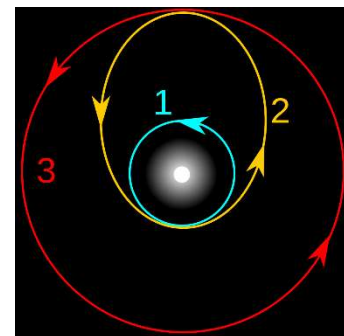


## Flüge zum Mars – eine echte Herausforderung

Die ersten - anfangs erfolglosen – Versuche, Raumsonden zum Mars zu schicken, reichen in die 1960er Jahre zurück. Nach und nach sammelte man immer mehr Erfahrungen und die technischen Ausrüstungen wurden besser, so dass nach einigen Vorbeiflügen schließlich 1971 mit der sowjetischen Sonde Mars 3 die erste weiche Marslandung gelang. Seitdem gab es eine Vielzahl weiterer mehr oder weniger erfolgreicher Marsmissionen. Die aktuellsten, derzeit parallel laufenden Missionen sind eine Sonde aus Dubai, die in einer Marsumlaufbahn klimatische Untersuchungen durchführt, eine chinesische Mission, die mit einem Rover den Marsboden untersucht und eine amerikanische Mission, die mittels Rover und Kleinhelikopter u.a. nach Biosignaturen sucht.

Die Vielzahl der in der Vergangenheit missglückten Mars Expeditionen zeigt, dass es, abgesehen von der Durchführung einer erfolgreichen Landung, gar nicht so einfach ist, einen Raumflugkörper zielgerichtet von der Erde zu einem anderen Himmelskörper zu befördern. Wenn wir uns auf der Erde mit einem Auto von A nach B bewegen wollen, geben wir heute den Zielort im Navi ein und erreichen diesen in der Regel z.B. auf dem kürzesten oder schnellsten Weg. Bei einer Reise zum Mars, funktioniert das natürlich nicht. Da ein Flug mit einer Rakete gewaltige Mengen an mitzuführendem Treibstoff (vor allem für die Startphase) benötigt, werden in der Regel möglichst energieeffiziente Flugbahnen gewählt. Um Treibstoff zu sparen, sollten beim Start sowohl der Impuls der Erdbewegung um die Sonne als auch der Drehimpuls durch die Erdrotation optimal genutzt werden (sh. dazu auch Newsletter Juli 2020 <sup>1</sup>). Zu berücksichtigen ist, dass sich der Mars während des Monate dauernden Anflugs auf seiner elliptischen Bahn um die Sonne weiterbewegt.

Einen energetisch günstigen Übergang zwischen Erd- und Marsbahn bietet der Hohmann-Transfer. Erste Ideen zu dieser Verfahrensweise gehen auf Ziolkowsky aus dem Jahr 1911 zurück und wurden 1925 von Hohmann optimiert. Die Hohmann-Bahn verläuft sowohl zur Ausgangs- als auch Zielbahn tangential, wobei an den Bahnübergängen jeweils ein Kraftstoß zur Geschwindigkeitsanpassung erforderlich ist (**Bild 1**). Nach dem Raketenstart wird die Sonde zunächst in eine Umlaufbahn um die Erde gebracht und bewegt sich mit dieser auf der blauen Bahn 1 um die Sonne. Im Schnittpunkt von 1 und 2 wechselt sie durch einen Schubimpuls in die Transfer-Ellipse. Im Schnittpunkt von 2 und 3, der sich in Opposition zur Abflugposition vom Erdorbit befindet, schwenkt die Sonde durch einen weiteren Schubimpuls in einen Orbit um den Mars ein und umrundet mit ihm die Sonne auf der roten Bahn 3. Je nach Missionsziel verbleibt sie dort oder landet auf der Marsoberfläche. Die Transferdauer (auf der halben Hohmann-Ellipse) beträgt etwa  $8 \frac{1}{2}$  Monate (vgl. auch Hohmann-Transfer zum Mond: [Newsletter Dezember 2020](#) <sup>3</sup>).

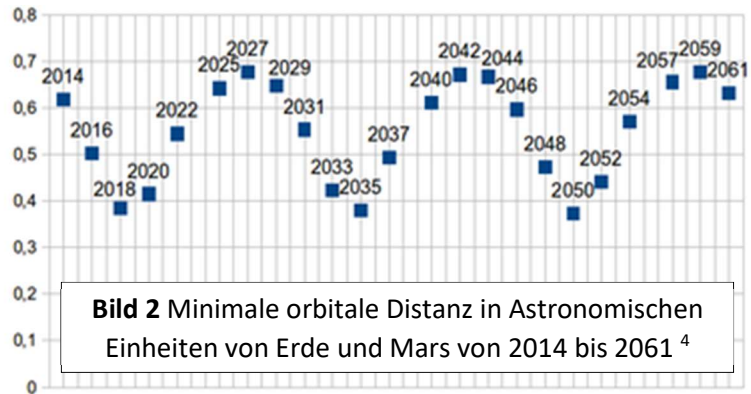


**Bild 1** Transfer Erde -> Mars mit 1 Erd-Umlaufbahn (blau), 2 Hohmann-Transfer-Ellipse (gelb) und 3 Mars-Umlaufbahn (rot) <sup>2</sup>

Durch Modifizierungen der Anflug-Ellipse können Kompromisse zwischen Flugdauer und Energieverbrauch erzielt werden. Der im August 2005 gestartete Mars Reconnaissance Orbiter benötigte durch eine leichte Streckung der Flugbahn und mehrere Kurskorrekturmanöver bei etwas höherem Treibstoffverbrauch nur 7 Monate für den Flug.

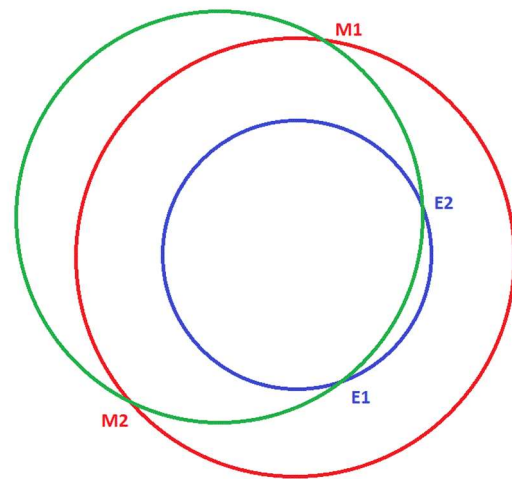
Durch die Bahnbewegungen von Mars und Erde sind keine beliebigen zeitlich und energetisch günstigen Transfers möglich. In Abbildung 1 sind die Planetenbahnen idealisiert dargestellt. Während die Erdbahn tatsächlich annähernd kreisförmig ist (Exzentrizität 0,0167), ist die Marsbahn merklich elliptischer (Exzentrizität 0,093). Für das System Erde-Mars beträgt die Synodische Periode (Zeitspanne zwischen aufeinanderfolgenden Zeitpunkten gleicher Stellungen des Mars zu Erde und Sonne) zwischen 764 und 811 Tagen. Daraus ergeben sich in Abständen von etwa 2 Jahren und 2 Monaten

günstige Startfenster (**Bild 2**). Die Schwankung der Zahlen hängt mit den o.g. Bahn-Exzentrizitäten zusammen. Etwa alle 15 Jahre tritt ein Minimum auf, bei dem der Energieverbrauch gegenüber dem Maximum halbiert ist. Für die unbemannten Marssonden wurde allerdings seit den 1990er Jahren jedes Startfenster genutzt. Ist ein Rückflug vom Mars zur Erde vorgesehen (bemannte Mission), wäre für den nächsten Hohmann-Rücktransfer eine Verweildauer auf dem Mars von ca. 500 Tagen einzuplanen, d.h. eine solche Mission würde insgesamt nahezu 3 Jahre dauern.

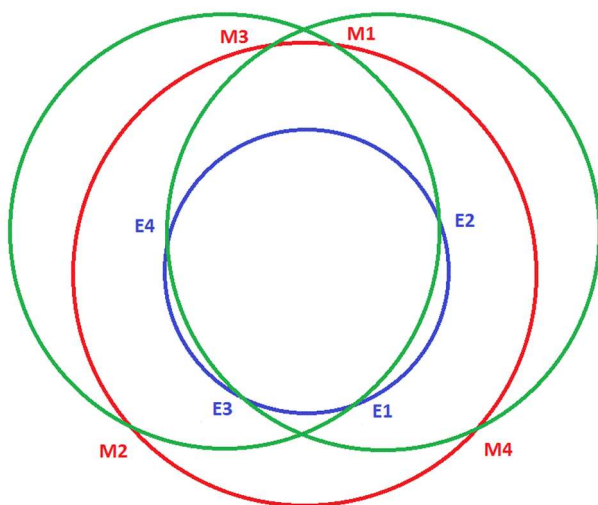


**Bild 2** Minimale orbitale Distanz in Astronomischen Einheiten von Erde und Mars von 2014 bis 2061 <sup>4</sup>

Außer den vorgenannten Transfermethoden werden in der Fachwelt weitere Varianten diskutiert. Besonders interessant ist eine Idee, die auf den Apollo 11-Astronauten Buzz Aldrin aus den 1980er Jahren zurückgeht. Die Grundidee besteht darin, eine Raumstation einzurichten, die zwischen Erd- und Marsorbit beständig hin und her pendelt. Dieses als „Cycler“ bezeichnete Habitat würde für einen regelmäßigen Transfer zum Mars viele Vorteile bieten. Einmal auf den Weg gebracht, würde diese Station über einen langen Zeitraum nur noch wenig Treibstoff für kleine Korrekturen benötigen. Für eine Vielzahl von Missionen könnte eine relativ große und komfortable Fähre zur Verfügung stehen, die über eine ausreichende Strahlungsabschirmung und künstliche Schwerkraft durch Eigenrotation verfügen könnte. Ein solcher Cycler könnte durch Wahl eines geeigneten zyklischen Orbits mit einer gegenüber dem Hohmann-Transfer auf ca. 5 Monate verkürzten



**Bild 3** Elliptische Umlaufbahn eines Mars-Cyclers (grün), der die Umlaufbahnen der Erde (blau) und des Mars (rot) kreuzt. Hinreise: E1-M1 / Rückreise: M1-E2 (nicht maßstabsgetreu) <sup>5</sup>



**Bild 4** Elliptische Umlaufbahnen zweier Mars-Cycler (grün). Hinreise: wie Abb. 3 / Rückreise: M3-E3 (nicht maßstabsgetreu) <sup>5</sup>

Reisezeit zum Mars auskommen (**Bild 3**). Allerdings würde eine Rückkehr mit der gleichen Fähre deutlich länger dauern. Um dieses Problem zu vermeiden, wäre ein zweiter Cycler mit einer gegenüber dem ersten spiegelbildlichen Bahn denkbar (**Bild 4**). Damit könnten Passagiere den jeweils kurzen Transit nutzen, während auf den langen Routen vor allem Frachtgut transportiert werden könnte. Bei Transfers mittels Cycler würden diese allerdings niemals in eine Mars- bzw. Erdumlaufbahn einschwenken, so dass der Transport zwischen Cycler und Planet jeweils von Shuttles mit Umstieg bzw. Umladen sowie entsprechenden Andockmanövern übernommen werden müsste.

Forscher mehrerer amerikanischer Institute, die sich mit der Ausarbeitung der vorgenannten Transfermethoden befassten, äußerten sich vor ca. 20 Jahren in einem Bericht für die NASA folgendermaßen<sup>6</sup>:

*"Wir glauben, dass diese regelmäßigen, planetaren Vorbeiflüge einen völlig neuen ökonomischen und philosophischen Zugang zur Erkundung des Weltraums eröffnen können. Zuverlässige und wiederverwendbare Pendler können der Schlüssel sein, um die Menschheit in das nächste Zeitalter der Erkundung, Expansion, Besiedlung und des multiplanetaren Handels zu befördern."*

Die Ideen von damals wurden zwar nicht fallen gelassen, aber ob sie einmal Wirklichkeit werden oder Science-Fiction bleiben, muss die Zukunft zeigen.

#### **Quellen:**

- <sup>1</sup> [https://astrowis.de/wp-content/uploads/Newsletter\\_2021\\_07.pdf](https://astrowis.de/wp-content/uploads/Newsletter_2021_07.pdf)
- <sup>2</sup> <https://de.wikipedia.org/wiki/Hohmann-Transfer>
- <sup>3</sup> [https://astrowis.de/wp-content/uploads/Newsletter\\_2020\\_12.pdf](https://astrowis.de/wp-content/uploads/Newsletter_2020_12.pdf)
- <sup>4</sup> [https://de.wikipedia.org/wiki/Bemannter\\_Marsflug](https://de.wikipedia.org/wiki/Bemannter_Marsflug)
- <sup>5</sup> [https://en.wikipedia.org/wiki/Mars\\_cycler](https://en.wikipedia.org/wiki/Mars_cycler)
- <sup>6</sup> <https://www.heise.de/tp/features/Pendelverkehr-zum-Mars-3423869.html>