

Ground-Truth-Renderer für Partikelbasierte Daten

Josef Schulz

Technische Universität Dresden

July 15, 2015

Aufgabenstellung

Ziel der Arbeit:

- Entwicklung eines CPU-Renderers für Partikeldaten
- basierend auf dem Emissions- und Absorptionsmodell
- Unterstützung von beliebig vielen Punkt und Richtungslichtquellen
- Beschränkung auf Kugelglyphen
- Genauigkeit wird Geschwindigkeit übergeordnet
- liefert Ground-Truth-Bilder

Kugelglyphen werden mit Methoden der Volumendarstellung visualisiert:

- physikalische Plausibilität des Modells
- weitestgehend Analytische Lösung
- kompakte und geschlossene Gleichung
- Genauigkeit wird Geschwindigkeit übergeordnet
- Ground-Truth

Unterstützte Effekte:

- Transparenz
- globaler Schattenwurf

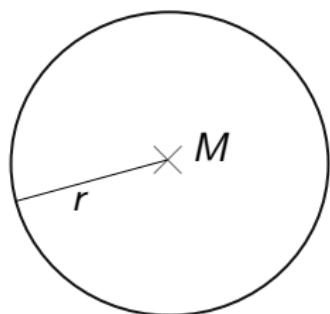
- Grundlagen
- Rendergleichung
 - EA-Modell
 - einfaches EA-Modell
 - erweitertes EA-Modell
- Resultate
- Fragen und Diskussion

Was ist Partikel

Ein Partikel ist ein:

- beliebiges geometrisches Objekt
- es wird durch eine Menge von Attributen beschrieben
- die Position ist ein obligatorisch Attribut

Parametrisierung eines kugelförmigen Partikels:



- M - Position
- r - Radius
- I_c - Farbe
- Θ_{MAX} - maximaler Opazitätswert

Visualisierung mit Methoden der direkten Volumendarstellung

Interpretation der Partikel als Gas gefüllte Kugeln

- Transparenzeffekte
- Kugelform wird erhalten
- globale Schatten aufgrund von Lichtabschwächung

- Optical Models for Direct Volume Rendering
 - ~Nelson Max [12]
 - Definition des EA-Modells
 - Einfache Streuung
 - Schatten
 - Mehrfach Streuung
- Visualization of Particle-based Data with Transparency and Ambient Occlusion
 - ~Joachim Staib, Sebastian Grottel und Stefan Gumhold [14]
 - Analytische Lösung der Rendergleichung
 - Ambiente Verdeckung

Rendergleichung

Emissions- und Absorptionsmodell von Nelson Max [12]:

$$I = I_A + I_E \quad (1)$$

$$I = I_B \cdot T'(0, D) + \int_0^D g(s) \cdot T'(s, D) ds \quad (2)$$

Abschwächung: $T'(t_n, t_f) = \exp\left(-\int_{t_n}^{t_f} \tau(t) dt\right);$

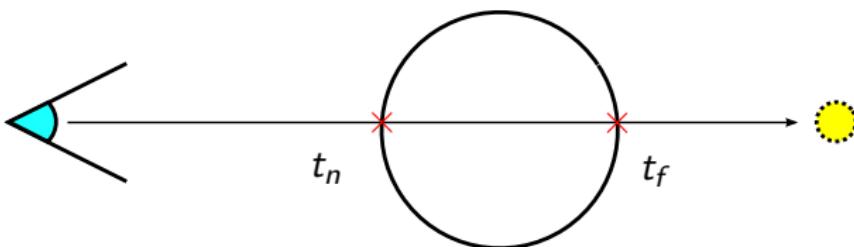
τ wird als Transferfunktion bezeichnet

I_B Hintergrundbeleuchtung

$g(s)$ Quellterm

Einfaches EA-Modell

Emissions- und Absorptionsmodell nach [14]:

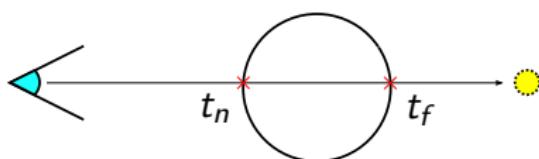


$$I = I_B \cdot T'(t_n, t_f) + \int_{t_n}^{t_f} g(s) \cdot T'(s, t_f) ds \quad (3)$$

Der Quellterm wird auf $g(s) = \lambda\kappa \cdot I_C$ gesetzt und die Transferfunktion als $\tau(t) = \sigma(\nu(t)) = \lambda\kappa$

Einfaches EA-Modell

$$I = I_B \cdot T'(t_n, t_f) + \int_{t_n}^{t_f} g(s) \cdot T'(s, t_f) ds \quad (4)$$



$$T'(t_n, t_f) = \exp\left(- \int_{t_n}^{t_f} \tau(t) dt\right) = \exp(-\lambda \kappa \cdot (t_f - t_n)) \quad (5)$$

$$\Theta(t_n, t_f) = 1 - T'(t_n, t_f) \quad (6)$$

$$I = I_B \cdot T'(t_n, t_f) + I_C \cdot \Theta(t_n, t_f) \quad (7)$$

Bestimmung von Θ_{MAX}

Bestimmung von Θ_{MAX} (λ ist ein globaler Parameter):

$$\Theta(t_n, t_f) = 1 - \exp(-\lambda \kappa (t_f - t_n)) \quad (8)$$

Ersetzung der Parameter:

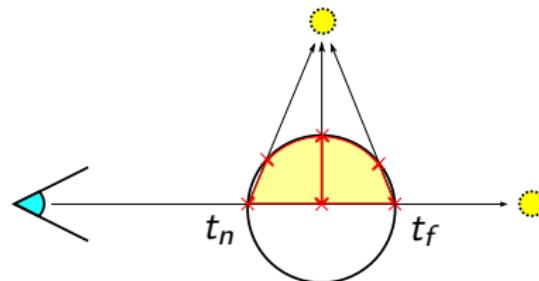
- $\Theta = \Theta_{MAX}$
- $t_f - t_n = 2 \cdot r$

daraus folgt:

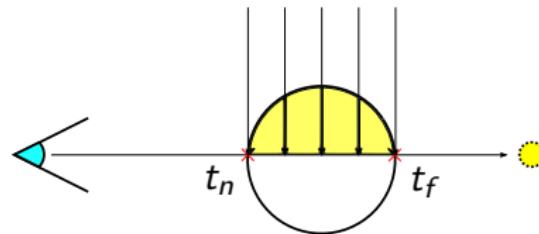
$$\kappa = -\frac{1}{\lambda \cdot 2r} \ln(1 - \Theta_{MAX}) \quad (9)$$

Erweitertes EA-Modell - Lichtquellentypen

Punktlichtquelle



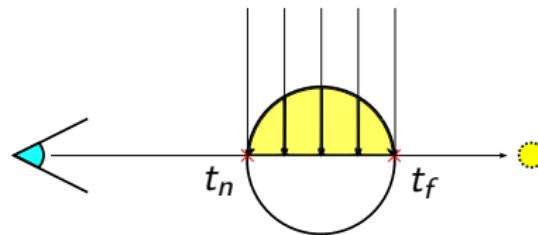
Richtungslichtquelle



Erweitertes EA-Modell

Voraussetzung ist wieder die Gleichung 3 und es wird eine Richtungslichtquelle angenommen:

$$I = I_B \cdot T'(t_n, t_f) + \int_{t_n}^{t_f} g(s) \cdot T'(s, t_f) ds \quad (10)$$



Die Lösung des einfachen EA-Modells 7 wird als Quellterm eingesetzt:

$$g(s) = I_L \cdot T'(0, I(s)) + I_C \cdot \Theta(0, I(s)) \quad (11)$$

$I(s)$ entspricht der Länge der Sekundärstrahlen im Medium

Bestimmung von $I(s)$ mit Hilfe der quadratischen Lösungsformel führt zu:

$$F(x) = \int I \cdot \exp(ax + b + \sqrt{cx^2 + dx + e}) dx \quad (12)$$

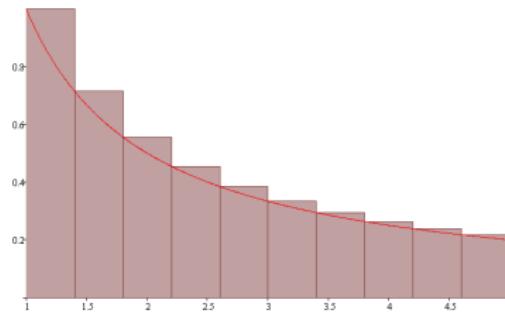
Gleichung 12 lässt sich nicht elementar integrieren!

Nummerische Approximation

Approximation durch Riemann-Summen:

$$\int_0^D f(x) dx \approx \sum_{i=1}^n f(x_i) \Delta x$$

mit $\Delta x = \frac{D}{n}$



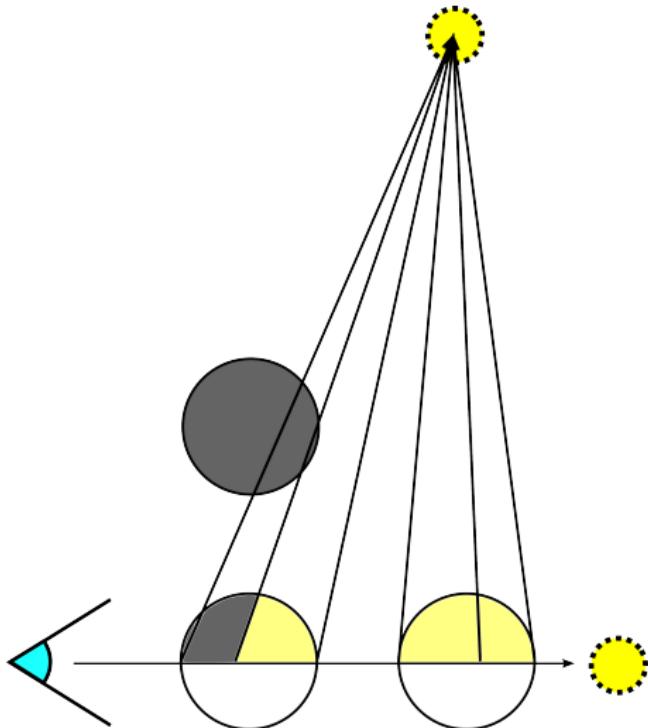
führt zur Endgültigen Rendergleichung:

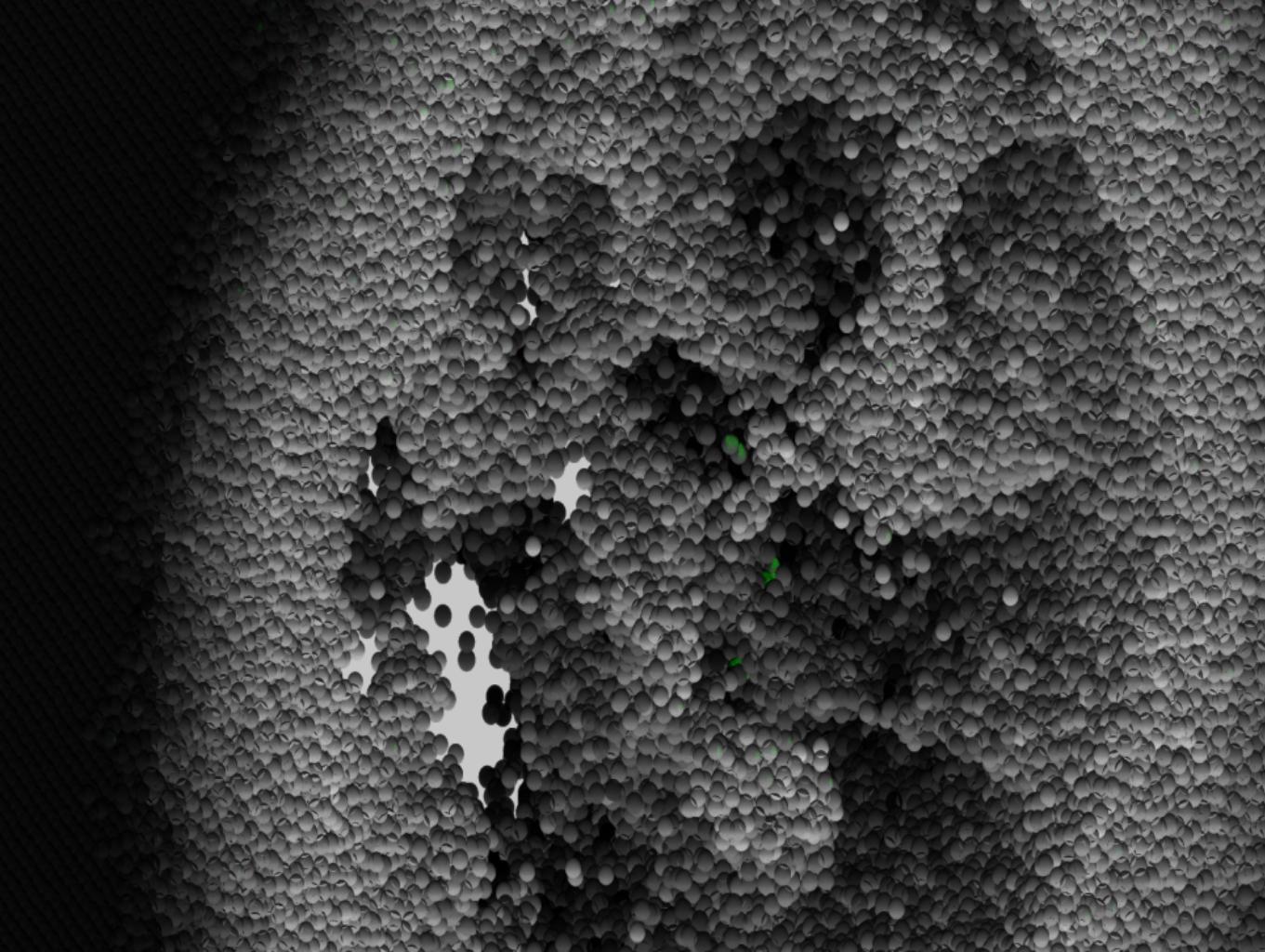
$$I = I_B \cdot T'(t_n, t_f) + \sum_{s=t_n}^{t_f} g(s) \cdot T'(s, t_f) \Delta s \quad (13)$$

$$g(s) = \frac{1}{m} \left(\sum_{i=1}^m I_{L_i} \cdot T'(0, I(s)) + I_C \cdot \Theta(0, I(s)) \right) \quad (14)$$

Programmablauf

- Kollisionstest
- Sortierung der Ergebnismenge
- für jede geschnittene Kugel:
 - pro Sample ein Strahl zu jeder Lichtquelle
 - Kollisionstest,
 - Sortierung
 - Abschwächung von I_{L_i}
 - erweitertes EA-Modell auswerten





Programmablauf mit Approximation

- Programmablauf fast genau der gleiche
- Auswertung erweitertes EA-Modell für die vordersten k Kugeln

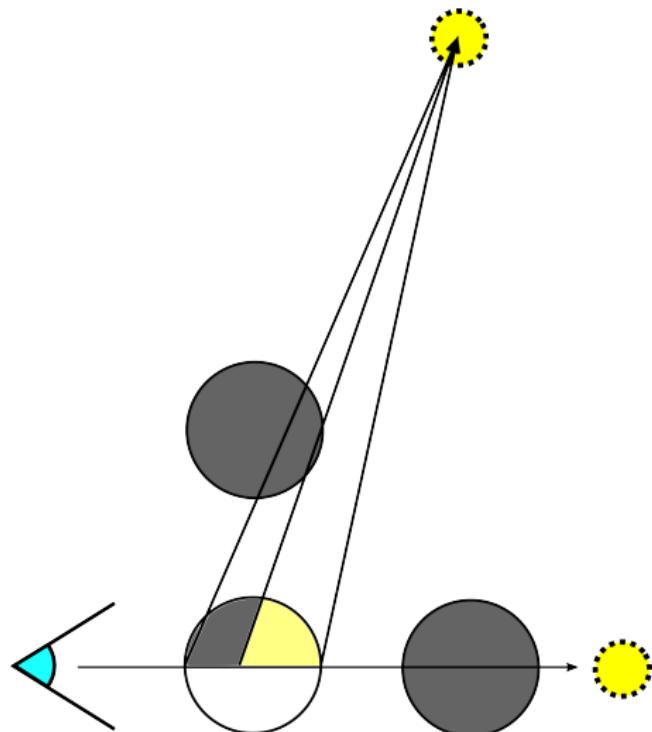
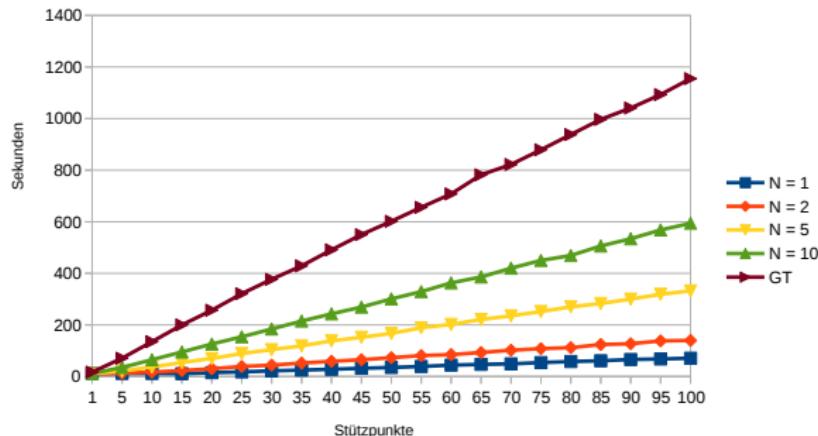


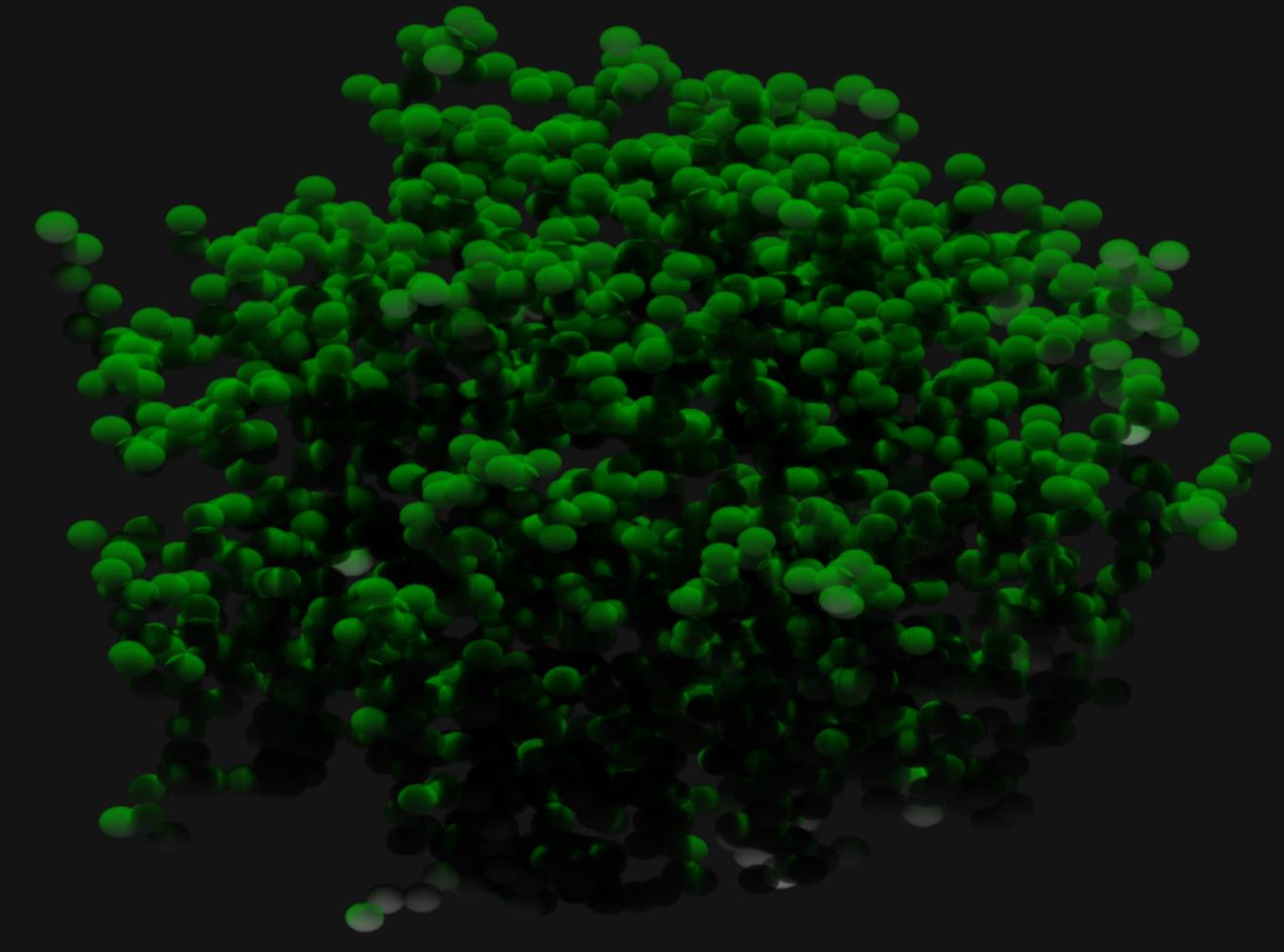
Abbildung der Renderzeiten

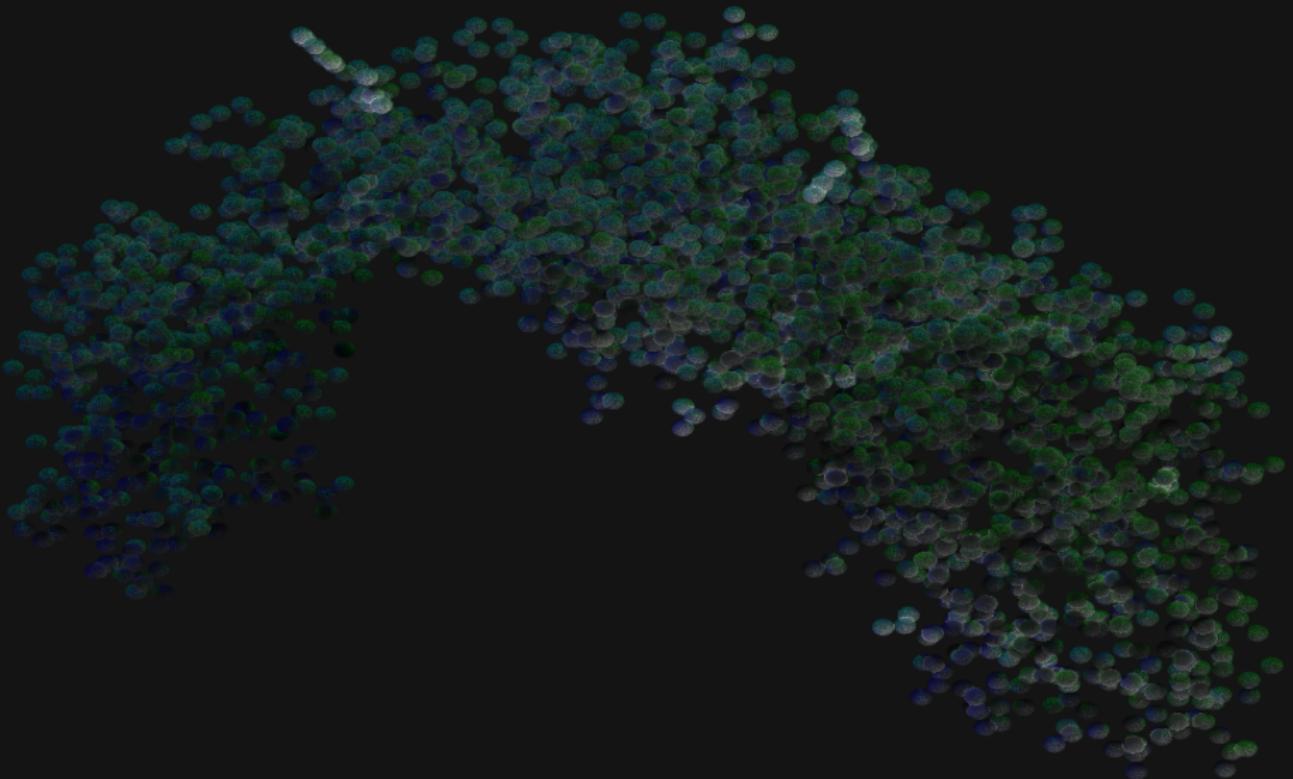


N	Mittelwert
1	77.1702%
2	91.8247%
5	99.9166%
10	99.9996%

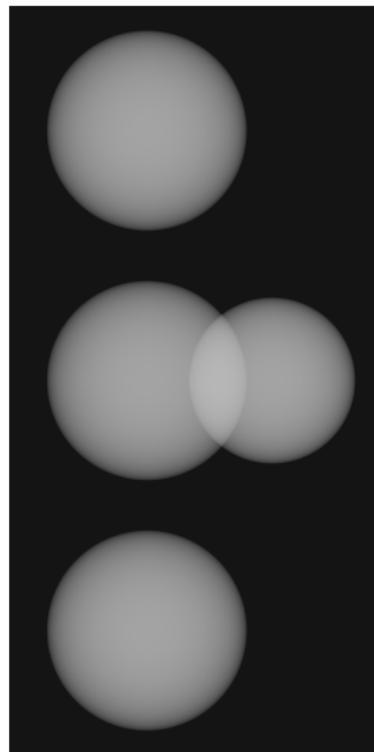
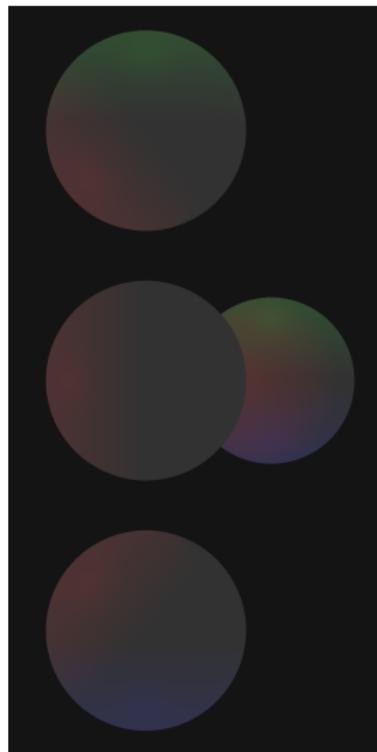
Unterschied, bereits nach 2 N weniger als 10 % ¹

¹Genaugkeitsbestimmung mit SSIM [15]





Transparenzprobleme



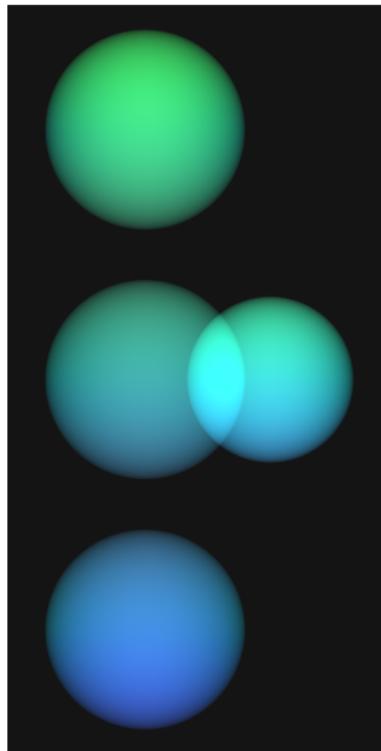
Kugelglyphen werden mit Methoden der Volumendarstellung visualisiert:

- physikalische Plausibilität des Modells
- weitestgehend Analytische Lösung
- kompakte und geschlossene Gleichung
- Genauigkeit wird Geschwindigkeit übergeordnet
- Ground-Truth

Unterstützte Effekte:

- Transparenz
- globaler Schattenwurf

Fragen und Diskussion



$$\Theta(t_n, t_f) = 1 - \exp(-\lambda \kappa (t_f - t_n)) \quad (15)$$

$$\kappa = -\frac{1}{\lambda \cdot 2r} \ln(1 - \Theta_{MAX}) \quad (16)$$

-  Marco Ament, Filip Sadlo, and Daniel Weiskopf.
Ambient volume scattering.
IEEE Trans. Vis. Comput. Graph., 19(12):2936–2945, 2013.
-  James F. Blinn.
Models of light reflection for computer synthesized pictures.
SIGGRAPH Comput. Graph., 11(2):192–198, July 1977.
-  James F. Blinn.
Light reflection functions for simulation of clouds and dusty surfaces.
SIGGRAPH Comput. Graph., 16(3):21–29, July 1982.
-  S. Grottel, M. Krone, C. Muller, G. Reina, and T. Ertl.
Megamol—a prototyping framework for particle-based visualization.
Visualization and Computer Graphics, IEEE Transactions on, 21(2):201–214, Feb 2015.
-  Martin Huber.
Warum ist denn $\exp(x^2)$ nicht elementar integrierbar?
Technical report, Universität Zürich, 1996.
-  Daniel Jönsson, Joel Kronander, Timo Ropinski, and Anders Ynnerman.
Historygrams: Enabling Interactive Global Illumination in Direct Volume Rendering using Photon Mapping.
IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics (TVCG), 18(12):2364–2371, 2012.
-  Daniel Jönsson, Erik Sundén, Anders Ynnerman, and Timo Ropinski.
A Survey of Volumetric Illumination Techniques for Interactive Volume Rendering.
Computer Graphics Forum, 33(1):27–51, 2014.
-  Moon-Ryul Jung, Hyunwoo Park, and Doowon Paik.
An analytical ray casting of volume data.
In *Pacific Conference on Computer Graphics and Applications*, pages 79–86. IEEE Computer Society, 1998.
-  James T. Kajiya.
The rendering equation.
SIGGRAPH Comput. Graph., 20(4):143–150, August 1986.

 Joe Kniss, Simon Premoze, Charles D. Hansen, Peter Shirley, and Allen McPherson.

A model for volume lighting and modeling.

IEEE Trans. Vis. Comput. Graph., 9(2):150–162, 2003.

Thomas Kroes, Frits H. Post, and Charl P. Botha.

Exposure render: an interactive photo-realistic volume rendering framework.

PLOS ONE, 7(7), 07 2012.

10.1371/journal.pone.0038586.

Nelson Max.

Optical models for direct volume rendering.

IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics, 1(2):99–108, June 1995.

Mathias Schott, Vincent Pegoraro, Charles Hansen, Kévin Boulanger, and Kadi Bouatouch.

A Directional Occlusion Shading Model for Interactive Direct Volume Rendering.

Computer Graphics Forum, 2009.

Joachim Staib, Sebastian Grottel, and Stefan Gumhold.

Visualization of Particle-based Data with Transparency and Ambient Occlusion.

Computer Graphics Forum, 34(3):151–160, 2015.

Zhou Wang, Alan C. Bovik, Hamid R. Sheikh, and Eero P. Simoncelli.

Image quality assessment: From error visibility to structural similarity.

IEEE TRANSACTIONS ON IMAGE PROCESSING, 13(4):600–612, 2004.