

# Green Space Propulsion

Für Raumfahrtantriebe werden typischerweise hochreaktive Hydrazin-basierte Treibstoffe, oft einfach als Hydrazin bezeichnet, eingesetzt. Die aggressiven Abgase von Hydrazin sind extremst umweltschädigend und tragen deutlich zum Klimawandel bei. Außerdem ist Hydrazin hochgiftig und der Kontakt für Menschen ätzend sowie krebserregend. Daher hat die Europäische Chemikalienagentur (ECHA) der EU Hydrazin auf die Liste besorgniserregender Stoffe aufgenommen. Zusätzlich steht auch noch ein möglicher Erlass einer neuen Rechtsvorschrift in der EU bezüglich einer eingeschränkten Verwendung oder einem Verbot von Hydrazin als Treibstoff bevor, was eine Schwächung der Wettbewerbsfähigkeit zur Folge hätte. Unter dem Begriff Green Space Propulsion wird daher intensiv nach alternativen Antriebskonzepten für die Raumfahrt gesucht. Eine herausragende Rolle als Alternative zum herkömmlichen Hydrazin spielen hier sogenannte Green Space Propellants, die heute unterschiedliche Technologie-Reifegrade haben und punktuell auch bereits eingesetzt werden.

Green Space Propellants sind umweltfreundliche Treibstoffe für Raumfahrtantriebe, die den negativen Einfluss auf die Atmosphäre durch ein geringes Toxizitätsniveau reduzieren und somit auch ihren Beitrag zum Klimaschutz leisten können. Des Weiteren sind Green Space Propellants im Vergleich zum Hydrazin sicherer sowie einfacher zu handhaben und minimieren zusätzlich die Sicherheitsanforderungen bei der Herstellung, Lagerung und dem Transport. Auch die komplexen Vorkehrungen bei Tankvorgängen werden sowohl einfacher als auch schneller und führen zu geringeren Betriebskosten. Der Verbrennungsvorgang in der Brennkammer eines Antriebs mit Green Space Propellants läuft ähnlich ab wie beim herkömmlichen Hydrazin. Auch hier werden Gase und Energie nach kontrollierter Zündung z. B. mit einem Katalysator freigesetzt. Die Reaktionsprodukte führen zu einem extrem hohen Druck- und Temperaturanstieg und erzeugen den erforderlichen Schub. Durch die Auswahl

chemisch umweltfreundlicher Bestandteile im Green Space Propellant entstehen nur geringe, bestenfalls keine schädlichen Abgase im Betrieb. Zu den Green Space Propellants gehören insbesondere Ammoniumdinitramid (ADN)- und Hydroxylammoniumnitrat (HAN)-basierte Treibstoffe, hochkonzentriertes Wasserstoffperoxid oder Lachgas-Brennstoff-Mischungen. Mit dem Begriff elektrolytisches Water Propulsion verbindet sich außerdem eine Technik, mit der an Bord als „Treibstoff“ mitgeführtes Wasser elektrolytisch in Wasserstoff und Sauerstoff zerlegt wird, welche dann für den Antrieb genutzt werden. Untereinander unterscheiden sich die Green Space Propellants z. B. bezüglich ihrer Leistungsparameter, ihrer Verträglichkeit mit den Materialien der Antriebskomponenten, ihrer Verbrennungstemperatur, ihres Technologie-Reifegrads und der Zündmethode.

Green Space Propellants sind überall dort potenziell einsetzbar, wo grundsätzlich Treibstoffe wie das herkömmliche Hydrazin für Raketen- und Satellittriebwerke verwendet werden. Dabei könnten sie für einen Raketenstart oder für notwendige Kurskorrekturen in der Flugphase einer Rakete Anwendung finden. Des Weiteren könnten sie für Satellittriebwerke zur präzisen Bahn- und Lageregelung eingesetzt werden, um z. B. eine Kollision mit Weltraummüll oder Fremdbjekten zu vermeiden. Zusätzlich haben Green Space Propellants effizientere Leistungskennwerte, die verbesserte sowie neue Missionsanwendungen erlauben.

Die Prozesskette bestehend aus der Entwicklung, einer möglichst klimaneutralen und wirtschaftlichen Herstellung und der realen Prüfung z. B. der Leistungsfähigkeit oder Materialverträglichkeit eines Green Space Propellants auch unter Weltraumbedingungen stellt die größten Herausforderungen dar. Diesbezüglich besitzen die umweltfreundlichen Treibstoffkombinationen einen unterschiedlichen Technologie-Reifegrad. Feste ADN-basierte Treibstoffe existieren bereits schon seit den 1970er-Jahren und wurden schon erfolgreich z. B. für militärische Raketen eingesetzt. Die Entwicklung von flüssigen

ADN-basierten Treibstoffen wurde in den letzten Jahrzehnten ebenfalls vorangetrieben, sie sind sogar aktuell in mehreren Satellittriebwerken in Anwendung. Die flüssigen HAN-basierten Treibstoffe werden seit etwa 30 Jahren untersucht und zeigen eine potenzielle Einsetzbarkeit für Satellittriebwerke. Dabei zeigen aktuelle Forschungsergebnisse eines Satelliten, befüllt mit einem HAN-basierten Treibstoff, eine viel bessere Manövrierbarkeit, eine längere Missionsdauer und die Möglichkeit der Erhöhung der Nutzlastkapazität. Seit den 1960er-Jahren ist das hochkonzentrierte Wasserstoffperoxid als potenzieller Treibstoff für Raketen bekannt, konnte sich aber bis dato aufgrund einer Zersetzungsgefahr initiiert durch inkompatible Materialien im Antrieb und einer hohen Explosionsgefahr nicht durchsetzen. Das hochkonzentrierte Wasserstoffperoxid befindet sich noch in einem frühen Entwicklungsstadium und bietet aktuell daher keine ernst zu nehmende Alternative zum herkömmlichen Hydrazin. In den letzten Jahren gab es rege Forschungsaktivitäten an vorgemischten Lachgas-Brennstoff-Mischungen als vielversprechende Treibstoffkandidaten besonders für Satelliten. Da aber solche Treibstoffmischungen z. B. eine extrem hohe Explosionsgefahr und ein aggressives Materialverhalten durch zu hohe Verbrennungstemperaturen aufweisen, wird eine hochwertige Lachgas-Brennstoff-Mischung noch erhebliche Zeit bis zu einem potenziellen Einsatz in Anspruch nehmen und ist jetzt noch nicht absehbar. In den 1960er-Jahren entwickelt und nie eingesetzt, ist das elektrolytische Water Propulsion derzeit Fokus zahlreicher Forschungstätigkeiten, um diese Technik bald auch für Satellitenantriebe verwendbar zu machen.

Insgesamt kann damit davon ausgegangen werden, dass Green Space Propellants für die unterschiedlichsten Raumfahrtantriebe in den nächsten Jahren immer mehr an Bedeutung gewinnen und auch in Zukunft den Zugang zum Weltraum sichern werden.

**Dr. Baycan Yildirim**