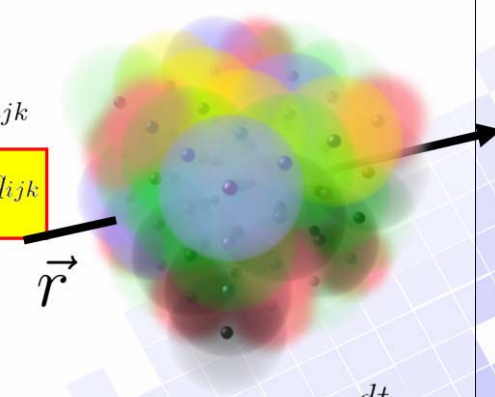
$$S(\vec{x}) = \sum_{i,j,k} h(\vec{x} - \vec{x}_{ijk}) I_{ijk}$$

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:

$$\int S_q(\vec{x} + t \vec{r}) dt = \int dt$$



# Objektraumverfahren

35

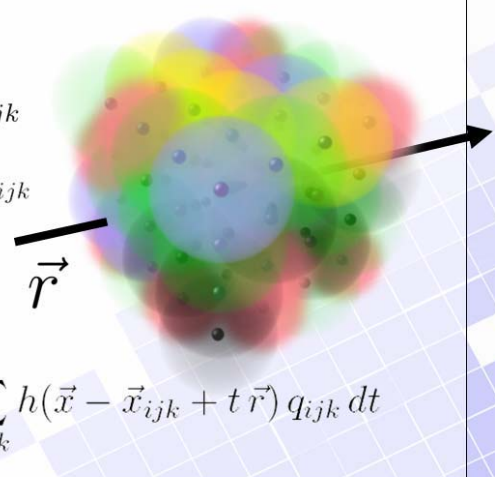
$$S(\vec{x}) = \sum_{i,j,k} h(\vec{x} - \vec{x}_{ijk}) I_{ijk}$$

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:

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



christof rezk-salama, computergraphik und multimediasysteme, universität siegen

# Objektraumverfahren

35

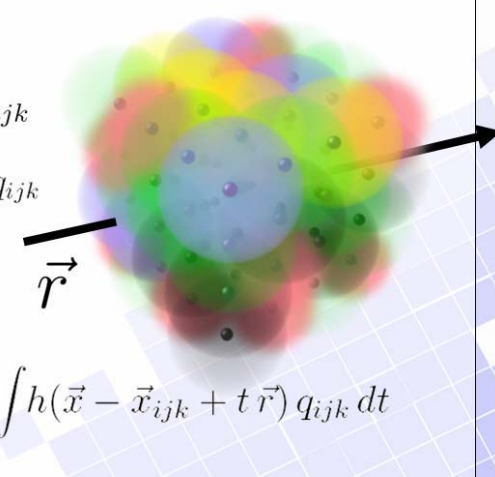
$$S(\vec{x}) = \sum_{i,j,k} h(\vec{x} - \vec{x}_{ijk}) I_{ijk}$$

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:

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



christof rezk-salama, computergraphik und multimediasysteme, universität siegen

# Objektraumverfahren

35

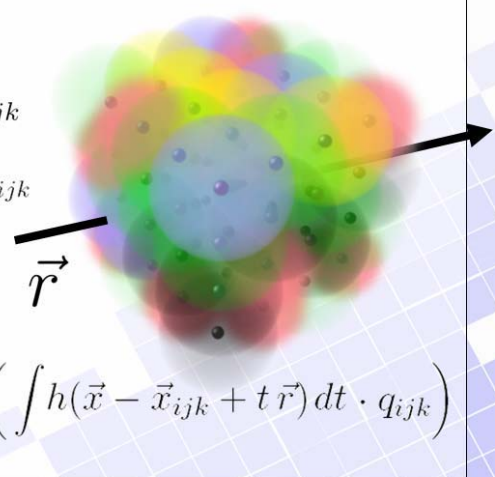
$$S(\vec{x}) = \sum_{i,j,k} h(\vec{x} - \vec{x}_{ijk}) I_{ijk}$$

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:

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



christof rezk-salama, computergraphik und multimediasysteme, universität siegen

# Splatting

36

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

Der Beitrag eines Abtastpunkts zum Ergebnisbild (**footprint**)

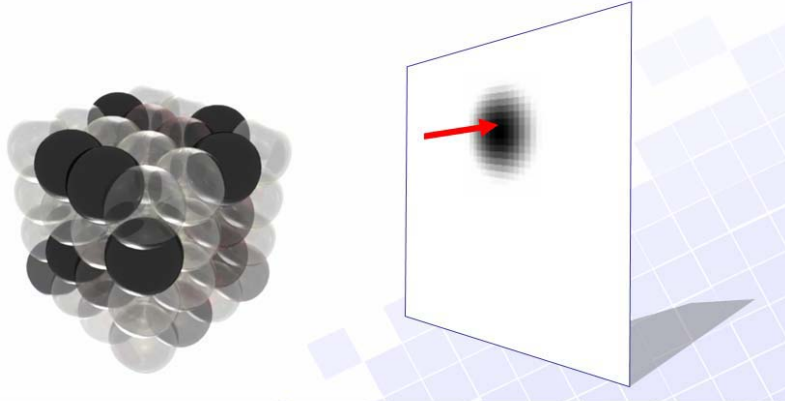
christof rezk-salama, computergraphik und multimediasysteme, universität siegen

## Splatting

36

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

Der Beitrag eines Abtastpunkts zum Ergebnisbild (*footprint*)



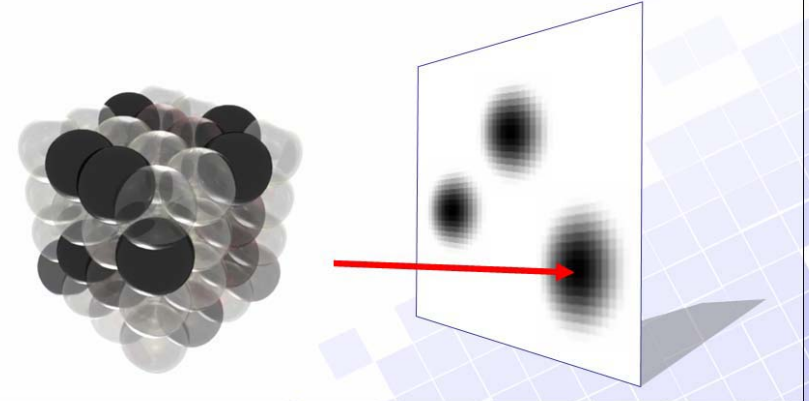
christof rezk-salama, computergraphik und multimediasysteme, universität siegen

## Splatting

36

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

Der Beitrag eines Abtastpunkts zum Ergebnisbild (*footprint*)



christof rezk-salama, computergraphik und multimediasysteme, universität siegen

## Splatting-Algorithmus

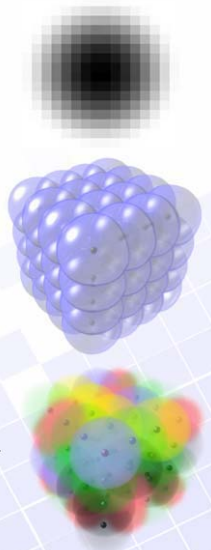
37

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.



christof rezk-salama, computergraphik und multimediasysteme, universität siegen

## Literatur Splatting

38

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

39

*Hybridverfahren:* Mischung zwischen Bildraum- und Objektraumverfahren

☐ Das schnellste der reinen Software-Verfahren.

Berechnung des Ergebnisbildes in zwei Schritten:

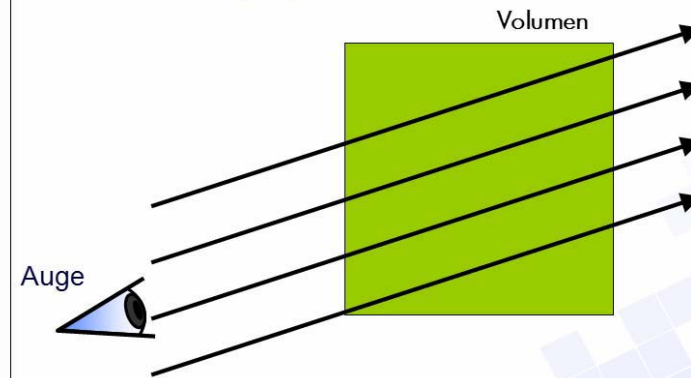
- Objektraumverfahren: Erzeuge zunächst ein verzerrtes Zwischenbild
- Bildraumverfahren: Entzerre das Zwischenbild in einem 2D Nachbearbeitungsschritt

christof rezk-salama, computergraphik und multimediasysteme, universität siegen

## Der Shear-Warp Algorithmus

40

1. Fall: Parallelprojektion

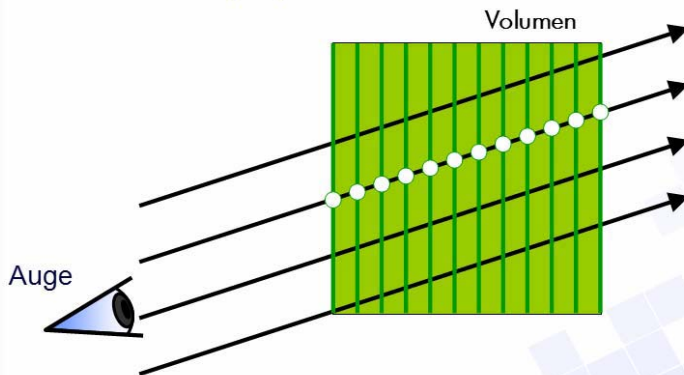


christof rezk-salama, computergraphik und multimediasysteme, universität siegen

## Der Shear-Warp Algorithmus

40

1. Fall: Parallelprojektion



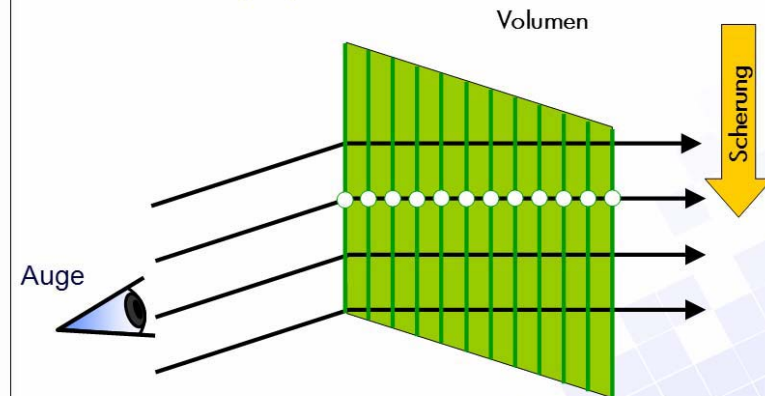
Schritt 1: Zerlege das Volumen in achsenparallele Schichten

christof rezk-salama, computergraphik und multimediasysteme, universität siegen

## Der Shear-Warp Algorithmus

40

1. Fall: Parallelprojektion



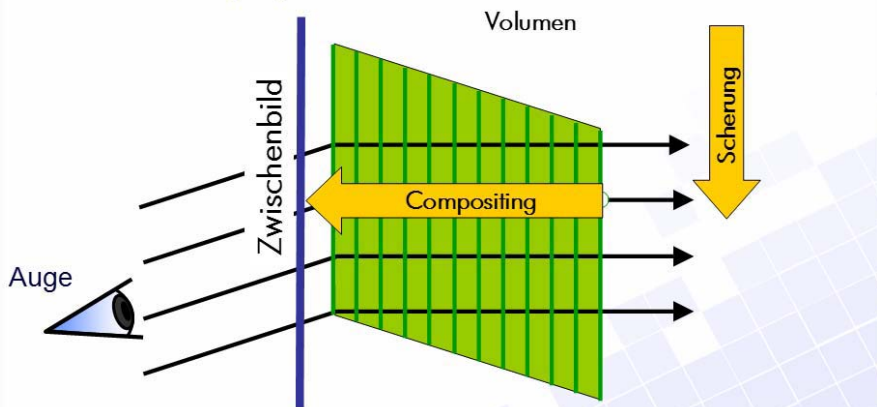
Schritt 2: Bestimme eine Scherung des Raumes so daß die Sehstrahlen senkrecht auf den Schichten stehen.

christof rezk-salama, computergraphik und multimediasysteme, universität siegen

## Der Shear-Warp Algorithmus

40

### 1. Fall: Parallelprojektion



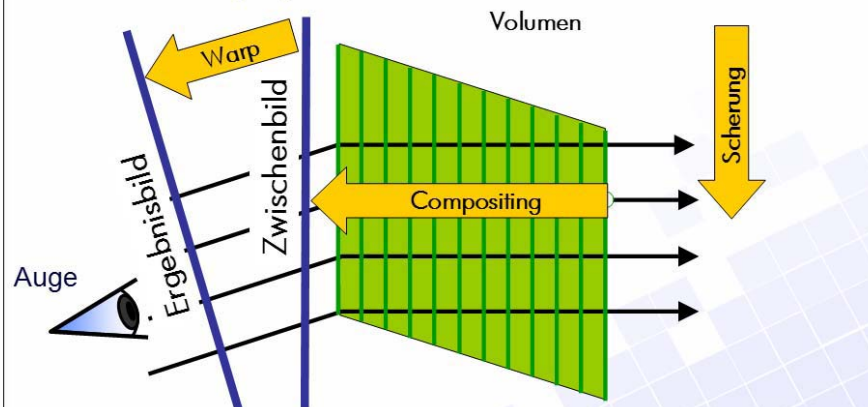
Schritt 3: Erzeugung eines (verzerrten) Bildes als Zwischenergebnis

christof rezk-salama, computergraphik und multimediasysteme, universität siegen

## Der Shear-Warp Algorithmus

40

### 1. Fall: Parallelprojektion



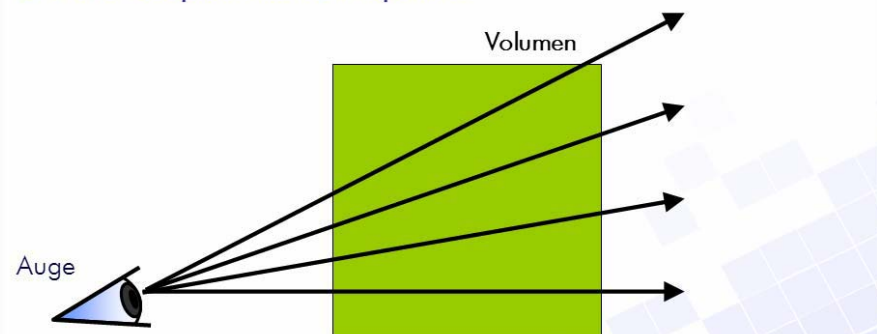
Schritt 4: Entzerrung (Warp) des Zwischenbildes liefert das Ergebnisbild.

christof rezk-salama, computergraphik und multimediasysteme, universität siegen

## Der Shear-Warp Algorithmus

41

### 2. Fall: Perspektivische Projektion

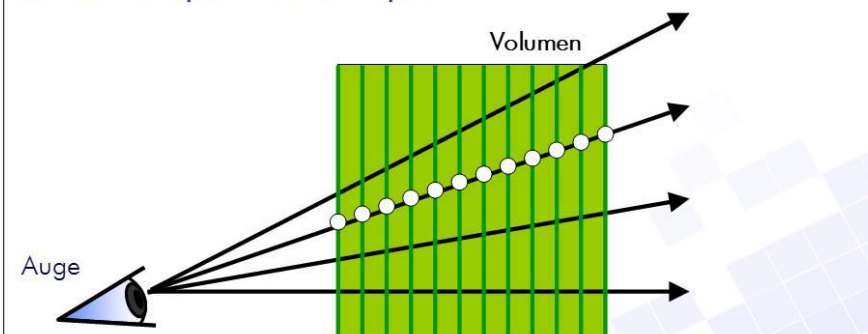


christof rezk-salama, computergraphik und multimediasysteme, universität siegen

## Der Shear-Warp Algorithmus

41

### 2. Fall: Perspektivische Projektion



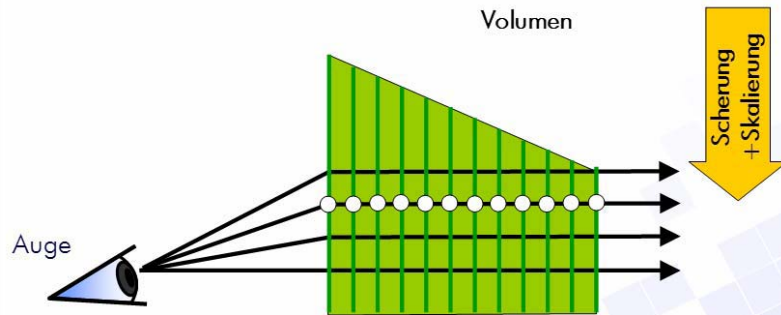
Schritt 1: Zerlege das Volumen in achsenparallele Schichten

christof rezk-salama, computergraphik und multimediasysteme, universität siegen

# Der Shear-Warp Algorithmus

41

2. Fall: Perspektivische Projektion



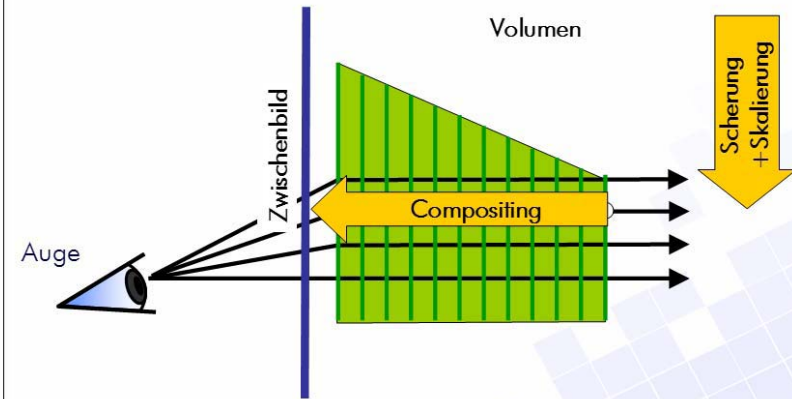
Schritt 2: Scherung und Skalierung, so daß die Sehstrahlen senkrecht auf den Schichten stehen.

christof rezk-salama, computergraphik und multimediasysteme, universität siegen

# Der Shear-Warp Algorithmus

41

2. Fall: Perspektivische Projektion



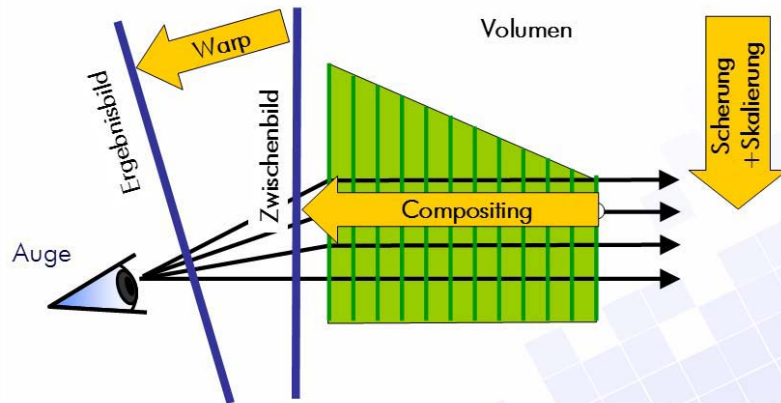
Schritt 3: Erzeugung eines (verzerrten) Bildes als Zwischenergebnis

christof rezk-salama, computergraphik und multimediasysteme, universität siegen

# Der Shear-Warp Algorithmus

41

2. Fall: Perspektivische Projektion



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

christof rezk-salama, computergraphik und multimediasysteme, universität siegen

# Shear-Warp Algorithmus

42

Mathematisch gesehen:

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

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

$M_{\text{view}}$  = Viewing Matrix

$S$  = 3D Scherung

$M_{\text{warp}}$  = 2D Verzerrung

$P$  = Permutationsmatrix



3 Schichtstapel im Speicher

christof rezk-salama, computergraphik und multimediasysteme, universität siegen

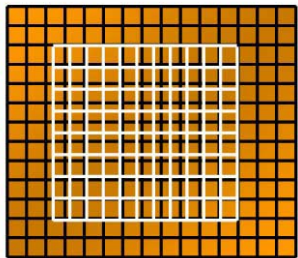
# Shear Warp Algorithmus

43

● 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.

christof rezk-salama, computergraphik und multimediasysteme, universität siegen

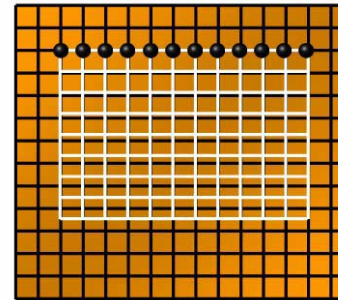
# Shear Warp Algorithmus

44

● Was bringt das ganze?

## Nützliche Eigenschaften:

3. *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

45

## Vergleich



Shear-Warp



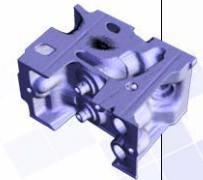
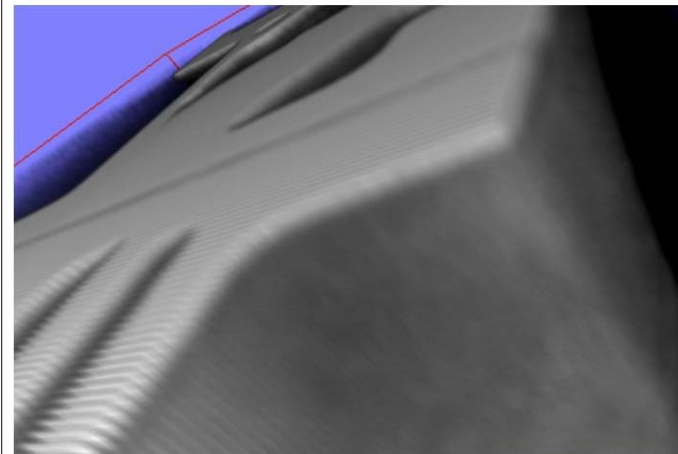
Ray-Casting

christof rezk-salama, computergraphik und multimediasysteme, universität siegen

# Shear-Warp Algorithmus

46

● Nachteil – Visuelle Bildartefakte (bei starkem Zoom)



christof rezk-salama, computergraphik und multimediasysteme, universität siegen

## Zusammenfassung Shear Warp<sup>47</sup>

Mischung aus Bildraum- und Objektraumverfahren:

1. Erzeuge ein verzerrtes Zwischenbild,
2. 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

48

P. Lacroute and M. Levoy.

*Fast Volume Rendering Using a Shear-Warp Factorization of the Viewing Transform.*

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

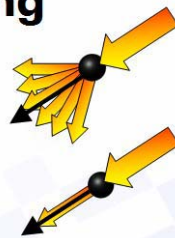
christof rezk-salama, computergraphik und multimediasysteme, universität siegen

## Zusammenfassung

49

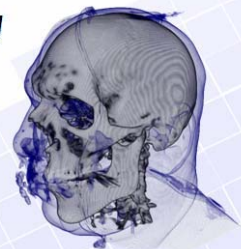
### Direkte Volumenvisualisierung

- 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

50

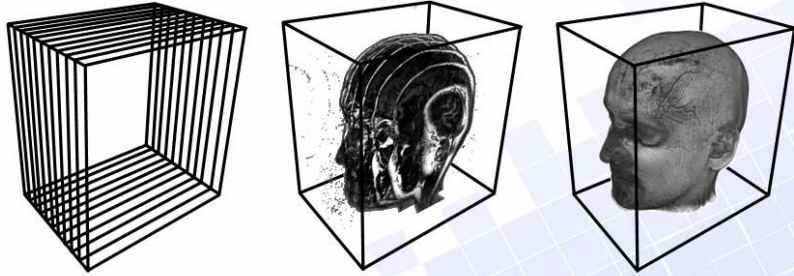
### Standardverfahren

- *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

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



christof rezk-salama, computergraphik und multimediasysteme, universität siegen