

Rendezvousmanöver in einer tiefen Mondumlaufbahn

Ein Rendezvousmanöver ist ein geplantes Treffen zweier Raumschiffe in einer Umlaufbahn um eine zentrale Masse... und ein Aufeinandertreffen von verschiedenen wissenschaftlichen Disziplinen wie Physik, Mathematik und Informatik.

Fragen an die Physik:

- Wie bewegen sich Körper im Gravitationsfeld eines Mondes und wie kann man eine Umlaufbahn mit Manövern verändern?
- Wie kann die erste Umlaufbahn vollständig aus den Parametern berechnet werden, die nach dem Start gegeben sind?
- Wie findet man einen passenden Winkel und Zeitpunkt für einen Gravity Turn?

Fragen an die Mathematik:

- Wie löst man mehrere, gekoppelte Differentialgleichungen?
- Welche Unterschiede gibt es zwischen den numerischen Verfahren zur Lösung von Differentialgleichungen?
- Wie viel Treibstoff verbraucht die Rakete bei jedem Manöver?
- Wie kann man die Mission optimieren?

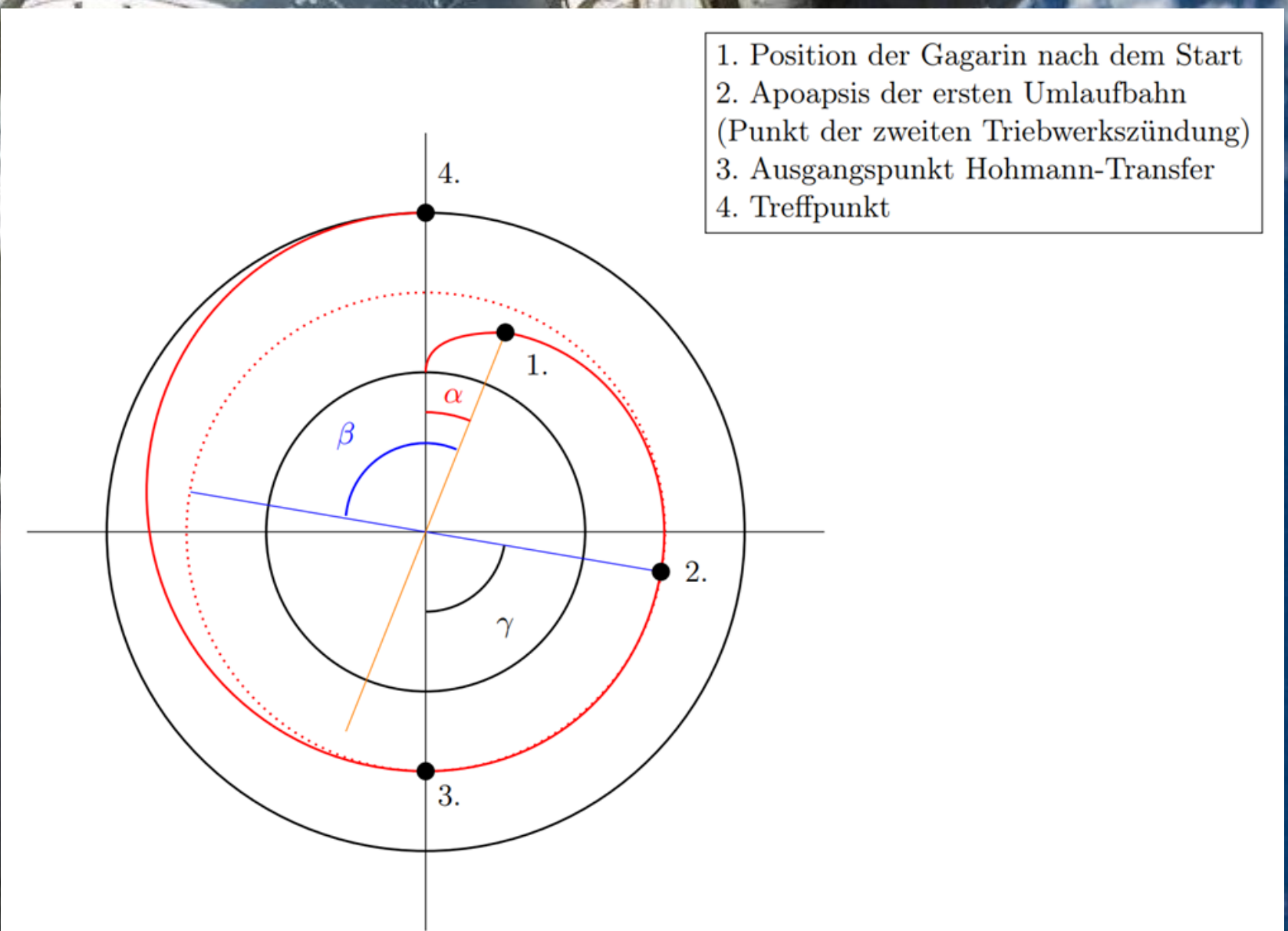
Fragen an die Informatik:

- Wie implementiert man das Runge-Kutta-Verfahren vierter Ordnung und das Euler Verfahren in Python?
- Wie können alle Berechnungen automatisiert werden?
- Wie können die Resultate grafisch ausgegeben werden?
- Wie wirkt sich die Berechnungsgenauigkeit auf die Berechnungszeit aus?

Vorgehensweise:

Die Ausgangslage für die Mission wurde willkürlich gewählt. Die technischen Daten der Raumschiffe wurden mithilfe historischer Dokumente an die Apollo 11 Mission angelehnt. Nach den Daten der Raumschiffe wurde der Treffpunkt der beiden Raketen festgelegt. Die wichtigsten Ereignisse der Mission sind hier aufgelistet:

1. Anhand der Daten des ersten Raumschiffes kann der Start von der Mondoberfläche, der einer Gravity Turn Flugbahn folgt, berechnet werden. Das selbst entwickelte Programm lieferte die Daten des Raumschiffes bis das Triebwerk abgestellt wurde.
2. Mit den Daten konnten die Parameter der ersten Umlaufbahn berechnet werden. Mithilfe der ersten Position in der Umlaufbahn konnten die nächsten Manöver geplant werden, welche die erste Rakete zum richtigen Zeitpunkt auf der richtige Umlaufbahn bringen sollen. Zunächst wurde eine kleine Kurskorrektur durchgeführt, um das Raumschiff auf einen späteren Hohmann-Transfer vorzubereiten.
3. Der Hohmann-Transfer ermöglicht es dem Raumschiff von seiner aktuellen Umlaufbahn in eine höhere Umlaufbahn zu wechseln.
4. Sobald die beiden Raketen in naher Umgebung und auf der gleichen Umlaufbahn sind, gilt das Rendezvousmanöver als abgeschlossen. Ein anschliessendes Andocken wurde in der Arbeit kurz angesprochen aber nicht weiter behandelt.



Oben: In rot ist die Flugbahn des ersten Raumschiff *Gagarin* eingezeichnet, das als Ziel die schwarze Umlaufbahn des zweiten Raumschiff *Aldrin* hat. Die Startposition der vier Manöver, welche links beschrieben werden, sind mit schwarzen Punkten gekennzeichnet.
Unten: Grafische Darstellung des Startes, durch das Programm generiert.

Resultate:

Die Leitfragen wurden im Laufe der Arbeit alle beantwortet. Es ist gelungen, ein fiktives Rendezvousmanöver zu planen, vollständig zu berechnen und die wichtigsten Informationen grafisch darzustellen.

Das erste Raumschiff *Gagarin* erreichte den Treffpunkt 02:56 h nach dem Start der Mission. Die zwei Raumschiffe haben in der neuen Umlaufbahn einen Abstand von etwa 65 m. Für die ganze Mission verbrauchte die Gagarin ungefähr 2270 kg Treibstoff.

Nach aufwendiger Recherche wurde ein Weg gefunden, um aus den ursprünglichen Werten von der Entfernung vom Startplatz x , der Höhe über der Mondoberfläche y , der Geschwindigkeit v und des Flugwinkels γ die erste Umlaufbahn vollständig zu berechnen und die Position der *Gagarin* relativ zum tiefsten Punkt der Umlaufbahn, der Periapsis zu finden.

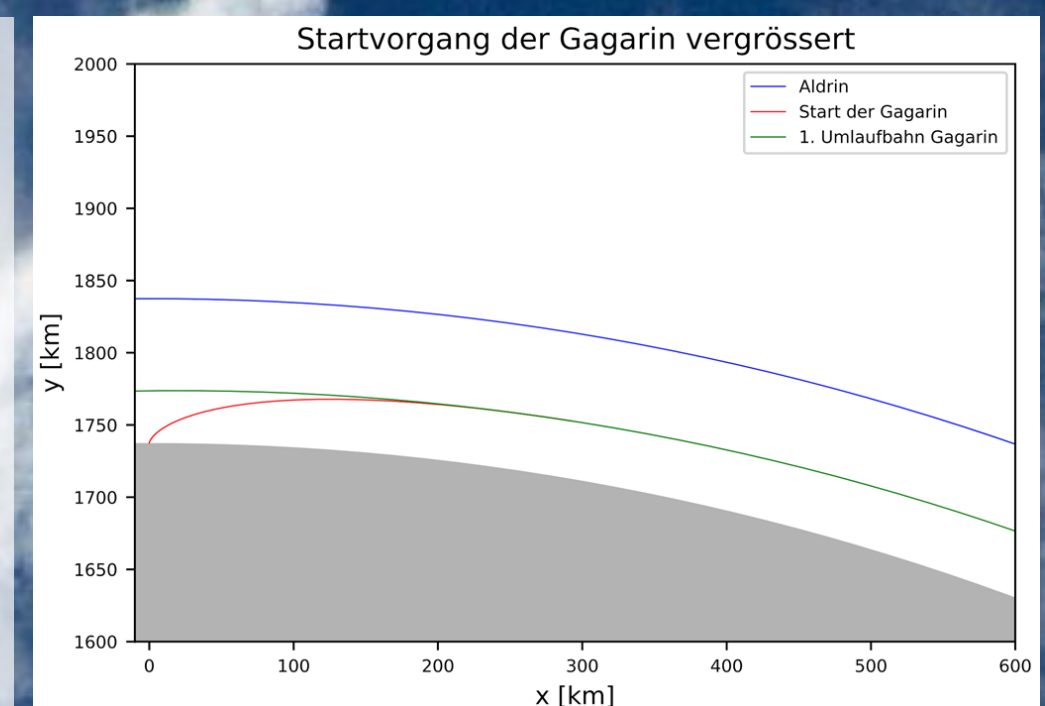
Das Programm hat nach Behebung aller Fehler wie erhofft funktioniert. Die Daten des Startes wurden sauber in mehreren Diagrammen dargestellt, die unter anderem zur Überprüfung der Plausibilität dieser Daten dienen.

Das ganze Rendezvousmanöver wurde abschliessend in einem Zeitplan festgehalten. Neben dem exakten Zeitpunkt und einer kurzen Beschreibung der wichtigsten Ereignisse, wurde jeweils auch noch die verbrauchte Treibstoffmenge notiert.

Vergleich mit Apollo 11:

Die einzigen Rendezvousmanöver in einer Mondumlaufbahn fanden bis jetzt während den Apollo Missionen statt. Ein Vergleich ist deshalb von grossem Interesse, um zu sehen ob die Werte plausibel sind und für welchen Anflug sich die Amerikaner in den 1970er Jahre entschieden haben. Ein Vergleich zeigt, dass die berechneten Werte plausibel sind und den Werten von Apollo 11 ähneln.

Die wichtigsten Unterschiede und Gemeinsamkeiten sind rechts kurz festgehalten:



- Der Startvorgang dauerte bei Apollo 11 knapp 15 s kürzer und die erste Umlaufbahn war exzentrischer als die erste Umlaufbahn der *Gagarin*.
- Die *Gagarin* zündete vom Start bis zum Rendezvous ihr Triebwerk vier mal, die Landefähre von Apollo 11 fünf mal.
- Die Manöver nach dem Start wurden alle mit dem „Reaction Control System“ (RCS) ausgeführt, nicht wie bei der *Gagarin* mit dem Haupttriebwerk.