

Institut für Visualisierung und Interaktive Systeme

Universität Stuttgart
Universitätsstraße 38
D-70569 Stuttgart

Bachelorarbeit

Wahrnehmungsorientiertes Volumen-Rendering

Ruben Bauer

Studiengang:	Informatik
Prüfer/in:	Prof. Dr. Thomas Ertl
Betreuer/in:	Valentin Bruder M.Sc., Dipl.-Inf. Christoph Schulz, Dr. Steffen Frey
Beginn am:	12. Mai 2018
Beendet am:	12. Oktober 2018

Kurzfassung

Diese Arbeit handelt um Wahrnehmungsorientiertes Volumen-Rendering. Das menschliche Auge ermöglicht dem Menschen seine visuelle Wahrnehmung, welche in foveales und peripheres Sehen unterteilt werden kann. Das foveale Sehen ist detailliert, scharf und farbig und befindet sich im Zentrum des visuellen Wahrnehmungsbereiches, während das periphere Sehen sich außerhalb des Zentrums befindet und unschärfer und weniger farbig ist. In dieser Arbeit wird speziell diese Eigenschaft des menschlichen Sehapparates im Zusammenhang mit Volumen-Rendering untersucht. Dafür werden unterschiedliche Ansätze betrachtet, die Bildqualität im peripheren Bereich zu senken, um die Performanz des Volumen-Renderings zu erhöhen und gleichzeitig die Qualität der Darstellung zu erhalten oder zu verbessern. Die Daten zur Ermittlung des fovealen beziehungsweise peripheren Bereichs werden mit einem Eye-Tracking Gerät gemessen und fließen direkt in die Darstellung ein.

Inhaltsverzeichnis

1. Einleitung	17
2. Grundlagen	19
2.1. Related Work	19
2.2. Sehapparat	22
2.3. Raytracing	22
2.4. Volumenrendering und Transferfunktion	22
2.5. Eyetracking	22
2.6. GPU Architektur	22
3. Überschrift auf Ebene 0 (chapter)	23
3.1. Überschrift auf Ebene 1 (section)	23
3.2. Listen	24
4. Zusammenfassung und Ausblick	27
Literaturverzeichnis	29
A. LaTeX-Tipps	31
A.1. Trennung von Absätzen	31
A.2. File-Encoding und Unterstützung von Umlauten	31
A.3. Zitate	31
A.4. Mathematische Formeln	32
A.5. Quellcode	33
A.6. Pseudocode	33
A.7. Abbildungen	35
A.8. Weitere Illustrationen	35
A.9. Plots with pgfplots	39
A.10. Figures with tikz	40
A.11. UML-Diagramme mit tikz-uml	40
A.12. Tabellen	40
A.13. Tabellen über mehrere Seiten	42
A.14. Abkürzungen	44
A.15. Verweise	45
A.16. Definitionen	45
A.17. Fußnoten	45
A.18. Verschiedenes	45
A.19. Schlusswort	46

Abbildungsverzeichnis

A.1. Beispiel-Choreographie	35
A.2. Beispiel-Choreographie	36
A.3. Beispiel um 3 Abbildung nebeneinander zu stellen nur jedes einzeln referenzieren zu können.	36
A.4. Beispiel-Choreographie I	37
A.5. Beispiel-Choreographie II	38
A.6. $\sin(x)$ mit pgfplots.	39
A.7. Koordianten x und y aus einer CSV-Datei geplottet mit pgfplots.	39
A.8. Eine tikz-Graphik.	40
A.9. Ein Klassendiagramm mit tikz-uml generiert. Beispiel von Nicolas Kielbasiewicz adaptiert.	41

Tabellenverzeichnis

A.1. Beispieltabelle	40
A.2. Beispieltabelle für 4 Bedingungen (W-Z) mit jeweils 4 Parameters mit (M und SD). Hinweis: Stets die selbe Anzahl an Nachkommastellen angeben.	41
A.3. Tabelle generiert aus einer CSV-Datei mit pgfplots	42
A.4. Tabelle über mehrere Seiten	42

Verzeichnis der Listings

A.1. Istlisting in einer Listings-Umgebung, damit das Listing durch Balken abgetrennt ist 33

Verzeichnis der Algorithmen

A.1. Sample algorithm	34
A.2. Description	35

Abkürzungsverzeichnis

ER error rate. 44

FR Fehlerrate. 44

RDBMS Relational Database Management System. 44

1. Einleitung

In diesem Kapitel steht die Einleitung zu dieser Arbeit. Sie soll nur als Beispiel dienen und hat nichts mit dem Buch [WCL+05] zu tun. Nun viel Erfolg bei der Arbeit!

Bei L^AT_EX werden Absätze durch freie Zeilen angegeben. Da die Arbeit über ein Versionskontrollsystem versioniert wird, ist es sinnvoll, pro *Satz* eine neue Zeile im .tex-Dokument anzufangen. So kann einfacher ein Vergleich von Versionsständen vorgenommen werden.

Die Arbeit ist in folgender Weise gegliedert: In Kapitel 2 werden die Grundlagen dieser Arbeit beschrieben. Schließlich fasst Kapitel 4 die Ergebnisse der Arbeit zusammen und stellt Anknüpfungspunkte vor.

2. Grundlagen

Dieses Kapitel beschäftigt sich mit den Grundlagen für diese Arbeit. Der erste Abschnitt des Kapitels beschäftigt sich mit verwandten Arbeiten zum Thema Wahrnehmungsorientiertes Volumen-Rendering. Der zweite Abschnitt handelt über die Grundlagen des menschlichen Sehapparates. Hier werden die Fähigkeiten und Limitierungen der visuellen Wahrnehmung des Menschen diskutiert. In Abschnitt drei, wird die Funktionsweise von Raytracing erläutert, welches ein grundlegender Algorithmus, der für diese Arbeit zugrunde liegender Implementierung ist. Zusammenhängend mit Raytracing wird im Abschnitt vier, die Verwendung des Raytracers für das Volumenrendering erläutert. Abschnitt fünf diskutiert die Auswahl des für diese Arbeit zugrunde liegenden Eyetrackers und dessen Verwendung für die Erfassung des fovealen und peripheren Bereichs. Aus Performanzgründen kann es hilfreich sein für Berechnungen auf einer GPU, die Architektur der GPU zu betrachten und unter Umständen Algorithmen für eine bessere Effizienz anzupassen. Diese Thematik wird in Abschnitt sechs behandelt.

Beschreibung der Grundlagen überarbeiten

2.1. Related Work

Wahrnehmungsorientiertes Volumenrendering ist kein absolut neues Arbeitsgebiet und ist schon Teil einiger wissenschaftlicher Arbeiten gewesen

Beispiele

. Da diese Arbeit auf zwei trennbare Aspekte beruht, unterteile ich den Related Work Abschnitt in zwei Teile. Der erste Abschnitt bezieht sich auf Arbeiten im Bereich des wahrnehmungsorientierten Renderings mit dem Ziel, die Performanz einer Anwendung zu steigern. Die Ansätze hier beziehen sich meist darauf, dass die Qualität der Darstellung im peripheren Bereich der visuellen Wahrnehmung, gesenkt wird und so für die Berechnung eines Bildes weniger Rechenleistung aufgewendet werden muss.

Was genau ist mit Performanz gemeint?

Der zweite Abschnitt bezieht sich auf Arbeiten zu wahrnehmungsorientiertem Volumenrendering, mit dem Ziel, die Qualität der Darstellung zu erhöhen. Dabei werden vor allem Ansätze zur geschickten Anpassung von Parametern einer Transferfunktion vorgestellt, die dem Betrachter ein insgesamt besseres Verständnis der Volumendaten ermöglichen soll.

2.1.1. Performanz- und Wahrnehmungsorientiertes Volumenrendering

In einem Paper von Marc Levoy und Ross Whitaker „Gaze-Directed Volume Rendering“ [LW90] erforschten diese Methoden, wie Eyetracking-Daten in Rendering-Algorithmen eingesetzt werden können. Das Ziel ihrer Forschung war es, dem Nutzer einen Arbeitsplatz für Echtzeit-Volumen-Rendering, mit der Illusion eines hochauflösenden Bildes über den gesamten Bildschirm, zu präsentieren, welches durch Eyetracking unterstützten Verfahren einen geringeren Berechnungsaufwand als herkömmliche Volumen Renderer hat. Dafür präsentierten sie eine Implementierung eines Ray-Tracers für Volumen Daten, in welcher mit Hilfe der Eyetracking-Daten der Blickfokus auf dem Bildschirm berechnet wurde und um diese Position herum, die Anzahl der Strahlen und die Samples pro Strahl, abhängig von der Distanz zum Blickfokus, angepasst wurden. Die Implementierung basiert auf darauf, dass der Detaillgrad der visuellen Wahrnehmung des Menschlichen Auge nur in einem kleinen, zentralen Bereich, der Fovea, am höchsten ist und zu den Rändern des Blickfelds hin, der periphere Bereich, stark abnimmt. Ausgehend davon, berechneten sie in dem von dem Nutzer fokussierten Bereich, das Bild mit der vollen Auflösung und einer hohen Abtastrate der Strahlen. In dem restlichen Bereich reduzierten sie die Auflösung des Bildes und abhängig von dem Abstand eines Pixels zum Blickfokus, die Abtastrate eines Strahls. In ihrer Implementierung verwendeten sie 2D und 3D mip maps, einen Eye Tracker und die Pixel-Planes 5 rendering engine, ein hoch paralleles Raster Display System. Um die geringere Abtastung in der Peripherie gut nutzen zu können, wurde aus den 3D Volumendaten eine 3D mip map erstellt. Die 3D mip map wird durch den Ray-Tracing Algorithmus abgetastet und durch trilineare Interpolation eine 2D mip map erstellt. Die 2D mip map ist Grundlage für die Erstellung des endgültigen Bildes. In ihren Ergebnissen konnten sie die Rendering Kosten für ein teilweise hochauflösendes Bild im Vergleich zu einem vollständig hochauflösenden Bildes, um bis den Faktor fünf, senken.

In einer Arbeit von Guenter et. Al. „Foveated 3D Graphics“ [GFD+12], wurde ähnlich zu dem Paper von Levoy und Whitaker, der Abfall der visuellen Auflösung des Auges außerhalb des visuellen Zentrums, der Fovea, ausgenutzt, um eine beschleunigte Berechnung des Bildes zu erhalten. Im Gegensatz zu der davor genannten Arbeit, ist das darunterliegende System hier kein Ray-Tracer für Volumendaten, sondern eine Grafikpipeline für 3D Szenen. Das Bild wird hier aus drei Teilbilder zusammengesetzt, welche jeweils mit unterschiedlichen Auflösungen berechnet wurden und wie Schichten übereinander gelegt werden. Die drei Schichten sind: innere Schicht, mittlere Schicht und äußere Schicht. Die innere Schicht hat ungefähr die Größe des fovealen Bereichs auf dem Bildschirm und wird in der maximalen Auflösung berechnet. Ihr Mittelpunkt ist der Blickfokus des Betrachters. Die mittlere Schicht ist ein bisschen größer als die innere Schicht und wird mit einer niedrigeren Auflösung berechnet. Sie wird ebenfalls auf den Blickfokus des Betrachters zentriert. Die äußerste Schicht überdeckt den gesamten Bildbereich und wird in der niedrigsten Auflösung berechnet. Um die Schichten zusammensetzen zu können, werden die mittlere und äußere Schicht jeweils zur nativen Auflösung des Bildschirms, die gleiche Auflösung wie die innere Schicht, interpoliert. Scharfe Kanten zwischen den Schichten werden dadurch vermieden, dass diese sich leicht überlappen und spezielle Blend-Masken verwendet werden, um die verschiedenen Schichten glatt übereinander zu blenden. In ihrer Arbeit nahmen sie sich auch das Problem an, dass das starke Unterabtasten, um bis zu dem Faktor sechs in jede Dimension, in der mittleren und äußeren Schicht zu störenden und sich bewegenden Artefakten führen kann. Um dies entgegen zu wirken, verwendeten sie drei Antialiasing Techniken: Hardware Multi-Sample Antialiasing (MSAA), „Temporal Reprojection“ und „whole frame jitter sampling“. Um die Blickposition zu erfassen nutzten sie den Tobii Tx 300 Eye Tracker mit einer Worst-Case Latency von 10 ms. Das Bild wurde auf einem Computer mit Intel Xeon CPU

(E5640 mit 2.67 Ghz) und einer NVidia GeForce GTX 580 GPU berechnet. Dargestellt wurde es auf einem 23"1920x1080 LCD Monitor mit einer Bildwiederholungsrate von 120 Hz. Mit ihrem System und Techniken erlangten sie eine Performanz-Verbesserung von einem Faktor zwischen fünf und sechs auf einem Monitor mit HD Auflösung. Dabei erreichten sie eine Darstellungsqualität, die vergleichbar mit dem Rendern eines hochauflösenden Bildes über den gesamten Bildschirm ist.

2.1.2. Wahrnehmungsorientiertes Volumenrendering zur Qualitätssteigerung

R. Englund und T. Ropinski stellten in ihrem Paper „Quantitative and Qualitative Analysis of the Perception of Semi-Transparent Structure in Direct Volume Rendering“ [ER] verschiedene Techniken, zur Verbesserung der Wahrnehmung von komplexen volumetrischen Daten, vor. In einer Studie mit über 300 Teilnehmern untersuchten sie, wie diese Techniken zur verbesserten Wahrnehmung von Volumen beitragen und verglichen die verschiedenen Ansätze miteinander. Dabei mussten die Teilnehmer jeweils kleine Aufgaben absolvieren, so dass Rückschlüsse darauf geschlossen werden können, wie sehr eine gewisse Technik dem Teilnehmer bei der Erkennung von Form und Tiefe eines Objekts in einem Volumen beiträgt. Um eine bessere direkte Erforschung der Volumen-Daten später ermöglichen zu können, wurden Techniken, die automatisch Rendering-Parameter angepasst haben hier ausgelassen. Nur wenn der Nutzer selbst interaktiv sein kann, also die Parameter des Volumen-Renderings, wie die Transferfunktion und Kamera selbst anpassen kann, ermöglicht dies eine direkte Erforschung. In ihrer Studie haben sie sechs Techniken ausgewertet. Darunter „Direct Volume Raytracing“ (DVR) als grundlegende Technik und „Depth Darkening“ wobei Tiefeneffekte ähnlich zu „Ambient Occlusion“ dadurch hervorgerufen werden, dass tiefere Objekte dunkler gezeichnet werden. In ihrer Auswertung kamen sie unter Anderem dazu, dass Techniken, die natürliche Lichteffekte in den Volumendaten simulieren, deutliche Vorteile gegenüber die anderen getesteten Ansätze gezeigt haben.

Anders als zu den untersuchten Techniken von Englund und Ropinski [ER] präsentieren Aidong Lu et. Al. in ihrem Paper „Volume Composition Using Eye Tracking Data“ [LME06] eine Methode für automatisierte Parameterauswahl bei der Betrachtung von Volumen Daten mit Hilfe eines Eye Tracking Gerätes. Das Ziel, welches sie mit dieser Methode verfolgen ist es, die mühsame Nutzerinteraktionen bei der Auswahl der Parameter zu vereinfachen und damit die Nutzbarkeit des Darstellungssystems zu verbessern. Volumen Daten können sehr komplex sein und daher ist es oft schwierig herauszufinden, was der Nutzer in dem Volumen betrachten möchte und was dahingehend hervorgehoben werden soll. Trotzdem ermöglichen Eigenschaften des Volumen Renderings, wie konstante Größen, Formen und Positionen der Objekte eine automatische Anpassung der Parameter. Um die Bereiche, die für den Nutzer von Interesse sind, zu bestimmen, wird ein Eyetracker zur Hilfe genommen. Dieser misst die Augenbewegungen und die Blickposition auf dem Bildschirm. Es wird zwischen zwei Hauptsächlichen Augenbewegungen unterschieden: Sakkade und Fixation. Eine Sakkade ist eine schnelle Augenbewegung von einem Punkt zu einem anderem. Bei einer Fixation ruht das Auge auf einem Punkt. Die Punkte, die fixiert werden, sind meist für den Nutzer von Interesse. Da die Blickposition durch den Eye Tracker nur auf einer 2D-Ebene bestimmt werden kann, wird durch ein konstantes Rotieren des Volumen Objekts und der parallelen Aufzeichnung der Augenbewegung versucht, die 3D Position des fixierten Objektes zu rekonstruieren. Aus den Eyetracking und Volumendaten bestimmen sie mit Hilfe mehrerer Clustering-Methoden gewichte für die einzelnen Voxel des Volumens und berechnen so die Wichtigkeit der Objekte innerhalb des Volumens für den Nutzer. Entsprechend dieser Ergebnisse wurden die Render Parameter angepasst,

2. Grundlagen

um die für den Nutzer am interessantesten Objekte hervorzuheben und anzuzeigen. Aidong Lu et. Al. kamen zu dem Schluss, dass die präsentierte Methode den Aufwand für den Nutzer, die Render Parameter anzupassen, signifikant reduzieren kann. Trotzdem kann ein solcher regelbasierter Ansatz nicht mit einer manuellen Einstellung der Render-Parameter mithalten.

Related Work nochmal anschauen. Zum Bsp. ob aus der richtigen Perspektive geschrieben wurde.

2.2. Sehapparat

Grundlagen zum menschlichen Sehapparat hier.

2.3. Raytracing

Grundlagen zu Raytracing hier.

2.4. Volumenrendering und Transferfunktion

Grundlagen zum Volumenrendering und der zugehörigen Transferfunktion hier.

2.5. Eyetracking

Grundlagen zum Eyetracking hier.

2.6. GPU Architektur

Grundlagen zur GPU Architektur hier.

Hier wird der Hauptteil stehen. Falls mehrere Kapitel gewünscht, entweder mehrmals `\chapter` benutzen oder pro Kapitel eine eigene Datei anlegen und `ausarbeitung.tex` anpassen.

LaTeX-Hinweise stehen in Anhang A.

3. Überschrift auf Ebene 0 (chapter)

Dies hier ist ein Blindtext zum Testen von Textausgaben. Wer diesen Text liest, ist selbst schuld. $\sin^2(\alpha) + \cos^2(\beta) = 1$. Der Text gibt lediglich den Grauwert der Schrift an $E = mc^2$. Ist das wirklich so? Ist es gleichgültig, ob ich schreibe: „Dies ist ein Blindtext“ oder „Huardest gefburn“? Kjift – mitnichten! Ein Blindtext bietet mir wichtige Informationen. $\sqrt[n]{a} \cdot \sqrt[n]{b} = \sqrt[n]{ab}$. An ihm messe ich die Lesbarkeit einer Schrift, ihre Anmutung, wie harmonisch die Figuren zueinander stehen und prüfe, wie breit oder schmal sie läuft. $\frac{\sqrt[n]{a}}{\sqrt[n]{b}} = \sqrt[n]{\frac{a}{b}}$. Ein Blindtext sollte möglichst viele verschiedene Buchstaben enthalten und in der Originalsprache gesetzt sein. $a \sqrt[n]{b} = \sqrt[n]{a^n b}$. Er muss keinen Sinn ergeben, sollte aber lesbar sein. $d\Omega = \sin \vartheta d\vartheta d\varphi$. Fremdsprachige Texte wie „Lorem ipsum“ dienen nicht dem eigentlichen Zweck, da sie eine falsche Anmutung vermitteln.

3.1. Überschrift auf Ebene 1 (section)

Dies hier ist ein Blindtext zum Testen von Textausgaben. Wer diesen Text liest, ist selbst schuld. $\sin^2(\alpha) + \cos^2(\beta) = 1$. Der Text gibt lediglich den Grauwert der Schrift an $E = mc^2$. Ist das wirklich so? Ist es gleichgültig, ob ich schreibe: „Dies ist ein Blindtext“ oder „Huardest gefburn“? Kjift – mitnichten! Ein Blindtext bietet mir wichtige Informationen. $\sqrt[n]{a} \cdot \sqrt[n]{b} = \sqrt[n]{ab}$. An ihm messe ich die Lesbarkeit einer Schrift, ihre Anmutung, wie harmonisch die Figuren zueinander stehen und prüfe, wie breit oder schmal sie läuft. $\frac{\sqrt[n]{a}}{\sqrt[n]{b}} = \sqrt[n]{\frac{a}{b}}$. Ein Blindtext sollte möglichst viele verschiedene Buchstaben enthalten und in der Originalsprache gesetzt sein. $a \sqrt[n]{b} = \sqrt[n]{a^n b}$. Er muss keinen Sinn ergeben, sollte aber lesbar sein. $d\Omega = \sin \vartheta d\vartheta d\varphi$. Fremdsprachige Texte wie „Lorem ipsum“ dienen nicht dem eigentlichen Zweck, da sie eine falsche Anmutung vermitteln.

3.1.1. Überschrift auf Ebene 2 (subsection)

Dies hier ist ein Blindtext zum Testen von Textausgaben. Wer diesen Text liest, ist selbst schuld. $\sin^2(\alpha) + \cos^2(\beta) = 1$. Der Text gibt lediglich den Grauwert der Schrift an $E = mc^2$. Ist das wirklich so? Ist es gleichgültig, ob ich schreibe: „Dies ist ein Blindtext“ oder „Huardest gefburn“? Kjift – mitnichten! Ein Blindtext bietet mir wichtige Informationen. $\sqrt[n]{a} \cdot \sqrt[n]{b} = \sqrt[n]{ab}$. An ihm messe ich die Lesbarkeit einer Schrift, ihre Anmutung, wie harmonisch die Figuren zueinander stehen und prüfe, wie breit oder schmal sie läuft. $\frac{\sqrt[n]{a}}{\sqrt[n]{b}} = \sqrt[n]{\frac{a}{b}}$. Ein Blindtext sollte möglichst viele verschiedene Buchstaben enthalten und in der Originalsprache gesetzt sein. $a \sqrt[n]{b} = \sqrt[n]{a^n b}$. Er muss keinen Sinn ergeben, sollte aber lesbar sein. $d\Omega = \sin \vartheta d\vartheta d\varphi$. Fremdsprachige Texte wie „Lorem ipsum“ dienen nicht dem eigentlichen Zweck, da sie eine falsche Anmutung vermitteln.

Überschrift auf Ebene 3 (subsubsection)

Dies hier ist ein Blindtext zum Testen von Textausgaben. Wer diesen Text liest, ist selbst schuld. $\sin^2(\alpha) + \cos^2(\beta) = 1$. Der Text gibt lediglich den Grauwert der Schrift an $E = mc^2$. Ist das wirklich so? Ist es gleichgültig, ob ich schreibe: „Dies ist ein Blindtext“ oder „Huardest gefburn“? Kjift – mitnichten! Ein Blindtext bietet mir wichtige Informationen. $\sqrt[n]{a} \cdot \sqrt[n]{b} = \sqrt[n]{ab}$. An ihm messe ich die Lesbarkeit einer Schrift, ihre Anmutung, wie harmonisch die Figuren zueinander stehen und prüfe, wie breit oder schmal sie läuft. $\frac{\sqrt[n]{a}}{\sqrt[n]{b}} = \sqrt[n]{\frac{a}{b}}$. Ein Blindtext sollte möglichst viele verschiedene Buchstaben enthalten und in der Originalsprache gesetzt sein. $a \sqrt[n]{b} = \sqrt[n]{a^n b}$. Er muss keinen Sinn ergeben, sollte aber lesbar sein. $d\Omega = \sin \vartheta d\vartheta d\varphi$. Fremdsprachige Texte wie „Lorem ipsum“ dienen nicht dem eigentlichen Zweck, da sie eine falsche Anmutung vermitteln.

Überschrift auf Ebene 4 (paragraph) Dies hier ist ein Blindtext zum Testen von Textausgaben. Wer diesen Text liest, ist selbst schuld. $\sin^2(\alpha) + \cos^2(\beta) = 1$. Der Text gibt lediglich den Grauwert der Schrift an $E = mc^2$. Ist das wirklich so? Ist es gleichgültig, ob ich schreibe: „Dies ist ein Blindtext“ oder „Huardest gefburn“? Kjift – mitnichten! Ein Blindtext bietet mir wichtige Informationen. $\sqrt[n]{a} \cdot \sqrt[n]{b} = \sqrt[n]{ab}$. An ihm messe ich die Lesbarkeit einer Schrift, ihre Anmutung, wie harmonisch die Figuren zueinander stehen und prüfe, wie breit oder schmal sie läuft. $\frac{\sqrt[n]{a}}{\sqrt[n]{b}} = \sqrt[n]{\frac{a}{b}}$. Ein Blindtext sollte möglichst viele verschiedene Buchstaben enthalten und in der Originalsprache gesetzt sein. $a \sqrt[n]{b} = \sqrt[n]{a^n b}$. Er muss keinen Sinn ergeben, sollte aber lesbar sein. $d\Omega = \sin \vartheta d\vartheta d\varphi$. Fremdsprachige Texte wie „Lorem ipsum“ dienen nicht dem eigentlichen Zweck, da sie eine falsche Anmutung vermitteln.

3.2. Listen

3.2.1. Beispiel einer Liste (itemize)

- Erster Listenpunkt, Stufe 1
- Zweiter Listenpunkt, Stufe 1
- Dritter Listenpunkt, Stufe 1
- Vierter Listenpunkt, Stufe 1
- Fünfter Listenpunkt, Stufe 1

Beispiel einer Liste (4*itemize)

- Erster Listenpunkt, Stufe 1
 - Erster Listenpunkt, Stufe 2
 - * Erster Listenpunkt, Stufe 3
 - Erster Listenpunkt, Stufe 4

- Zweiter Listenpunkt, Stufe 4
- * Zweiter Listenpunkt, Stufe 3
- Zweiter Listenpunkt, Stufe 2
- Zweiter Listenpunkt, Stufe 1

3.2.2. Beispiel einer Liste (enumerate)

1. Erster Listenpunkt, Stufe 1
2. Zweiter Listenpunkt, Stufe 1
3. Dritter Listenpunkt, Stufe 1
4. Vierter Listenpunkt, Stufe 1
5. Fünfter Listenpunkt, Stufe 1

Beispiel einer Liste (4*enumerate)

1. Erster Listenpunkt, Stufe 1
 - a) Erster Listenpunkt, Stufe 2
 - i. Erster Listenpunkt, Stufe 3
 - A. Erster Listenpunkt, Stufe 4
 - B. Zweiter Listenpunkt, Stufe 4
 - ii. Zweiter Listenpunkt, Stufe 3
 - b) Zweiter Listenpunkt, Stufe 2
2. Zweiter Listenpunkt, Stufe 1

3.2.3. Beispiel einer Liste (description)

Erster Listenpunkt, Stufe 1
Zweiter Listenpunkt, Stufe 1
Dritter Listenpunkt, Stufe 1
Vierter Listenpunkt, Stufe 1
Fünfter Listenpunkt, Stufe 1

Beispiel einer Liste (4*description)

Erster Listenpunkt, Stufe 1

Erster Listenpunkt, Stufe 2

Erster Listenpunkt, Stufe 3

Erster Listenpunkt, Stufe 4

Zweiter Listenpunkt, Stufe 4

Zweiter Listenpunkt, Stufe 3

Zweiter Listenpunkt, Stufe 2

Zweiter Listenpunkt, Stufe 1

4. Zusammenfassung und Ausblick

Hier bitte einen kurzen Durchgang durch die Arbeit.

Ausblick

...und anschließend einen Ausblick

Literaturverzeichnis

- [ASF16] The Apache Software Foundation. *Apache ODE™ – The Orchestration Director Engine*. 2016. URL: <http://ode.apache.org> (zitiert auf S. 32).
- [Dud01] Duden. *Die Deutsche Rechtschreibung*. 22., völlig neu bearbeitete und erweiterte Auflage. Aktualisierter Nachdruck. Dudenverlag, 2001. ISBN: 3-411-04012-2 (zitiert auf S. 45).
- [ER] R. Englund, T. Ropinski. „Quantitative and Qualitative Analysis of the Perception of Semi-Transparent Structures in Direct Volume Rendering“. In: *Computer Graphics Forum* 37.6 (), S. 174–187. DOI: [10.1111/cgf.13320](https://doi.org/10.1111/cgf.13320). eprint: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/pdf/10.1111/cgf.13320>. URL: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1111/cgf.13320> (zitiert auf S. 21).
- [GFD+12] *Foveated 3D Graphics*. ACM SIGGRAPH Asia, Nov. 2012. URL: <https://www.microsoft.com/en-us/research/publication/foveated-3d-graphics/> (zitiert auf S. 20).
- [LME06] A. Lu, R. Maciejewski, D. S. Ebert. „Volume Composition Using Eye Tracking Data“. In: *Proceedings of the Eighth Joint Eurographics / IEEE VGTC Conference on Visualization*. EUROVIS’06. Lisbon, Portugal: Eurographics Association, 2006, S. 115–122. ISBN: 3-905673-31-2. DOI: [10.2312/VisSym/EuroVis06/115-122](https://doi.org/10.2312/VisSym/EuroVis06/115-122). URL: <http://dx.doi.org/10.2312/VisSym/EuroVis06/115-122> (zitiert auf S. 21).
- [LW90] M. Levoy, R. Whitaker. „Gaze-directed Volume Rendering“. In: *Proceedings of the 1990 Symposium on Interactive 3D Graphics*. I3D ’90. Snowbird, Utah, USA: ACM, 1990, S. 217–223. ISBN: 0-89791-351-5. DOI: [10.1145/91385.91449](https://doi.org/10.1145/91385.91449). URL: <http://doi.acm.org/10.1145/91385.91449> (zitiert auf S. 20).
- [RVA16] H. Reijers, I. Vanderfeesten, W. van der Aalst. „The effectiveness of workflow management systems: A longitudinal study“. In: *International Journal of Information Management* 36.1 (Feb. 2016), S. 126–141. DOI: [10.1016/j.ijinfomgt.2015.08.003](https://doi.org/10.1016/j.ijinfomgt.2015.08.003) (zitiert auf S. 32).
- [WCL+05] S. Weerawarana, F. Curbera, F. Leymann, T. Storey, D. F. Ferguson. *Web Services Platform Architecture : SOAP, WSDL, WS-Policy, WS-Addressing, WS-BPEL, WS-Reliable Messaging, and More*. Prentice Hall PTR, 2005. ISBN: 0131488740. DOI: [10.1.1/jpb001](https://doi.org/10.1.1/jpb001) (zitiert auf S. 17, 31).

Alle URLs wurden zuletzt am 17.03.2018 geprüft.

A. LaTeX-Tipps

Probleme kann man niemals mit derselben Denkweise lösen, durch die sie entstanden sind.

(Albert Einstein)

In diesem Kapitel sollen allgemeine L^AT_EX-Hinweise gegeben werden.

A.1. Trennung von Absätzen

Pro Satz eine neue Zeile. Das ist wichtig, um sauber versionieren zu können. In LaTeX werden Absätze durch eine Leerzeile getrennt. Analogie zu Word: Bei Word werden neue Absätze durch einmal Eingabetaste gemacht. Dies führt bei LaTeX jedoch nicht zu einem neuen Absatz, da LaTeX direkt aufeinanderfolgende Zeilen zu einer Zeile zusammenfügt. Möchte man nun einen Absatz haben, muss man zweimal die Eingabetaste drücken. Dies führt zu einer leeren Zeile. In Word gibt es die Funktion Großschreibe- und Eingabetaste gleichzeitig. Wenn man dies drückt, wird ein harter Umbruch erzwungen. Der Text fängt am Anfang der neuen Zeile an. In LaTeX erreicht man dies durch Doppelbackslashes (`\`) erzeugt. Dies verwendet man quasi nie.

Folglich werden neue Absätze insbesondere *nicht* durch Doppelbackslashes erzeugt. Beispielsweise begann der letzte Satz in einem neuen Absatz. Eine ausführliche Motivation hierfür findet sich in <http://loopspace.mathforge.org/HowDidIDoThat/TeX/VCS/#section.3>.

Möchte man die Art des Absatzes ändern, so kann man die Dokumentklassenoption `parskip` verwenden. Beispielsweise kann man mit `parskip=off` erreichen, dass statt eines freien Bereichs die erste Zeile des Absatzes eingezogen wird.

A.2. File-Encoding und Unterstützung von Umlauten

Die Vorlage wurde 2010 auf UTF-8 umgestellt. Alle neueren Editoren sollten damit keine Schwierigkeiten haben.

A.3. Zitate

Referenzen werden mittels `\cite[key]` gesetzt. Beispiel: [WCL+05] oder mit Autorenangabe: Weerawarana et al. [WCL+05].

Der folgende Satz demonstriert

Code:

```
\begin{inparaenum}[1.]
  \item die Großschreibung von Autorennamen
am Satzanfang,
  \item die richtige Zitation unter
Verwendung von Autorennamen und der Referenz,
  \item dass die Autorennamen ein Hyperlink
auf das Literaturverzeichnis sind sowie
  \item dass in dem Literaturverzeichnis der
Namenspräfix \qq{van der} von \qq{Wil M.\,P.\,
van der Aalst} steht.
\end{inparaenum}
```

Result:

1. die Großschreibung von Autorennamen am Satzanfang, 2. die richtige Zitation unter Verwendung von Autorennamen und der Referenz, 3. dass die Autorennamen ein Hyperlink auf das Literaturverzeichnis sind sowie 4. dass in dem Literaturverzeichnis der Namenspräfix „van der“ von „Wil M. P. van der Aalst“ steht.

Reijers et al. [RVA16] präsentieren eine Studie über die Effektivität von Workflow-Management-Systemen.

Der folgende Satz demonstriert, dass man mittels `label` in einem Bibliographie-Eintrag den Textteil des generierten Labels überschreiben kann, aber das Jahr und die Eindeutigkeit noch von `biber` generiert wird. Die Apache ODE Engine [ASF16] ist eine Workflow-Maschine, die BPEL-Prozesse zuverlässig ausführt.

Wörter am besten mittels `\qq{...}` „einschließen“, dann werden die richtigen Anführungszeichen verwendet.

Beim Erstellen der Bibtex-Datei wird empfohlen darauf zu achten, dass die DOI aufgeführt wird.

A.4. Mathematische Formeln

Mathematische Formeln kann man *so* setzen. `symbols-a4.pdf` (zu finden auf <http://texdoc.net/pkg/symbols-a4>) enthält eine Liste der unter LaTeX direkt verfügbaren Symbole. Beispielsweise \mathbb{N} für die Menge der natürlichen Zahlen. Für eine vollständige Dokumentation für mathematischen Formelsatz sollte die Dokumentation zu `amsmath`, <http://texdoc.net/pkg/amsmath> gelesen werden.

Folgende Gleichung erhält keine Nummer, da `\equation*` verwendet wurde.

Code:

```
\begin{equation*}
x = y
\end{equation*}
```

Result:

$$x = y$$

Listing A.1 `\lstlisting` in einer Listings-Umgebung, damit das Listing durch Balken abgetrennt ist

```
<listing name="second sample">
  <!-- comment -->
  <content>not interesting</content>
</listing>
```

```
#include <cstdlib>
#include <iostream>

int main(int argc, char *argv[]) {
    // print Hello World to the stdout
    std::cout << "Hello World!" << std::endl;
    return EXIT_SUCCESS;
}
```

Listing A.1: „hello world“ in C++.

Die Gleichung A.1 erhält eine Nummer:

Code:

```
\begin{equation}
  \label{eq:test}
  x = y
\end{equation}
```

Result:

$x = y$	(A.1)
---------	-------

Die Vorlage bietet `\abs` an, damit die Absolutbetragsstriche richtig skalieren: $|X|$.

Eine ausführliche Anleitung zum Mathematikmodus von LaTeX findet sich in <http://www.ctan.org/tex-archive/help/Catalogue/entries/voss-mathmode.html>.

A.5. Quellcode

Listing A.1 und Listing A.1 zeigen, wie man Programmlistings einbindet. Mittels `\lstinputlisting` kann man den Inhalt direkt aus Dateien lesen.

Quellcode im `<listing />` ist auch möglich.

A.6. Pseudocode

Algorithmus A.1 zeigt einen Beispielalgorithmus.

Algorithmus A.1 Sample algorithm

```
procedure SAMPLE( $a, v_e$ )  
  parentHandled  $\leftarrow (a = \text{process}) \vee \text{visited}(a'), (a', c, a) \in \text{HR}$   
  //  $(a', c'a) \in \text{HR}$  denotes that  $a'$  is the parent of  $a$   
  if parentHandled  $\wedge (\mathcal{L}_{in}(a) = \emptyset \vee \forall l \in \mathcal{L}_{in}(a) : \text{visited}(l))$  then  
    visited( $a$ )  $\leftarrow$  true  
    writes $_{\circ}(a, v_e) \leftarrow \begin{cases} \text{joinLinks}(a, v_e) & |\mathcal{L}_{in}(a)| > 0 \\ \text{writes}_{\circ}(p, v_e) & \exists p : (p, c, a) \in \text{HR} \\ (\emptyset, \emptyset, \emptyset, false) & \text{otherwise} \end{cases}$   
    if  $a \in \mathcal{A}_{basic}$  then  
      HANDLEBASICACTIVITY( $a, v_e$ )  
    else if  $a \in \mathcal{A}_{flow}$  then  
      HANDLEFLOW( $a, v_e$ )  
    else if  $a = \text{process}$  then // Directly handle the contained activity  
      HANDLEACTIVITY( $a', v_e$ ),  $(a, \perp, a') \in \text{HR}$   
      writes $_{\bullet}(a) \leftarrow$  writes $_{\bullet}(a')$   
    end if  
    for all  $l \in \mathcal{L}_{out}(a)$  do  
      HANDLELINK( $l, v_e$ )  
    end for  
  end if  
end procedure
```



Abbildung A.1.: Beispiel-Choreographie

Und wer einen Algorithmus schreiben möchte, der über mehrere Seiten geht, der kann das nur mit folgendem **üblen** Hack tun:

Algorithmus A.2 Description

code goes here
test2

A.7. Abbildungen

Die Abbildung A.1 und A.2 sind für das Verständnis dieses Dokuments wichtig. Im Anhang zeigt Abbildung A.4 auf Seite 37 erneut die komplette Choreographie.

Abbildung A.3 zeigt die Verwendung des subcaption-Pakets. Es ist auch möglich, auf Unterabbildungen zu verweisen: Abbildung A.3a.

Es ist möglich, SVGs direkt beim Kompilieren in PDF umzuwandeln. Dies ist im Quellcode zu latex-tipps.tex beschrieben, allerdings auskommentiert.

A.8. Weitere Illustrationen

Abbildungen A.4 und A.5 zeigen zwei Choreographien, die den Sachverhalt weiter erläutern sollen. Die zweite Abbildung ist um 90 Grad gedreht, um das Paket pdf\lscope zu demonstrieren.



Abbildung A.2.: Die Beispiel-Choreografie. Nun etwas kleiner, damit \textwidth demonstriert wird. Und auch die Verwendung von alternativen Bildunterschriften für das Verzeichnis der Abbildungen. Letzteres ist allerdings nur Bedingt zu empfehlen, denn wer liest schon so viel Text unter einem Bild? Oder ist es einfach nur Stilsache?

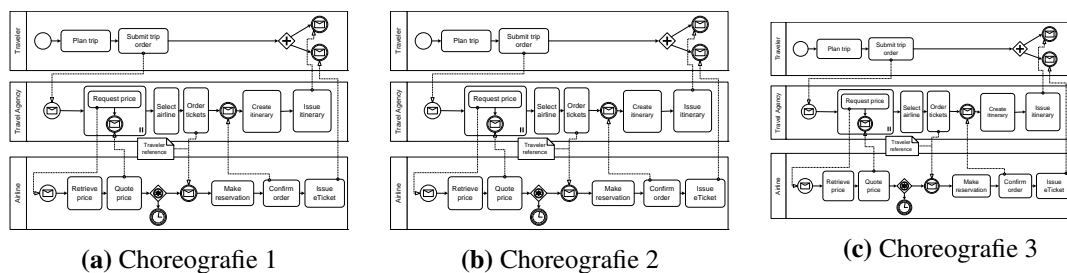


Abbildung A.3.: Beispiel um 3 Abbildung nebeneinander zu stellen nur jedes einzeln referenzieren zu können.



Abbildung A.4.: Beispiel-Choreographie I



Abbildung A.5.: Beispiel-Choreographie II

A.9. Plots with pgfplots

Pgfplot ist ein Paket um Graphen zu plotten ohne den Umweg über gnuplot oder matplotlib zu gehen.

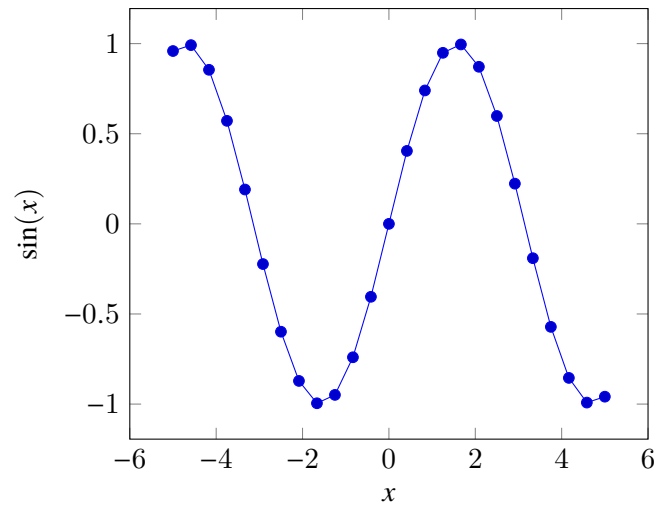


Abbildung A.6.: $\sin(x)$ mit pgfplots.



Abbildung A.7.: Koordinaten x und y aus einer CSV-Datei geplottet mit pgfplots.

zusammengefasst		Titel
Tabelle	wie	in
tabsatz.pdf	empfohlen	gesetzt
Beispiel	ein schönes Beispiel für die Verwendung von „multirow“	

Tabelle A.1.: Beispieltabelle – siehe <http://www.ctan.org/tex-archive/info/german/tabsatz/>

A.10. Figures with tikz

TikZ ist ein Paket um Zeichnungen mittels Programmierung zu erstellen. Dieses Paket eignet sich um Gitter zu erstellen oder andere regelmäßige Strukturen zu erstellen. Hier gibt es sehr viele visuelle Beispiele was tikz alles kann¹.

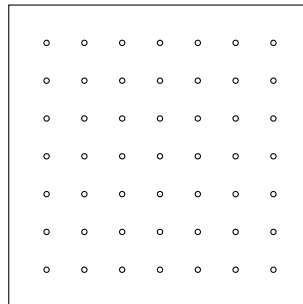


Abbildung A.8.: Eine tikz-Graphik.

A.11. UML-Diagramme mit tikz-uml

Abbildung A.9 zeigt ein Klassendiagramm, das mittels tikz-uml gesetzt wurde.

A.12. Tabellen

Tabelle A.1 zeigt Ergebnisse und die Tabelle A.1 zeigt wie numerische Daten in einer Tabelle repräsentiert werden können.

¹<http://texdoc.net/pkg/visualtikz>



Abbildung A.9.: Ein Klassendiagramm mit tikz-uml generiert. Beispiel von Nicolas Kielbasiewicz adaptiert.

Bedingungen	Parameter 1		Parameter 2		Parameter 3		Parameter 4	
	M	SD	M	SD	M	SD	M	SD
W	1,1	5,55	6,66	,01				
X	22,22	0,0	77,5	,1				
Y	333,3	,1	11,11	,05				
Z	4444,44	77,77	14,06	,3				

Tabelle A.2.: Beispieltabelle für 4 Bedingungen (W-Z) mit jeweils 4 Parameters mit (M und SD). Hinweis: Stets die selbe Anzahl an Nachkommastellen angeben.

Tabelle A.4 – von der vorherigen Seite weitergeführt

First column	Second column	Third column
A	B C	D
A	B C	D
A	B C	D
A	B C	D
A	B C	D
A	B C	D
A	B C	D
A	B C	D
A	B C	D
A	B C	D
A	B C	D
A	B C	D
A	B C	D
A	B C	D
A	B C	D
A	B C	D
A	B C	D
A	B C	D
A	B C	D
A	B C	D

A.14. Abkürzungen

Beim ersten Durchlauf betrug die Fehlerrate (FR) 5. Beim zweiten Durchlauf war die FR 3. Die Pluralform sieht man hier: error rates (ERs). Um zu demonstrieren, wie das Abkürzungsverzeichnis bei längeren Beschreibungstexten aussieht, muss hier noch Relational Database Management Systems (RDBMS) erwähnt werden.

Mit `\gls{...}` können Abkürzungen eingebaut werden, beim ersten Aufrufen wird die lange Form eingesetzt. Beim wiederholten Verwenden von `\gls{...}` wird automatisch die kurz Form angezeigt. Außerdem wird die Abkürzung automatisch in die Abkürzungsliste eingefügt. Mit `\glspl{...}` wird die Pluralform verwendet. Möchte man, dass bei der ersten Verwendung direkt die Kurzform erscheint, so kann man mit `\glsunset{...}` eine Abkürzung als bereits verwendet markieren. Das Gegenteil erreicht man mit `\glsreset{...}`.

Definiert werden Abkürzungen in der Datei *content*
ausarbeitung.tex mithilfe von `\newacronym{...}{...}{...}`.

Mehr Infos unter: <http://tug.ctan.org/macros/latex/contrib/glossaries/glossariesbegin.pdf>

A.15. Verweise

Für weit entfernte Abschnitte ist „varioref“ zu empfehlen: „Siehe Anhang A.4 auf Seite 32“. Das Kommando `\vref` funktioniert ähnlich wie `\cref` mit dem Unterschied, dass zusätzlich ein Verweis auf die Seite hinzugefügt wird. `vref`: „Anhang A.2 auf Seite 31“, `cref`: „Anhang A.2“, `ref`: „A.2“.

Falls „varioref“ Schwierigkeiten macht, dann kann man stattdessen „cref“ verwenden. Dies erzeugt auch das Wort „Abschnitt“ automatisch: Anhang A.4. Das geht auch für Abbildungen usw. Im Englischen bitte `\Cref{...}` (mit großem „C“ am Anfang) verwenden.

A.16. Definitionen

Definition A.16.1 (Title)

Definition Text

Definition A.16.1 zeigt ...

A.17. Fußnoten

Fußnoten können mit dem Befehl `\footnote{...}` gesetzt werden². Mehrfache Verwendung von Fußnoten ist möglich indem man zu erst ein Label in der Fußnote setzt `\footnote{\label{...}}...` und anschließend mittels `\cref{...}` die Fußnote erneut verwendet².

A.18. Verschiedenes

Ziffern (123 654 789) werden schön gesetzt. Entweder in einer Linie oder als Minuskel-Ziffern. Letzteres erreicht man durch den Parameter `osf` bei dem Paket `libertine` bzw. `mathpazo` in `fonts.tex`.

- I. Man kann auch die Nummerierung dank `paralist` kompakt halten
- II. und auf eine andere Nummerierung umstellen

Die Wörter „Workflow“ und „Auflage“ lassen sich im PDF kopieren und in eine Textdatei einfügen.

Bei der Nutzung von `LuaLATEX` wird bei „Auflage“ automatisch keine Ligatur bei „fl“ (im Gegensatz zu „fl“ bei „workflow“) gesetzt. In anderen Worten: „Auflage“ und „Auflage“ sehen im Falle der Nutzung von `LuaLATEX` im PDF gleich aus. Weiterhin setzt dieses Vorgehen die Duden-Regeln bezüglich „Ligaturen“ [Dud01, S. 96] um.

²Diese Fußnote ist ein Beispiel.

A.19. Schlusswort

Verbesserungsvorschläge für diese Vorlage sind immer willkommen. Bitte bei GitHub ein Ticket eintragen (<https://github.com/latextemplates/scientific-thesis-template/issues>).

Erklärung

Ich versichere, diese Arbeit selbstständig verfasst zu haben. Ich habe keine anderen als die angegebenen Quellen benutzt und alle wörtlich oder sinngemäß aus anderen Werken übernommene Aussagen als solche gekennzeichnet. Weder diese Arbeit noch wesentliche Teile daraus waren bisher Gegenstand eines anderen Prüfungsverfahrens. Ich habe diese Arbeit bisher weder teilweise noch vollständig veröffentlicht. Das elektronische Exemplar stimmt mit allen eingereichten Exemplaren überein.

Ort, Datum, Unterschrift