

# OrbitCalc - Eine vereinfachte Version des Sonnensystems

Wednesday 10<sup>th</sup> January, 2024 - 11:33

Henrik Klasen

University of Luxembourg

Email: [henrik.klasen.001@student.uni.lu](mailto:henrik.klasen.001@student.uni.lu)

Dieses Projekt wurde durchgeführt unter der Aufsicht von:

Gabriel Garcia

University of Luxembourg

Email: [gabriel.garcia@uni.lu](mailto:gabriel.garcia@uni.lu)

**Abstract**—Dieses Bachelor Semester Projekt behandelt den Prozess der mathematischen Modellierung für wissenschaftliche Simulationen. Als Fallbeispiel hierfür wird eine dreidimensionale Simulation für das Sonnensystem aufgeführt.

## 1. Wissenschaftliche Arbeit

In der wissenschaftlichen Arbeit dieses Projektes geht es zunächst um das Finden einer Schritt für Schritt Anleitung zum Erstellen eines mathematischen Modells für eine beliebige Umgebung. Hier wird die Quelle [Garrido] hauptsächlich genutzt, um die verschiedenen Aspekte des Modellierens zu erarbeiten.

So ist der erste Schritt die Observierung der Umgebung. Hier kann man sich bei der Erstellung des Modells die Fragen stellen: Welches Verhalten weist die Modellvorlage auf? Welche Randfälle gibt es?

Im zweiten Schritt geht es um die Problembeschreibung. Hierbei geht es vor allem darum, dass das zu simulierende Verhalten aus der Modellvorlage exakt beschrieben wird und man auch erste Vereinfachungen des Modells stellt. Es hilft hier auch eine Liste an Funktionen aufzusetzen, die in dem Modell sein *müssen*, und eine Liste mit Funktionen, die das Modell erweitern würden, jedoch nicht zum ursprünglichen Zweck des Modells nötig sind.

Der dritte Schritt in dieser Ausarbeitung dient der mathematischen Modellierung. Hierbei wird das beobachtete Verhalten mit mathematischen Formeln beschrieben, oder wenn nicht anders möglich angenähert. Es ist hierbei von Vorteil, wenn hier weitere Vereinfachungen eingeführt werden, deren Auswirkungen auf das Modell marginal sind.

Mit dem vierten Schritt wird das algorithmische Design angeführt. In diesem geht es darum, die Ergebnisse aus der mathematischen Modellierung in (ressourcenschonende) Algorithmen umzuwandeln. Vor allem rekursive Formeln sind hierbei in iterative Prozeduren umzuwandeln, da Rekursion sehr rechenintensiv sein kann, oder aber Variablen einzuführen, die das Zwischenergebnis und somit für spätere

Berechnungen verfügbar machen. Abschließend gibt es einige Leitfragen um die Schritte zu vereinfachen.

- 1) Welches Verhalten ist zu beobachten?
- 2) Was wollen wir simulieren? Was für ein Problem ist zu simulieren? Welche Eigenschaften soll das Modell haben?
- 3) Welche Formeln beschreiben die zu simulierende Umgebung und die genannten Eigenschaften? Gibt es ausreichende Annäherungen um Ressourcen zu sparen?
- 4) Wie können wir die Formeln in Algorithmen umwandeln?

In den danach folgenden Sektionen geht es vor allem um das Fallbeispiel und die Durchführung der Schritte 1-3.

Noch im wissenschaftlichen Teil geht es um Beobachtungen der Modellvorlage. So gibt es die Beobachtung, dass die Sonne im Zentrum des Modells ist, und sich nur minimal (quasi vernachlässigbar) bewegt. Somit wird die Sonne im Modell zur Vereinfachung als statisch angenommen. Die Planeten bewegen sich unter dem gravitativen Einfluss der Sonne in elliptischen Bahnen um die Sonne herum. Diese Bahnen haben eine Neigung, eine kleine und große Halbachse, sowie eine Inklination. Da sich diese Bahnen zwar leicht verändern, aber nahezu statisch sind, werden auch die Planetenbahnen als statische Ellipsenbahnen angenommen. Das zentrale Objekt der Simulation soll der Satellit sein, der sich unter dem gravitativen Einfluss aller Himmelskörper im simulierten System bewegt. Hierbei wird mit der newtonschen Gravitationsformel gearbeitet, laut der die Anziehung zweier Körper von deren Masse und Abstand abhängt.

So wird um der ausgearbeiteten Anleitung zu folgen, im nächsten Schritt definiert, welche Eigenschaften zu simulieren sind und welche Eigenschaften vernachlässigbar sind. Hierbei handelt es sich vorwiegend um Dinge, die den Beobachtungen entnommen wurden.

Wie auch in der Anleitung geht es nun um die mathematische Modellierung. Hierbei wird vor allem mit Formeln wie der Gravitationsformel in dreidimensionalen Raum, Ellipsen in dreidimensionalem Raum, sowie Umformungen von Kraft

zu Geschwindigkeit gearbeitet. Diese Formeln bilden die Grundlage für die Arbeit im technischen Teil des Projekts.

## 2. Technische Arbeit

Im technischen Teil des Bachelor Semester Projekts geht es um die Implementierung der Simulationsumgebung. So wird in einer Weise von außen nach innen gearbeitet. Zunächst wird die Umgebung erklärt. Damit lassen sich die Eigenschaften der Himmelskörper einfach implementieren. Im Abschnitt zu Planeten wird zudem noch die Verwendung von Datenstrukturen wie Vector3D oder Quaternions (Rotationsmatrizen) erläutert. Nachdem es einen Pseudocode für die statischen Planetenumlaufbahnen gibt, wird im nächsten Schritt die Kamera modelliert, die vom Nutzer gesteuert wird. Hierbei handelt es sich vorwiegend um Translation. Jedoch wird auch die Herausforderung des Bewegens relativ zur Rotation der Kamera erörtert. Neben der Kamera geht es in diesem Abschnitt über die Funktion des Time-Warps, einer Simulationszeit-Beschleunigung. Diese erlaubt es, die Simulationsgeschwindigkeit zu verändern (höher/niedriger), um somit Langzeitsimulationen in kürzester Zeit zu simulieren. Im letzten Abschnitt des Bachelor Semester Projekt geht es vorwiegend um den Satelliten. Hierbei werden die Formeln des wissenschaftlichen Teils herangezogen, um diese in Datenstrukturen umzuwandeln. Dazu gibt es zudem Erklärungen, wie auf die Parameter von anderen Objekten zugegriffen wird. Hierbei handelt es sich um eine Array-Datenstruktur, über die eine Schleife iteriert werden kann, um auf die Parameter des Himmelsobjekt-Arrays zuzugreifen. Diese Datenstruktur wird zu Beginn der Simulation initialisiert und bleibt statisch, da keine Himmelskörper hinzukommen, weil die Anzahl dieser konstant ist. Abschließend wird noch die Orbitmanipulation angesprochen, die es erlaubt, den Orbit des Satelliten zu beeinflussen. Hierbei wird nur das prograde Manöver, sowie das retrograde Manöver in Betracht gezogen, da diese den Orbit maximal beeinflussen. Prograde Manöver sind hier als Geschwindigkeitsmanipulation in Richtung des Geschwindigkeitsvektors definiert, was eine Erhöhung der Orbitalgeschwindigkeit zur Folge hat, während retrograde Manöver entgegengesetzt des Geschwindigkeitsvektors eine Verringerung der Orbitalgeschwindigkeit zur Folge haben.

## References

- [BiCS(2021)] BiCS Bachelor Semester Project Report Template. <https://github.com/nicolasguelfi/lu.uni.course.bics.global> University of Luxembourg, BiCS - Bachelor in Computer Science (2021).
- [BiCS(2021)] Bachelor in Computer Science: BiCS Semester Projects Reference Document. Technical report, University of Luxembourg (2021)
- [Armstrong and Green(2017)] J Scott Armstrong and Kesten C Green. Guidelines for science: Evidence and checklists. *Scholarly Commons*, pages 1–24, 2017. [https://repository.upenn.edu/marketing\\_papers/181/](https://repository.upenn.edu/marketing_papers/181/)
- [KaufmannFranzinMenegaisPozzer] Lorenzo Schwertner Kaufmann, Flavio Paulus Franzin, Roberto Menegais, Cesar Tadeu Pozzer. Accurate Real-Time Physics Simulation for Large Worlds. *Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, Brazil*, 2021.
- [MurinKompisKutis] Justin Murin, Vladimir Kompis, Vladimir Kutis. Computational Modelling and Advanced Simulations. *Springer*, 978-94-007-0317-9-1, 2011.
- [HeisterRebholz] Timo Heister, Leo G. Rebholz. Scientific Computing for Scientists and Engineers. *De Gruyter*, 2023.
- [Garrido] Jose M. Garrido Introduction to Computational Models with Python. *Chapman and Hall/CRC*, 2016.
- [Unity] <https://docs.unity3d.com/Manual/index.html>