



Instandhaltungstage 2026 in Dortmund

Instandhaltung auf dem Mond

Dr. Thomas Heller

Smart Maintenance Community

Wer wir sind und was wir für Sie tun können



Unser Kompetenz-Netzwerk für Ihre Aufgaben

- Die besten Experten aus dem Fraunhofer Kosmos für die Zusammenarbeit mit Ihrem Unternehmen

State of the Art in der angewandten Forschung

- Technologieentwicklung, Innovationsförderung und Weiterbildung für eine passgenaue Smart Maintenance

Konkreter Nutzen für Ihr Unternehmen

- Überführung unserer gemeinsamen Forschungsergebnisse in die betriebliche Praxis



SMART MAINTENANCE COMMUNITY
der Fraunhofer-Gesellschaft

Dr.-Ing. Thomas Heller
Geschäftsführer
+49 231 9743-444
Thomas.Heller@iml.fraunhofer.de



Agenda

Instandhaltung auf dem Mond

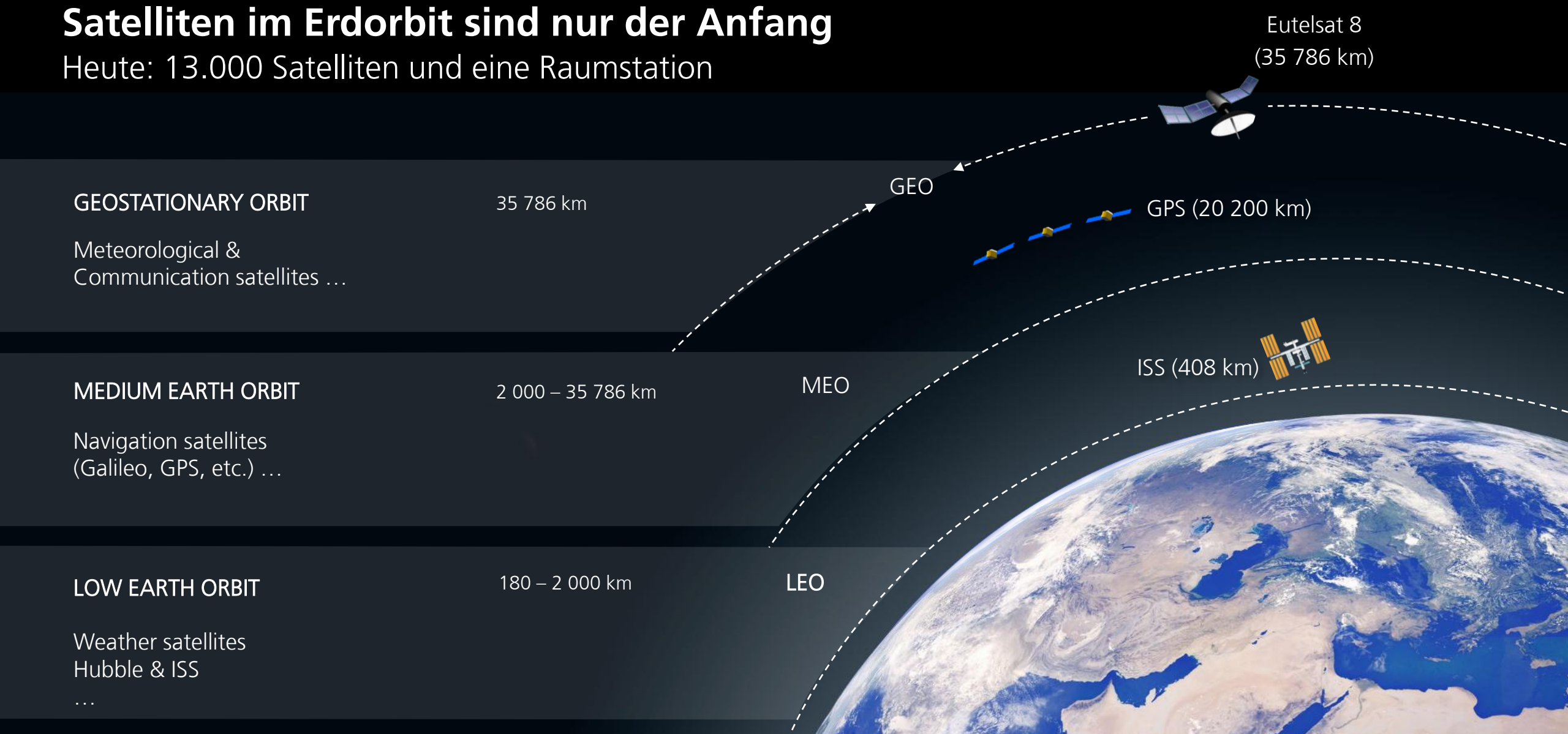


Einführung: Warum der Mond und was wollen wir dort?

- Rohstoffe
- Leben
- Weiterreisen
- Forschungsfelder
- So werden Sie ein Teil der Space Economy

Satelliten im Erdorbit sind nur der Anfang

Heute: 13.000 Satelliten und eine Raumstation





Beispiel: SpaceX

Satellitenproduktion Starlink

Aktueller Stand (2024/25):

Produktionsrate:

- ca. 6–7 Starlink-Satelliten pro Tag
- ca. 2.000–2.500 Satelliten pro Jahr

Fabrik:

Redmond (Washington),
hochautomatisierte Serienfertigung

Geplante Skalierung

Zielkonstellation:

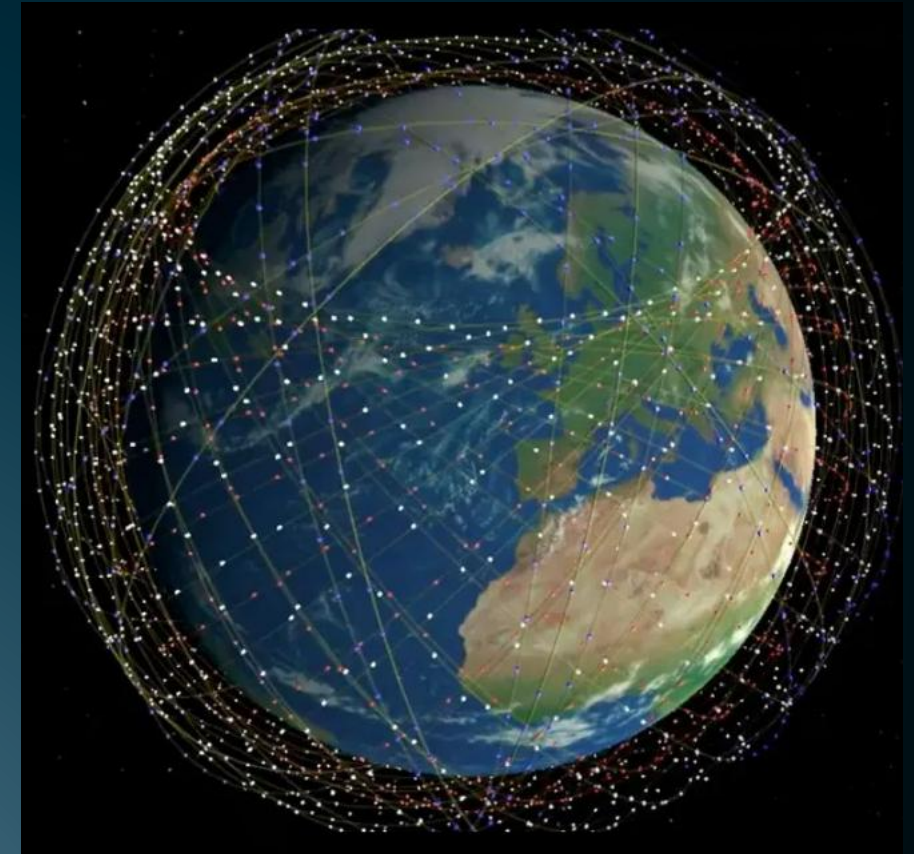
- 12.000 genehmigt
- 30.000+ beantragt

Langfristiges Ziel:

- >40.000 aktive Satelliten

Produktionsziel:

- ca. 5.000–10.000 Satelliten/Jahr
- $\approx$ 15–30 pro Tag



Agenda

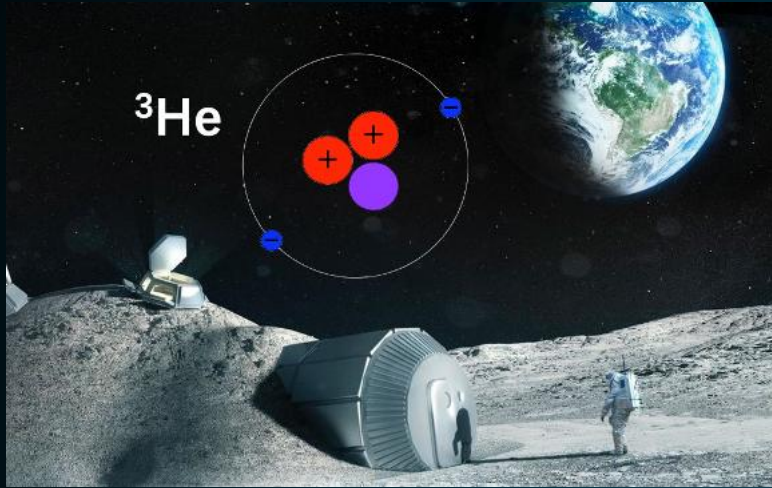
Instandhaltung auf dem Mond



- Einführung: Warum der Mond und was wollen wir dort?
- Rohstoffe
- Leben
- Weiterreisen
- Forschungsfelder
- So werden Sie ein Teil der Space Economy

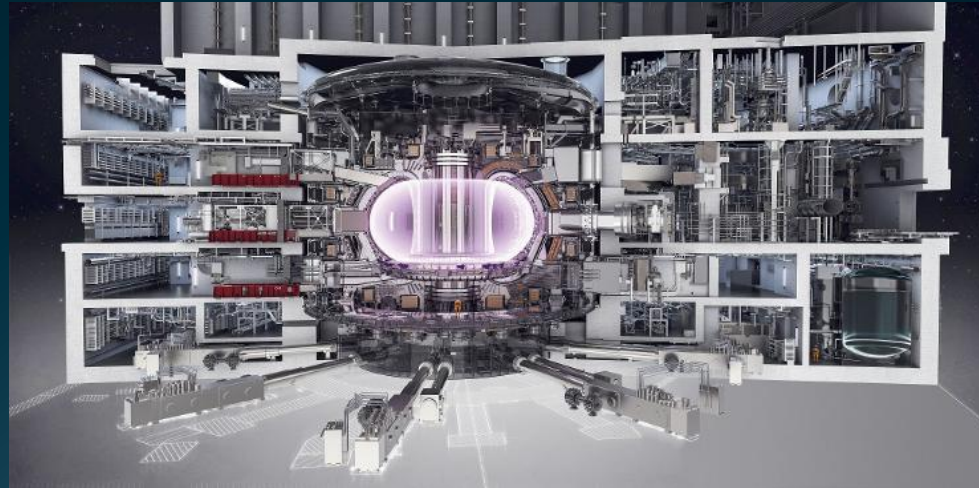
Was wollen wir auf dem Mond?

Beispiel Helium 3



^3He

- für die Kühlung von Quantencomputern
- für die Produktion von Supraleitern
- als Brennstoff für die Kernfusion



^3He -Fusionsreaktor

- Fusionsenergie wesentlich sauberer und konstanter mit ^3He
- mehr Energie im Vergleich zu bisherigen Methoden
- man könnte auf den radioaktiven Stoff Tritium verzichten.
- Keine schwer kontrollierbaren Abfallprodukte



^3He -Erntemaschine

Das finnische Technologieunternehmen Bluefors, ein Hersteller von ultrakalten Kühlsystemen (für Quantencomputing), kaufte über das kommerzielle Raumfahrtunternehmen Interlune Helium-3 vom Mond – für über 300 Millionen Dollar.

Bildquelle: <https://ishare.ifeng.com/>; <https://www.forschung-und-wissen.de/nachrichten/astronomie/start-up-hat-maschine-fuer-helium-3-abbau-auf-dem-mond-entwickelt-133710203>; <https://www.futurezone.de/science/article313761/kernfusion-mysterioeser-helium-3-vorrat-in-atmosphaere.html>;

Was wollen wir auf dem Mond?

Beispiel Seltene Erden

KREEP-Gesteine enthalten hohe Mengen an seltenen Erden.



Seltene Erde	Vorkommen auf dem Mond	Hauptanwendungen auf der Erde
Lanthan (La)	Basalt- und KREEP-Gesteine, Regolith	Batteriekathoden (Ni-MH), optische Gläser, Katalysatoren
Cer (Ce)	Weit verbreitet im Regolith	Auto-Abgaskatalysatoren, Glaspolitur, Leuchtstoffe
Praseodym (Pr)	Spuren in KREEP-Gesteinen	Hochleistungs-Permanentmagnete, Spezialgläser
Neodym (Nd)	KREEP- und Basalt-Regolith	Starke Permanentmagnete (Motoren, Windkraft, Festplatten)
Samarium (Sm)	Unterschiedliche Gesteine	Samarium-Kobalt-Magnete, Laser, Steuerstäbe in Kernreaktoren
Europium (Eu)	Angereichert in Anorthosit-Gesteinen	Leuchtstoffe für Displays und Leuchtstofflampen (rot/blau)

Was wollen wir auf dem Mond?

Was es noch so gibt



- Eisen, Titan, Gold, Platin, Iridium
- Wasser (gefroren, an den Polkappen)
- Sauerstoff (in Regolith gebunden)

Agenda

Instandhaltung auf dem Mond



- Einführung: Warum der Mond und was wollen wir dort?
- Rohstoffe
- Leben
- Weiterreisen
- Forschungsfelder
- So werden Sie ein Teil der Space Economy



Was wollen wir auf dem Mond?

Ein Habitat auf dem Mond – Schlüsseltechnologien

3D-Druck mit Mondregolith

- Schutz vor Strahlung und Mikrometeoriten
- Aktuelle Forschungen von ESA + Foster & Partners: "Lunar Base"-Konzept

Aufblasbare Module

- Leicht transportierbar
- Aktuelle Forschungen von Bigelow Aerospace / Sierra Space

Lava-Röhren-Nutzung

- Natürlicher Schutz unter der Oberfläche
- Aktuelle Forschungen von NASA/ESA-Studien

Hybride Systeme

- Mitgebrachte Module + vor Ort gebaute Strukturen



Was wollen wir auf dem Mond?

Ein Habitat auf dem Mond – Schlüsseltechnologie **3D-Druck mit Mondregolith**

Methode	Beschreibung	Vorteile
Sintern	Regolith wird durch Hitze (Laser/Mikrowellen) verschmolzen	Kein Bindemittel nötig
Binder Jetting	Flüssiges Bindemittel verklebt Regolith-Schichten	Schnellere Verarbeitung
Konturhandwerk (Contour Crafting)	Roboterarm extrudiert Material schichtweise	Große Strukturen möglich
Solares Sintern	Konzentriertes Sonnenlicht schmilzt Regolith	Energieeffizient



AI SpaceFactory gewinnt NASAs Mars Habitat 3D Printing Project Wettbewerb

Was wollen wir auf dem Mond?

Ein Habitat auf dem Mond – Programme der Raumfahrt-Organisationen (staatlich)

Organisation	Programname	Fokus	Voraussichtliches Jahr der Umsetzung
NASA	Artemis Base Camp (Mondoberfläche)	Langzeit-Habitat, Versorgung/Versorgungskette, EVA-Unterstützung (Extravehicular Activity)	2028–2030 (erste Besiedlung)
NASA	Lunar Gateway	Lunar Orbital Platform in cislunarer Umlaufbahn	Erste Module 2024–2025; Vollbetrieb 2026–2028
ESA	Moon Village (Initiative)	Internationale Zusammenarbeit, Habitatkonzepte, Technologieentwicklung	Konzept vorhanden; Umsetzung offen, kein festes Jahr
CNSA	Lunar Research Station (Chang'e-basiert)	Langzeitforschung, Mondbetrieb	ca. 2030er (Planungsphase)
Roscosmos	Lunar Base	Langzeitbasis, Mondbetrieb und Ressourcenverwendung	ca. 2030er (Planung/Absicht)

Was wollen wir auf dem Mond?

Ein Habitat auf dem Mond – Forschungseinrichtungen & Universitäten (Auswahl)

Institution	Forschungsschwerpunkt
MIT (USA)	Aufblasbare Strukturen, ISRU
TU Braunschweig (Deutschland)	Regolith-Verarbeitung, 3D-Druck
Politecnico di Milano (Italien)	ESA-Kooperation, Habitat-Design
Universität Stuttgart (Deutschland)	Mondregolith-Baumaterialien
Tongji University (China)	ILRS-Habitat-Strukturen

Agenda

Instandhaltung auf dem Mond



- Einführung: Warum der Mond und was wollen wir dort?
- Rohstoffe
- Leben
- Weiterreisen
- Forschungsfelder
- So werden Sie ein Teil der Space Economy



Start in den Weltraum

Agenda

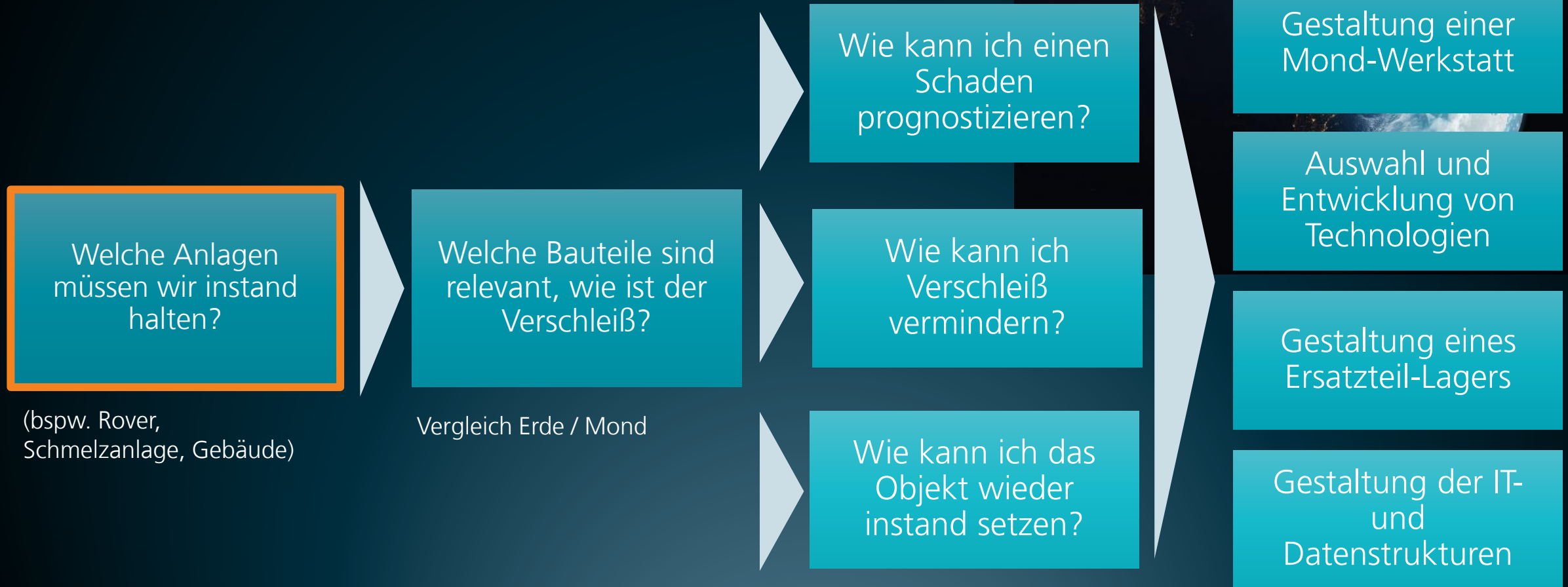
Instandhaltung auf dem Mond

- Einführung: Warum der Mond und was wollen wir dort?
- Rohstoffe
- Leben
- Weiterreisen
- Forschungsfragen
- So werden Sie ein Teil der Space Economy



Forschungsfragen

Daran werden wir forschen.



Welche Anlagen müssen wir instand halten?

Nutzung von Regolith und anderen Mineralien

Technologie	Beschreibung	Entwicklungsstand	Akteure
Regolith-Abbaugeräte	Robotische Schaufeln/Bagger für Mondoberfläche	Prototypen getestet	NASA (RASSOR), Caterpillar, Astrobotics
Elektrostatische Separation	Trennung von Mineralien durch elektrische Ladung	Konzeptphase	Diverse Universitäten
Thermische Extraktion	Erhitzen von Regolith zur Gewinnung von Elementen	Laborversuche	NASA Kennedy Space Center
Autonome Rover	Selbstständige Erkundung und Probenentnahme	Teilweise einsatzbereit	ispace, Astrobotics, Moon Express



Welche Anlagen müssen wir instand halten?

Ein Habitat auf dem Mond – Relevante Anlagen und Komponenten, Beispiele (1)

Art der Anlage/Komponente	Nutzen	Verfügbarkeit (TRL)	Forschungsbedarf
Struktur/ Druckbehälter (Raumkapsel) mit luftdichtem Innenraum und Schotts	Druck-/Temperaturschutz, Lebensraum, EVA-Vorbereitung	TRL 9	Langzeit-Resilienz in Mondumgebung; Optimierung gegen Staub/Mikrometeoroideneinwirkungen
Lebensunterhaltssystem (LSS/ECSS)	Luftregelung (O ₂ , CO ₂), Wasseraufbereitung/Recycling, Nahrungsversorgung/Lagerung	TRL 9	Langzeit-Closed-Loop-Betrieb unter Mondbedingungen; Redundanz- und Staubrobustheit
Energieversorgung (Solarpanels + Batterien; Not-/Backup-Systeme)	Stromversorgung für Habitat, Hochverfügbarkeit	TRL 9	Masse-/Effizienzoptimierung; robuste Backup-Strategien; Staubschutz
Thermisches Kontrollsystem	Aktivkühlung/-heizung, Isolierung, Wärmeverteilung	TRL 8–9	Mondspezifische Lastenprofile; Verbesserung passiver Kühlkonzepte; Energieeffizienz
Strahlungsschutz	Schutz gegen kosmische Strahlung und Solarpartikel	TRL 6–7	Materialforschung, Schichtdesign; In-situ shielding mit Mondregolith/ Wasser; Lebensdauer-Tests
EVA-Anlage (Airlock) und Raumanzug-Bereitstellung	EVA-Unterstützung, Staubschutz, Druckwechselkontrollen	TRL 9	Dichtungen/Lebensdauer; ergonomische Verbesserungen; Betrieb unter Staubbelastung
Staubschutz und Kontaminationsmanagement	Staubdichte Abdichtungen, Reinigung	TRL 7	Effektive Staubabschirmung; staubtolerante Materialien; Reinigungsverfahren
Umweltüberwachung	Gasdetektoren, Druck-/Temperatur-/Feuchtigkeitssensoren, Schadstoffdetektion	TRL 9	Erweiterte Sensorik, autonome Alarmierung/Diagnose

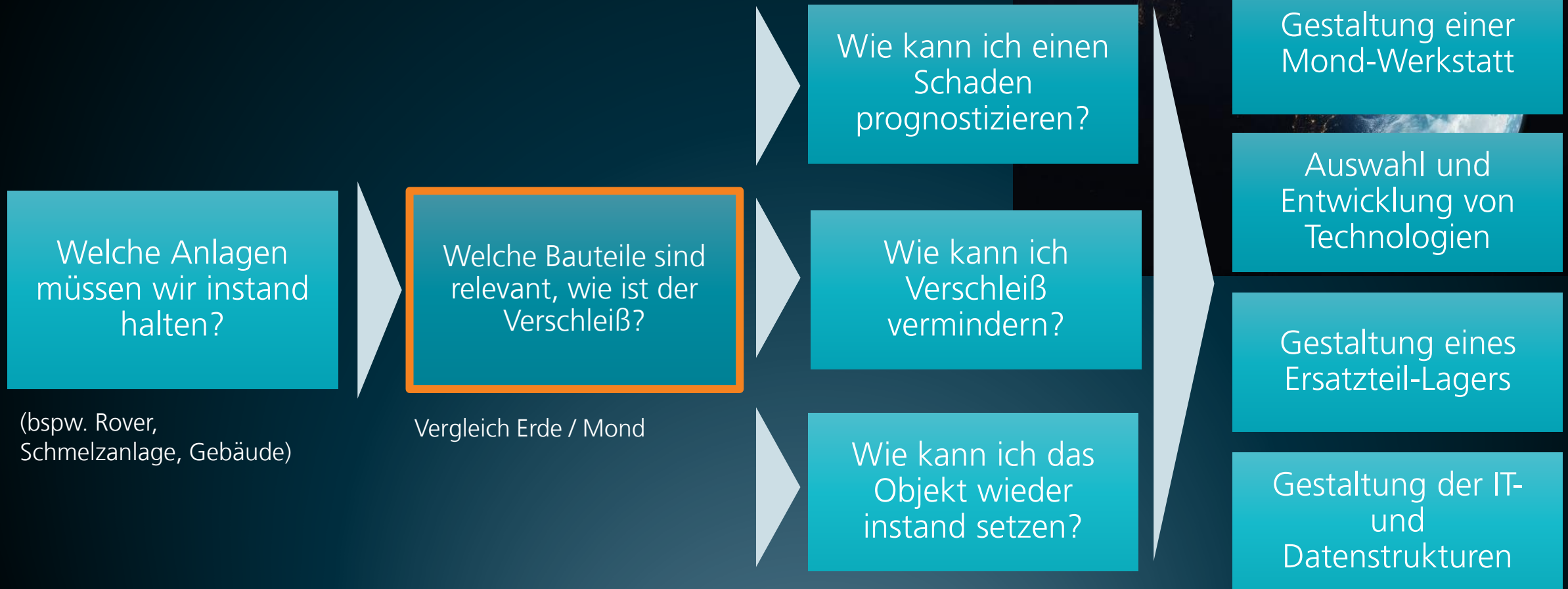
Welche Anlagen müssen wir instand halten?

Ein Habitat auf dem Mond – Relevante Anlagen und Komponenten, Beispiele (2)

Art der Anlage/Komponente	Nutzen	Verfügbarkeit (TRL)	Forschungsbedarf
Abfall- und Abwassermanagement	Toiletten, Abfallstorage, Recycling-/Entsorgungssysteme	TRL 9	Höhere Recycling-Effizienz; Wasserwiedergewinnung optimieren; Hygiene-Anforderungen in Mondgravitation
Hygiene- und Krankenversorgung	Erste-Hilfe-Ausrüstung, minimale medizinische Infrastruktur, Keimschutz	TRL 9	Telemedizin, Diagnostik in Schwerelosigkeit; bessere Hygienemaßnahmen
Kommunikations- und Dateninfrastruktur	Funk-/Datenverbindung zur Erde, interne Netzwerke, Telemetrie	TRL 9	Latenz-/Bandbreitenmanagement; DTN-/Autonome Datendienste
Werkstatt, Reparatur und Ersatzteile	Werkzeuge, Spares, Telemanipulator/Robotikhilfe	TRL 9	Roboterbasierte Wartung; redundante Ersatzteilversorgung; autonomes Troubleshooting
Lebensräume	Schlafräume, Küche/Essbereich, Hygiene, Fitnesszone	TRL 9	Layout-Optimierung, Geräusch- und Lichtkomfort, Benutzerschnittstellen
Feuer- und Notfallsysteme	Feuerdetektion, Löschmittel, Notabschaltung, Evakuierungswege	TRL 9	Feuerregeln/in-situ Feuerbekämpfung in staubiger Umgebung; Redundante Systeme
Notstrom	Notstromreserve, Generatoren	TRL 8	Massen-/Zuverlässigkeitsoptimierung; intelligentes Lastmanagement
Robotik	Robotikunterstützung, Telemanipulation	TRL 8–9	Mensch-Roboter-Interaktion; Autonomie; Koordination mit Crew
Forschungsbereiche	Labor-/Forschungsinfrastruktur	TRL 8–9	Moon-Umgebungsforschungen; Kreuzkontaminationsschutz; spezialisierte Einrichtungen

Forschungsfragen

Daran werden wir forschen.



Welche Bauteile müssen wir betrachten und wie ist der Verschleiß?

Umgebungsfaktoren

Faktor	Bedingung	Auswirkung
Atmosphärischer Druck	$\sim 10^{-12}$ bar	Druckdichte Strukturen, spezielle Schmierstoffe
Temperatur	-173°C bis +127°C	Thermomanagement, Materialermüdung
Strahlung	Keine Atmosphäre/ Magnetfeld	Abschirmung, Elektronikschutz
Mondstaub (Regolith)	Abrasiv, elektrostatisch	Dichtungen, Filterung, Verschleiß
Gravitation	1/6 der Erde	Angepasste Werkzeuge, Ergonomie
Tag/Nacht-Zyklus	~ 14 Tage jeweils	Energiespeicherung

Shackleton crater

Forschungsfragen

Daran werden wir forschen.

Welche Anlagen
müssen wir instand
halten?

(bspw. Rover,
Schmelzanlage, Gebäude)

Welche Bauteile
sind relevant, wie ist
der Verschleiß?

Vergleich Erde / Mond

Wie kann ich einen
Schaden
prognostizieren?

Wie kann ich
Verschleiß
vermindern?

Wie kann ich das
Objekt wieder
instand setzen?

Gestaltung einer
Mond-Werkstatt

Auswahl und
Entwicklung von
Technologien

Gestaltung eines
Ersatzteil-Lagers

Gestaltung der IT-
und
Datenstrukturen

Ziel 1: Gestaltung einer Mondwerkstatt

Mögliche Ausstattung



Bereich	Technologie
Fertigung	3D-Druck (Metall/Regolith), CNC-Fräsen
Fügen	Elektronenstrahl-Schweißen (vakuumtauglich)
Diagnostik	Röntgen, Ultraschall, optische Inspektion
Handhabung	Roboter, Telemanipulatoren
...	...

Ziel 2: Auswahl und Entwicklung von Technologien

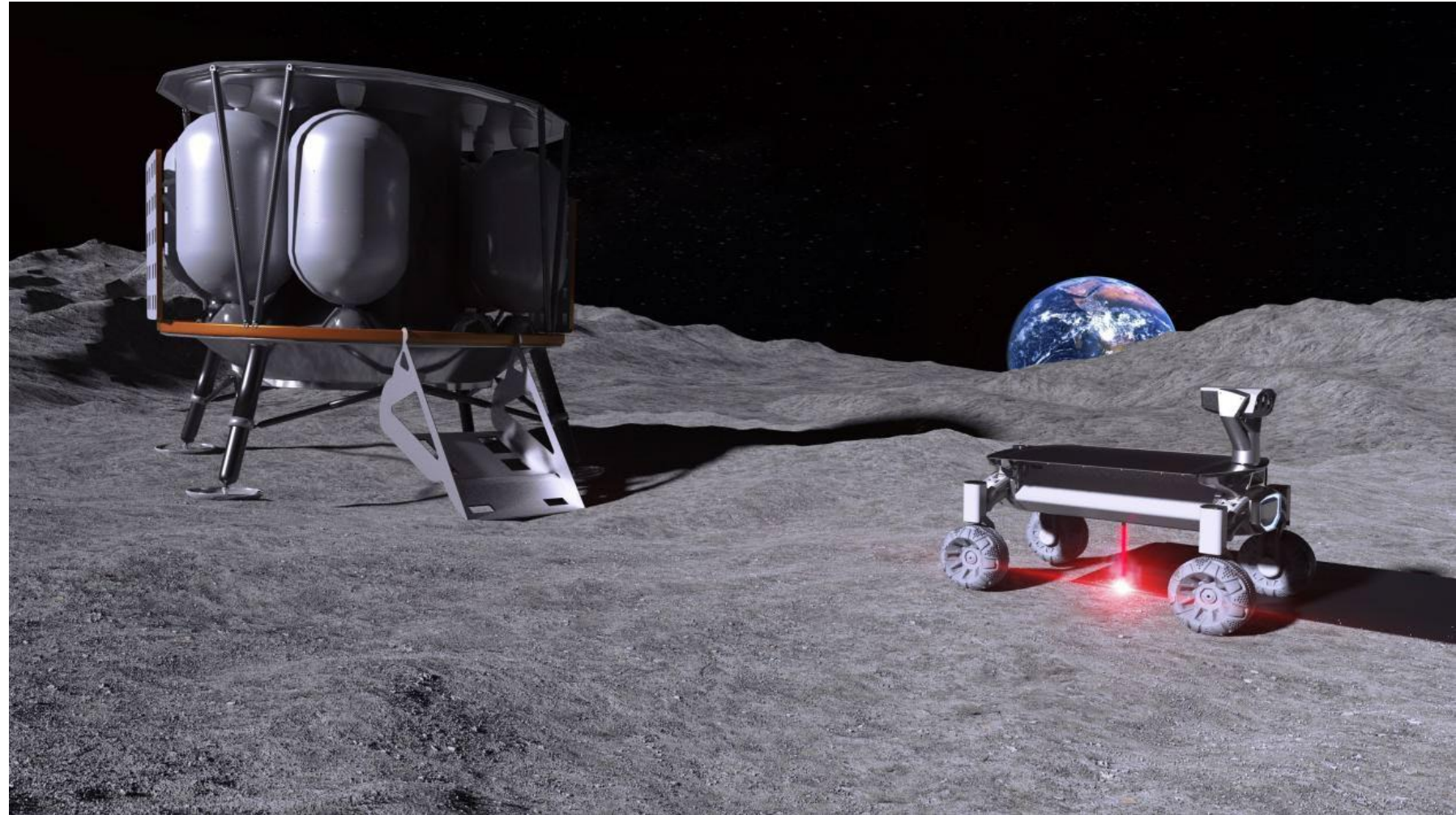
Additive und andere Fertigungsverfahren

Beispiel: Moonrise

3D-Druck auf dem Mond:
Wissenschaftler vom Laser
Zentrum Hannover e.V. (LZH)
und der Technischen Universität
Berlin (TU Berlin) planen einen
Flug zum Mond, um dort mit
Laserstrahlung Mondstaub
aufzuschmelzen

Anwendung:

- Gebäude
- Straßen
- Landplätze



Ziel 3: Ersatzteil-Lagerung

Ersatzteilmanagement auf dem Mond

Option A: Unterirdisch/Lavatunnel

- (+) Natürliche Temperaturstabilität
- (+) Strahlungsschutz
- (-) Erschließungsaufwand

Option B: Regolith-überdeckte Module

- (+) Guter Strahlungsschutz
- (+) Flexibler Standort
- (-) Bauaufwand für Überdeckung

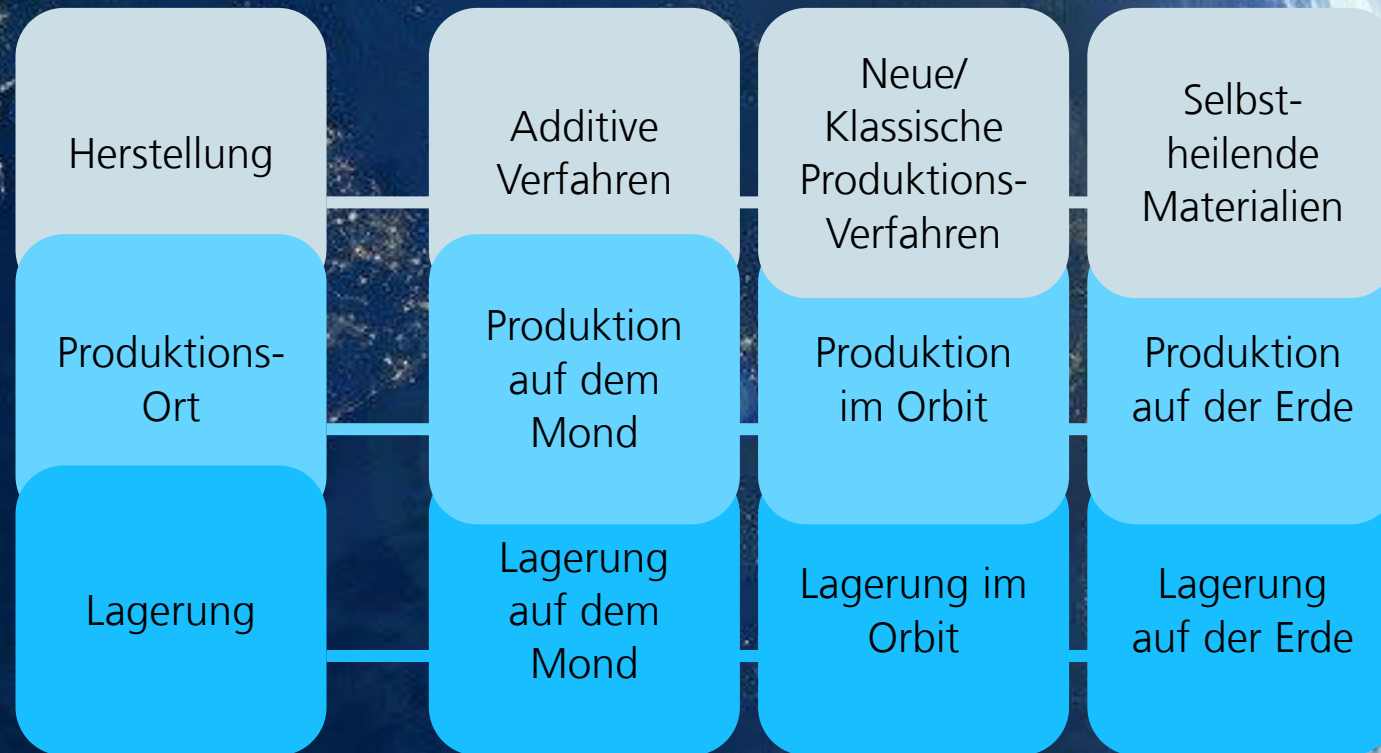
Option C: Oberirdische Druckmodule

- (+) Schneller Aufbau
- (+) Guter Zugang
- (-) Hoher Energiebedarf für Thermik



Ziel 3: Ersatzteil-Lagerung

Lagerstrategien für Ersatzteile



Ziel 3: Ersatzteil-Lagerung

Aspekte des Ersatzteilmanagements auf dem Mond

Lagersystem-Varianten

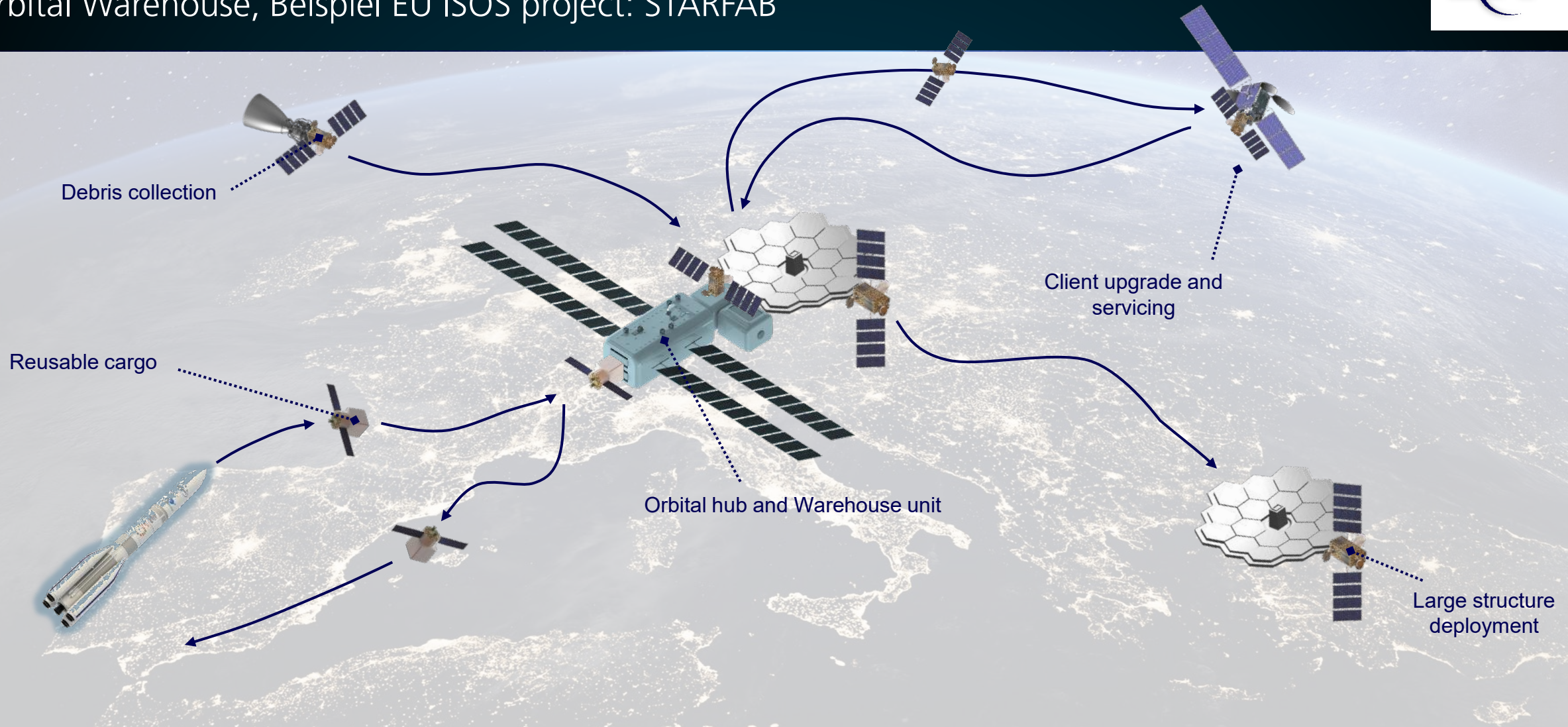
Technologie	Funktion	Status
Automatisierte Regalsysteme	Kommissionierung bei 1/6 g	Anpassung nötig
Vakuum-Behälter	Schutz vor Ausgasung/ Kontamination	Verfügbar
RFID/Barcode-Tracking	Bestandsmanagement	Anpassung für Strahlung
Robotische Lagerfahrzeuge	Autonomer Transport	Mondtauglich zu entwickeln

Verpackung & Konservierung

Verpackungsart	Anwendung
Mehrlagige Schutzfolien	Vakuumdicht, strahlungsresistent
Inertgas-Atmosphäre	Für oxidationsempfindliche Teile
Trockenmittel	Feuchtigkeitskontrolle (bei druckbeaufschlagten Bereichen)
Korrosionsschutz	Vakuumkompatible Beschichtungen

Ziel 3: Ersatzteil-Lagerung

Orbital Warehouse, Beispiel EU ISOS project: STARFAB



Ziel 4: IT- und Datenstrukturen

Demonstration und Validierung in VR-Labs

Vision: Virtueller Labordemonstrator einer IH-Kette unter simulierten Mondbedingungen



Ziel 4: IT- und Datenstrukturen

Simulation der Realität



**Highly dynamic
indoor/outdoor
Autonomous Mobile
Robot (AMR)**

**Imported over 5.400
parts from CAD.**

Why simulate?

- **Accelerate Virtual Development**
- **Scale to large scenarios**

Agenda

Instandhaltung auf dem Mond

- Einführung: Warum der Mond und was wollen wir dort?
- Rohstoffe
- Leben
- Weiterreisen
- Forschungsfragen



So werden Sie ein Teil der Space Economy

Werden Sie ein Teil der Space Economy

Es gibt reichlich zu tun



© rangizzz, alones, ismailbasdas – stock.adobe.com, Fraunhofer IML

So werden Sie ein Teil der Space economy

... es ist nicht nur „Rocket science“

**Vom Weltraum
zur Erde
funktioniert
bereits**



**Von der Erde
ins All ist der
nächste
Schritt**

**Von der Erde in den Weltraum:
Technologietransfer von
Innovationen zur Wertschöpfung
im Weltraum.**

**Innovation durch Kooperation
Partnerschaften und Austausch
zwischen Industrie- und Luft- und
Raumfahrtunternehmen.**

Raumfahrttechnik gibt es auch in Deutschland

Es lohnt sich, darüber nachzudenken, viele Unternehmen sind bereits dabei

Approx.

3x

9% CAGR*

\$630 bn.

2023

\$1,800 bn.

2035

Space Economy

*CAGR: Compound Annual Growth Rate

All figures in \$ billion



DEMCO	94
diondo	95
Drees &	96
Droneg	97
ELSPACE	98
FJOT SF	99
Liettron	100
FI HA-M	101
e:SAI Gi	102
LufA AG	103
EURO FI	104
EUROM	105
Fastems	106
FEV aer	107
Fibreco	108
Fichtner	109
flyxdriv	110
Forté +	111
Gas Urb	112
gominer	113
German	114
Gleser C	115
Globe U	116
GNS Fle	117
Grunew	118
Hebmül	119
HEGGER	120
Heinrich	121
Helix Carbon GmL	94
Honkel AG & Co. KG	95
Heulding	96
Kunstst	97
Horn &	98
HYDAC	99
IABG ml	100
IBG Aut	101
igus Gr	102
IMST Gi	103
INI ORN	104
ITB Inge	105
Jetpel C	106
Jürgen	107
W. Köp	108
Karl Kos	109
KSA Kur	110
KURZIU	111
Lamb Sq	112
Laufent	113
Lausche	114
LIA Gmb	115
Limbach	116
LUKAS-I	117
Ma Teck	118
Matplus	119
Metal Ir	120
Mitsui C	121
Mototok International GmbH	94
Nayak-LM Germany GmbH	95
neo hydrogen sensors GmbH	96
OTTO FUCHS KG	97
OTM AM Additive Manufacturing GmbH	98
4JET microtech GmbH	10
AET Aviation Training & Consulting GmbH	11
AirRobot GmbH & Co. KG	12
Air Energy Entwicklungs GmbH & Co KG	13
Airport Research Center GmbH	14
ALDERS electronic GmbH	15
all4projects GmbH	16
Aluminiumwerk Unna AG	17
aps Aviation Parts Service GmbH	18
ASA Datacenter Systeme GmbH	19
Automotive Center Südwestfalen GmbH	20
Aviation Solutions Group GmbH	21
B&B-AGEMA GmbH	22
BCT Steuerungs- und DV-Systeme GmbH	23
BERGHOFF GmbH & Co. KG	24
BHO Legal – Baumann, Heinrich, Ortner Rechtsanwälte Partnerschaft mbB	25
BidBox GmbH	26
BIKAR METALLE GmbH Aerospace	27
BIW Isolierstoffe GmbH	28
Böllhoff Verbindungstechnik GmbH	29
CAE GmbH	30
C. Cramer & Co. GmbH	31
CGI Deutschland B.V. & Co. KG	32
CI Composite Impulse GmbH & Co.	33
CIREX GmbH	34
Continental Fuel Storage Systems GmbH	35
CPI Vertex Antennentechnik GmbH	36
CP Tech GmbH	37

Öffentlich geförderte Programme im Bereich Space

Es lohnt sich, mitzumachen (Beispiel)



The banner features a dramatic sky with a bright light source and a rainbow. Logos for INNOspace, MASTERS, and ESA Business Incubation Centre are visible. A green arrow points to the submission deadline.

INNOspace **MASTERS** **esa** BUSINESS INCUBATION CENTRE

ESA BIC Challenge 2026
“Join the New Space Economy”

Submit your idea
from **15 January**
to **25 March 2026**

The Challenge

The space economy has evolved from a niche commercial sector into a vital backbone of our society and economy. Today, leveraging space assets is not just about opportunity; it is about ensuring **technological sovereignty and resilience**. Space infrastructure and secure data are essential for protecting **critical systems on Earth** – including energy grids, communication networks, and global supply chains.

Your Reward

 All 8 finalist teams receive assistance and coaching to transform the business concept into a viable business plan over a 6 week period (April–May)

The 3 winning teams are determined through an online pitch after the coaching phase and will receive:

Apply now

**15 January to
25 March 2026**



innospace-masters.de

Dr.-Ing. Thomas Heller
Geschäftsführer
+49 231 9743-444
Thomas.Heller@iml.fraunhofer.de



Besuchen Sie uns
morgen und
übermorgen auf der
maintenance Messe in
Dortmund.

Sie finden uns in Halle 4
am Stand 113