

Antwort

der Bundesregierung

**auf die Kleine Anfrage der Abgeordneten Stefan Schröder, Nicole Höchst,
Dr. Michael Kaufmann, weiterer Abgeordneter und der Fraktion der AfD
– Drucksache 21/8287 –**

Forschung und Entwicklung zu regenerativen Lebenserhaltungssystemen für astronautische Langzeitmissionen

Vorbemerkung der Fragesteller

Astronautische Langzeitmissionen zum Mond oder Mars erfordern Lebenserhaltungssysteme, mit denen insbesondere Sauerstoff, Wasser und Nährstoffe möglichst weitgehend zurückgewonnen und Abfallstoffe wiederverwertet werden können. Die Europäische Weltraumorganisation (ESA) verfolgt mit MELiSSA (Micro-Ecological Life Support System Alternative) die Entwicklung sicherer und zuverlässiger regenerativer Lebenserhaltungssysteme für eine dauerhafte menschliche Präsenz im Weltraum (www.esa.int/Enabling_Support/Space_Engineering_Technology/Melissa/Targets_Scientific_domains).

In Deutschland werden sowohl physikalisch-chemische als auch bioregenerative und hybride Ansätze erforscht. Zu den bisherigen Entwicklungen gehören das von Airbus in Friedrichshafen für die ESA entwickelte Advanced Closed Loop System, Photobioreaktoren zur biologischen Rückgewinnung von Sauerstoff sowie die EDEN-Forschungsinitiative des Deutschen Zentrums für Luft- und Raumfahrt.

Das Projekt EDEN-LUNA läuft nach Angaben des Deutschen Zentrums für Luft- und Raumfahrt (DLR) vom 1. Januar 2024 bis zum 31. Dezember 2026 und wird über die DLR-Grundfinanzierung finanziert. Während das DLR auf seiner LUNA-Projektseite weiterhin einen Anschluss des EDEN-LUNA-Gewächshauses an die Mondsimulationsanlage LUNA im Jahr 2026 nennt, kündigte das DLR im September 2026 den Anbau für das Jahr 2027 an (www.dlr.de/de/forschung-und-transfer/projekte-und-missionen/eden-luna-gewaechshaus; www.dlr.de/de/aktuelles/nachrichten/2026/hendrik-wuest-besucht-mond-simulationsanlage-luna-in-koeln).

Deutschland zeichnete auf der ESA-Ministerratskonferenz im November 2025 rund 5,4 Mrd. Euro für ESA-Programme zu laufenden wirtschaftlichen Bedingungen. Davon entfallen nach Angaben des DLR rund 885 Mio. Euro auf die astronautische und robotische Exploration (www.dlr.de/de/aktuelles/nachrichten/2025/deutschland-investiert-5-4-milliarden-euro-in-die-zukunft-der-europa-eischen-raumfahrt).

1. Welche seit dem Jahr 2015 begonnenen oder fortgeführten Forschungs- und Entwicklungsvorhaben zur Entwicklung regenerativer oder geschlossener Lebenserhaltungssysteme für astronautische Missionen wurden oder werden unmittelbar aus Bundesmitteln oder im Rahmen der institutionellen Finanzierung des DLR finanziert (bitte nach Vorhaben, durchführenden Einrichtungen, Laufzeiten, Finanzierungsquellen, Höhe der eingesetzten Mittel und Projektstatus aufschlüsseln)?

Vorhaben	Durchführende Einrichtung	Laufzeit	Finanzierungsquelle	Höhe der Mittel (in Euro)	Projektstatus
CROP (Combined Regenerative Organic food Production)	Deutsches Luft- und Raumfahrtzentrum (DLR)-Institut für Luft- und Raumfahrtmedizin	2015–2026	institutionelle Förderung	6,4 Mio.	laufend
EDEN Initiative	DLR-Institut für Raumfahrtssysteme	2015–2026	institutionelle Förderung	9,1 Mio.	laufend
Marktuntersuchung Lebenserhaltungssysteme	Universität Stuttgart	2/2026–11/2026	Raumfahrtprogramm für Innovation und internationale Kooperation	350 656,62	laufend
Untersuchung der Potenziale und der Machbarkeit von Hybrid-Lebenserhaltungssystemen in der Raumfahrt	Universität Stuttgart	1/2012–12/2020	Nationales Raumfahrtprogramm	1 603 165,06	abgeschlossen
Photobioreaktor am Advanced Closed Loop System ACLS in Columbus – PBR@ACLS –	Airbus Defense and Space GmbH	3/2015–8/2019	Nationales Raumfahrtprogramm	4 710 352,69	abgeschlossen
PBR@SLR (Phase E) – Photobioreaktor am Advanced Closed Loop System ACLS in Columbus	Airbus Defence and Space GmbH	11/2017–2/2020	Nationales Raumfahrtprogramm	713 268,71	abgeschlossen
Bau eines Mikroalgen-basierten ModuLES-Bioreaktormoduls für systembiologische Forschung unter Weltraumbedingungen – Phase B	OHB System AG	8/2012–3/2015	Nationales Raumfahrtprogramm	2 287 901,36	abgeschlossen
Ergänzung des Mikroalgen-basierten ModuLES-Bioreaktormoduls für systembiologische Forschung unter Weltraumbedingungen mit einer Media Recycling Unit – Präphase B2	OHB System AG	10/2015–4/2017	Nationales Raumfahrtprogramm	881 854,53	abgeschlossen

Vorhaben	Durchführende Einrichtung	Laufzeit	Finanzierungsquelle	Höhe der Mittel (in Euro)	Projektstatus
Langzeittests und Erstellung eines Designkonzepts zur Nutzung des ModuLES-PBR unter Weltraumbedingungen; sowie Machbarkeitsanalyse zur Mikrogravitationsanpassung des Durchflusszytometers und Einbindung in das ModuLES-System	OHB System AG	9/2017–4/2018	Nationales Raumfahrtprogramm	522 401,56	abgeschlossen
Sensoreinheitentwicklung für die ModuLES-Media Recycling Unit für NO ₃ -Messung und Lab-on-a-Chip Entwicklung für PO ₄ und SO ₄ Messung	OHB System AG	11/2018–7/2019	Nationales Raumfahrtprogramm	301 833,53	abgeschlossen
ModuLES-Photobioreaktor – Bau eines MDLE-Funktionsmodells des ModuLES-Systems unter Einbindung eines Sauerstoffakkumulators	OHB System AG	11/2019–01/2021	Nationales Raumfahrtprogramm	505 332,62	abgeschlossen

2. An welchen seit dem Jahr 2015 begonnenen oder fortgeführten Forschungs- und Entwicklungsvorhaben der ESA zu regenerativen oder geschlossenen Lebenserhaltungssystemen waren oder sind deutsche Hochschulen, Forschungseinrichtungen oder Unternehmen beteiligt (bitte nach Vorhaben, deutschen Einrichtungen beziehungsweise deutschen Unternehmen, Laufzeiten und Auftrags- beziehungsweise Fördervolumen aufschlüsseln, soweit der Bundesregierung hierzu Angaben vorliegen)?

Phase C/D des Advanced Closed Loop System (ACLS) ist unter industrieller Führung von Airbus Defence and Space und COL-CC (DLR) in einer betriebsunterstützenden Rolle. Das ACLS ist ein regeneratives System zur Aufbereitung von Luft und wurde als Technologiedemonstrator auf der International Space Station (ISS) betrieben. Der Betrieb des ACLS fand zwischen den Jahren 2018 bis 2024 statt. Die seit dem Jahr 2015 angefallenen Kosten sind Teil der in diesem Zeitraum angefallenen ISS-Betriebskosten. Eine kurzfristige Aufschlüsselung der seit dem Jahr 2015 angefallenen Einzelkosten für ACSL ist daher nicht möglich.

3. Welche Strategien, Technologie-Roadmaps oder vergleichbaren Planungen der Bundesregierung, des DLR oder der ESA unter deutscher Beteiligung bestehen für die Entwicklung regenerativer Lebenserhaltungssysteme für astronautische Langzeitmissionen, und welche zeitlich bestimmten technologischen Meilensteine sind darin vorgesehen?

Bezüglich zukünftiger Entwicklungen regenerativer Lebenserhaltungssysteme wird im DLR die Studie LAM-GTD durchgeführt. Bis zum 31. August 2026 wurden bereits wesentliche Entwicklungsmeilensteine erreicht, die die Grundlage

für zukünftige Aktivitäten legen: Das Vorabdesign wurde fertiggestellt, internationale Partnerschaften mit Kanada und den USA erfolgreich initiiert und etabliert sowie das Preliminary Requirements Review (PRR) erfolgreich abgeschlossen. Darüber hinaus wurden kleinere Mock-ups zur Erprobung von Funktionen und des Gesamtsystemkonzepts aufgebaut sowie Marktanalysen zur Evaluierung von Potenzialen für einen Technologietransfer in die deutsche Wirtschaft durchgeführt. Die erstmalige integrierte Erprobung ist nach aktuellem Stand für das Jahr 2032 vorgesehen.

Die deutsche Raumfahrtagentur befindet sich aktuell in der Durchführung einer Marktuntersuchung für Lebenserhaltungssysteme. Das Ergebnis der Marktuntersuchung wird deutsche Technologien und Fähigkeiten im Vergleich zum internationalen Markt aufzeigen und anhand von Technologielücken für zukünftige Missionsszenarien besondere Entwicklungspotentiale sowie Entwicklungs-Roadmaps samt Zwischenmeilensteinen liefern. Auch die European Space Agency (ESA) befindet sich aktuell in einer Neustrukturierung ihrer Aktivitäten zur Entwicklung von Lebenserhaltungssystemen. Dabei sollen sowohl kurz- als auch mittel- und langfristige Missionsbedarfe abgedeckt werden.

4. Für welchen Zeitpunkt ist nach aktuellem Planungsstand der Anschluss des EDEN-LUNA-Gewächshauses an die LUNA-Anlage vorgesehen, und aus welchen Gründen weicht dieser Zeitpunkt von den bislang vom DLR veröffentlichten Planungen eines Anschlusses spätestens im Jahr 2026 ab?

Geplant ist der Anschluss aktuell für das zweite Quartal des Jahres 2027. Grund für die Verzögerung ist ein Brand beim externen Aufbereiter des EDEN-LUNA Containers, bei dem Teile der Einrichtung vernichtet wurden.

5. Aus welchen Finanzierungsquellen sollen der für das Jahr 2027 angekündigte Anschluss von EDEN-LUNA, dessen Inbetriebnahme und der anschließende Betrieb finanziert werden, und in welcher Höhe sind hierfür Mittel vorgesehen?

EDEN-LUNA wird als Teil der LUNA-Infrastruktur nicht separat ausgewiesen. Bei DLR-interner Nutzung erfolgt die Finanzierung über die DLR-Grundfinanzierung, bei Nutzung durch Externe werden die Kosten durch die Externen getragen.

6. Welche quantifizierten technischen Zielwerte wurden für EDEN-LUNA hinsichtlich der Produktion essbarer Biomasse, des Energiebedarfs, des Wasser- und Nährstoffbedarfs beziehungsweise ihrer Rückgewinnung sowie des erforderlichen Arbeitsaufwands der Besatzung festgelegt, und welche entsprechenden Ist-Werte wurden bis zum 31. August 2026 erreicht?

Da sich die EDEN-LUNA derzeit noch in der Aufbauphase befindet und der Schwerpunkt auf der Erprobung und Weiterentwicklung von Technologien und Optimierung des Gesamtsystems liegt, wurden zum 31. August 2026 noch keine quantifizierten technischen Zielwerte zu den genannten Themenfeldern generiert.

7. In welcher Höhe wurden seit Beginn der Entwicklung des Lunar Agriculture Module – Ground Test Demonstrator (LAM-GTD) Mittel des DLR oder anderer deutscher öffentlicher Stellen für dieses Vorhaben eingesetzt (bitte nach Jahren und Finanzierungsquellen aufschlüsseln)?

Derzeit handelt es sich um ein Konzept, für welches keine ausgewiesenen Mittel eingesetzt werden.

8. Welche Entwicklungs- und Erprobungsmeilensteine wurden für den LAM-GTD festgelegt, welche davon waren zum 31. August 2026 abgeschlossen, und für welchen Zeitpunkt ist die erstmalige integrierte Erprobung des vollständigen Demonstrators vorgesehen?

Da es sich derzeit um eine Konzeptstudie handelt, die im September des Jahres 2026 begonnen wurde, waren keine Meilensteine zum 31. August 2026 abgeschlossen. Die erstmalige integrierte Erprobung ist für das Jahr 2032 vorgesehen.

9. Welche technischen oder organisatorischen Folgerungen wurden aus dem Softwareproblem der Mission Eu, aufgrund dessen das namensgebende biologische Experiment nicht initiiert werden konnte, für nachfolgende DLR-Vorhaben zu regenerativen Lebenserhaltungssystemen gezogen, und in welchen Vorhaben wurden diese Folgerungen umgesetzt?

Der Bundesregierung liegen keine Informationen zu einer Mission Eu vor.

10. Auf welche ESA-Programme beziehungsweise Programmelemente innerhalb der auf der ESA-Ministerratskonferenz 2025 von Deutschland für die astronautische und robotische Exploration gezeichneten rund 885 Mio. Euro entfallen Vorhaben zur Entwicklung von Lebenserhaltungs-, Habitat- oder vergleichbaren Versorgungssystemen für astronautische Missionen, und in welcher Höhe hat Deutschland die jeweiligen Programme beziehungsweise Programmelemente gezeichnet?

Vorhaben zur Entwicklung von Lebenserhaltungs-, Habitat- oder vergleichbaren Versorgungssystemen für astronautische Missionen finden im Europäischen Explorationsrahmenprogramm (European Exploration Envelope Programme, E3P) statt. Auf die laufende Periode dieses Programms (2026 bis 2028) bezog sich auch die in der Frage genannte Zeichnung auf der ESA-Ministerratskonferenz 2025. Aufgrund der Natur als Rahmenprogramm erfolgt hier keine Zeichnung von Einzelelementen. Die Programmplanung erfolgt über die Genehmigung von Aktivitäten in regelmäßig vorgelegten Arbeitsplänen.

Folgende Aktivitäten im Bereich der Lebenserhaltungssysteme wurden bisher aus dem Budget der ESA-Ministerratskonferenz 2025 genehmigt:

Aktivität	Mittel aus dem E3P (in T Euro)	Mittel aus DE (in T Euro)
Phase-1-Studie zur Entwicklung eines Feuchtigkeitsentfernungs- und CO ₂ -Reinigungssystems.	1 000	500
Phase-1-Studie zur Entwicklung eines Systems zur Kontrolle von Spurenverunreinigungen für die Luftreinigung.	1 000	500
Phase-1-Studie zur Entwicklung eines Systems für das Stoffwechselabfallmanagement in der astronautischen Raumfahrt.	1 000	500

Aktivität	Mittel aus dem E3P (in T Euro)	Mittel aus DE (in T Euro)
Weiterentwicklung des Analysing Interferometer for Ambient Air (ANITA)	1 000	600–800
Weiterführende Aktivitäten an der MELiSSA Pilot Plant	1 300	0

Weitere Aktivitäten im Bereich der Lebenserhaltungssysteme sind aktuell von der ESA-Exekutive aus Finanzmitteln der ESA-Ministerratskonferenz 2025 geplant, wurden den Mitgliedstaaten jedoch noch nicht als Aktivitäten zur Genehmigung vorgelegt.

11. Welche bereits beschlossenen oder finanzierten integrierten Erprobungen von Lebenserhaltungssystemen sind in der LUNA-Anlage unter Einbeziehung von FLEXhab, EDEN-LUNA oder weiteren Lebenserhaltungssystemen vorgesehen (bitte nach beteiligten Systemen, geplantem Erprobungszeitraum und jeweiligem Erprobungsziel aufschlüsseln)?

Es werden in der LUNA-Anlage kontinuierlich Technologien getestet. Hierbei handelt es sich zum großen Teil um Technologien von externen Firmen. Die Zeiträume und Erprobungsziele werden ausschließlich durch die beteiligten Firmen kommuniziert.

12. In welcher fachlichen oder finanziellen Form sind das Bundesministerium für Landwirtschaft, Ernährung und Heimat oder Einrichtungen seines Geschäftsbereichs derzeit an Forschungs- und Entwicklungsvorhaben zur Nahrungsmittelproduktion oder zu geschlossenen Nährstoffkreisläufen für astronautische Langzeitmissionen beteiligt?

Es liegt keine fachliche oder finanzielle Beteiligung vor.

Vorabfassung - wird durch die lektorierte Version ersetzt.

Vorabfassung - wird durch die lektorierte Version ersetzt.