



# Volume ray casting — basics & principles

## Projektarbeit 1

**MTE7101**

Studiengang: Informatik  
Autor: Sven Osterwalder<sup>1</sup>  
Betreuer: Prof. Claude Fuhrer<sup>2</sup>  
Datum: 3. Oktober 2015



Licensed under the Creative Commons Attribution-ShareAlike 3.0 License

<sup>1</sup>sven.osterwalder@students.bfh.ch

<sup>2</sup>claudio.fuhrer@bfh.ch

## Versionen

Version	Datum	Status	Bemerkungen
0.1	25.09.2015	Entwurf	Initiale Erstellung des Dokumentes

# Todo list

Describe scope . . . . .	3
Describe motivation . . . . .	3
Loose some words about demoscene! . . . . .	3
Describe initial situation . . . . .	3
Describe objectives . . . . .	3
Describe preliminaries . . . . .	3
Describe new learning contents . . . . .	3
Describe theoretical background . . . . .	5
Describe standards & guidelines if needed . . . . .	5
view plane . . . . .	7
Describe ray tracing . . . . .	7
Describe ray casting . . . . .	8
Describe volume ray casting . . . . .	8
Describe raymarching . . . . .	8

# Management Summary

Lorem ipsum dolor sit amet, consectetur adipiscing elit. Phasellus scelerisque, leo sed iaculis ornare, mi leo semper urna, ac elementum libero est at risus. Donec eget aliquam urna. Lorem ipsum dolor sit amet, consectetur adipiscing elit. Nunc fermentum nunc sollicitudin leo porttitor volutpat. Duis ac enim lectus, quis malesuada lectus. Aenean vestibulum suscipit justo, in suscipit augue venenatis a. Donec interdum nibh ligula. Aliquam vitae dui a odio cursus interdum quis vitae mi. Phasellus ornare tortor fringilla velit accumsan quis tincidunt magna eleifend. Praesent nisl nibh, cursus in mattis ac, ultrices ac nulla. Nulla ante urna, aliquet eu tempus ut, feugiat id nisl. Nunc sit amet mauris vitae turpis scelerisque mattis et sed metus. Aliquam interdum congue odio, sed semper elit ullamcorper vitae. Morbi orci elit, feugiat vel hendrerit nec, sollicitudin non massa. Quisque lacus metus, vulputate id ullamcorper id, consequat eget orci.

# Inhaltsverzeichnis

<b>Management Summary</b>	<b>i</b>
<b>1. Einleitung</b>	<b>1</b>
<b>2. Administratives</b>	<b>2</b>
2.1. Beteiligte Personen . . . . .	2
2.2. Aufbau des Dokumentes . . . . .	2
2.3. Ergebnisse (Deliverables) . . . . .	2
<b>3. Aufgabenstellung</b>	<b>3</b>
3.1. Motivation . . . . .	3
3.2. Ausgangslage . . . . .	3
3.3. Ziele und Abgrenzung . . . . .	3
<b>4. Vorgehen</b>	<b>4</b>
4.1. Arbeitsorganisation . . . . .	4
4.2. Projektphasen . . . . .	4
4.3. Technologien . . . . .	5
<b>5. Theoretischer Hintergrund</b>	<b>6</b>
5.1. Beleuchtungsmodelle . . . . .	6
5.2. Ray Tracing . . . . .	7
5.3. Volume Ray Casting . . . . .	8
<b>6. Diskussion und Fazit</b>	<b>9</b>
6.1. Diskussion . . . . .	9
6.2. Erweiterungsmöglichkeiten . . . . .	9
6.3. Fazit . . . . .	9
<b>Glossar</b>	<b>10</b>
<b>Literaturverzeichnis</b>	<b>11</b>
<b>Abbildungsverzeichnis</b>	<b>12</b>
<b>Tabellenverzeichnis</b>	<b>13</b>
<b>Auflistungsverzeichnis</b>	<b>14</b>
<b>Anhang</b>	<b>16</b>
<b>A. Meeting minutes</b>	<b>17</b>

# 1. Einleitung

Seit dem Bestehen moderner Computer existiert auch die Computergrafik. Ziel der Computergrafik ist es unter Anderem den dreidimensionalen Raum auf eine zweidimensionale Fläche abzubilden, da die Ausgabe meist auf den zweidimensionalen Raum limitiert ist.

Dabei wird zwischen statischen Bildern und dynamischen Bildern unterschieden. Statische Bilder werden bei Bedarf dargestellt und ändern sich in der Regel nicht. Dynamische Bilder können sich hingegen ständig ändern und müssen — bedingt durch das menschliche Auge — mit 25 Bildern pro Sekunde ausgegeben werden. Es bestand bereits früh das Bestreben eine möglichst realistische Darstellung zu erhalten. Eine Darstellung also, die möglichst nahe an der menschlichen Wahrnehmung liegt.

Im Laufe der Zeit entstanden verschiedene Ansätze um eine solche Darstellung zu bieten. Ein Teilgebiet davon sind Beleuchtungsmodelle, welche die Beleuchtung einer Darstellung bzw. einer Szene berechnen. Dabei wird zwischen lokalen und globalen Beleuchtungsmodellen unterschieden.

Ein globales Beleuchtungsmodell ist Ray Tracing (zu deutsch Strahlenverfolgung), welches 1980 von Turner Whitted vorgestellt wurde. Das Verfahren besticht durch seine Einfachheit und bietet dabei eine hohe Bildqualität mit perfekten Spiegelungen und Transparenzen. Mit entsprechenden Optimierungen ist das Verfahren auch relativ schnell.

Mit schnell ist dabei die Zeit gemeint, die benötigt wird um ein einzelnes Bild darzustellen. Möchte man jedoch eine Darstellung in Echtzeit erreichen, so war das Verfahren lange zu langsam.

Im Rahmen der Weiterentwicklung der Computer und vor allem durch die Weiterentwicklung der Grafikkarten (GPUs), ist Ray Tracing jedoch wieder in den Fokus der Darstellung von Szenen in Echtzeit gerückt.

Diese Projektarbeit stellt ein spezielles Ray Tracing Verfahren zur Darstellung von Bildern in Echtzeit vor: Volume Ray Casting bzw. Sphere Tracing.

## 2. Administratives

Einige administrative Aspekte der Projektarbeit werden angesprochen, obwohl sie für das Verständnis der Resultate nicht notwendig sind.

Im gesamten Dokument wird nur die männliche Form verwendet, womit aber beide Geschlechter gemeint sind.

### 2.1. Beteiligte Personen

Autor            Sven Osterwalder<sup>1</sup>  
Betreuer        Prof. Claude Fuhrer<sup>2</sup>

*Begleitet den Studenten bei der Projektarbeit*

### 2.2. Aufbau des Dokumentes

Der Aufbau der vorliegenden Arbeit ist wie folgt:

- Einleitung zur Projektarbeit
- Beschreibung der Aufgabenstellung
- Vorgehen des Autors im Hinblick auf die gestellten Aufgaben
- Lösung der gestellten Aufgaben
- Verwendete Technologien

Der Schwerpunkt dieser Arbeit liegt in der Beschreibung der theoretischen Grundlagen (unter praktischen Aspekten) des Volume Ray Casting Verfahrens.

### 2.3. Ergebnisse (Deliverables)

Nachfolgend sind die abzugebenden Objekte aufgeführt:

- **Abschlussdokument**  
Das Abschlussdokument beinhaltet die theoretischen Grundlagen (unter praktischen Aspekten) des Volume Ray Casting Verfahrens

---

<sup>1</sup>sven.osterwalder@students.bfh.ch

<sup>2</sup>claudio.fuhrer@bfh.ch

## 3. Aufgabenstellung

Describe scope

### 3.1. Motivation

Describe motivation

#### 3.1.1. Demoszene

Loose some words about demoscene!

### 3.2. Ausgangslage

Describe initial situation

### 3.3. Ziele und Abgrenzung

Describe objectives

#### 3.3.1. Vorgängige Arbeiten

Describe preliminaries

#### 3.3.2. Neue Lerninhalte

Describe new learning contents



## 4. Vorgehen

### 4.1. Arbeitsorganisation

#### 4.1.1. Regelmässige Treffen

Regelmässige Besprechungen mit dem Betreuer der Arbeit halfen die gesteckten Ziele zu erreichen und Fehlentwicklungen zu vermeiden. Der Betreuer unterstützte den Autor dabei mit Vorschlägen. Die Treffen fanden mindestens alle zwei Wochen statt, sie wurden in Form eines Protokolles festgehalten.

### 4.2. Projekphasen

#### 4.2.1. Meilensteine

Um bei der Arbeit ein möglichst strukturiertes Vorgehen einzuhalten, wurden folgende Projektphasen gewählt:

- Projektstart
- Erarbeitung und Festhalten der Anforderungen
- Erarbeitung der theoretischen Grundlagen
- Erstellung der abschliessenden Dokumentation

Die Phasen der Erarbeitung der theoretischen Grundlagen sowie die Erstellung der abschliessenden Dokumentation liefen parallel ab.

#### 4.2.2. Zeitplan / Projektphasen

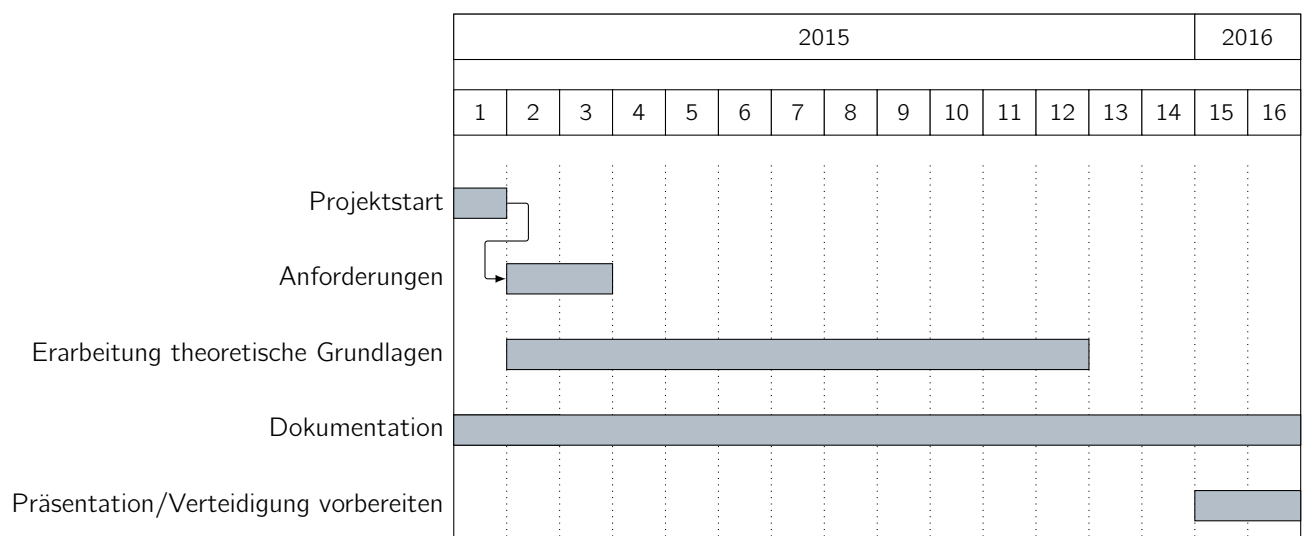


Abbildung 4.1.: Zeitplan; Der Titel stellt Jahreszahlen, der Untertitel Semesterwochen dar

## Projektstart

In der ersten Phase wurden die Meilensteine der Arbeit identifiziert und skizziert. Um Details der Aufgabe zu verstehen, wurde das notwendige Vorwissen über globale Beleuchtungsalgorithmen erarbeitet. Weiter wurde das Grundgerüst dieser Dokumentation erstellt.

## Anforderungen

In dieser Phase wurde das Ziel dieser Projektarbeit festgelegt. Vom Ziel ausgehend wurden die dazu erforderlichen Projektphasen festgelegt.

## Erarbeitung theoretische Grundlagen

Describe theoretical background

## Dokumentation

Die vorliegende Arbeit entspricht der Dokumentation. Sie wurde während der gesamten Projektarbeit stetig erweitert und diente zur Reflexion von fertiggestellten Teilen.

## 4.3. Technologien

### 4.3.1. Tools und Software

#### *Dokumentation*

**L<sup>A</sup>T<sub>E</sub>X** Eine Makro-Sammlung für das T<sub>E</sub>X-System. Wurde zur Erstellung dieser Dokumentation eingesetzt. Diese Dokumentation wurde mittels L<sup>A</sup>T<sub>E</sub>X geschrieben.

**Make** Build-Automations-Werkzeug, wurde zur Erstellung dieses Dokumentes eingesetzt.

**zotero** Ein freies, quelloffenes Literaturverwaltungsprogramm zum Sammeln, Verwalten und Zitieren unterschiedlicher Online- und Offline-Quellen Wikipedia Foundation [2015].

#### *Arbeitsorganisation*

**Git** Freie Software zur verteilten Versionsverwaltung, wurde für die Entwicklung dieser Dokumentation verwendet. Die Projektarbeit findet sich unter GitHub<sup>1</sup>.

**GitHub** Eine freie Hosting-Plattform für Git mit Weboberfläche.

### 4.3.2. Standards und Richtlinien

Describe standards & guidelines if needed

---

<sup>1</sup><https://www.github.com/sosterwalder/mte7101-project1>

## 5. Theoretischer Hintergrund

### 5.1. Beleuchtungsmodelle

Sofern nicht anders vermerkt, basiert der folgende Abschnitt auf Whitted [1980][S. 343] sowie auf Hughes et al. [2013].

Beleuchtungsmodelle beschreiben, wieviel Licht von einem sichtbaren Punkt einer Oberfläche zum Betrachter emittiert wird. In der Regel wird das Licht als Funktion in Abhängigkeit folgender Faktoren beschrieben:

- Richtung der Lichtquelle
- Lichtstärke
- Position des Betrachters
- Orientierung der Oberfläche
- Oberflächenbeschaffenheit
- Globale Umgebung

Es wird dabei zwischen lokalen und globalen Beleuchtungsmodellen unterschieden.

#### 5.1.1. Lokale Beleuchtungsmodelle

Lokale Beleuchtungsmodelle aggregieren Daten von benachbarten, eben lokalen, Oberflächen. Diese Modelle sind in deren Umfang allerdings limitiert, da sie normalerweise nur Lichtquellen sowie die Orientierung einer Oberfläche einbeziehen. Sie ignorieren dabei aber die globale Umgebung, in welcher sich eine Oberfläche befindet. Dies ist dadurch bedingt, dass die traditionell verwendeten Algorithmen zur Berechnung der Sichtbarkeit von Oberflächen, über keine globalen Daten verfügen.

Als Beispiel für ein lokales Beleuchtungsmodell dient das Phong-Beleuchtungsmodell, welches von Bui-Tong Phong entwickelt wurde. Es beschreibt die reflektierte (Licht-) Intensität als Zusammensetzung aus der ambienten, der diffusen und der ideal spiegelnden Reflexion einer Oberfläche:

$$I = I_{ambient} + I_{diffuse} + I_{specular} \quad (5.1)$$

oder mathematisch ausgedrückt:

$$I = I_a + k_d \sum_{j=1}^{I_s} (\vec{N} \cdot \vec{L}_j) + k_s \sum_{j=1}^{I_s} (\vec{N} \cdot \vec{L}_j)^2 \quad (5.2)$$

wobei gilt:

- $I$ : Die reflektierte (Licht-) Intensität
- $I_a$ : Reflektion bedingt durch die Beleuchtung des Raumes
- $k_d$ : Konstante für die diffuse Komponente des reflektierten Lichtes
- $\vec{N}$ : Einheitsnormale der Oberfläche
- $\vec{L}_j$ : Vektor in Richtung der  $j$ -ten Lichtquelle
- $k_s$ : Koeffizient der spiegelnden Komponente

- $\vec{L}_j$ : Vektor in der Hälfte zwischen dem Betrachter und der  $j$ -ten Lichtquelle
- $n$ : Exponent, welcher von der Reflektion der Oberfläche abhängt
- $I_s$ : Anzahl Lichtquellen

### 5.1.2. Globale Beleuchtungsmodelle

Sofern nicht anders vermerkt, basiert der folgende Abschnitt auf Foley [1996][S. 775ff]

Globale Beleuchtungsmodelle beschreiben die reflektierte (Licht-) Intensität eines Punktes aufgrund direkter Lichteinstrahlung durch Lichtquellen sowie durch alles Licht, welches diesen Punkt nach Reflektion von bzw. Durchdringen der eigenen oder anderer Oberflächen erreicht.

Bei globalen Beleuchtungsmodellen unterscheidet man zwischen blickwinkelabhängigen Algorithmen, wie etwa Ray Tracing, und zwischen blickwinkelunabhängigen Algorithmen, wie etwa Photon Mapping.

Blickwinkelabhängige Algorithmen verwenden eine Diskretisierung der sichtbaren Fläche um zu entscheiden, an welchen Punkten, in Blickrichtung des Betrachters, die Beleuchtungsberechnung durchgeführt werden soll. Blickwinkelunabhängige Algorithmen hingegen diskretisieren und verarbeiten die Umgebung um genügend Informationen für die Beleuchtungsberechnung zu haben. Dies erlaubt ihnen die Beleuchtungsberechnung an einem beliebigen Punkt aus einer beliebigen Blickrichtung.

view plane

Beide Arten von Algorithmen haben jedoch Vor- und Nachteile. So sind blickwinkelabhängige Algorithmen gut geeignet um Spiegelungen, basierend auf der Blickrichtung des Betrachters, zu berechnen, eignen sich aber weniger um gleichbleibende diffuse Anteile über weiter Flächen eines Bildes zu berechnen. Bei blickwinkelabhängigen Algorithmen verhält es sich genau umgekehrt.

### Renderinggleichung

Die unter 5.1.2 genannten Verfahren versuchen auszudrücken, wie sich Licht von einem Punkt im Raum zu einem anderen bewegt. Dabei beschreiben sie die Intensität des Lichtes, ausgehend vom ersten Punkt zum zweiten Punkt. Zusätzlich wird die Intensität des Lichtes, ausgehend von allen anderen Punkten, welche den ersten Punkt erreichen, und zum zweiten Punkt emittiert werden, beschrieben.

Jim Kajiya stellte 1986 die so genannte Renderinggleichung auf, welche genau dieses Verhalten beschreibt:

$$I(x, x') = g(x, x')[\epsilon(x, x') + \int_S \rho(x, x', x'') I(x', x'') dx''] \quad (5.3)$$

wobei gilt:

Tabelle 5.1.: Your caption here

$x', x' \text{ und } x''$ :	Punkte in der Umgebung
$I(x, x')$ :	(Licht-) Intensität zwischen Punkt $x'$ und $x$
$g(x, x')$ :	Ein auf die Geometrie bezogener Term:
	0: $x$ und $x'$ verdecken sich
	$1/r^2$ : $x$ und $x'$ sehen sich, wobei $r$ die Distanz zwischen $x$ und $x'$ ist
$\epsilon(x, x')$ :	(Licht-) Intensität zwischen Punkt $x'$ und $x$

## 5.2. Ray Tracing

Bei Ray Tracing handelt es sich um ein globales Beleuchtungsmodell, welches 1980 von Turner Whitted vorgestellt wurde.

Describe ray tracing

### **5.2.1. Ray Casting**

Describe ray casting

## **5.3. Volume Ray Casting**

Describe volume ray casting

### **5.3.1. Raymarching**

Describe raymarching

## **6. Diskussion und Fazit**

### **6.1. Diskussion**

### **6.2. Erweiterungsmöglichkeiten**

### **6.3. Fazit**



# Glossar

**OWL** Web Ontology Language; Ontologiesprache für das semantische Web. Mit dieser Sprache können Ontologien beschrieben werden..



# Literaturverzeichnis

Wikipedia Foundation. Zotero, August 2015. URL <https://de.wikipedia.org/wiki/Zotero>. Published: Website Abgerufen am 27. September 2015.

Turner Whitted. An Improved Illumination Model for Shaded Display. *Commun. ACM*, 23(6):343–349, June 1980. ISSN 0001-0782. doi: 10.1145/358876.358882. URL <http://doi.acm.org/10.1145/358876.358882>.

J.F. Hughes, A. Van Dam, J.D. Foley, and S.K. Feiner. *Computer Graphics: Principles and Practice*. The systems programming series. Addison-Wesley, 2013. ISBN 978-0-321-39952-6. URL <https://books.google.ch/books?id=0VpsAQAAQBAJ>.

J.D. Foley. *Computer Graphics: Principles and Practice*. Addison-Wesley systems programming series. Addison-Wesley, 1996. ISBN 978-0-201-84840-3. URL <https://books.google.ch/books?id=-4ngT05gmAQC>.

# Abbildungsverzeichnis

4.1. Zeitplan; Der Titel stellt Jahreszahlen, der Untertitel Semesterwochen dar . . . . .	4
---	---

# Tabellenverzeichnis

5.1. Your caption here . . . . .	7
----------------------------------	---

# Auflistungsverzeichnis

# Anhang

# A. Meeting minutes

---

20150921

---

No.: 01  
Date: 21.09.2015 07:30  
Place: Prof. Claude Fuhrer's office

- \* Project issues
    - Requirement document needed?
      - \* No, not directly
    - What are the requirements?
      - \* Project schedule
      - \* External inputs
      - \* Conclusion
      - \* Grading is analogous to bachelor thesis, so the requirements are the same
  - \* Goal
    - Read articles about the topic
    - Gain an understanding for the topic
    - Create a summary of read articles including small code segments in pseudo code, e.g. explaining an algorithm
  - \* Project 2 MTE7102
    - Building a software architecture regarding the master thesis
    - Proof of concept of the algorithms chosen in this project
  - \* Meetings
    - Will be held every 14 days
    - Time and location will be defined at the end of each meeting
- TODO for next meeting:
- \* Set up project repository
    - GitHub
    - Open source
  - \* Choose language for pseudo code

Next meeting:  
Date: 05.10.2015 07:30  
Place: Prof. Claude Fuhrer's office

---

No.: 02  
Date: 05.10.2015 07:30  
Place: Prof. Claude Fuhrer's office

- \* External documents
  - Do external documents, e.g. papers, held in the project repository infringe copy rights?
- \* Theoretical background
  - Phong equation
    - \* Why is the half way vector used as described in Whitted's paper instead of the more common usage of the angle cosine in direction of the light?

TODO for next meeting:

- \* To be discussed

Next meeting:  
Date: To be scheduled  
Place: To be scheduled

---