

# Nukleare Antriebe für die Raumfahrt

Der Weltraum spielt eine entscheidende große Rolle für wissenschaftliche Entdeckungen und für die Nutzbarmachung wichtiger technischer Anwendungen auf der Erde von der satellitengestützten Navigation bis hin zur Kommunikation. Seine diesbezügliche Bedeutung wird in Zukunft sogar noch steigen. Dazu kommen inzwischen Vorhaben für bemannte Missionen zum Mars sowie Landungen von Sonden auf noch deutlich weiter entfernten Planeten oder Asteroiden in unserem Sonnensystem. Vor allem für die letztgenannten Vorhaben sind die Energieeffizienz der Antriebstechnik und die damit erreichbaren Geschwindigkeiten von entscheidender Bedeutung. In diesem Zusammenhang gibt es inzwischen konkrete Forschungs- und Entwicklungsmaßnahmen zur Realisierung nuklearer Antriebe, welche insbesondere die derzeit dominierenden chemischen Raketenantriebe ersetzen bzw. ergänzen sollen. Erste Testmissionen solcher Systeme in den erdnahen Orbit (LEO) und in die Erde-Mond-Umlaufbahn könnten schon in einigen Jahren realisierbar sein.

Antriebe in der Raumfahrt basieren derzeit neben den chemischen Treibstoffen auch auf elektrischer bzw. solarer Energie. Bei den bisher bereits eingesetzten elektrischen Antrieben handelt es sich insbesondere um sogenannte Ionentriebwerke, bei denen ein ionisiertes Treibmittel durch ein angelegtes elektrisches Feld beschleunigt wird und wegen der Impulserhaltung (Rückstoß) Vortrieb erzeugt. Hier gibt es Konzepte, die benötigte elektrische Energie nuklear zu gewinnen und damit die Vortriebsleistung wesentlich zu erhöhen. Der Vorteil solcher Nuklearelektrischer Antriebe (NEP) gegenüber der solarelektrischen Stromerzeugung liegt neben der höheren Leistungsausbeute auch in der Unabhängigkeit von direkter Sonneneinstrahlung, was insbesondere den Transport schwerer Fracht mit langen Zeitvorgaben (z. B. Mondnachtmanagement) und die Exploration jenseits der Marsumlaufbahn ermöglicht. Allerdings haben NEP-Systeme einen geringen Schub und sind daher ideal für Missionen, bei denen es nicht auf Geschwindigkeit, sondern auf Dauer ankommt. Schließlich erfordert der Einsatz

von NEP-Subsystemen z. B. für eine Marsmission die Entwicklung eines kompatiblen chemischen Antriebs, der den primären Schub beim Verlassen der Erdumlaufbahn sowie beim Ein- und Austritt in die bzw. aus der Marsumlaufbahn liefern kann.

Schlagzeilen gab es in letzter Zeit hauptsächlich im Zusammenhang mit der Entwicklung sogenannter Nuklearthermischer Antriebe (NTP) für die Raumfahrt. Der Unterschied zwischen einem nuklearen Raketentriebwerk und einer chemischen Rakete besteht darin, dass bei einer chemischen Rakete die Wärmeenergie aus der Verbrennung des Treibstoffs mit einem gesondert mitzuführenden Oxidationsmittel in einer Brennkammer stammt, während bei einem nuklearen Raketentriebwerk die Wärmeenergie aus einer Kernreaktion stammt. Diese Wärmeenergie wird dann auf ein Gas übertragen, das durch geeignete Düsen austritt und durch den Rückstoß den Vortrieb erzeugt.

Chemische Raketen haben eine begrenzte Austrittsgeschwindigkeit der Verbrennungsgase, weil alle chemischen Treibstoffe nur eine bestimmte Energie pro Masse freisetzen können. Da die Treibstoffeffizienz mit abnehmendem Molekulargewicht des Treibstoffs zunimmt, liegt der Vorteil des nuklearen gegenüber dem chemischen Raketenantrieb auch in der freien Wahl des Treibstoffs. Das Mittel der Wahl ist hier reiner Wasserstoff mit seiner niedrigen Molekülmasse. Für Kernantriebe wird auch kein hochmolekularer Oxidator benötigt. Außerdem haben chemische Raketen einen hohen Treibstoffverbrauch, da sie eine langsame Ausströmgeschwindigkeit der Verbrennungsgase haben, d. h. sie müssen eine größere Menge Treibstoff an Bord mitführen.

Nukleare Reaktoren zur Energieerzeugung wurden bereits seit den 1950er-Jahren in der UdSSR und den USA für Versuchs- und Verteidigungssatelliten in niedrigen Erdumlaufbahnen eingesetzt. Für Antriebszwecke sind sie in der Raumfahrt aber noch nicht zum Einsatz gekommen, obwohl sie hier schon lange als eine der vielversprechendsten Antriebstechnologien für interplanetare Missionen gelten, die mit chemischen Antrieben allein nicht realisier-

bar sind. Sie wurden identifiziert, um die Menschheit allein oder in Kombination mit chemischen Antriebssystemen zum Mars und zu entfernten Zielen im solaren und extrasolaren System zu bringen. Sie haben das Potenzial, die Reisezeiten im Vergleich zu rein nichtnuklearen Konzepten erheblich zu verkürzen und damit auch die mit der Weltraumstrahlung verbundenen Risiken drastisch zu verringern.

Derzeit befinden sich nukleare Antriebe für die Raumfahrt noch in verschiedenen Entwicklungsstadien. Bis zu ihrer Einsetzbarkeit sind noch viele technische Herausforderungen zu meistern. So soll der Wasserstoff am Reaktorausgang eines NTP-Systems für die Dauer jedes Brennvorgangs auf mehr als 2.400 Grad Celsius erhitzt sein, mit allen damit verbundenen Anforderungen an die verwendeten Werkstoffe. Gleichzeitig besteht die Notwendigkeit, flüssigen Wasserstoff bei ungefähr -253 Grad Celsius mit minimalen Verlusten im Weltraum langfristig zu lagern. Weil die anvisierten interplanetaren Missionen der Zukunft wahrscheinlich auf die Realisierung nuklearer Antriebe angewiesen sein werden, gibt es diesbezüglich inzwischen erhebliche internationale Anstrengungen. So hat die NASA in Zusammenarbeit mit der DARPA das Programm DRACO (Demonstration Rocket for Agile Cislunar Operations, dt.: Transport großer Nutzlasten im Weltraum zwischen Erde und Mond) zur Erforschung nuklearer Antriebe gestartet, um einen nuklearthermischen Antrieb zu entwickeln, der bereits 2027 in einer Weltraumdemonstration fliegen soll. Neben den Bemühungen der USA, Russlands und Chinas, nukleare Energiequellen für den Weltraum zu entwickeln, hat auch die Europäische Weltraumorganisation ESA mehrere Studien über den Einsatz von Nuklearantrieben (NTPs und NEPs) initiiert.

Inwieweit nukleare Antriebe nach ihrer erfolgreichen Nutzbarmachung für die geplanten translunaren Missionen dann auch für den Einsatz in erdnahen Missionen geeignet sind bzw. ausgewählt werden, ist allerdings heute noch offen.

**Dr. Evgenia Lieder, Jürgen Kohlhoff**