

Beispiel von der russischen Mir-Station oder dem europäischen Raumfahrzeug ATV, wählt man einen Wiedereintritts-Korridor gezielt so aus, dass er über dem Meer liegt, um das Risiko für Schäden zu minimieren [3].

Soweit bekannt, ist bis heute noch niemand durch abstürzende Weltraumtrümmer zu Schaden gekommen.

Eine wichtige Maßnahme gegen Weltraummüll ist, ihn gar nicht erst entstehen zu lassen. Es besteht heutzutage internationale Einigkeit über die wichtigsten Maßnahmen zur Müllvermeidung. Dazu zählt unter anderem, Gefahrenquellen für unbeabsichtigte Explosionen zu beseitigen (beispielsweise Treibstoffreste aus Tanks entleeren), Raumfahrzeuge nicht absichtlich zu zerstören und die Aufenthaltsdauer in den für die Raumfahrt wichtigen Orbitregionen zu begrenzen. Außerdem sollen zukünftig nicht mehr unnötig Teile im Orbit freigesetzt werden. Ein Beispiel sind Schutzabdeckungen für empfindliche Satellitenkomponenten. Statt diese einfach abzutrennen, könnten sie mit einem Klappmechanismus konstruiert werden [3].

Das DLR ist aktiv in internationalen Gremien tätig, um an Maßnahmen zur Vermeidung von Weltraummüll zu arbeiten. Hierzu zählen unter anderem die Internationale Organisation für Normung (ISO) und der Ausschuss für die friedliche Nutzung des Weltraums der Vereinten Nationen (UNCOPUOS), sowie das "Inter-Agency Space Debris Coordination Committee (IADC). Letzteres ist ein internationaler Zusammenschluss von Raumfahrtagenturen, um aktuelle Forschungsergebnisse auszutauschen und Vermeidungsmaßnahmen zu erarbeiten. Das DLR stellt sicher, dass die dort beschlossenen Anforderungen bei aktuellen deutschen Projekten erfüllt werden.

Satellitenabstürze lassen sich heute nicht vermeiden. Es treten derzeit 60 bis 80 Tonnen Weltraummüll (Satelliten, Raketenoberstufen, Sonstiges) pro Jahr in die Erdatmosphäre ein. Bei stärkerer Sonnenaktivität steigt die jährliche Eintrittsrate etwas an. Technologien, um einzelne Satelliten einzufangen und kontrolliert zum Absturz zu bringen, befinden sich noch in der Entwicklung [3].

Frühestens in einigen Jahren ist mit ersten Demonstrations-Missionen zu rechnen, die zeigen sollen, dass ein solches Vorgehen grundsätzlich technisch machbar ist. Aber selbst wenn diese Technologien zur Verfügung stehen, wird man damit höchstens einige wenige Objekte gezielt wieder eintreten lassen können, nicht aber die große Masse der Satelliten und Raketenoberstufen.

Quellenverzeichnis:

1. Manuel Metz. Weltraummüll-Forschung. [Internet]. - http://www.dlr.de/rd/desktopdefault.aspx/tabid-2265/3376_read-5091/ свободный. – Загл. с экрана.
2. Weltraummüll. [Internet]. - <http://de.wikipedia.org/wiki/Weltraumm%C3%BCll> свободный. – Загл. с экрана.
3. Carsten Wiedemann. Weltraummüll - Erfassung und Analyse. [Internet]. - <http://www.dglr.de/?id=2469> свободный. – Загл. с экрана.

Weltraum-Mikrobiologie

Hudeeva K.A.

Wissenschaftliche Betreuerin: Tarasova L.V., Doktor der Pädagogik, Dozentin

Polytechnische Universität Tomsk, 634050, Russland, Tomsk, Lenin-Pr., 30

E-mail: hudeeva@mail.ru

Die Bedingungen im All werden zur Erforschung grundlegender mikrobiologischer Fragen – Rolle der Schwerkraft, Wirkung kosmischer Strahlung, Transport zwischen Planeten – genutzt. Die Mikrobiologie kann zudem zur Raumfahrt beitragen, etwa in den Bereichen Kabinenhygiene und Lebenserhaltungssysteme.

Schon mit den ersten Satelliten schickten Wissenschaftler Mikroorganismen ins All. Während zunächst interessierte, ob und inwieweit sie in diesem extrem feindlichen Milieu überleben können, standen schon bald grundlegende biologische Fragen im Fokus. Beispiele sind Untersuchungen zur Rolle der Schwerkraft bei zellulären Prozessen, zur biologischen Wirkung der kosmischen Strahlung, zur oberen Grenze unserer Biosphäre und zum natürlichen Transport von Mikroorganismen zwischen den Planeten. Nicht zuletzt seit dem Auftreten von Schimmelbelag an den Wänden der Russischen Raumstation MIR sind Mikrobiologen auch bei der Kabinenhygiene und Versorgung der Astronauten gefordert.

Mikroorganismen als Reisende zwischen den Planeten

Die Vorstellung, dass Bakterien von einem Planeten zum anderen befördert werden können, erschien lange Zeit als Utopie, obwohl schon Lord Kelvin und später Svante Arrhenius über mögliche Transportmechanismen spekulierten [1]. Erst die Entdeckung von bis zu 100 Marsmeteoriten zeigte, dass unsere Planeten nicht isoliert durch das Weltall ziehen. Vermutlich schlugen Gesteinsbrocken oder Kometen auf einem Planeten wie dem Mars ein, wobei das herausgeschleuderte Gestein Fluchtgeschwindigkeit erreichen und somit den Planeten verlassen konnte. Sollten solche Gesteine von Mikroorganismen besiedelt sein – was auf der Erde in bis zu mehreren Kilometern Tiefe der Fall ist –, wäre damit ein Mechanismus gegeben, Mikroorganismen im herausgeschleuderten Gestein als blinde Passagiere auf eine Weltraumreise zu schicken [1].

Damit Mikroorganismen so von einem Planeten zum anderen gelangen, müssen sie drei kritische Phasen überstehen: Sie müssen ihren Heimatplaneten heil verlassen, die Weltraumreise unbeschädigt überleben, und die Landung sollte glimpflich verlaufen. Um dies experimentell zu testen, machte man sich die Weltraumtechnologie und geeignete Simulationsanlagen im Labor zunutze. Als biologische Testsysteme dienten Sporen von *B. subtilis*, die Flechte *Xanthoria elegans* und Zellen des Cyanobakteriums *Chroococcidiopsis*, die alle als äußerst widerstandsfähig gegenüber physikalischen Stressfaktoren bekannt sind.

Explosionskammern dienten dazu, die Bedingungen des Herausschleuderns so zu simulieren, wie sie von Marsmeteoriten ermittelt worden waren: Stoßwellen bis 50 Gigapascal mit schockartigen Temperaturanstiegen bis zu 350 °C. *B. subtilis*-Sporen sowie *X. elegans* trotzten diesen Bedingungen bis zu Stoßwellen von 40 Gigapascal, während *Chroococcidiopsis* Stoßwellen bis zu zehn Gigapascal nur teilweise überlebte [2]. Vor allem die DNA wurde geschädigt, wie Untersuchungen an Reparaturdefizienten *B. subtilis*-Sporen demonstrierten [3].

Weltraumexperimente zeigten, dass insbesondere die intensive Ultraviolett-Strahlung der Sonne, die im Weltraum ungefiltert einwirkt, *B. subtilis*-Sporen innerhalb weniger Minuten zu 100 Prozent inaktivierte [4]. Wirkungsspektren deuten darauf hin, dass auch hier die Schädigung der Sporen-DNA der Auslöser war. Allerdings reichten bereits wenige Millimeter einer Staubschicht aus, um die Sporen vor der schädlichen UV-Strahlung zu schützen. Bisher waren sechs Jahre die längste Zeitspanne, die Sporen nahezu unbeschädigt im Weltraum überstanden [4]. Kein anderer der bis jetzt im Weltraum getesteten Mikroorganismen zeigte sich ähnlich überlebensfähig wie diese Bakteriensporen. Die Sporenstruktur aus Exosporium, Sporenhüllen, Sporencortex und Sporenprotoplast (core) unterscheidet sich deutlich von derjenigen vegetativer Zellen. Im Sporenprotoplast befindet sich die sporenspezifische Dipicolinsäure (quervernetzt mit Ca²⁺-Ionen), die rund zehn Prozent des Trockengewichts der Spore ausmacht. Das Sporennukleoid, in ringförmiger (toroid), dehydratisierter A-DNA-Helix-Struktur, wird durch kleine säurelösliche Sporenproteine (small acid-soluble spore proteins, SASPs) und 3-PGA (3-phosphoglyceric acid), einen ATP-Vorläufer, stabilisiert. Die komplexe Bindung der SASPs an die Sporen-DNA gewährt einen wirksamen Schutz vor Schäden durch Strahlung, Chemikalien und andere physikalisch-chemische Faktoren.

Die sichere Landung auf einem anderen Planeten scheint kein Problem für die mikrobiellen „Tramper“ zu sein, da beim Eintritt durch die Atmosphäre nur die äußersten Millimeter eines Meteoriten verglühen, während im Innern die Kälte des Weltraums anhält.

Spielt die Schwerkraft bei mikrobiellen Prozessen eine Rolle?

Das Leben auf der Erde entwickelte sich unter der konstanten Einwirkung der Schwerkraft. In der Raumfahrt ist sie auf ein Minimum verringert (Schwerelosigkeit oder Mikrogravitation). Frühere Berechnungen ließen vermuten, dass Zellen erst ab einem Durchmesser von zehn Mikrometern auf die Mikrogravitation reagieren. Damit wären Bakterienzellen während eines Weltraumaufenthalts unbeeinträchtigt. Diese Vermutung widerlegten Weltraumexperimente [5]. Beispiele für beobachtete Veränderungen unter dem Einfluss der Mikrogravitation sind: verdickte Zellwände bei *Staphylococcus aureus*; erhöhte Biofilmbildung von *Pseudomonas aeruginosa*; veränderte Zellgröße und Schwärmen bei *Proteus vulgaris*; reduzierte Sporenkeimung und Differenzierungsfähigkeit von *Dictyostelium discoideum*; veränderte Phageninduktion in *Escherichia coli* und *Salmonella enterica* serovar *Typhimurium*; erhöhte Phosphataufnahme von *Saccharomyces cerevisiae*; beeinträchtigte Magnetotaxis von *Magnetospirillum magnetotacticum*; erhöhte Antibiotikaproduktion bei *Streptomyces plicatus*; veränderte Hyphenbildung von *Trichophyton terrestris*. Besondere Beachtung fand der Befund einer erhöhten Antibiotikaresistenz von *S. aureus* und *E. coli* unter Mikrogravitation. Genexpressions-Untersuchungen belegen Veränderungen im Genotyp von *S. typhimurium* sowie eine erhöhte Virulenz der „Mikronauten“ [4, 5, 6]. Letzteres könnte bei Langzeitmissionen eine erhebliche Gefahr für die Astronauten darstellen. Zum besseren Verständnis sind weitere Untersuchungen der molekularen genetischen und phänotypischen Reaktionen notwendig, vor allem der mikrobiellen Mechanotransduktion (Umwandlung von mechanischen Ereignissen in physiologische Antworten). Noch ist ungeklärt, welche Mechanismen die beobachteten Veränderungen auslösen. Eventuell spielen indirekte Effekte eine Rolle, wie reduzierter Transport von Nahrung und Ausscheidungen in der Umgebung der Zelle.

Mikroflora in der Raumkapsel

Langzeitaufenthalte des Menschen in der geschlossenen Raumkapsel führen dazu, dass sich aus den mitgeschleppten Mikroorganismen eine eigene Mikroflora entwickelt. Dies kann zu verschiedenen Auswirkungen auf die Gesundheit der Astronauten haben – insbesondere, wenn sich ihre Zusammensetzung unter den Bedingungen des Weltraumflugs weiter verändert –, zum anderen können entstehende Biofilme zu Materialschäden, vor allem in der Elektronik der Raumkapsel führen [4]. Hier ist die Mikrobiologie gefordert, Maßnahmen zur Kabinenhygiene zu entwickeln und umzusetzen.

Künftige Aufgaben für die Weltraum-Mikrobiologie

Bei der weiteren Erkundung unseres Sonnensystems werden Astronauten zunehmend zum Einsatz kommen. Neben der erforderlichen Kabinenhygiene stellen sich für die Mikrobiologie weitere Aufgaben, etwa der Einsatz von Mikroorganismen bei Lebenserhaltungssystemen, insbesondere bei der Wasseraufbereitung, Lüfterneuerung, Abfallbeseitigung sowie eventuell bei der Herstellung von Vitaminen. Auch der Kontaminationsschutz der zu besuchenden Planeten, beispielsweise vor unerwünschter Einschleppung von Erdkeimen, ist Aufgabe der Mikrobiologie. Hierzu hat das internationale Weltraumkomitee COSPAR (Committee on Space Research) in Zusammenarbeit mit Mikrobiologen Richtlinien entwickelt.

Die Frage, ob und wo sich außerhalb unserer Erde noch Leben entwickelt hat, ist eine der Triebfedern bei der Erkundung unserer Nachbarplaneten. Kandidaten sind vor allem Mars und der Jupitermond Europa. Welche Umweltkriterien sind erforderlich, damit sich Leben, so wie wir es kennen, entwickeln kann? Antworten hierzu kann die Mikrobiologie liefern, vor allem aus Feldstudien an mikrobiellen Gesellschaften unter Extrembedingungen.

Quellenverzeichnis:

1. Nicholson WL (2009) Alte Micronauts: interplanetare Transport von Mikroben durch kosmische Einflüsse. *Trends Microbiol* 17:243–250.

2. Horneck G, Stöffler D, Ott S et al. (2008) Mikrobielle Rock Einwohner überleben Auswirkungen und Auswerfen von Host Planeten: erste Phase Lithopanspermie experimentell getestet. *Astrobiologie* 8:17–44.
3. Moeller R, Horneck G, Rabbow E et al. (2008) Die Rolle der DNA-Schutz und die Instandsetzung des Widerstands von *Bacillus subtilis* Sporen zu Ultrahochdruckstöße simuliert Geschwindigkeitsbeschleuniger Auswirkungen. *Appl Environ Microbiol* 74:6682–6689.
4. Horneck G, Klaus DM, Mancinelli RL (2010) Raum-Mikrobiologie. *Microbiol Rev Mol Biol* 74:121–156.
5. Nickerson CA, Ott CM, Wilson JW et al. (2004) Mikrobielle Antwort auf Mikrogravitation und anderen scherarme Umgebungen. *Microbiol Rev Mol Biol* 68:345–361.
6. Wilson JW, Ott CM, Höner zu Bentrop K et al. (2007) Raumfahrt verändert bakteriellen Genexpression und Virulenz und offenbart eine Rolle für den globalen Regulator Hfq. *Proc Natl Acad Sci USA* 104:16299–16304.

Refractory Materials for Space Power Systems

Indygasheva N.S.

Scientific advisor: Ivanova V.S., PhD, associate professor

Tomsk Polytechnic University, 30, Lenin Avenue, Tomsk, 634050, Russia

E-mail: INelyaS0810@mail.ru

Refractory alloys and metals engage the attention of interrogator because of their great properties and promising practice usefulness. Properties of refractory metals, such as molybdenum, tantalum and tungsten, their strength, and resistance to high temperatures makes them suitable material for hot metal working and applications for vacuum furnace. Many special applications operate these properties: for example, tungsten filament lamps operate at temperatures up to 3073 K and molybdenum furnace windings can withstand up to 2273 K. However, poor low-temperature processability and extreme oxidation at elevated temperatures deficit the most refractory metals. Cooperation with the environment can significantly affect their high-temperature creep. The use of these metals require a protective atmosphere or coating. Refractory metal alloys of molybdenum, niobium, tantalum and tungsten are used in space nuclear power systems. These systems were designed to operate at temperatures from 1350 K to 1900 K. the environment does not have to cooperate with the material in question. Liquid alkali metals as coolants are used, as well as ultra-high vacuum. High temperature creep of alloys should be limited in their use. On creep should not exceed 1-2%. Additional complexity in the study of creep of refractory metals is the interaction with the environment, which can have a significant effect on the creep behavior [1].