

Antwort

der Bundesregierung

**auf die Kleine Anfrage der Abgeordneten Mario Brandenburg (Südpfalz), Katja Suding, Dr. Jens Brandenburg (Rhein-Neckar), weiterer Abgeordneter und der Fraktion der FDP
– Drucksache 19/17482 –**

Sonnensegel als Antrieb im Weltall

Vorbemerkung der Fragesteller

Für die Raumfahrt der Zukunft spielt die Verwendung und Erforschung neuer Antriebstechnologien eine wichtige Rolle. Die konventionelle Raumfahrt ist immer noch äußerst ressourcen- und kostenintensiv. Hinzu kommt, dass bestimmte Raummissionen wie das Erreichen bestimmter Lagrange-Punkte (Punkte im All, in denen Satelliten antriebsfrei die Erde umkreisen und beispielsweise die Sonne beobachten können) derzeit entweder sehr kostspielig oder aus Kostengründen fast nicht möglich sind, weil zu viel Treibstoff benötigt würde. Raummissionen werden allerdings nach Ansicht der Fragesteller immer wichtiger für die technische Entwicklung unserer Gesellschaft. Damit die Raumfahrt ihr volles Potential erreichen kann, ist die Entwicklung umweltfreundlicherer und kostengünstigerer Treibstoffe nach Ansicht der Fragesteller unerlässlich. Sonnensegel stellen auf diesem Gebiet eine innovative neue Lösung dar, die international immer mehr Aufmerksamkeit bekommt.

Mit dem Satellit LightSail-2 ist es der Planetary Society zum ersten Mal gelungen, die Bahnhöhe eines Satelliten zu verändern, ohne dabei mitgeführten chemischen Treibstoff zu verwenden (https://www.spektrum.de/news/segeltoern-durchs-sonnensystem/1667370?utm_medium=newsletter&utm_source=sdw-nl&utm_campaign=sdw-nl-daily&utm_content=heute). Stattdessen wurden für Lightsail-2 Sonnensegel als Antriebstechnologie benutzt. Diese Technologie ermöglicht es auf Grund neuerer Entwicklungen in der Nanotechnologie, den Impuls von Photonen, die durch die Sonne ausgestrahlt werden, einzufangen und diesen in Schubkraft umzuwandeln. In Zukunft könnten sogar bemannte Missionen mit der Hilfe von Sonnensegeln realisiert werden, und es können längere Strecken, beispielsweise zu Planeten oder Asteroiden, durchgeführt werden. Die Beschleunigung eines Sonnensegels baut sich nur langsam auf, könnte aber theoretisch beschleunigt werden, wenn das Sonnensegel mit anderen Antriebstechnologien wie etwa einem mit Photovoltaik betriebenen Ionenantrieb kombiniert wird. Die theoretischen Verwendungsmöglichkeiten von Sonnensegeln sind vielfältig und noch zum großen Teil unerforscht. Allerdings werden Technologien, die ebenfalls auf entfaltbaren Segeln beruhen, derzeit in Deutschland für das De-orbiten von Satelliten zur Vermeidung von Weltraumschrott entwickelt. Derartige Entwicklungen lassen sich in

einen allgemeinen Trend, hin zu entfaltbaren Strukturen, einordnen. Eine konkrete Langzeitmission zur Validierung von industriell orientierten Sonnensegeln wurde in Europa noch nicht realisiert.

Wie eine vom Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi) in Auftrag gegebene Studie von 2015 bis 2016 ergeben hat, werden in Europa vor allem etablierte Projekte und Unternehmen unterstützt, während es Newcomer mit neuen Ideen schwer haben (https://www.bmwi.de/Redaktion/DE/Publikationen/Studien/bmwi-new-space-geschaeftsmodelle-an-der-schnittstelle-von-raumfahrt-und-digitaler-wirtschaft.pdf?__blob=publicationFile&v=9). Aus der Studie geht ebenfalls hervor, dass es im Bereich „New Space“ noch keine ambitionierten Großprojekte in Europa gibt. Die Rolle, die Deutschland und Europa in der Raumfahrt spielen werden, wird nach Ansicht der Fragesteller allerdings im Wesentlichen davon abhängen, inwiefern es der deutschen Forschung und Industrie gelingt, eine Vorreiterrolle bei Zukunftstechnologien wie dem Sonnensegel einzunehmen. Verschiedene Raumfahrtbehörden und Forschungsinstitute und Forschungsgesellschaften wie etwa die NASA oder die Russian Academy of Science sind bereits an Projekten zur Entwicklung von Sonnensegeln beteiligt.

Die Fragesteller sehen in der Anwendung von Sonnensegeln im Bereich Raumfahrt großes Potential. Nicht nur für den Wirtschaftsstandort Deutschland, auch für eine visionäre Raumfahrtforschung ist es wichtig, dass wir über aktuelle Antriebstechnologien im Weltall hinausschauen und Forschungsthemen zeitnah mit der Industrie verwirklichen.

1. Welche Antriebstechnologie in der Raumfahrt ist nach Schätzung der Bundesregierung am wichtigsten für die Raumfahrt der Zukunft?

Die wichtigste Antriebstechnologie im Weltall sind elektrische Raumfahrtantriebe wie Ionen- und Plasmaantriebe. Für Anwendungen in der astronautischen Raumfahrt und Exploration bleiben in naher Zukunft weiterhin chemische sowie elektrische Antriebe von herausragender Wichtigkeit.

Mittelfristig werden für ambitioniertere astronautische und Explorationsmissionen auch auf Nukleartechnik basierende Antriebe von Bedeutung sein. Dazu findet in Deutschland derzeit jedoch keine Forschung statt.

Um ins Weltall bzw. in Erdumlaufbahnen zu gelangen, bleiben weiterhin die bisherigen chemischen Antriebssysteme für Raketen von unverändert hoher Bedeutung.

Für die Nutzung von Sonnensegeln gilt: Der solare Strahlungsdruck im Weltall ist sehr gering und benötigt daher extrem große Flächen zur Ausnutzung des Photonendrucks, um ausreichenden Schub zu erzeugen. Neben den geeigneten Folien (Reißfestigkeit, Härtung gegen radioaktive Strahlung und Mikrometeoriteneinflüsse) wird auch ein geeigneter Mechanismus zur Entfaltung und stabiler Lagehaltung großer Strukturen bei möglichst geringem Gewicht benötigt. Zum Transport größerer Nutzlasten im Weltraum, über sinnvolle Zeiträume hinweg, sind chemische bzw. nuklear-elektrische Antriebe technologisch machbare Lösungen. Dies gilt auch für die astronautische Raumfahrt.

- a) Ist diese Technologie nach Kenntnisstand der Bundesregierung bereits auf dem Markt?

Elektrische Raumfahrtantriebe sind bereits auf dem Markt. Deutsche Produkte stehen kurz vor dem Markteintritt.

- b) Wie viele Unternehmen arbeiten nach Kenntnisstand der Bundesregierung in Deutschland an dieser Technologie?

Nach Kenntnis der Bundesregierung arbeiten mindestens sechs Unternehmen in Deutschland an elektrischen Raumfahrtantrieben.

- c) Wie viele Forschungsprojekte gibt es nach Kenntnisstand der Bundesregierung in Deutschland zu dieser Technologie?

Aktuell werden acht Vorhaben zu elektrischen Raumfahrtantrieben über den Förderbereich „Nationales Programm für Weltraum und Innovation“ gefördert, fünf weitere sind in Planung. Zusätzliche Bundesmittel fließen in Projekte der ESA-Programme GSTP und ARTES. Die EU fördert über das Forschungsrahmenprogramm Horizon 2020 weitere Projekte mit deutscher Beteiligung aus Industrie und Forschung.

2. Wie hoch ist die Förderung für nicht marktreife Technologien im Bereich Luft- und Raumfahrt in Deutschland nach Kenntnisstand der Bundesregierung, aufgeteilt nach Förderbetrag für Forschungsinstitute und Industrie?

Der Förderbetrag aus dem Nationalen Raumfahrtprogramm für nichtmarktreife Technologien belief sich im Jahr 2019 auf ca. 90 Mio. Euro für Forschungsinstitute und ca. 20 Mio. Euro für die Industrie. Im Rahmen ihrer Grundfinanzierung beschäftigen sich auch außeruniversitäre Forschungsorganisationen/-einrichtungen mit nicht marktreifen Technologien im Bereich der Luft- und Raumfahrt.

3. Wie hoch ist die Förderung von Sonnensegeln als Antriebstechnologie in Deutschland nach Kenntnisstand der Bundesregierung?

Das Projekt Gossamer wurde über die institutionelle Grundfinanzierung des DLR mit rund 4,5 Mio. Euro gefördert (siehe auch die Antwort zur Frage 6).

4. Ist die Bundesregierung der Ansicht, dass es sich bei Sonnensegeln als Antrieb im Weltall um eine Schlüsseltechnologie für die Raumfahrt der Zukunft handelt?

Diese Technologie hat nach Kenntnis der Bundesregierung noch nicht den nötigen Reifegrad erlangt, um eine verlässliche Beurteilung des zukünftigen Entwicklungspotenzials vornehmen zu können.

- a) Wie lange wird es nach Einschätzung der Bundesregierung noch bis zur Markteinführung von Sonnensegeln dauern?

Daher kann auch keine realistische Zeitdauer bis zur Markteinführung geschätzt werden. Für Telekommunikationssatelliten sind Sonnensegel unabhängig vom technologischen Reifegrad keine Schlüsseltechnologie, da sie für die meisten Einsatzszenarien grundsätzlich nicht sinnvoll sind.

- b) Wenn ja, wie beurteilt die Bundesregierung die Wettbewerbsfähigkeit Deutschlands im Vergleich zu den USA und der Volksrepublik China in diesem Bereich?

Der Bundesregierung sind in Deutschland zurzeit keine Unternehmen bekannt, die ein Marktpotenzial für die Entwicklung von Sonnensegeln als Antrieb se-

hen. Ein gesicherter Vergleich der Wettbewerbsfähigkeit ist daher nicht möglich.

- c) Wenn ja, was beabsichtigt die Bundesregierung zu unternehmen, damit wir in dieser Technologie nicht den Anschluss an die internationale Konkurrenz verlieren?

Aufgrund des fehlenden Bedarfs investiert Deutschland nicht unmittelbar in die Entwicklung dieser Technologie. Schlüsselentwicklungen werden jedoch gefördert, z. B. extrem leichte, sehr steife und aufrollbare Masten aus kohlefaserverstärktem Kunststoff (CFK), die bei zukünftigen Weltraummissionen als Basisstrukturen für Sonnensegel dienen können; entfaltbare Segel für das De-Orbiting von Satelliten; Dünnschichtsolarzellen für kombinierte Lösungen mit elektrischen Antrieben. Der Fortschritt dieser Entwicklungen ist Voraussetzung für eine zukünftige Entwicklung von Sonnensegeln.

- d) Wenn nein, welche Evidenz kann die Bundesregierung für die These vorweisen, dass es sich bei Sonnensegeln nicht um eine Schlüsseltechnologie für die Raumfahrt der Zukunft handelt?

Aus heutiger Sicht handelt es sich bei Sonnensegeln nicht um eine Schlüsseltechnologie für die Raumfahrt der Zukunft. Es ist nicht zu erwarten, dass sich zu dieser Technologie in absehbarer Zukunft ein „New Space“-Markt entwickelt. Die Einsatzgebiete für Sonnensegel liegen im Bereich der Langzeitexploration, z. B. Deep-Space-Missionen, die nicht den New-Space-Bereich berühren. Gleichwohl könnte die Technologie von entfaltbaren Strukturen in der Entwicklung großflächiger Satellitenantennen, z. B. für die Radar-Satelliten-Mission Tandem-L, zum Einsatz kommen.

5. Welche Möglichkeit sieht die Bundesregierung für die Kombination von Sonnensegeln und Solartechnologie als Antriebstechnologie im Weltall?

Nach Kenntnis der Bundesregierung können etwaige zukünftige Möglichkeiten nach heutigem technologischem Stand noch nicht verlässlich beurteilt werden.

6. Welche Forschungsprojekte gibt es nach Kenntnis der Bundesregierung zu Sonnensegeln in Deutschland oder unter deutscher Beteiligung?

Das DLR erforscht am Institut für Faserverbundleichtbau und Adaptronik in Braunschweig Mechanismen zur Entfaltung und Lagehaltung von Sonnensegeln sowie am Institut für Raumfahrtsysteme in Bremen geeignete Folien und Mechanismen zur Entfaltung und Lagehaltung. Im Vorhaben Gossamer, bei dem ein Solarsail gebaut werden sollte, wurde die Entfaltung eines Segels im Labor nachgewiesen.

Im aktuellen Vorhaben GoSolar soll, ähnlich wie bei Gossamer, eine großflächige entfaltbare Struktur aufgespannt und als Photovoltaikenergiequelle für die Energieversorgung von Satelliten genutzt werden. Diese Struktur soll die schweren Solarpanels an Satelliten ersetzen. Diese Technologie könnte eventuell als Secondary Payload auf einem nationalen Kompaktsatelliten mitfliegen. Allerdings handelt es sich bei diesem Vorhaben nicht um die (Weiter-)Entwicklung eines Sonnensegels, das als Antriebsquelle im Weltraum genutzt werden soll.

7. Wie beabsichtigt die Bundesregierung, den Technologietransfer von Forschung zu Wirtschaft im Bereich der Raumfahrttechnologie zu verbessern?

Die Bundesregierung verfügt über verschiedene Initiativen und Instrumente, die durch das DLR-Raumfahrtmanagement umgesetzt werden. Zum einen verbessern Initiativen wie INNOspace und „Raumfahrt bewegt!“ den Wissens- und Technologietransfer. INNOspace fördert den branchenübergreifenden Transfer über verschiedene Formate: die INNOspace Konferenzen und Workshops, die branchenübergreifenden Kooperationsnetzwerke (Space2Agriculture, Space2Motion) und den INNOspace Masters Ideenwettbewerb (mit Industriepartnern wie Airbus, OHB und DB Netz). In all diesen Formaten sind die Vernetzung und der Transfer zwischen Forschung und Wirtschaft ein wesentlicher Bestandteil.

Zum anderen werden die Verwertung von Forschung und Entwicklung sowie die Kommerzialisierung von Raumfahrttechnologien und -diensten gefördert. Ein wichtiges Instrument ist hierfür das „ESA Business Applications Programme“, das Raumfahrtdienste in den Markt bringt. Mit den Mitteln, die für die „ESA Business Incubation Centres“ (BICs) in Deutschland bereitgestellt werden, wird der Transfer von Forschungsergebnissen in die Wirtschaft durch die Unterstützung von Startups gefördert. Auf der letzten ESA-Ministerratskonferenz 2019 wurden die Zeichnungen dieser marktnahen ESA-Programme von Deutschland deutlich gestärkt.

8. Wie hoch schätzt die Bundesregierung die potentielle Energieeinsparung durch den Einsatz von Sonnensegeln als Antriebstechnologie prozentual im Vergleich zu mitgeführtem Treibstoff ein?

Eine verlässliche Beurteilung ist nach heutigem Stand noch nicht möglich; zumindest im Bereich Telekommunikationssatelliten gäbe es keine relevanten Einsparungen, da auf chemische und/oder elektrische Antriebe nicht verzichtet werden kann.

9. Wie hoch ist nach Kenntnisstand der Bundesregierung der Kostenanteil für mitgeführten chemischen Treibstoff an den Gesamtkosten von Weltraummissionen?

Der überwiegend verwendete chemische Treibstoff für Telekommunikationssatelliten ist Hydrazin; die Kosten für eine Befüllung des Satelliten am Startplatz belaufen sich auf ca. 2 Mio. Euro für große GEO-Satelliten der Gewichtsklasse 3 bis 6 Tonnen. Dies entspricht ca. 1 bis 2 Prozent des Wertes des Gesamtsatelliten. Dabei entfällt jedoch nur ein geringerer Teil auf den Treibstoff selbst, da Hydrazin hochgiftig und in Verbindung mit Oxidationsmitteln hochexplosiv ist – die Befüllung von Satelliten am Startplatz ist entsprechend aufwändig. Viele Telekommunikationssatelliten nutzen, teilweise oder ganz, elektrische Antriebe basierend auf Edelgasen. Hier liegen die Preise für eine Befüllung zwischen weniger als 100.000 Euro und einigen 100.000 Euro, je nach Größe des Satelliten.

Bei einem Raketenstart machen die Treibstoffe zwar den Großteil der Startmasse (ca. 80 Prozent oder mehr) aus, sind kostenmäßig aber relativ unbedeutend. Bei Flüssigkeitsraketen liegt der Kostenanteil im niedrigen einstelligen Prozentbereich, bei Raketen mit Feststoffantriebsstufen im höheren einstelligen Prozentbereich. Eine Ariane 64 mit vier Feststoffboostern trägt so z. B. Treibstoff für etwa 8 bis 9 Mio. Euro mit sich. Vergleicht man dies mit den Gesamt-

missionskosten von normalerweise mehreren hundert Millionen Euro, die eine solche Großrakete starten kann, so sind die Treibstoffkosten anteilmäßig eher von untergeordneter Bedeutung.

10. Wie stark können diese Kosten nach Schätzung der Bundesregierung durch die Verwendung von Sonnensegeln gesenkt werden?

Es wird auf die Antwort zu Frage 9 verwiesen.

11. Wann schätzt die Bundesregierung, dass bemannte Raumfahrten mit Sonnensegeln als Antriebstechnologie möglich sein werden?

Aufgrund der geringen Reife dieser Technologie lässt sich derzeit keine verlässliche Schätzung des Einsatzes in der astronautischen Raumfahrt abgeben.

12. Gibt es in Deutschland nach Kenntnisstand der Bundesregierung interdisziplinäre Forschungsprojekte an der Schnittstelle zwischen Nanotechnologie und Luft- und Raumfahrttechnik?
 - a) Wenn ja, welche?
 - b) Wenn nein, beabsichtigt die Bundesregierung, solche Projekte zu fördern, und wenn ja, wie?

Ja, z. B. die Entwicklung von Nutzlast-Prozessoren (Computern) bzw. entsprechenden Halbleiter-Chips. Im DLR wird z. B. im Institut für Faserverbundleichtbau und Adaptronik in Braunschweig durch die Konditionierung von Harzen mit nanoskaligen Partikeln deren Brandeigenschaften, elektrische Leitfähigkeit und Prozessierbarkeit entscheidend verbessert. Darüber hinaus werden dort weitere Funktionswerkstoffe mit sensorischen und aktuatorischen Eigenschaften für die Integration in adaptive Verbundstrukturen erschlossen. Das Arbeitsgebiet des Instituts erstreckt sich dabei von sehr grundsätzlichen Untersuchungen im Bereich der Carbon Nano Tubes (CNT's) bis zur Entwicklung serienreifer Piezokomposite in Zusammenarbeit mit Industriepartnern.

13. Wie viele Unternehmensgründungen gab es nach Kenntnisstand der Bundesregierung im Bereich Luft- und Raumfahrttechnologie in den letzten fünf Jahren und in den letzten zehn Jahren?

Nach Kenntnisstand der Bundesregierung gab es in den letzten fünf Jahren im Bereich Raumfahrttechnologie 49, in den letzten zehn Jahren 56 Unternehmensgründungen.

- a) Welcher Anteil der Förderung für diese Unternehmen kam nach Kenntnis der Bundesregierung aus dem Inland und welcher aus dem Ausland?

Der Anteil der Förderung für diese Unternehmen aus dem Nationalen Programm für Weltraum und Innovation betrug rund 2 Prozent der Projektmittel der letzten zehn Jahre. Über Förderungen dieser Unternehmen aus dem Ausland liegen der Bundesregierung keine gesicherten Kenntnisse vor.

- b) Welcher Anteil der Förderung für diese Unternehmen ist nach Kenntnis der Bundesregierung privates Kapital und welcher staatliches Kapital?

Der Anteil der Förderung für diese Unternehmen aus dem Nationalen Programm für Weltraum und Innovation lag im Durchschnitt bei rund 60 Prozent staatlichen Kapitals in den letzten zehn Jahren.

- c) Welcher Anteil dieser Unternehmen beabsichtigt nach Kenntnis der Bundesregierung Sonnensegel als Antriebstechnologie zu verwenden oder daran zu forschen?

Der Bundesregierung sind von diesen Unternehmen in Deutschland keine bekannt, die dies beabsichtigen.

14. Wie viele Patentanmeldungen bzw. Patente gibt es nach Kenntnis der Bundesregierung in Deutschland im Bereich Sonnensegel (bitte nach Patentanmeldungen aus Forschungsinstituten und der Industrie getrennt ausweisen)?

Im Bereich Sonnensegel sind mit Wirkung für die Bundesrepublik Deutschland aktuell 14 anhängige Patentanmeldungen von Anmeldern aus Deutschland sowie 13 in Kraft befindliche Patente von Inhabern aus Deutschland bekannt (Quelle: IPC- und Stichwort-gestützte Recherche in Datenbank DEPATISnet; <https://www.dpma.de/recherche/depatismet/index.html>). Hiervon stammen zwölf Anmeldungen und sieben Patente von forschungsnahen Institutionen.

Das DLR hat in den letzten 20 Jahren insgesamt 21 Patentfamilien angemeldet. Die Schutzrechte beinhalten einerseits die Faltung der Segel, die Faltung der Masten sowie Mechanismen zur Entfaltung sowie die Membran als solches.

