

# DRIVEN

by  
maxon



## Der 4. Planet

— Wie wir die Geheimnisse des  
Mars aufdecken wollen. S.10

— Die Gesichter hinter den  
Weltraum-Antrieben. S.30

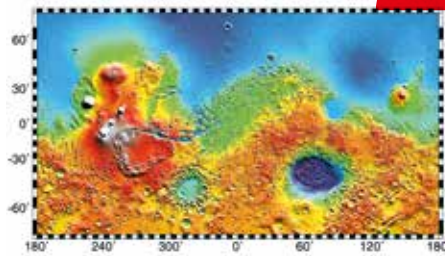




**Fokus** \_\_Das Marsabenteuer geht weiter  
Ein Hightech-Rover auf Spurensuche.

10

26



**Fokus** \_\_Marslandungen auf einen Blick  
Erfolgreich auf dem Roten Planeten aufgesetzt.



28

**Fokus** \_\_Wissen  
5 Herausforderungen, die ein Mars-Elektromotor meistern muss.

35



**Application** \_\_Sauberes All  
Ein Start-up will den Satellitenmüll beseitigen.



22

**Fokus** \_Interview  
Das fliegende Experiment.



25

**Helden der Ausgabe**  
Diese Antriebssysteme von maxon liefern den Stoff für Storys.

30  
«Inspiration gedeiht nicht auf weissem Papier.»

**maxon inside** \_Unsere Mars-Experten  
Einblicke in die Köpfe hinter den Antrieben.

Impressum

**Herausgeber:** maxon Group  
**Redaktion:** Stefan Roschi  
**Realisation:** Intel AG  
**Projektleitung:** Bärbel Jördens  
**Gestaltung:** Angélique El Morabit  
**Korrektorat:** Franz Scherer  
**Druck:** Druckerei Odermatt AG  
**Erscheinungsweise:** 2-mal pro Jahr  
**Sprachen:** Deutsch, Englisch, Chinesisch  
**Auflage:** 9000 (dt.), 6000 (engl.), 2000 (chin.)

**Copyright:** © 2020 by maxon Group, Sachseln. Nachdruck nur mit schriftlicher Genehmigung.

**driven online:** magazin.maxongroup.ch

Folgen Sie uns



Mehr spannende News, Storys und Fachberichte finden Sie auf unserem Blog: [www.drive.tech](http://www.drive.tech)

38



**Expertise**

Das steckt hinter der Dual-Loop-Regelung.

42



**Innovation** \_\_YEP-Bericht

Das Material für Mondbasen liegt bereits vor Ort.



**Application** \_\_Dockingsystem

Perfekte Andockmanöver verlangen nach perfekter Technik.

44

47

**Wettbewerb**  
Mitmachen und gewinnen



Ulrich Claessen,  
Group CTO maxon

## Faszination Marsmissionen

Der erfolgreiche Start der NASA-Marsmission «Mars 2020» am 30. Juli 2020 war ein Highlight des Sommers, hatte maxon doch drei Jahre lang mit der NASA an Antrieben für diese Mission arbeiten können.

In den vergangenen Jahren hat unser Unternehmen die Weltraumprojekte in eine neue Dimension gehoben: Alle Entwicklungs- und Herstellprozesse wurden verbessert, um den hohen Anforderungen unserer Kunden gerecht zu werden. maxon verfügt heute über ein einzigartiges Portfolio an Antrieben für den Einsatz auf dem Mars. Und bereits arbeiten wir an den Projekten für die Zukunft.

Zweifelsfrei: Der Weltraum fasziniert. Sollte Leben auf dem Mars gefunden werden, wäre das ein Paradigmenwechsel im Wissen von der Entstehung des Lebens.

Ich wünsche Ihnen viel Spass beim Lesen dieses Magazins.



# Bionic Daddy

«Ich werde nie vergessen, wie die Leute von maxon mit mir Kontakt aufnahmen und mir sagten, dass sie meine bionische Prothese sponsorn würden. Es war ein surrealer Moment», sagt Danny Florence, als er seinen Hero Arm von Open Bionics zum ersten Mal anzieht und ausprobiert. Der Brite verlor als Kind beide Beine und eine Hand aufgrund einer Meningitiserkrankung. Trotzdem war eine Handprothese für ihn lange kein Thema. Ästhetische Modelle taugten nicht viel, und bionische Hände waren zu teuer. Doch dann kam sein Sohn Joshua zur Welt, und Danny erkannte, wie viel mehr er mit zwei Händen tun könnte und wie dies die Bindung zu seinem Baby stärken würde. Also bewarb er sich für eine 3-D-gedruckte bionische Prothese des Herstellers Open Bionics, lancierte eine Spendenaktion und kam schliesslich mit maxon in Kontakt. Der Spezialist für Präzisionsantriebe arbeitet seit 2015 mit Open Bionics und liefert DCX 12 Motoren mit kundenspezifischen Getrieben für den Hero Arm. «Für mich war es ein überwältigendes Gefühl, als ich meinen Arm zum ersten Mal sah», sagt Danny. «Die Prothese ist sehr intelligent, und ich habe die Finger sofort bewegen können. Trotzdem muss ich noch viel üben, bis die Bewegungen natürlich kommen.»







Emirates Team New Zealand

## Grünes Licht für den America's Cup 2021

**Positive Neuigkeiten aus Neuseeland: Die teilnehmenden Teams des America's Cup haben sich darauf geeinigt, dass die Regatta 2021 wie geplant stattfindet. Die 36. Austragung des prestigeträchtigen Segelwettbewerbs wird vom 6. bis 21. März durchgeführt. Keine Selbstverständlichkeit: Die Vorregatten in Europa mussten aufgrund der Covid-19-Pandemie abgesagt werden. Die Titelverteidiger vom Team New Zealand transportierten ihr Hightech-Boot AC75 «Te Aihe» hin und zurück, ohne es ins Wasser zu lassen. Seit dem Sommer ist das Boot wieder in Neuseeland, und das Team testet neue Komponenten und Techniken, um für die nächsten Rennen innerhalb der America's Cup World Series im Dezember 2020 bereit zu sein. maxon ist stolz darauf, offizieller Lieferant des Emirates Team New Zealand zu sein und Antriebskombinationen zu liefern, die aus einem DC-Motor (480 W) und einem 42-mm-Getriebe bestehen und die von einer EPOS-Motorsteuerung angetrieben werden. Dieser Antrieb wurde aufgrund seiner Spitzenleistungsdichte und der Fähigkeit, extremen Umgebungen zu widerstehen, ausgewählt.**



Unbemannte Luftfahrt

## maxon geht in die Luft

Unbemannte Flugobjekte, UAVs, Drohnen, Mini-Hubschrauber, wie auch immer man sie nennen mag – sie sind längst nicht nur für Hobbyfotografen interessant. Künftig wird es viele potenzielle Anwendungen in den Bereichen Inspektion, Landwirtschaft, Sicherheit sowie für kleinere Transporte geben. Der Markt ist jung und sehr dynamisch, viele Start-ups sind involviert. Und auch maxon ist aktiv geworden. Denn nach ersten Erfahrungen der Branche und einigen medienwirksamen Abstürzen steigen nun die Anforderungen an unbemannte Fluggeräte und deren Komponenten. maxon besitzt die nötigen Qualitätsantriebe und das Wissen, um spezifische Drohnenmotoren zu entwickeln. 2019 wurden bereits erste Typen für Spezialprojekte gebaut, ebenso eine passende Steuerung. Inzwischen sind viele Tests im Labor durchgeführt und Designs überarbeitet worden, neue Antriebe für Kundenprojekte befinden sich in der Entwicklung. Gleichzeitig ging es von Anfang an darum, möglichst viel von Experten zu lernen. Deshalb arbeiten die Aerospace-Leute von maxon eng mit Drohnenspezialisten und schweizerischen Hochschulen wie der EPFL in Lausanne zusammen, aber auch mit Propellerherstellern und Kunden. Denn im Drohnenmarkt kommt es nicht allein auf den Motor an. Viel wichtiger ist das perfekte Zusammenspiel von BLDC-Motoren, Motorcontrollern und passenden Propellern. Nur so wird bezüglich Schub und Energieeffizienz das Maximum herausgeholt. Dieser Systemgedanke wird auch in anderen Märkten immer wichtiger. Mitunter ein Grund, weshalb maxon Business Units geschaffen hat, die sich spezifisch um Aerospace, Industrial Automation, Medical sowie Mobility Solutions kümmern und die jeweiligen Anforderungen an Systeme kennen. Die momentan berühmteste Drohne wird übrigens von sechs maxon DC-Motoren gesteuert. Mehr dazu auf Seite 22.


[Mehr zum Thema](#)
[aerospace.  
maxongroup.com](https://www.aerospace.maxongroup.com)



Solar Orbiter

## Lüftet die Sonne ihre Geheimnisse?

Die Europäische Weltraumorganisation (ESA) hat am 10. Februar 2020 erfolgreich eine Rakete mit der Raumsonde Solar Orbiter ins Weltall geschossen. Wissenschaftler erhoffen sich von der fünfjährigen Mission neue Erkenntnisse zur Sonne, zum Beispiel über Solarwinde und die komplexen Dynamiken, die für Sonneneruptionen verantwortlich sind. Denn nach wie vor wissen Astrophysiker erstaunlich wenig über unseren nächsten Stern. Solar Orbiter nähert sich der Sonne auf bis zu 42 Millionen Kilometer, was etwa einem Viertel des durchschnittlichen Abstands zwischen Erde und Sonne entspricht. Die Temperaturen werden auf über 500 Grad Celsius steigen, weshalb ein grosser Hitzeschild die wertvollen Instrumente an Bord schützt und den Blick auf die Sonne nur während der Messungen freigibt. Eines dieser Instrumente ist das Röntgenteleskop (STIX), das erstmals kleinste Sonneneruptionen, sogenannte Nanoflares, beobachten soll. STIX ist mit einem Dämpfungsnetz aus Aluminium ausgestattet, das je nach Bedarf vor die 30 Detektoren geschoben wird – mithilfe von zwei modifizierten DC-Motoren mit Durchmessern von 13 Millimetern. Die Mikroantriebe sind parallel platziert, können gemeinsam oder einzeln angesteuert werden, was einen reibungslosen Betrieb über die ganze Mission sicherstellt. Das Design basiert auf den Motoren, die im ExoMars Rover der ESA zum Einsatz kommen.



Update

## Cyathlon 2020 findet global statt

Der Cyathlon-Event wird dieses Jahr durchgeführt – allerdings verteilt auf der ganzen Welt und virtuell zusammengebracht. Denn aufgrund der Covid-19-Pandemie mussten die Organisatoren der ETH Zürich den Wettkampf in der Schweiz zuerst verschieben und dann endgültig absagen. Nun findet der Anlass in einem neuen Format am 13. und 14. November statt. Die teilnehmenden Teams bleiben dabei in ihrer Heimat und stellen ihre Hindernisparcours selbst auf. Statt direkt nebeneinander werden die Pilotinnen und Piloten jeweils einzeln den Parcours meistern. Die Wettkämpfe werden in einem Liveprogramm übertragen. In sechs Disziplinen treten Menschen mit Behinderungen gegeneinander an und werden dabei von Assistenzsystemen wie Exoskellern, bionischen Prothesen oder motorisierten Rollstühlen unterstützt. Den Zuschauerinnen und Zuschauern werden neben den Rennen viele spannende Berichte, Interviews und Diskussionen rund ums Thema Inklusion und Technik geboten. maxon hat den Cyathlon als Präsentationspartner von Anfang an unterstützt und wird dies weiter tun – auch in schwierigen Zeiten. Spannende Berichte rund um den Cyathlon und die Teams gibt's auf dem maxon Corporate Blog [www.drive.tech](http://www.drive.tech)



Aktuelle Details  
zum Event auf

[cyathlon.com](http://cyathlon.com)



Foto: maxon group



# Neue Produkte



**MiniMACS6-AMP-4/50/10**  
Master-Controller

MiniMACS6-AMP-4/50/10

## Multi-Achs-Controller für hochdynamische Positionieraufgaben

Mit dem MiniMACS6-AMP-4/50/10 bringt maxon einen Multi-Achs-Controller auf den Markt, der bis zu sechs DC- oder vier BLDC-Motoren hochdynamisch und präzise ansteuern kann (400 W Dauerleistung). Der Controller stellt eine wirtschaftliche und kompakte Lösung dar für autarke Roboter oder Shuttle-Systeme. Er lässt sich optional programmieren mit der umfassenden Automatisierungssoftware APOSS und besitzt Bus-Schnittstellen, die einen effizienten Datenaustausch mit übergeordneten Steuerungen erlauben.



**ENX 22 EMT**  
22 mm

ENX 22 EMT

## Der Encoder mit Gedächtnis

Mit dem Encoder 22 EMT bringt maxon einen Absolut-Multi-Turn-Encoder mit der rekordverdächtigen Baugrösse von nur 22 Millimetern auf den Markt. Dieser Encoder basiert auf der patentierten Wiegand-Draht-Technologie und kann somit im stromlosen Zustand die Umdrehung der Motorwelle erfassen. Der grosse Vorteil dieser Technologie ist, dass sie ohne Backup-Batterie oder komplexes Getriebe arbeitet und sehr robust ist. Dieser Encoder ersetzt langwierige Referenzfahrten, ohne dass zusätzliche externe Messsysteme benötigt werden. Zugleich kann er für die Kommutierung verwendet werden. Der Encoder 22 EMT bietet eine sehr hohe Auflösung von 16 bit (Multi Turn) und 17 bit (Single Turn). Er ist mit der BiSS-C- und SSI-Schnittstelle erhältlich und wird mit den IDX-Motoren und -Antrieben sowie mit EC-4pole, EC-i Motoren und DCX (ab 22 mm) kombinierbar sein.



Im maxon Online Shop gibt es mehr als 5000 Produkte, Selektionshilfen, Kombinationstools und ausführliche Produktinformationen:

[shop.maxongroup.ch](http://shop.maxongroup.ch)



**Willkommen auf dem Roten Planeten, einer kalten Wüstenwelt mit dünner Atmosphäre, Jahreszeiten sowie polaren Eiskappen. Hier gibt es Schluchten und erloschene Vulkane, die von einer aktiven Vergangenheit zeugen. Kein fremder Planet in unserem Sonnensystem ist dermassen gut erforscht. Und dennoch zieht es uns immer wieder hin.**



**M A**



**Ø DISTANZ ZUR SONNE**  
227,94 Mio. km

**PLANETENTYP**  
Terrestrisch

**1 MARSJAHR**  
687 Erdentage

**DURCHSCHNITTSTEMPERATUR**  
-55°C





### GRAVITATION

Rund ein Drittel der Erdanziehungskraft.



### GEWICHT

Ein Körpergewicht von 70 Kilogramm fühlt sich auf dem Mars wie 26,6 Kilo an.

### GUT BESUCHT

Fast 50 Raumsonden schickten die Menschen zum Mars. Die meisten schafften es nie ans Ziel. Der erste Erfolg gelang 1965 mit dem Vorbeiflug der Sonde Mariner 4. Mehr zu den Marslandungen auf Seite 26.

### DOPPEL-MOND

Der Mars besitzt zwei Monde: Phobos und Deimos.

**RAUMANZUG MITBRINGEN** Der Mars hat eine ganz dünne Atmosphäre, die hauptsächlich aus Kohlendioxid (CO<sub>2</sub>), Argon (Ar), Stickstoff (N<sub>2</sub>) und wenig Sauerstoff besteht. Die Atmosphäre auf der Erde ist mehr als 100-mal so dicht.

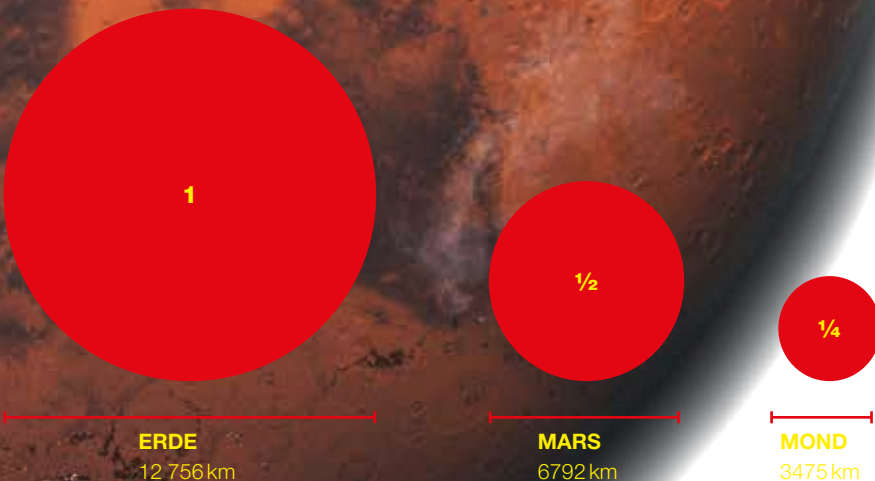
### KEIN NETTER ORT

Heute kann der Planet kein Leben, wie wir es kennen, beherbergen. Deshalb suchen wissenschaftliche Missionen nach Hinweisen auf früheres Leben.

### ROSTIGER PLANET

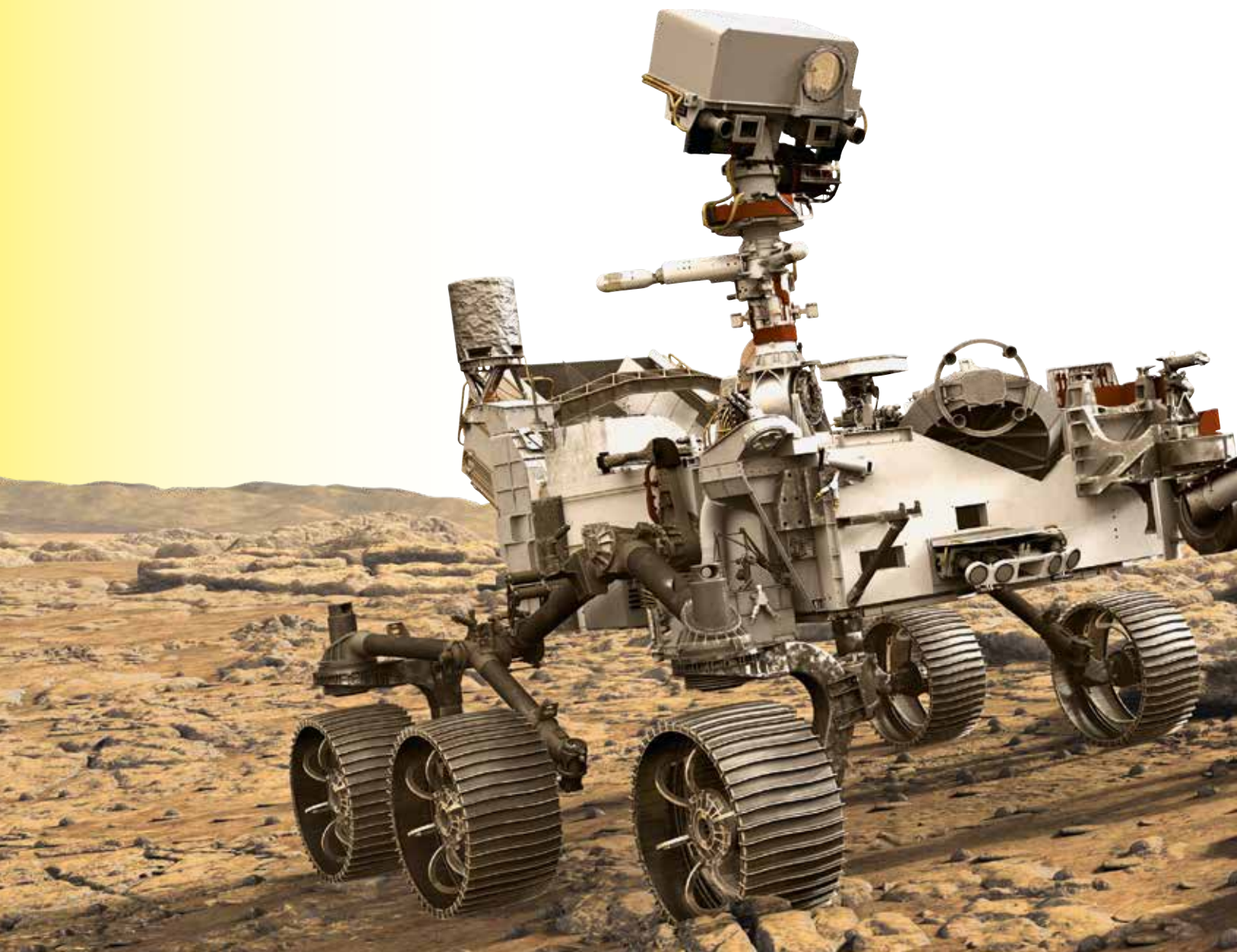
Weil Eisenminerale im Marsboden und auf der Oberfläche oxidieren, färbt sich die Umgebung rot und orange. Daher auch der Name: Roter Planet.

# RS

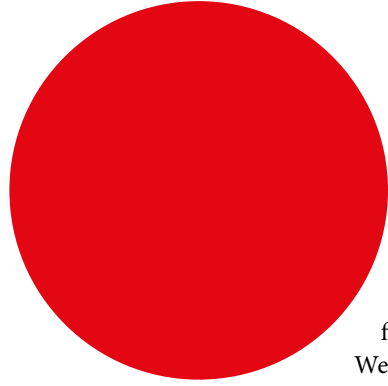


# Spurensuche auf dem Mars

**Auf dem Mars gab es einst flüssiges Wasser, eine Atmosphäre – aber auch Leben? Um diese Frage aller Fragen zu beantworten, schickt die NASA den Rover Perseverance, welcher in seiner Komplexität einmalig ist. Und die Welt ist live dabei.**







Klappt es erneut entgegen allen Widerständen? Marsmissionen mögen inzwischen wie Routine erscheinen, doch nach wie vor schaffen es nur wenige Systeme heil bis zur Oberfläche. Das hat auch die Europäische Weltraumorganisation (ESA) schmerzhaft erleben müssen, als ihr Lander Schiaparelli 2016 auf dem Roten Planeten zerschellte. Immerhin hat die US-Raumfahrtbehörde NASA bereits vier Roboterfahrzeuge erfolgreich zum Mars gebracht. Und mit dem Perseverance-Rover will sie im Februar 2021 erneut Geschichte schreiben. Zum ersten Mal werden wir Menschen Livebilder von einer Marslandung sehen – dank hochauflösender Videokameras. Wir werden das Gefühl kriegen, als ob wir selbst auf unserem Nachbarplaneten landen würden.

Doch bis Menschen auf dem Mars landen, wird es wohl noch länger dauern. Aus diesem Grund müssen vorerst Roboter die Arbeit verrichten. Und Perseverance hat einiges zu tun. Er landet im Jezero-Krater, der einst mit Wasser gefüllt war, und soll dort untersuchen, ob die Gegend früher lebensfreundlich gewesen ist. Gleichzeitig wird der Rover nach Spuren von früherem Leben suchen, sogenannten Biosignaturen. Dazu ist er mit verschiedenen Messinstrumenten ausgestattet. Die dritte Aufgabe besteht darin, den Weg für bemannte Mis-

sionen zu ebnen mit einer Technologiedemonstration. Ein Instrument namens MOXIE wird dazu den geringen Anteil von Sauerstoff aus der Marsatmosphäre extrahieren. Diese Technik wäre für bemannte Missionen fundamental, da man Sauerstoff zum Atmen benötigt und gleichzeitig für Treibstoff nutzen kann.

### Das Geheimnis des Lebens

Somit kommen wir zur spektakulärsten und technisch anspruchsvollsten vierten Mission: Perseverance wird bis zu 30 Bodenproben entnehmen, diese einzeln in Behälter füllen sowie versiegeln und schliesslich an einem geeigneten Platz deponieren, damit eine spätere Mission die Proben einsammeln und zur Erde zurückbringen kann. Für Wissenschaftler wäre es das höchste der Gefühle,

**«Von den Space-Missionen profitieren auch andere Bereiche mit ähnlichen Anforderungen – wie etwa die Medizin.»**



**Robin Phillips,**  
Leiter des SpaceLab bei maxon

wenn sie saubere Marsproben erhielten und hier – mit allen modernen Mitteln – untersuchen dürften. Oder wie es die NASA ausdrückt: Diese Proben haben das Potenzial, uns die Basis und Entstehung von Leben in unserem Sonnensystem zu erklären.

Damit die Proben eingesammelt werden können, müssen drei Systeme nahtlos funktionieren: Zuerst wird sich der grosse Roboterarm vorne am Rover ins Marsgestein bohren und eine Probe entnehmen,



welche dann ins Karussell gesteckt wird. Dieses transportiert die Probe ins Innere des Rovers. Dort übernimmt das dritte System, wiederum ein Roboterarm, allerdings ein sehr kleiner namens SHA. Dieser entnimmt die Probe dem Karussell, führt sie zur Volumen- und Bildprüfung, dann zur Versiegelungsstation und schliesslich ins Zwischenlager – alles autonom.

An dieser Stelle tritt maxon auf die Bühne. Denn für die Handhabung der Proben werden mehrere BLDC-Motoren eingesetzt. Sie sind unter anderem im SHA-Roboterarm verbaut, der die Proben von Station zu Station navigiert, und kommen bei der Versiegelung der Probenbehälter und deren Platzierung zum Einsatz.

### Erfolgsrezept bleibt unverändert

Genau wie die mehr als 100 maxon Antriebe, die bisher auf dem Mars ihre Arbeit verrichtet haben, basieren die Perseverance-Motoren auf Standard-Katalogprodukten: Es handelt sich um neun bürstenlose DC-Motoren EC 32 flat und einen EC 20 flat in Kombination mit einem Planetengetriebe GP 22 UP. Natürlich waren Anpassungen nötig, damit die Antriebe die hohen Anforderungen der Mission erfüllen. Doch die Basis der Antriebe unterscheidet sich nicht von Modellen, die auf der Erde in allen möglichen Anwendungen eingesetzt werden.

### Die Zusammenarbeit mit JPL

Die maxon Ingenieure haben die Motoren und Getriebe drei Jahre modifiziert und wiederholt getestet und dabei eng mit den Spezialisten des Jet Propulsion Laboratory (JPL) zusammengearbeitet, das im Auftrag der NASA



Video:  
Rover Sample  
Collection

<https://bit.ly/SampICS>



**1** Der Bohrkopf entnimmt eine Bodenprobe.

**2** Die Probe wird zum Rover ins Karussell geführt.

**3** Das Karussell transportiert die Probe ins Innere des Rovers.

**4** Der kleine Roboterarm bewegt die Probe zur visuellen Kontrolle, zur Versiegelung sowie zur Platzierung.

# M

### DIE MISSION

Perseverance soll Spuren von früherem Leben (Biosignaturen) auf dem Mars suchen, Bodenproben entnehmen und für die Rückkehr zur Erde vorbereiten. Zudem wird er mit Experimenten den Weg für bemannte Missionen ebnen.

### DIE REISE

Transportmittel Atlas V-401  
Startort Cape Canaveral Air Force Station, Florida (USA)  
Landedatum 18. Februar 2021  
Landeort Jezero-Krater

### DIE FAKTEN

Geplante  
Missionsdauer Mindestens ein Marsjahr (687 Erdtage)  
Gewicht 1025 Kilogramm  
Länge 3 Meter  
Höhe 2,2 Meter



**DC-Motor EC 32 flat**  
Ø 32 mm, bürstenlos



alle unbemannten Missionen handhabt. Die Space-Experten aus Pasadena waren oft am Schweizer Hauptsitz der Elektromotoren-Experten anzutreffen. «Durch diese Zusammenarbeit konnten wir sehr viel lernen», sagt Robin Phillips, Leiter des SpaceLab bei maxon. Konkret zeigt sich dies in gesteigerten Qualitätsstandards sowie neuen Prüfverfahren und Prozessen. «Davon profitieren auch Kunden aus anderen Bereichen wie etwa der Medizin, wo die Anforderungen teilweise ähnlich sind.»

Phillips und sein Team werden die Landung des Perseverance-Rovers und dessen Tätigkeiten gespannt verfolgen, schliesslich hängt vieles vom Funktionieren der maxon Antriebe ab. Er sagt: «Wir sind in absolut kritischen Anwendungen involviert. Wenn der Roboterarm, an dem unsere BLDC-Motoren montiert sind, sich nicht bewegt oder der Greifer nicht funktioniert, dann ist die ganze Mission ein Misserfolg.»

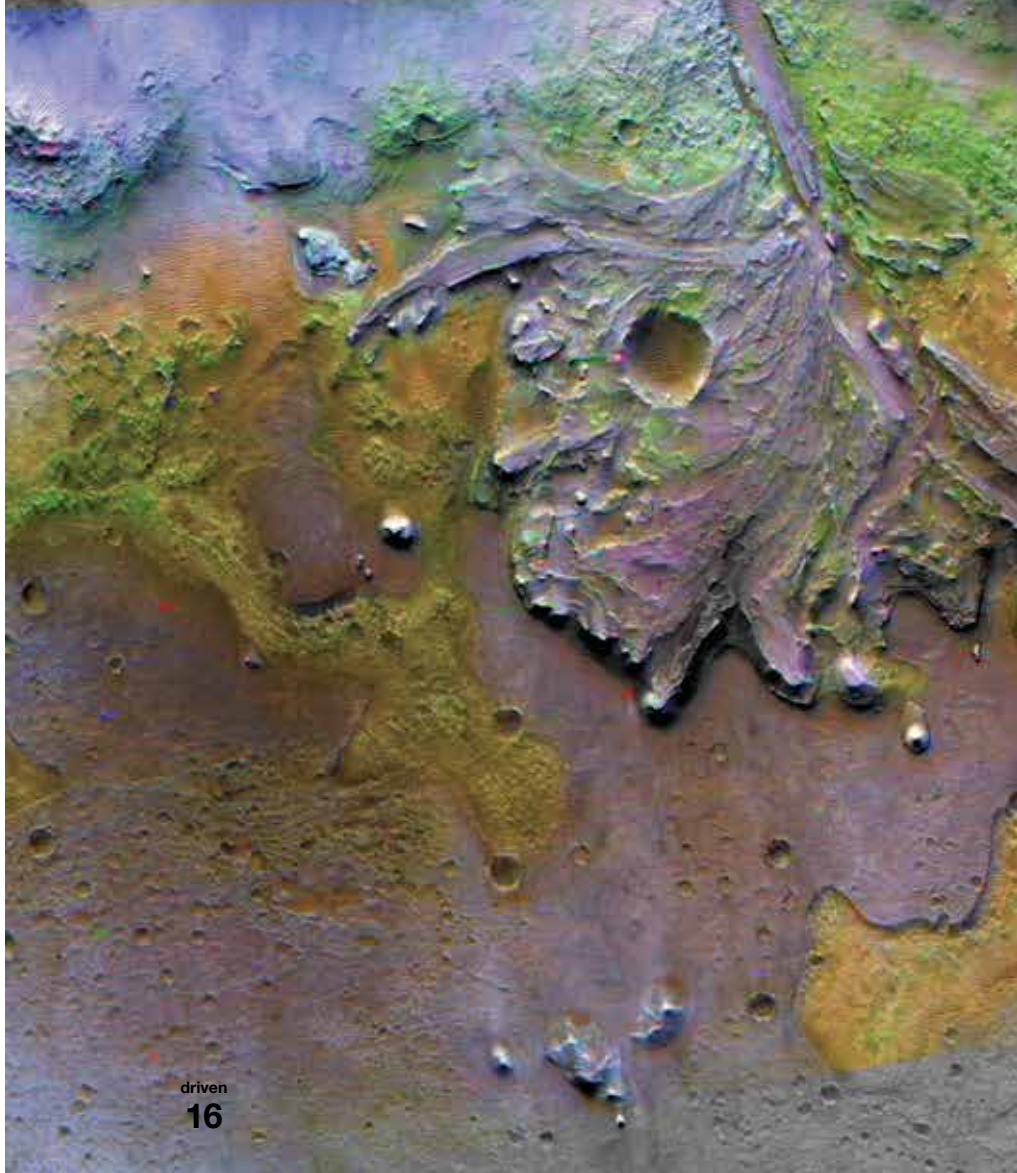




1



2

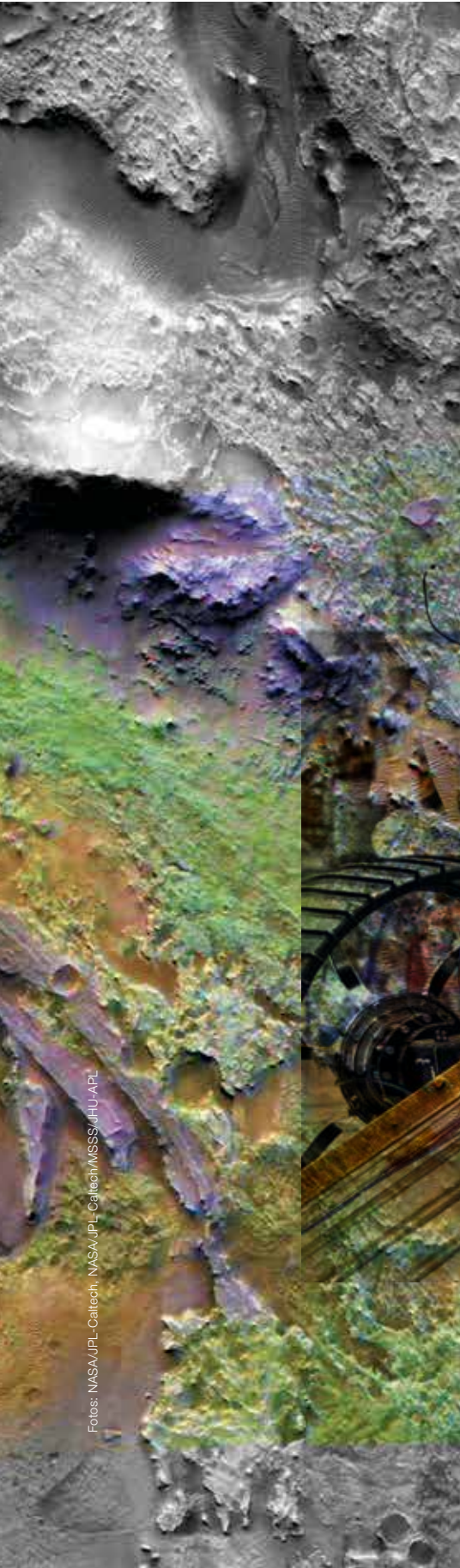


**1** Der Perseverance-Rover wird im Kennedy Space Center auf einen Drehteller gestellt, um seinen Schwerpunkt zu finden.

**2** Ein Satellitenbild des Jezero-Kraters auf dem Mars, wo Perseverance landen wird.

**3** Ein Ingenieur befestigt den Hubschrauber auf der Unterseite des Rovers. Nach der Ankunft auf dem Mars wird das Fluggerät mithilfe eines Maxon-Antriebs auf dem Boden abgesetzt.





Fotos: NASA/JPL-Caltech, NASA/JPL-Caltech/MSSS/JHU-APL





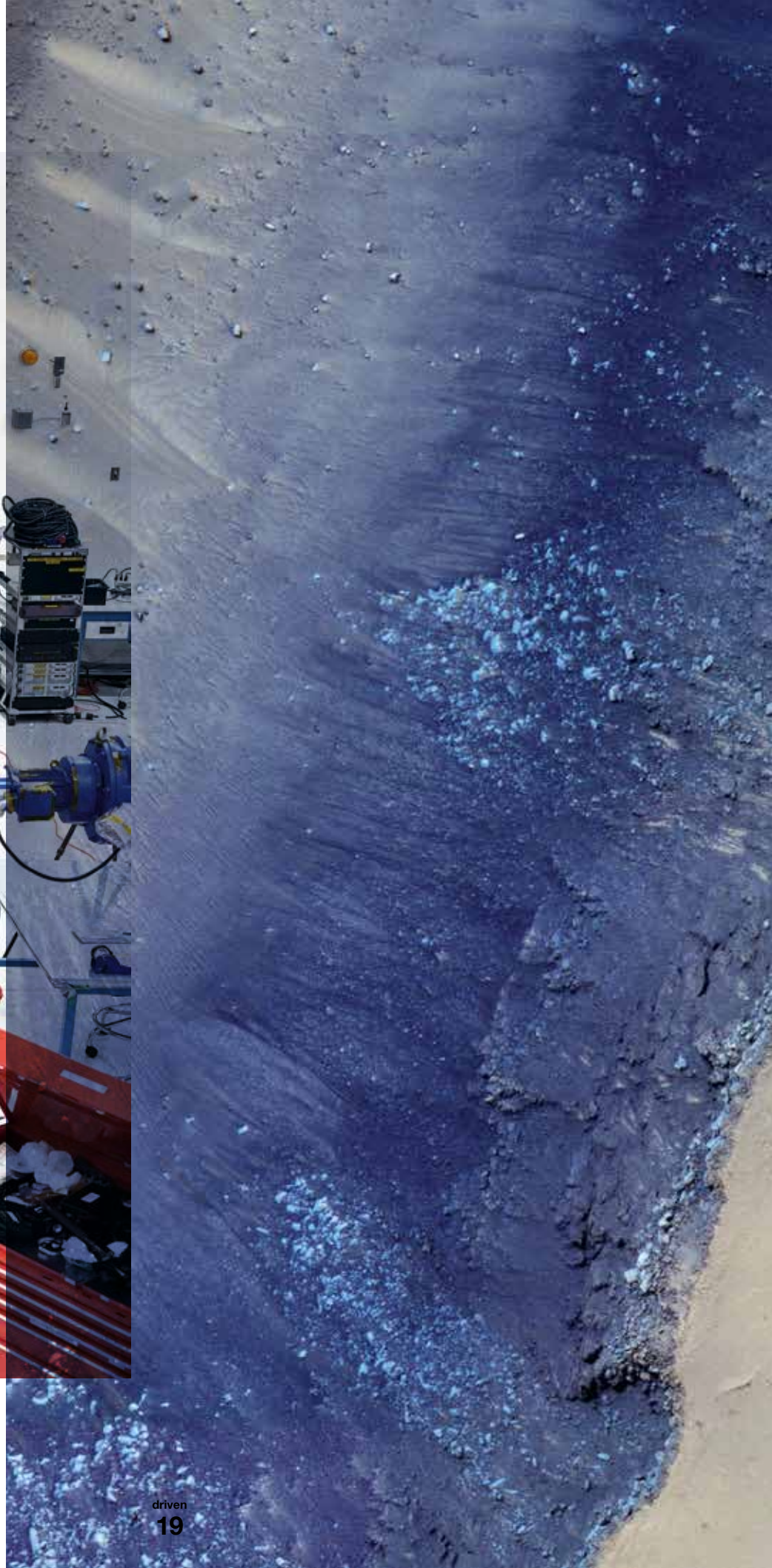
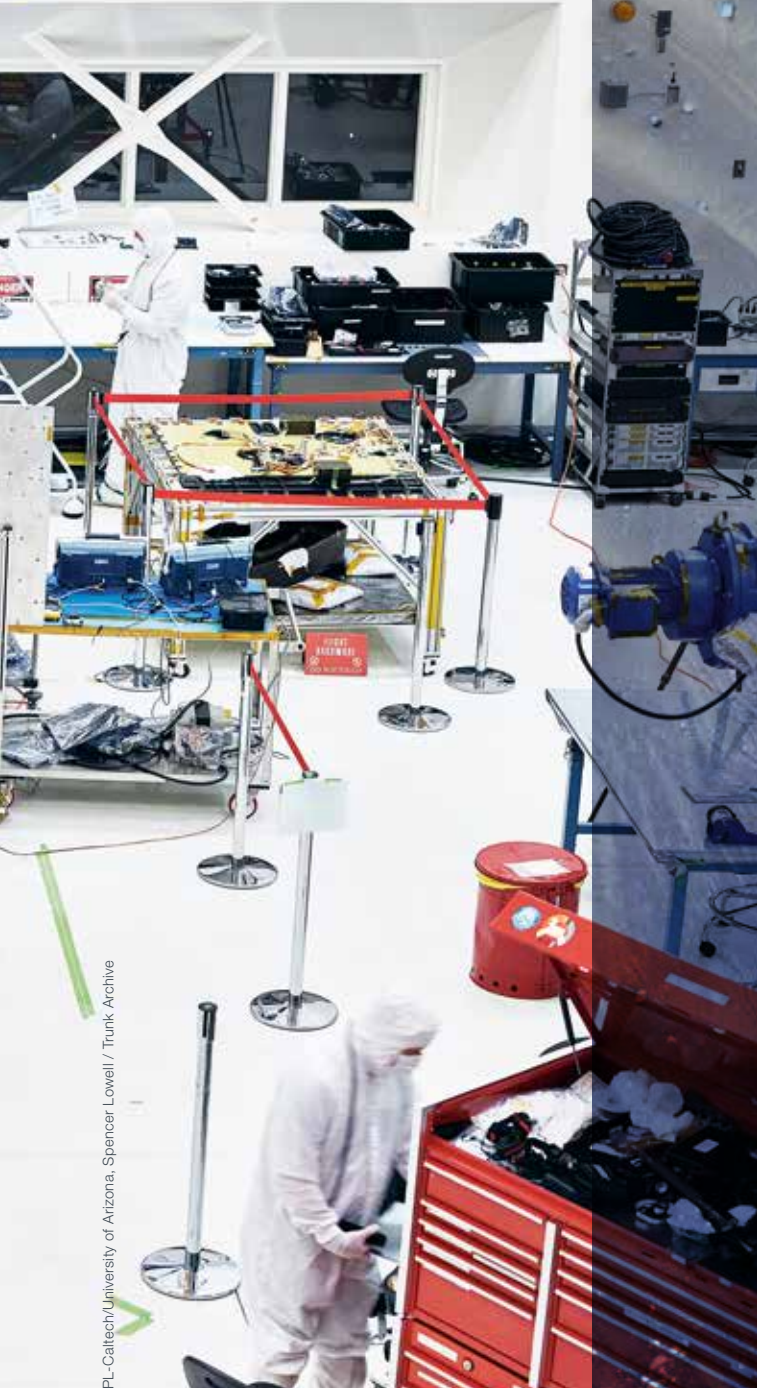
4



**4** JPL-Ingenieure testen die Instrumente des Mars-Rovers und tragen dabei Schutzanzüge, damit keine Partikel von der Erde auf dem Roten Planeten landen.

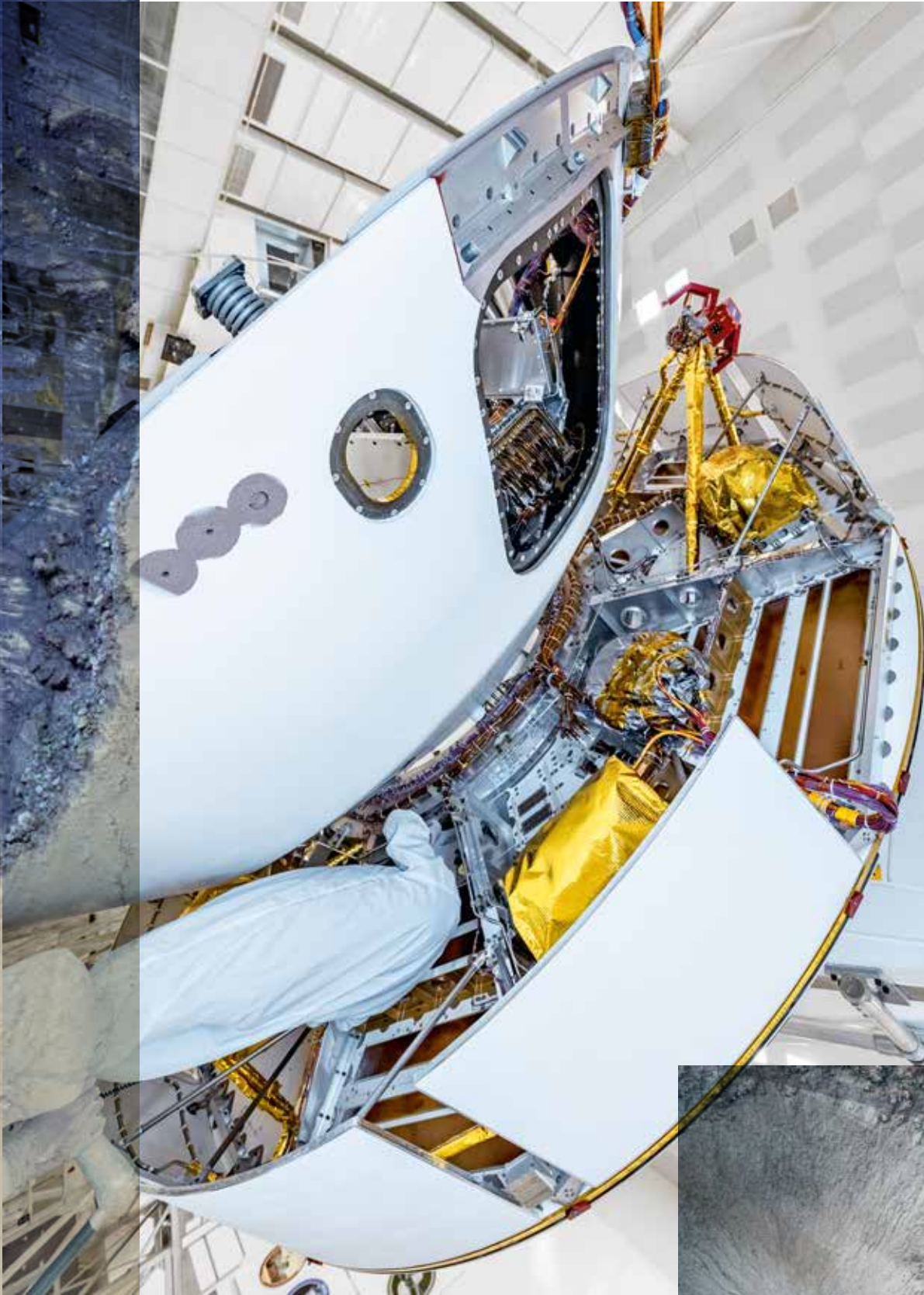
# 5

**5** Hier ist die Marsregion Cerberus Fossae zu sehen: eine vulkanische Ebene mit vielen Tälern.



Fotos: NASA/JPL-Caltech/University of Arizona, Spencer Lowell / Trunk Archive

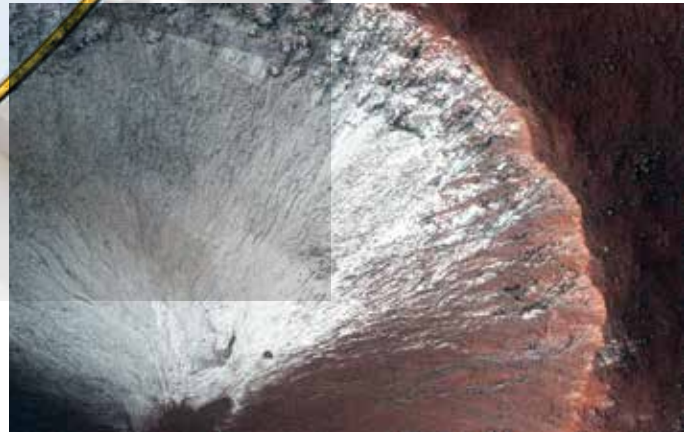




**6** Der Rover ist in der Hülle verstaut, die wiederum mit dem Modul verbunden ist, welches auf der Reise durch den Weltraum für die Energie und die Steuerung zuständig ist.

**7** Hänge im tiefen Mars-Süden sind im Winter mit Frost überzogen und geben den Forschern Einblicke in die Jahreszeiten des Planeten.

7







**Der europäische Rover startet 2022.** Mehr als 50 Antriebssysteme von maxon befinden sich im ExoMars Rover, der von der Europäischen Weltraumorganisation (ESA) zum Mars geschickt wird. Der Rover mit dem Namen Rosalind Franklin sollte ursprünglich 2018 starten. Doch die Mission wurde zuerst auf 2020 verschoben und ist inzwischen für 2022 vorgesehen. Verschiedenste Kombinationen von Antriebssystemen aus DC- und BLDC-Motoren, Getrieben und Encodern sind für die Fortbewegung und Steuerung des Rovers zuständig, treiben den Bohrer an, bewegen die Solarpanels, den Kamerakopf und vieles mehr.

# «Wir werden unglaublich wertvolle Daten erhalten»

Zum ersten Mal wird ein Hubschrauber auf dem Mars abheben.  
Raumfahrtingenieur Matt Keennon erklärt,  
wie die unmögliche Mission Realität geworden ist.



**DCX 10 Motor**  
Ø 10 mm,  
bürstenbehaftet



**Interview** Manuel Bühlmann

**Zum ersten Mal in der Geschichte der Menschheit wird auf dem Mars ein Hubschrauber eingesetzt. AeroVironment war beim Bau des Hubschraubers involviert. Nervös?**

Und wie! Schliesslich gibt es vom Start bis zur Landung auf dem Mars viele Unbekannte. Der Betrieb eines Hubschraubers in einer so feindseligen Umgebung ist ein absolutes Novum. Das gesamte Team – von JPL über NASA Ames und NASA Langley bis hin zu uns hier bei AeroVironment – gab sich grosse Mühe, alle Risiken zu eruieren und auf ein Minimum zu beschränken.

**Wie kam die Idee für einen Mars-Hubschrauber zustande?**

Die Idee, ein flugfähiges Gerät auf dem Mars abheben zu lassen, reicht mehrere Jahrzehnte zurück. So veröffentlichten rumänische Wissenschaftler bereits 1993 eine Arbeit über ein solarbetriebenes Senkrechtstartfahrzeug für den Mars. Die NASA führte in den späten 90er-Jahren einen Studierendenwettbewerb durch, bei dem die Teilnehmenden ein Konzept für einen Mars-Hubschrauber erarbeiten mussten. Der aktuelle Mars-Hubschrauber Ingenuity ist die Idee von Bob Balaram von JPL, der schon seit über 20 Jahren mit uns zusammengearbeitet hatte. Er ist der Chefindgenieur bei diesem Projekt und leitete es auch von Anfang an.

**Welche Erkenntnisse erhofft sich die Wissenschaft von den Flügen und den Flugbildern?**

Obwohl die einzelnen Flüge jeweils weniger als zwei Minuten dauern, werden sie unglaublich wertvolle Daten liefern, die uns helfen, die Umwelt auf dem Mars auf neue Art und Weise besser zu verstehen.

**Die Luft auf dem Mars ist extrem dünn und vergleichbar mit den Bedingungen auf der Erde**

**in einer Höhe von 30 Kilometern. Wie hoch schätzen Sie die Wahrscheinlichkeit ein, dass die kleine Drohne tatsächlich auf dem Roten Planeten abhebt?**

Meine Zuversicht ist gross, dass der Hubschrauber von der Marsoberfläche abheben und fliegen wird, vorausgesetzt, er kommt sicher an. AeroVironment hat schon solar- und batteriebetriebene Flugzeuge gebaut, die erfolgreich in dieser Höhe bei dieser geringen Luftdichte geflogen sind. Diese Flugzeuge flogen mit Propellern, die den Rotorblättern des Mars-Hubschraubers Ingenuity sehr ähnlich sind.

**Was war die grösste Herausforderung für die Ingenieure bei diesem bahnbrechenden Projekt?**

Wenn Sie die Elektroingenieure fragen, werden sie sagen, dass das Elektronikdesign der schwierigste Part war. Die Maschinenbauingenieure werden sagen, dass das mechanische Design am schwierigsten war. Die Softwareingenieure die Software und so weiter, bis wir alle Ingenieurdisziplinen durchlaufen haben. Jedes Mitglied unseres Entwicklungsteams – sei es bei JPL, maxon oder AeroVironment – hat hart gearbeitet, um dieses geschichtsträchtige Unterfangen in die Realität umzusetzen. Am Schluss geht nichts über gutes Teamwork.

**Wie viele Personen sind daran beteiligt, und wie lange läuft dieses Pionierprojekt bereits?**

Die Entwicklung dieses Mars-Hubschrauber-Innovationsprojekts hat 2013 begonnen. Im Laufe der Zeit werden wohl mehrere Hundert Personen dabei gewesen sein. Und Dutzende von Unternehmen waren beteiligt. Sie mussten, wie maxon, massgefertigte und nach unglaublich



**Matt Keennon**  
Raumfahrt-Ingenieur und Project Manager bei AeroVironment Inc.



# W

## WER? WIE? WAS? Facts & Figures

**STEUERUNG** Der Hubschrauber wird autonom gesteuert. Es gibt keine Möglichkeit, ihn ferngesteuert zu lenken. Die Zeitverzögerung, mit der sich die Funk-signale zwischen Erde und Mars bewegen, macht dies unmöglich.

**ROUTENPLANUNG** Für jeden einzelnen Flug gibt es einen individuellen Flugplan, der von der Erde aus programmiert und vor dem Start in den Hubschrauber geladen wird. Am Tag des Fluges wird der Hubschrauber zur vorher festgelegten Zeit starten und dann seine eigenen Entscheidungen für die präzisen, schnell berechneten Flugsteuerungsbefehle treffen, um so den Gesamtflugplan auszuführen und sicher zu landen.

**FLUGPROFIL** Abheben, drei Meter aufsteigen, seitlich gieren (rotieren), um sich umzusehen, und dann langsam absinken, um sicher zu landen. Ein fortschrittlicherer Flugplan würde das seitliche Übersetzen von bis zu 150 Meter über das Marsterrain und die Rückkehr zum Ausgangspunkt vor der Landung beinhalten.

**AUSWERTUNG** Geplant ist, dass nach einem Flug die folgenden zwei Tage genutzt werden, um die gesammelten Daten inklusive der aufgenommenen Farbfotos weiterzugeben und den nächsten Flug zu planen. Dabei werden die Flugrouten von Flug zu Flug komplexer. Insgesamt gibt es 30 solcher Experimentierfenster, in denen die Flüge durchgeführt werden können. Es sind fünf Erkundungsflüge geplant.



Video:  
Ingenuity flying  
on Mars

<https://bit.ly/ingenfly>



strengen Spezifikationen getestete Komponenten entwickeln. Es war nicht immer einfach, die Anforderungen der Mission zu erfüllen, aber jetzt haben wir es geschafft.

### Warum maxon?

maxon verfügt über äusserst wertvolle Erfahrung im Space-Bereich und war auch schon massgeblich am Erfolg des «Nano Hummingbird»-Flugzeugs von AeroVironment Anfang der Nullerjahre beteiligt. Das war der erste Kolibri-Roboter, der einen 8-mm-Gleichstrom-Bürstenmotor von maxon für den Antrieb verwendet.

### Welche Anforderungen müssen die Gleichstrommotoren erfüllen?

Aspekte wie Gewicht, Länge, Betriebsspannung, Wirkungsgrad bei einem bestimmten Drehmoment und einer bestimmten Drehzahl, Lebensdauer unter einer bestimmten Last, Lagertemperatur, Betriebstemperatur, Widerstand gegen das Eindringen von Staub sind nur einige Punkte.

### Wie würden Sie die Zusammenarbeit mit maxon beschreiben?

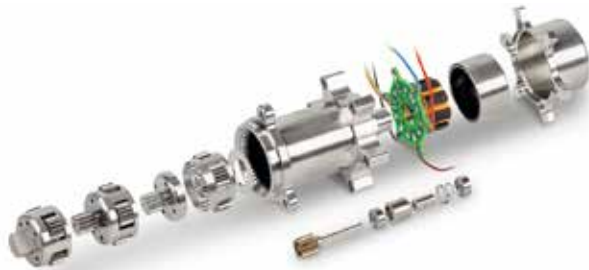
Die Zusammenarbeit mit maxon war und ist in jeder Hinsicht grossartig. Dank der intensiven Zusammenarbeit konnte gemeinsam eine riesige Wissensbasis geschaffen werden. Die kleinen Gleichstrommotoren sind die schwierigste Komponente in diesem Projekt.

### Welche Richtung könnten künftige Mars-Hubschrauber einschlagen?

Es gibt sehr viele Ideen für künftige Mars-Hubschrauber, aktuell sind sie aber noch nicht spruchreif. Ich bin mir sicher, dass der Mars-Hubschrauber Ingenuity ein erster wichtiger Schritt zu einem viel grösseren und viel komplexeren Hubschrauber ist, der über Fähigkeiten verfügen wird, die wir uns heute noch gar nicht vorstellen können. ■



# Die Mitwirkenden



**Antriebssystem  
BLDC-Motor EC 20 flat  
Getriebe GP 22 UP**

→ Perseverance-Rover  
S. 12



**DCX 19 S**

→ Mondfabrik  
S. 42



**Antriebssystem aus  
zwei bürstenlosen  
EC-4pole 30 Motoren  
und einem GPX 42 UP  
Getriebe**

→ Rendezvous im Weltall  
S. 44

# Marslandungen auf einen Blick

Landungen auf dem Roten Planeten gehören zu den grossen Herausforderungen der Raumfahrt. Wir zeigen alle erfolgreichen Missionen mit den jeweiligen Landeorten – auf einer Karte, auf der die relativen Erhebungen des Mars farblich unterschiedlich dargestellt sind.

## VIKING 1 - 1976

Der NASA gelang die erste erfolgreiche Landung mit Viking 1. Der Roboter funktionierte über sechs Jahre und schoss erstmals Bilder von der Marsoberfläche.

## PATHFINDER/ SOJOURNER - 1997

Die Pathfinder-Sonde der NASA brachte mit Sojourner den ersten Rover auf dem Mars. Die Landung fand am 4. Juli statt. Einsatzdauer: drei Monate. **MAXON ANTRIEBE** > 11 DC-Motoren mit einem Durchmesser von 16 Millimetern für die Antriebe, die Lenkung und die wissenschaftlichen Geräte.

## MARS 3 - 1971

Die russische Mission bestand aus einem Orbiter und einem Lander. Letzterer schaffte die erste weiche Landung auf dem Mars. Allerdings endete die Übertragung nach wenigen Sekunden.

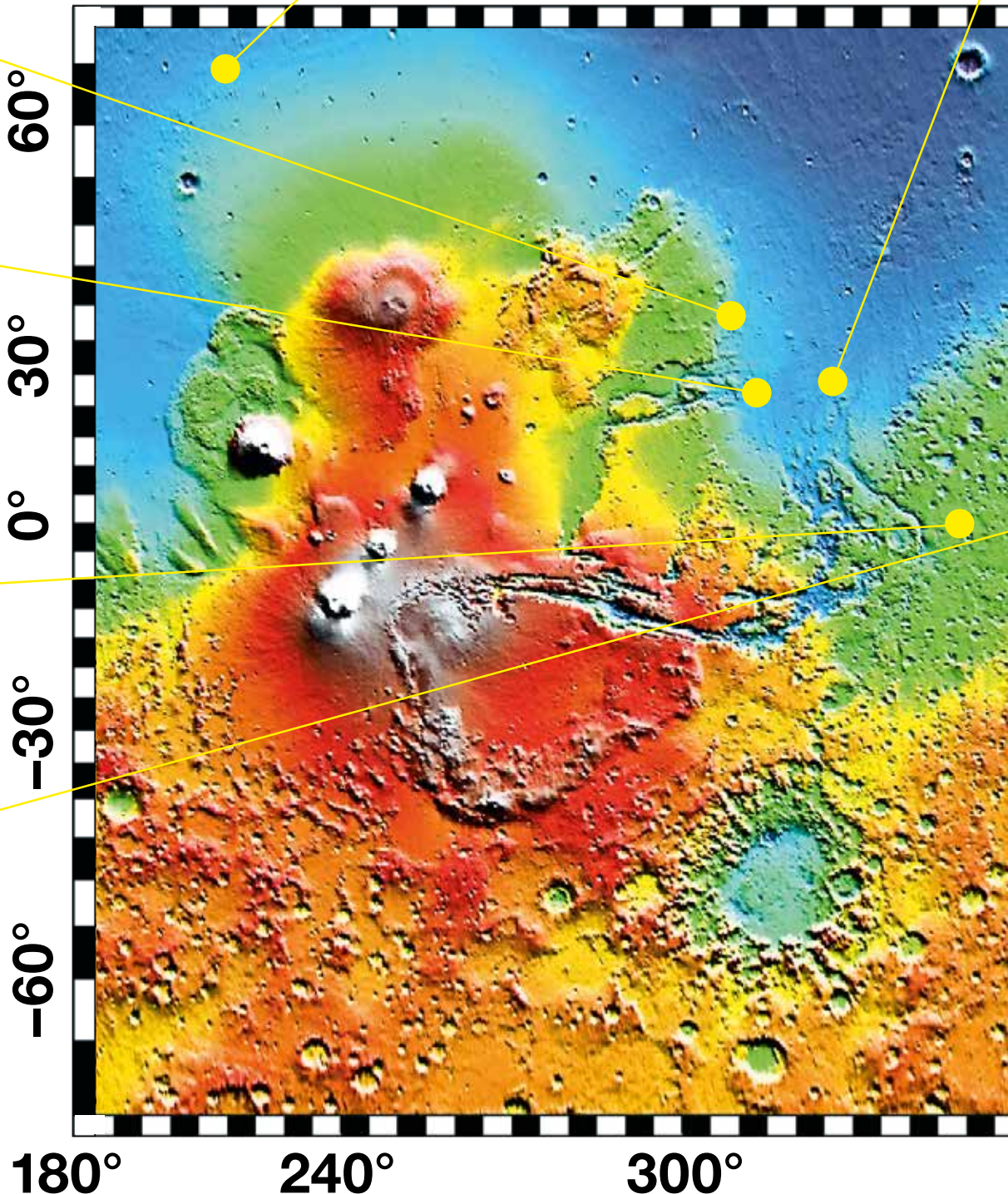
## OPPORTUNITY - 2004

Am 25. Januar – kurz nach Spirit – landete Opportunity. Seine Mission endete erst nach 15 Jahren und einer zurückgelegten Strecke von 45 Kilometern. **MAXON ANTRIEBE** > 35 DC-Motoren mit Durchmessern von 20 und 25 Millimetern für Radantrieb, Steuerung, Roboterarm und mehr.

## PHOENIX - 2008

Die fix stationierte Sonde holte mit ihrem Roboterarm Gesteinsproben aus dem Boden und analysierte diese. Einsatzdauer: fünf Monate.

**MAXON ANTRIEBE** > Neun DC-Motoren RE 25 mit speziellen Kugellagern für die Ausrichtung der Solarpanels und Bewegung des Roboterarms.





### EXOMARS - 2023 (GEPLANT)

Der Rover der Europäischen Weltraumorganisation (ESA) mit dem Namen Rosalind Franklin sollte ursprünglich 2018 starten, doch die Mission musste mehrfach verschoben werden. Nun soll die Reise 2022 losgehen, die Landung ist für 2023 geplant.

**MAXON ANTRIEBE** > 50 Antriebssysteme. Dabei handelt es sich um verschiedenste Kombinationen aus DC- und BLDC-Motoren, Getrieben und Encodern, unter anderem für die Fortbewegung und Steuerung des Gefährts, für den Bohrer oder die Analysesysteme.

### PERSEVERANCE - 2021 (GEPLANT)

Der Nachfolger von Curiosity soll im Februar im Jezero-Krater landen und dort nach Spuren von ehemaligem Leben suchen. Der Rover wird zudem Bodenproben sammeln und diese für spätere Missionen hinterlegen. Darüber hinaus befindet sich in seinem Gepäck der erste Mars-Hubschrauber. **MAXON ANTRIEBE** >

Für die Handhabung der Proben im Rover: neun BLDC-Motoren EC 32 flat und ein EC 20 flat in Kombination mit einem Getriebe GP 22 UP. Für den Hubschrauber: sechs DCX 10 Motoren.

### VIKING 2 - 1976

Auch der zweite Lander der Viking-Zwillingmission kam erfolgreich auf dem Mars an. Die stationäre Sonde arbeitete 1316 Tage.

### INSIGHT - 2018

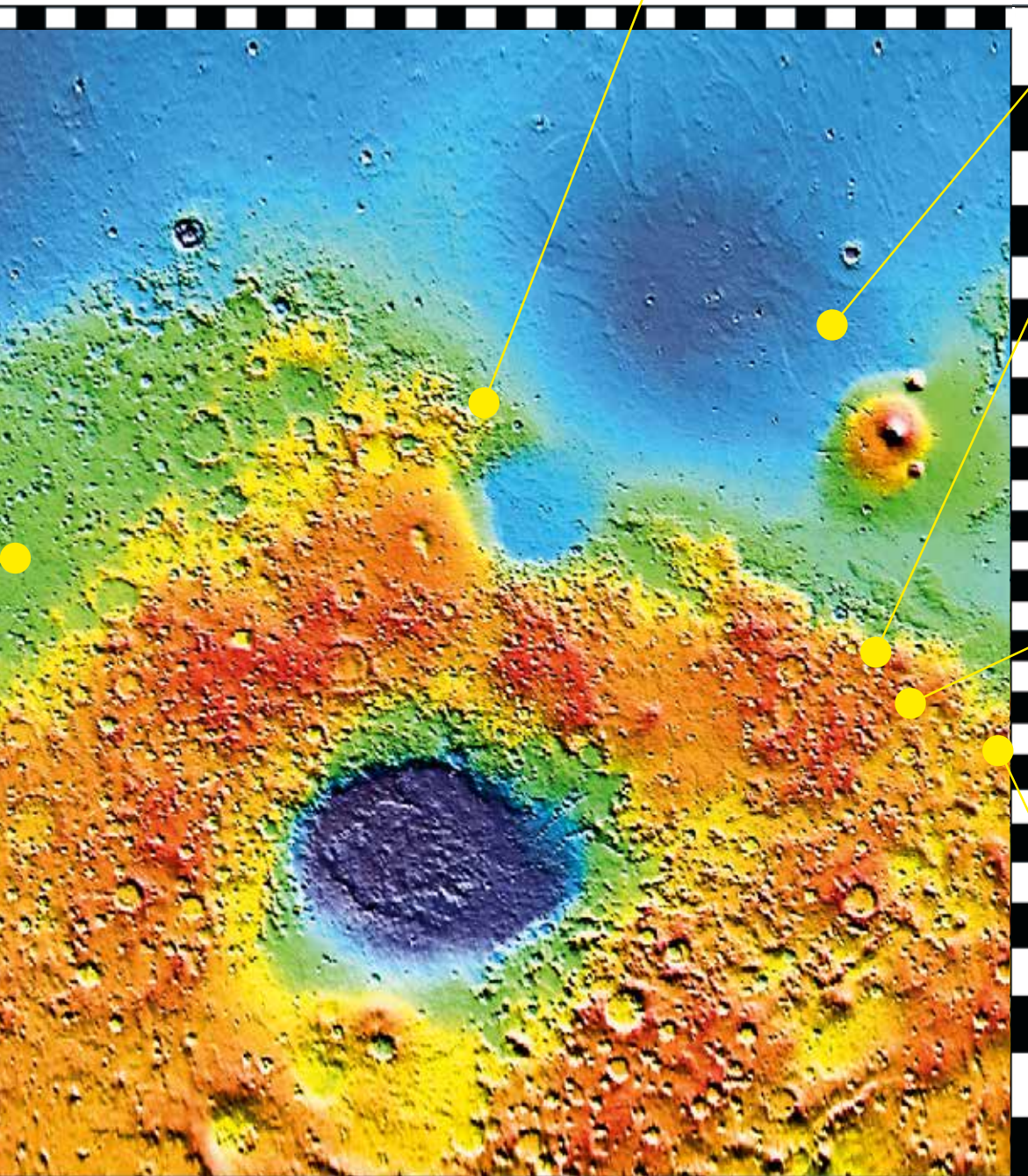
Der Roboter landete am 26. November und öffnete kurz darauf die Solarpanels mithilfe von DC-Motoren. Ein weiterer Antrieb löst im sogenannten Maulwurf den Hämmermechanismus aus, mit dem sich die Sonde in den Boden gräbt. **MAXON ANTRIEBE** > Zwei DC-Motoren für die Solarpanels sowie ein moderner DCX-Motor für die Temperatursonde.

### CURIOSITY - 2012

Der Rover landete im August auf dem Mars und übertraf seine Vorgänger nicht nur in technischer Hinsicht. Curiosity ist 900 Kilo schwer und wird durch eine Radionuklidbatterie angetrieben. **MAXON ANTRIEBE** > Präzise Encoder für die Antriebsachsen.

### SPIRIT - 2004

Der Rover landete am 4. Januar – kurz vor seinem Zwillingsbruder Opportunity. Spirit lieferte sechs Jahre Daten zur Erde, bis er schliesslich im Sand steckenblieb. **MAXON ANTRIEBE** > 35 DC-Motoren mit Durchmessern für Radantrieb, Steuerung, Roboterarm und mehr.



Karte: NASA/JPL/GSFC

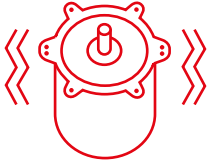
0°                      60°                      120°                      180°

# 5

## Herausforderungen, die ein Mars-Elektromotor meistern muss

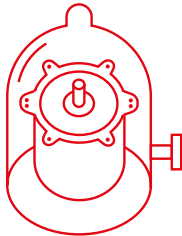
- ✓ Der Weltraum verzeiht keine Fehler. Deshalb müssen Präzisionsantriebe, die den Weg zu fremden Planeten antreten, höchste Qualitätsstandards erfüllen.
- ✓ Jeder Marsantrieb von maxon basiert auf einem Katalogprodukt und wird für die jeweilige Mission modifiziert. Denn die DC-Motoren, Getriebe und Encoder werden mit brutalen Anforderungen konfrontiert: während des Raketenstarts, der langen Reise durchs All und der Missionsdauer auf dem Roten Planeten. SpaceLab-Leiter Robin Phillips erklärt, welche Eigenschaften ein Antrieb erfüllen muss, damit er die Reise zum Mars antreten darf.





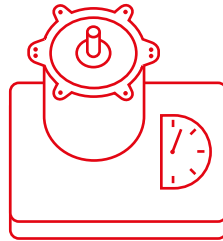
## 1 Vibration und Schock

Zuerst geht es darum, den Raketenstart zu überstehen. Heisst: Der Motor muss schock- und vibrationsresistent sein. Die Vibrationen sind vielleicht nicht so heftig, wie die Leute denken: etwas mehr als in einem Passagierflugzeug zwar, aber nicht massiv und nur für ein paar Minuten. Schocks hingegen erwischen uns immer wieder, wenn wir mit Standardprodukten arbeiten. Das tritt vor allem beim Staging auf, also wenn sich die erste Stufe vom Rest der Rakete abtrennt. Die grosse Kraft zerstört normale Motoren, weil sich Rotor und Stator trennen. Deshalb müssen wir unsere Antriebe verstärken, verwenden zum Beispiel einen gekapselten Rotor, spezielle Schweissungen und Sicherungsringe sowie optimierte Materialien.



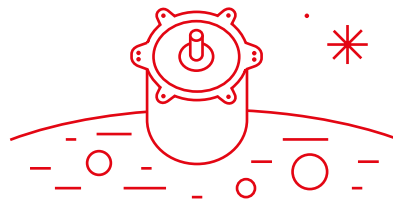
## 2 Vakuum und Strahlung

Die Reise zum Mars dauert ungefähr sechs Monate. Während dieser Zeit müssen die Antriebe Vakuum und Strahlung überstehen. Die schädlichste Strahlung kommt dabei nicht von der Sonne, sondern von hochenergetischen Partikeln ausserhalb des Sonnensystems, die die Elektronik zerstören können. Deshalb benötigen wir speziell gehärtete Elektronik für die Hallsensoren der Motoren. Um ganz sicherzugehen, bauen wir sie paarweise ein (Redundanz). Im Vakuum wiederum ist die Beständigkeit der Komponenten wichtig. Man darf keinen Klebstoff verwenden, der im luftleeren Raum seine chemischen Eigenschaften verändert und dann nicht mehr richtig klebt.



## 3 Gewichtsreduktion

Raketen können nur eine begrenzte Masse an Ladung zu anderen Planeten schicken. Um möglichst leicht zu sein, greifen wir auch mal auf exotische Formen zurück, verwenden dünnere Gehäusewände oder Titan statt Stahl. Zudem nutzen wir oft die kleinstmögliche Baugrösse des Antriebs mit dem Wissen, dass normalerweise nur eine kurze Betriebsdauer nötig ist im Vergleich zu Industrieanwendungen. Der höhere Verschleiss kann in Kauf genommen werden.



## 4 Marsatmosphäre

Einmal angekommen, muss der Motor über die gesamte Missionsdauer einwandfrei funktionieren: Wegen der dünnen Atmosphäre braucht es geeignete Schmierstoffe, die nicht ausgasen und ihre Eigenschaft beibehalten. Speziell bei bürstenbehafteten DC-Motoren ist es zudem wichtig, die richtige Bürstenmischung zu verwenden. Denn auf dem Mars baut sich keine Patina auf, weshalb wir spezielle Bürsten mit imprägnierter Schmierung entwickelt haben (Silbergraphit mit 15 Prozent MoS<sub>2</sub>). Das ist wohl eine der wichtigsten Modifikationen. Denn normale bürstenbehaftete Motoren fallen im Vakuum nach wenigen Stunden aus.



## 5 Qualitätstests

Auch bei Antrieben, die auf der Erde zum Einsatz kommen, gibt es Tests. Aber aus wirtschaftlichen Gründen gehen die nicht bis ins letzte Detail. Anders bei Produkten für Marsmissionen, wo man überhaupt kein Risiko in Kauf nehmen will. Hier lohnt es sich, jedes einzelne Bauteil zu prüfen. Und dann prüfen wir auch jede einzelne montierte Baugruppe und dokumentieren das ausführlich. So liefern wir dem Kunden den Nachweis, dass der Motor wirklich so ist, wie wir das versprochen haben. Die Flugmodelle sollen identisch sein mit den Einheiten, die qualifiziert worden sind. Denn diese haben mittels Tests exakt dasselbe erlebt wie im Ernstfall, wurden auf den Shaker gestellt, Temperaturzyklen ausgesetzt und Lebensdauertests unterzogen. Wenn die Antriebe all die Tests erfolgreich bestanden haben, weisst du: Das Design ist okay. Jetzt müssen nur noch alle weiteren Antriebe haargenau gleich gebaut werden – deshalb die ganze Dokumentation. Dieser Prozess ist aufwendig, aber wichtig. Denn die Geschichte von Space-Missionen zeigt: Wenn man das nicht tut, geht etwas schief. Und der Weltraum verzeiht keine Fehler.

1  
«Unser Antrieb muss funktionieren, sonst scheitert vielleicht die ganze Mission.»

Dominik Omlin | Production Engineer Aerospace bei maxon



②  
«Für mich  
sind Projekte  
wie der Mars-  
Hubschrauber  
ein Traum.»

Florbela Costa | Technische Projektleiterin SpaceLab bei maxon

3

«Inspiration  
gedeiht nicht auf  
dem weissen  
Papier.»

Robin Phillips | Head of SpaceLab bei maxon



## 1 Dominik Omlin, Production Engineer Aerospace

«Bei der Herstellung von Motoren für den Mars ist fast alles Handarbeit. Jeder Griff, jeder Montageschritt ist dokumentiert und muss sitzen – Fehler dürfen wir uns nicht erlauben. Denn wir arbeiten mit Materialien, die nicht einfach im Lager geholt werden können. Im Hinterkopf weiss ich: Auf dem Mars gibt es keine Eingreifmöglichkeit, unser Antrieb muss funktionieren, ansonsten scheitert vielleicht die ganze Mission. Deshalb sprechen wir uns viel ab, diskutieren die nächsten Schritte und arbeiten strikt nach dem Vieraugenprinzip. Unser Team der Spezialfertigung montiert Motoren und Antriebskombinationen für Space-Anwendungen. Aber nicht nur. Bei uns landen auch Aufträge für Medical, Robotik und andere Bereiche. Jedes Projekt ist anders, weshalb wir ein breites Wissen über die maxon Motorenpalette haben. Als Production Engineer Aerospace habe ich viele Aufgaben. Ich erstelle etwa detaillierte Prozessbeschreibungen, betreue die Produktion der Antriebe, schule die Mitarbeiter und arbeite eng mit der Konstruktion zusammen. Manchmal verbringe ich mehrere Stunden im Reinraum, wo die Motoren vor Partikeln geschützt sind. Dort kann ich fokussiert arbeiten. Wobei das nicht ganz einfach ist, wenn dir jemand über die Schulter schaut – wie das beim Auftrag für das Projekt Mars2020 der Fall gewesen ist. Die Spezialisten von JPL, unserem Auftraggeber, haben eng mit uns zusammengearbeitet und uns mehrfach am Hauptsitz besucht. Gemeinsam haben wir Herausforderungen besprochen und Lösungen gefunden. Ja, ich bin stolz, ein kleiner Teil dieser Space-Missionen zu sein. Und vor allem spürte ich grosse Dankbarkeit von den Kunden für unseren Einsatz. Das macht die Arbeit umso schöner.»

## 3 Robin Phillips, Head of SpaceLab

«Ich bin überzeugt, dass Inspiration nicht auf dem weissen Papier gedeiht. Deshalb habe ich an meinem Arbeitsplatz viele interessante Motoren und Komponenten angesammelt. Durch eines dieser Bauteile kam ich auf die Schlüsselidee für den bürstenlosen Antrieb, der nun im NASA-Rover Perseverance zum Einsatz kommt. Dieses Gefährt wird Marsproben einsammeln, und unsere Motoren handhaben diese Proben. Somit sind sie kritisch für den Erfolg der Mission. Ja, es macht mich stolz, einen Beitrag zu leisten, damit die Menschheit etwas lernt über das Sonnensystem, in dem wir alle leben. Weltraummissionen sind die Entdeckungsexpeditionen unserer Zeit und nur mit höchsten technischen Ansprüchen umsetzbar. Unsere Präzisionsantriebe erfüllen dabei oft wichtige Aufgaben. Fehler sind nicht erlaubt, und das macht es spannend. Als Leiter des SpaceLab suche ich stets nach neuen Technologien für unser Unternehmen und schaffe den Leuten ein Umfeld, in dem sie ihre Arbeit möglichst perfekt ausführen können. Zum Glück werden wir bei maxon diesbezüglich immer besser. Früher lieferten wir bloss die Antriebe mit den vorgegebenen Modifikationen, und die Kunden trugen die Verantwortung. Doch inzwischen besitzen wir das Space-Wissen und haben Qualitätsprozesse aufgebaut, welche die Erwartungen der Industrie erfüllen. Davon profitieren auch Kunden aus anderen Bereichen wie etwa der Medizin, denn die Anforderungen sind teilweise ähnlich hoch. Space-Projekte benötigen viel Geduld. Ich mache meinen Job nun seit mehr als zehn Jahren. Doch erst jetzt kommen meine Antriebe langsam zum Einsatz. Umso schöner, wenn dann alles funktioniert.»

## 2 Florbela Costa, Projektleiterin SpaceLab

«Ich kann es nicht erwarten, bis der erste Hubschrauber der NASA auf dem Mars fliegt. Denn als technische Projektleiterin Aerospace war ich für die DC-Motoren verantwortlich, die für die Steuerung des Hubschraubers eingesetzt werden; konkret in der Taumelscheibe. Für mich sind solche Projekte ein Traum. Vor allem, wenn wir – wie in diesem Fall – den engen Zeitrahmen einhalten können und unsere Produkte alle Qualifikationstests positiv durchlaufen. Es macht mich sehr stolz, Teil einer solch unglaublichen Anwendung zu sein. Aber natürlich braucht es dafür viele Leute, die mithelfen. In meiner Funktion bin ich Bindeglied zwischen Kunden und den verschiedenen Abteilungen bei maxon und Sorge dafür, dass wir die Anforderungen erfüllen – bezüglich Qualität, Zeitplan und Kosten. Ich mag den Kontakt mit allen involvierten Personen bei maxon von der Entwicklung bis zur Produktion. Und ich mag Space-Projekte, da mich die Aerospace-Industrie schon immer fasziniert hat. Sie unterscheiden sich von anderen Anwendungen in erster Linie dadurch, dass meistens höhere Qualitätsanforderungen gestellt werden, etwa bezüglich Vibrations- oder Temperaturbeständigkeit. Aus diesem Grund muss alles analysiert und getestet werden. Teile, die in unseren Standardmotoren zum Einsatz kommen, werden nochmals evaluiert, um ganz sicherzugehen, dass sie im Weltall oder auf fremden Planeten funktionieren. Das ist ein grosser Aufwand. Aber es lohnt sich.»

## 4 Aiko Stenzel, Design Engineer Aerospace

«Die letzten sieben Jahre durfte ich für unterschiedliche Marsmissionen bürstenbehaltete DC-Motoren konstruieren. Alles begann mit dem ExoMars-Projekt der ESA, bei welchem ich für 13 verschiedene Antriebe verantwortlich war – darunter der innovative Radantrieb des Rovers, der in steinigem Gelände die Räder heben kann. Hierfür entwickelten wir eine neue, rein magnetische Rastmomentbremse. Der Rover soll ja am Hang nicht herunterrollen. Das bisher spannendste Vorhaben war jedoch der Mars-Hubschrauber der NASA. Ich hatte die Gelegenheit, einen maxon DCX 10 Antrieb für die Steuerung der Rotorblätter zu entwickeln. Benötigt wurden sechs Stück des kleinen Gleichstrommotors. Die grösste Herausforderung war die extreme Anforderung an das Gewicht. Jedes Zehntelgramm musste gespart werden, damit der Hubschrauber in der dünnen Atmosphäre des Mars fliegen kann. Grossartig ist, dass wir trotz Gewichtseinsparung eine Lösung gefunden haben, die genug Power hat, die Rotorblätter zu justieren. Und das bei hohen Vibrationen und Temperaturschwankungen. Der Hauptunterschied von Space-Antrieben zu irdischen ist, dass man bis an den Rand des Möglichen geht: bei der Konstruktion, bei den Materialien, bei den Verfahren. Wir haben beispielsweise ein spezielles Härteverfahren für die Herstellung von Wellen verwendet, damit diese zäher werden. Dazu kommt immer ein hoher Dokumentationsaufwand: detaillierte Materiallisten, Gewichtsangaben, Schwerpunktberechnungen, Oberflächenberechnungen von Kunststoffteilen etc. Schön ist, dass auch viele andere Kunden von unseren Erfahrungen im Weltraumbereich profitieren können. Zum Beispiel haben wir besondere Schweissverfahren für die Marsantriebe entwickelt, die heute in der Serie eingesetzt werden. Und im maxon Katalog sind bald auch die magnetischen Haltebremsen zu finden, die wir für ExoMars konzipiert haben. Cool, oder?»

4  
«Wir gehen bis  
an den Rand  
des Möglichen.»

Aiko Stenzel | Design Engineer Aerospace bei maxon



A satellite with solar panels and antennas is shown in orbit against the dark background of space and the blue curve of the Earth's horizon. The satellite is illuminated from the right, highlighting its structure.

# Schnapp den Schrott

Ein Spin-off der Eidgenössischen Technischen Hochschule Lausanne (EPFL) erhielt von der Europäischen Weltraumorganisation (ESA) die Verantwortung über ein 100-Millionen-Euro-Projekt. ClearSpace SA leitet nun ein Konsortium, das die erste Müllbeseitigungsmission in der Erdumlaufbahn ausarbeitet.

## ADRIOS- Programm

Die ClearSpace-1-Mission soll im Rahmen des ESA-Weltraumsicherheitsprogramms ADRIOS (Active Debris Removal / In-Orbit Servicing) die Beseitigung von potenziell gefährlichem Weltraumschrott in Gang setzen. Damit soll der Weg für weitere Missionen geebnet werden, die zu einer verantwortungsvollen Entwicklung des Weltraums beitragen. Acht ESA-Mitgliedsstaaten, darunter die Schweiz, werden dafür 86 Millionen Euro aufwenden. Die restlichen 14,2 Millionen werden durch Sponsoren eingebracht.

**Text** Luca Meister

**U**nser Leben hängt immer stärker von Weltraumtechnologien ab. Wir nutzen Satelliten für die Meteorologie, Kommunikation und Navigation oder die Beobachtung von Katastrophengebieten. Gemäss der Europäischen Weltraumorganisation (ESA) greifen rund 40 Prozent der modernen mobilen Anwendungen auf Satelliten- und Weltraumtechnik zurück. Doch diese Infrastruktur ist gefährdet.

95 Prozent aller Objekte in der erdnahen Umlaufbahn, also in 200 bis 2000 Kilometer Höhe, sind defekt und nicht mehr steuerbar. Sie sind Weltraummüll – wie abgesprengte Raketenstufen, Solarpanels (u.a. von Satelliten), Werkzeuge, Farbsplitter oder Festbrennstoffe. Und dieser Müll stellt ein Risiko dar für aktive Satelliten und künftige Raumfahrtmissionen inklusive deren Besatzungen. Selbst die Raumstation ISS musste schon mehrmals Manöver durchführen, um Weltraumschrott auszuweichen.

### Konstellationen von Mini-Satelliten

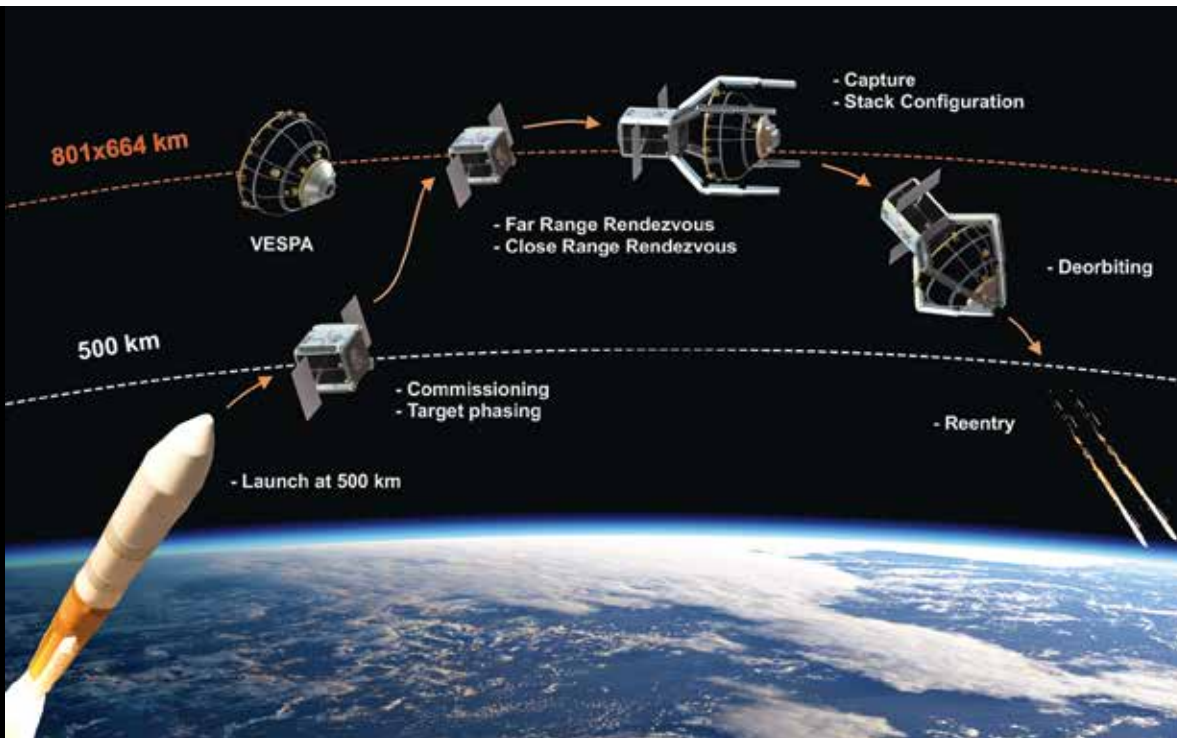
Die Situation verschärft sich aufgrund immer neuer Satelliten, die in die Umlaufbahn gebracht werden. Wurden zwischen 2009 und 2012 pro Jahr noch 50 Raumflugkörper in den Orbit geschickt, sollen es in diesem Jahr bereits 800 sein – Tendenz steigend. Künftig werden die meisten Neuankömmlinge im All Nanosatelliten sein – als Teil von Netzwerkkonstellationen. Das Unternehmen OneWeb beispielsweise begann 2019 mit dem Aufbau einer Konstellation von rund 650 Mini-Satelliten. Diese sollen auch an entlegensten Orten der Erde Internetzugang ermöglichen. Solche Projekte, und auch der aufkommende Raumfahrttourismus, verlangen die Beseitigung von Weltraummüll.

Mit den aktuell über 34 000 registrierten menschengemachten Objekten, die einen Durchmesser von über zehn Zentimetern aufweisen, haben wir einen kritischen Punkt erreicht. Sollte die Menschheit nichts dagegen unternehmen, würden sich bis zum Jahr 2065 schätzungsweise 140 000 Schrottoobjekte im Orbit ansammeln. Denn beim Zusammenprall zweier Objekte entsteht jeweils ein Trümmerfeld mit einer Vielzahl an Teilen. Es droht eine gefährliche Kettenreaktion.

### Erste Müllbeseitigungsmission der ESA

Nun soll ein Schweizer «Entsorgungssatellit» Pionierarbeit leisten und einen ersten Schrottkörper beseitigen. Bei der 2025 geplanten ClearSpace-1-Mission unter





So wie in dieser Darstellung könnte die erste Müllbeseitigungsmission von ClearSpace ablaufen: Aktuell arbeitet das Unternehmen mit maxon Antrieben, die aus dem DC-Motor DCX 22 L sowie dem Planetengetriebe GP 32 HP bestehen.



Es gibt eine 3-D-Animation aller Trümmerteile, die die Erde umkreisen, unter

[stuffin.space](http://stuffin.space)

der Leitung des gleichnamigen Start-ups wird die zurückgebliebene «Vespa»-Oberstufe (Vega Secondary Payload Adapter) einer 2013 ins All geschickten Rakete eingefangen und in die Erdatmosphäre geleitet.

Der Prototyp des «Weltraumpflegers» verfügt über einen aus vier Roboterarmen bestehenden «Chaser», mit dem die ausgediente Oberstufe auf einer Höhe von 720 Kilometern ergriffen und bewegt werden soll. Zwölf maxon Antriebe setzen die tentakelartigen Greifarme von ClearSpace-1 in Gang. Danach wird die eingefangene Raketenoberstufe so positioniert, dass sie aus der Umlaufbahn herausgebremst werden kann. Für dieses Prozedere dienen Triebwerke an mehreren Seiten. Bei einem kontrollierten Wiedereintritt verglühen sowohl die Vespa als auch ClearSpace-1 in der Atmosphäre – der grössten «Müllverbrennungsanlage».

Künftige Entsorgungssatelliten sollen diesen Vorgang so oft wie möglich wiederholen. Sie werden auch schwerere Objekte in einer erdnahen Umlaufbahn abtransportieren, um den Platz freizugeben für nachfolgende Weltraumoperationen.

### Zehn Jahre Erfahrung mit Weltraummüll

Seit 2010 arbeiten die Forscher des Raumfahrtzentrums der EPFL in der Schweiz an Weltraummüll-Aufgangssystemen. Das daraus gewonnene Engineering-Wissen floss in die Entwicklung von ClearSpace-1

ein. 2017 wurde das Projekt als Spin-off ausgegliedert und kurz darauf die ClearSpace SA gegründet, welche ihren Betrieb im maxon-Lab an der EPFL aufnahm. Luc Piguet, CEO und Mitgründer der ClearSpace SA, erinnert sich: «Das maxon-Lab ist eine Drehscheibe für die Technologievermittlung und daher ideal für Start-ups.» Das wachsende Team von ClearSpace wird inzwischen durch herbeigezogene Spezialisten von führenden Raumfahrtbehörden und -unternehmen mit Missionserfahrung bereichert. Im Beirat stehen Koryphäen wie Jean-Jacques Dordain, ehemaliger Generaldirektor der ESA, und der Schweizer Astronaut Claude Nicollier.

Dass ein Start-up die Verantwortung über ein 100-Millionen-Euro-Projekt erhalten hat, ist bemerkenswert. ClearSpace setzte sich 2019 im Alleingang gegen Airbus, Thales Alenia Space (Frankreich) und Avio (Italien) durch. Luc Piguet sagt: «Obwohl wir von unserem eingereichten Antrag sehr überzeugt waren, überraschte es uns, dass wir die Führung über ein Projektkonsortium im Alleingang übernehmen dürfen.» Dabei bleibt er pragmatisch: «Wir haben von Anfang an das Wirtschaftliche miteinbezogen.» Pro De-Orbiting sollen möglichst wenig Kosten anfallen. Dies hatte die ESA überzeugt. Mit einem kleinen Lächeln ergänzt Piguet: «Es ist eine grosse Verantwortung, die wir übernehmen.»

# Dual-Loop-Regelung: Schwingungen und Getriebespiel goodbye

Lasten dynamisch, hochpräzise und schwingungsfrei positionieren  
trotz mechanischem Spiel und elastischen Komponenten?  
Das geht – mit einem intelligenten Systemansatz.

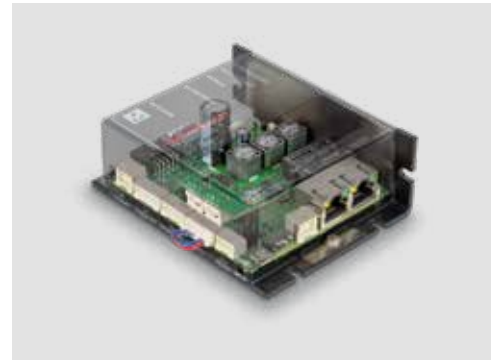


Jürgen Wagenbach,  
Head of Customer  
Support Motion Control  
bei maxon



**D**ie elektrisch angetriebene Bewegung von Lasten erfolgt meist mit einem System, welches die Positions- und Geschwindigkeitsinformation für die Regelung mit einem Encoder auf der Motorwelle ermittelt. Eine hohe Auflösung des Encoders und die präzise Erfassung der Motorwellenreaktion sind eine Voraussetzung für die dynamische Positionsregelung. Aus Anwendungssicht ist letztendlich aber die Präzision der abgangsseitigen Lastbewegung das Kriterium, welches sich auf die Qualität und Masshaltigkeit von produzierten Gütern auswirkt. Einen negativen Einfluss können dabei Getriebe, Spindeln und Antriebsriemen haben. Das Getriebeispiel kann je nach Bewegungsrichtung zu einer abgangsseitig unterschiedlichen Lastposition führen, und Elastizitäten können Verzögerungen und Schwingungen beim Bewegungsstart oder -stopp verursachen. Der erste Lösungsgedanke: den Encoder auf der Abgangswelle anstatt auf der Motorwelle montieren. Doch das führt nicht zum Erfolg, sondern zu einem noch schlechteren Systemverhalten. Im Falle einer spielbehafteten oder elastischen Mechanik muss für eine dynamische, präzise Lastpositionierung ein Systemansatz mit der Regelung auf Basis von zwei Gebersystemen gewählt werden:

- Ein Drehgeber, der als «Auxiliary-Encoder» bezeichnet wird, ist steif mit der Motorwelle verbunden. Dieser sollte bereits Bestandteil der Motorkombination sein.
- Ein weiterer Geber, der als «Main-Encoder» bezeichnet wird, ist abgangsseitig bei der bewegten Last angekoppelt.



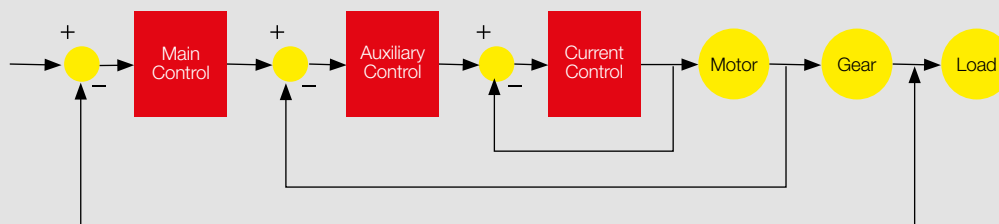
Die Positioniersteuerung EPOS4 50/5 von maxon.

Für die Signalverarbeitung dieser beiden Gebersysteme ist eine sogenannte «Dual-Loop»-Regelung notwendig. Die Positioniersteuerungen EPOS4 von maxon erweitern eine solche Dual-Loop-Regelung mit einem Filter zweiter Ordnung und einem «Gain Scheduler», um mechanischen Resonanzen und dem Getriebeispiel entgegenzuwirken. Die Inbetriebnahme-Software «EPOS Studio» bietet als Hilfsmittel eine automatische Parameter-Ermittlung (= «Regulation Tuning») der komplexen Reglerstruktur sowie die Aufzeichnung der Übertragungsfunktion des Antriebs.

### Reglerarchitektur

Die EPOS4 verwendet für die Dual-Loop-Regelung eine kaskadierte Reglerstruktur (siehe **Abbildung 1**):

- Der innerste Regelkreis ist eine feldorientierte (= FOC) Motorstromregelung basierend auf der Motorstrommessung als Feedbacksignal.
- Der zweite innere Regelkreis («Auxiliary Control») regelt die Motordrehzahl basierend auf dem Encoder an der Motorwelle.
- Der äussere Regelkreis («Main Control») regelt die Lastposition basierend auf dem lastseitigen Gebersystem.



**Abbildung 1** Die Dual-Loop-Architektur besteht aus drei integrierten Rückführkreisen.

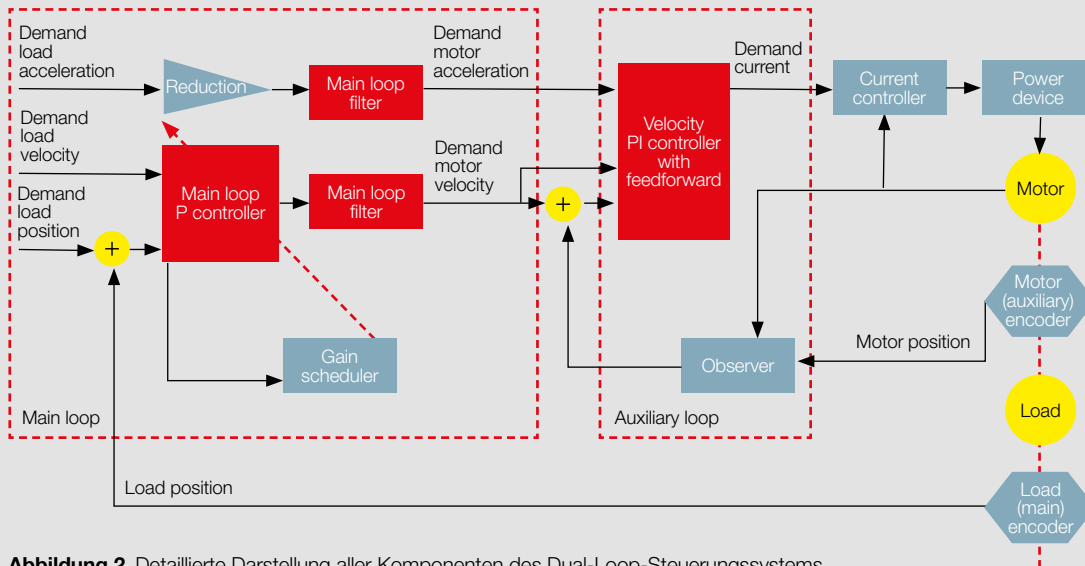


Abbildung 2 Detaillierte Darstellung aller Komponenten des Dual-Loop-Steuerungssystems.

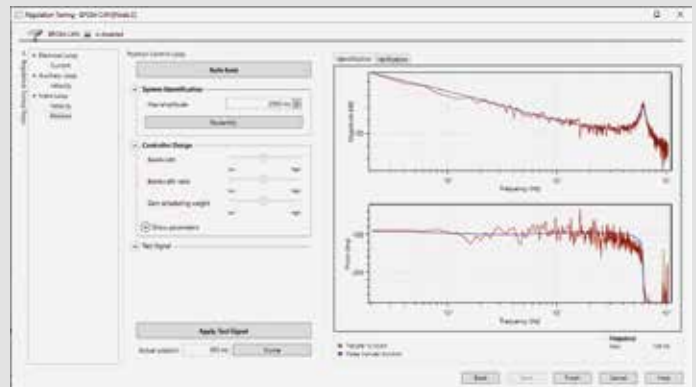


Abbildung 3 Beispiel einer durch EPOS4 identifizierten Übertragungsfunktion mit Resonanzstelle.

Eine detailliertere Ansicht der EPOS4-Dual-Loop-Reglerstruktur ist **Abbildung 2** zu entnehmen.

### Hauptregelkreis

Der Hauptregelkreis besteht aus einem proportionalen (P) Regler, einem «Gain Scheduler» und einem Filter zweiter Ordnung (= «Main loop filter»). Von einem Bahnplaner werden die Soll-Position der Last sowie deren Soll-Geschwindigkeit und Soll-Beschleunigung als Eingangsgrösse für den Hauptregelkreis vorgegeben. Als weitere Eingangsgrösse misst der Encoder an der Last deren aktuelle Ist-Position.

- Gain Scheduler

Der «Gain Scheduler» dient bei der EPOS4-Dual-Loop-Regelung zur Eliminierung von negativen Effekten durch das Getriebespiel. Der «Gain Scheduler» passt dazu die P-Verstärkung des Haupt-

regelkreises automatisch an. Falls der Schleppfehler, d.h. die Abweichung zwischen lastseitiger Soll- und Ist-Position, gross ist, wird eine hohe P-Verstärkung verwendet, die zu einer schnellen Reduzierung des Fehlers führt. Bei zunehmend kleinerem Schleppfehler wird auch die P-Verstärkung zurückgenommen, damit trotz Getriebespiel im Antrieb keine Schwingungen auftreten.

- Hauptregelkreis-Filter (= «Main loop filter»)

Falls zwischen Motor und Last durch Kupplungen, Riemen oder lange Spindeln eine gewisse Elastizität vorhanden ist, könnten bei auftretenden Resonanzfrequenzen sich verstärkende Schwingungen bis zur Instabilität der Regelung auftreten. Um dies zu vermeiden, verwendet die EPOS4-Dual-Loop-Regelung einen sogenannten Kerbfilter (= «Notch filter») zweiter Ordnung. Dieser unterdrückt den



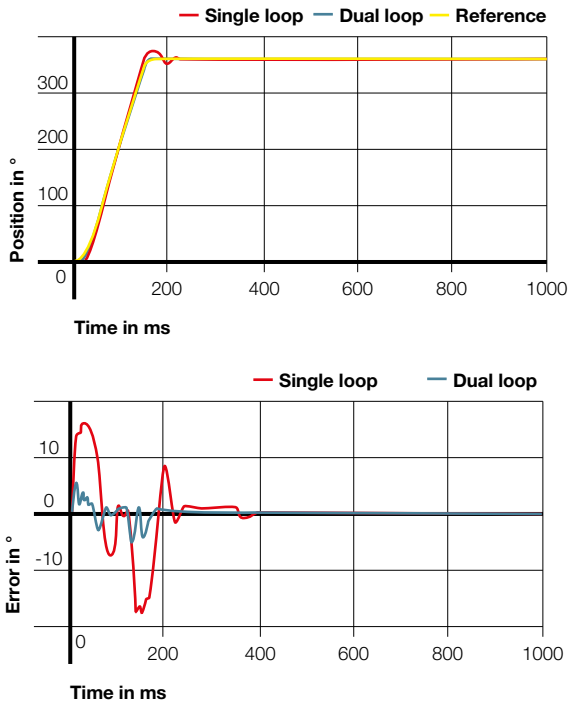


Abbildung 4 Lastbewegungsprofil eines Systems mit Getriebe-  
spiel: Führungsverhalten (oben) und Schleppfehler (unten).

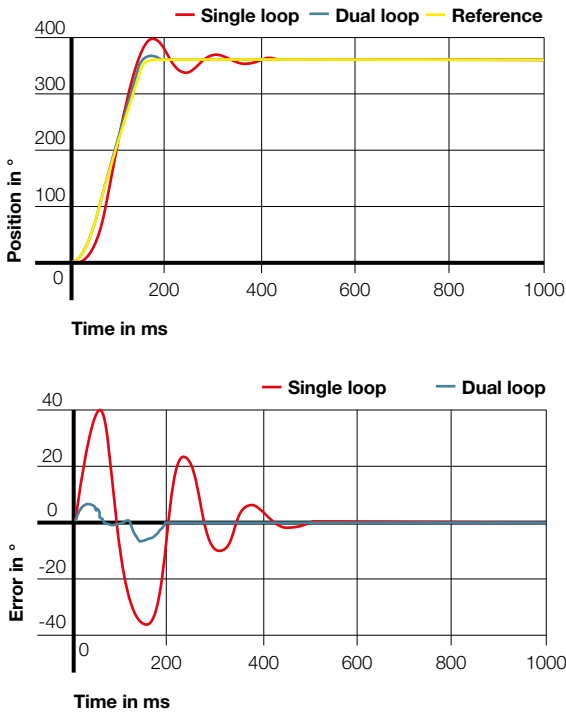


Abbildung 5 Lastbewegungsprofil eines Systems mit Elastizität:  
Führungsverhalten (oben) und Schleppfehler (unten).

Resonanzfrequenzbereich im Ausgangssignal des Hauptregelkreises und verhindert damit harmonische Schwingungen im Antriebsstrang.

### Hilfsregelkreis

Der Hilfsregelkreis besteht aus einem proportional-integralen (PI) Regler mit Vorsteuerung (Feed Forward, FF) und einem Beobachter (= «Observer»), der die Motordrehzahl aus der Positionsinformation des motorseitigen Encoders und der Motorstrommessung abschätzt.

### Autotuning-Verfahren

Um die Inbetriebnahme zu vereinfachen, bietet die «EPOS Studio»-Software von maxon einen integrierten «Autotuning»-Wizard, mit dem die Parameter der Dual-Loop-Regelung ermittelt und überprüft werden können. Das Autotuning-Verfahren besteht aus zwei vollautomatisch ausgeführten «Experimenten».

- «Experiment 1» versetzt die Motorwelle in Schwingungen, welche zur Bestimmung des Trägheitsmoments und der Drehmomentkonstante sowie der Reibung im Motor verwendet werden. Basierend auf den identifizierten Daten werden die Parameter für den Hilfsregelkreis und den Beobachter berechnet.

- «Experiment 2» wird zur Berechnung der Parameter für den Hauptregelkreis einschliesslich des Kerbfilters eingesetzt. Hierfür wird ein PRBS-Signal (= «Pseudo-Random Binary Sequence») zur Anregung der Regelstrecke verwendet. Basierend auf den sich ergebenden Eingangs-/Ausgangsdaten wird die Übertragungsfunktion identifiziert und als Bode-Diagramm dargestellt (siehe **Abbildung 3**).

Das Bode-Diagramm kann exportiert werden und hilft Regelungstechnikern bei der Systemanalyse zur Optimierung des mechanischen Designs oder manuellen Abstimmung der Regelung auf spezifische Anwendungsfälle.

### Single-Loop- und Dual-Loop-Regelung im Vergleich

Die nebenstehenden Diagramme zeigen die Unterschiede des Führungsverhaltens und Schleppfehlers bei einem System mit Getriebeispiel (**Abbildung 4**) und einem System mit elastischer Kupplung (**Abbildung 5**) im Falle einer Single-Loop-Regelung mit lastseitigem Encoder und einer automatisch getunten Dual-Loop-Regelung mit je einem Encoder auf der Motorwelle und der Last.

Die Dual-Loop-Regelung ist eine Möglichkeit, um Antriebssysteme präziser und effizienter zu machen. maxon bietet dafür nicht nur alle Komponenten, sondern viel Erfahrung in der Beratung – von der Idee über das Konzept bis in die Serie. ■



# Starterkit für die Mondfabrik

## Young Engineers Program

maxon unterstützt mit dem Young Engineers Program (YEP) innovative Projekte mit vergünstigten Antriebssystemen und technischer Beratung.



Jetzt bewerben:

[www.drive.tech](http://www.drive.tech)



Text Luca Meister

Für den Bau einer künftigen Mondbasis eignen sich faserverstärkte Materialien. Im Rahmen des Projekts «MoonFibre» haben Forscher eine Miniaturanlage entwickelt, die Endlosglasfasern unter widrigen Bedingungen produziert.

**W**ir kennen inzwischen auch die dunkle Seite des Mondes. Dort landete 2019 eine chinesische Sonde. Auch die ESA und die NASA verfolgen Pläne für neue Mondmissionen. Wäre da nicht der teure Transport. Es kostet eine Million US-Dollar, um einen Liter Wasser auf den Mond zu bringen. Allein die Lieferung des Materials für eine Raumstation in der Grösse der ISS ergäbe eine Summe von 450 Milliarden US-Dollar. Extraterrestrische Infrastruktur soll daher mit lokal verfügbaren Materialien gebaut werden.

Die Mondoberfläche besteht aus Geröll, Schutt und Staub. Dieses poröse und lockere Gestein ist Regolith, der aufgrund seiner chemischen Zusammensetzung Basalt ähnlich ist. Und dieser eignet sich für die Produktion von Mineralfasern.

Das Institut für Strukturmechanik und Leichtbau (SLA) und das Institut für Textiltechnik (ITA) der Rheinisch-Westfälischen Technischen Hochschule Aachen (RWTH) haben eine automatisierte Miniaturspinnerei zur Herstellung von Mineralfasern entwickelt. Anhand analysierter Bodenproben von den Apollo- und Luna-Missionen wurden regolithähnliche Materialien hergestellt und damit 17 Mikrometer dünne Fasern gesponnen.

### Vielfältig einsetzbar

Angelehnt an Produktionsanlagen der Glasfaserherstellung, haben die Forscher die Prozesse vereinfacht und in einen 40-Zentimeter-Würfel aus carbonfaserverstärkten Materialien gepackt. Darin wird künftig das Mondgestein bei 1450 Grad Celsius zu Glas erschmolzen und im schmelzflüssigen Zustand durch eine Düse am Boden des Tiegels zu einer Endlosfaser ausgezogen. Abschliessend wird die Endlosfaser auf eine Spule aufgewickelt. Pro Stunde soll der «iBlock» bis zu 180 Kilometer Fasermaterial produzieren.

Der herkömmliche Spinnprozess wird durch die Schwerkraft und den Luftdruck beeinflusst. So lag

die Schwierigkeit in der Adaption an die lunaren Bedingungen. Neben der kleineren Anziehungskraft wurden bei der Auslegung des Anlagenkonzepts zum Beispiel auch die extremen Temperaturschwankungen berücksichtigt.

Die aus Regolith gewonnenen Glasfasern sind beim Bau einer Mondbasis vielfältig einsetzbar: für die Produktion von faserverstärkten Strukturen aus Beton und Mineralwolle oder von Textilien, die wiederum in der Herstellung von Bekleidung, medizinischen Geräten, Seilen und Kabeln genutzt werden können. Aus Wollmaterial und Vliesstoffen sollen Filter, wärme- oder schalldämmende und strahlungsabschirmende Stoffe entstehen. Es ist sogar vorgesehen, auf Mondfasersubstraten Pflanzen anzubauen.

### Zum System skalierbar

Der 17 Kilogramm leichte Würfel lässt sich zu einem System respektive zu einer kleinen Fabrik skalieren. Mehrere über Schnittstellen interagierende Einheiten würden dabei verschiedene Funktionen übernehmen. In einer vom Deutschen Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR) durchgeführten Studie über die Errichtung einer Mondbasis sind «Moon Fibres» zentrale Bestandteile.

Das MoonFibre-Team hat den vom Swiss Space Center koordinierten ESA-Wettbewerb «IGLUNA» zusammen mit zwei anderen Studententeams im Juli in Luzern gewonnen. Das Faserspinnkonzept soll noch in diesem Jahr in einer Höhenforschungsrakete erprobt werden. Übrigens: Der Wickler und die Fadenführung werden angetrieben durch die bürstenlosen Flachmotoren EC 45 flat und EC 20 flat (Letzterer mit erweitertem Planetengetriebe). Die Höhenverstellung erfolgt durch einen weiteren Aktuator, der sich aus einem bürstenbehafteten DCX 19 S Motor, einem spielarmen Planetengetriebe sowie einem ENX-Inkremental-Encoder für die Positionierung zusammensetzt. ■

Text Stefan Roschi

# RENDEZVOUS IM WELTALL

Die Europäische Weltraumorganisation (ESA) führt ein neues Ankopplungssystem ein, das ein einfaches Zusammentreffen zweier Flugobjekte im All sicherstellen soll. maxon entwickelt dafür zwei spezielle Antriebssysteme.

**A**uch wenn es schon viele Male gemacht wurde: Das Andockmanöver zweier Flugobjekte im Weltall ist immer eine delikate und potenziell gefährliche Sache. Die Geschwindigkeit ist enorm hoch (etwa 28 000 km/h bei der ISS), und Korrekturen sind schwierig. Nur ein Beispiel: Wenn die beiden Objekte kurz vor dem Zusammentreffen sind, dürfen die Navigationstriebwerke nicht mehr verwendet werden, da sie Beschädigungen verursachen könnten. Aus diesem Grund werden Cargo-Transporter auch mit einem Roboterarm von der Internationalen Raumstation ISS eingefangen und manuell andockt. Be-

mannte Raumschiffe dagegen verbinden sich direkt und computergesteuert.

In Zukunft sollen solche Andockmanöver einfacher und sicherer werden. Die Europäische Weltraumorganisation (ESA) hat deshalb ein neues Docking-System mit dem Namen IBDM (International Berthing and Docking Mechanism) bei ihren Industriepartnern in Auftrag gegeben. Dieses entspricht dem International Docking System Standard (IDSS), der von den führenden Weltraumorganisationen weltweit vereinbart worden ist. Das System wird also kompatibel mit der ISS und den meisten Flugobjekten sein.



Einen der ersten Einsätze dürfte der Mechanismus mit dem Dream Chaser haben, dem Raumgleiter, der wie eine kleine Version eines Space-Shuttles aussieht und künftig Cargo-Flüge zur ISS absolvieren soll. Er wird derzeit von der Sierra Nevada Corporation entwickelt.

### Andockenergie wird absorbiert

Beim IBDM handelt es sich um ein androgynes Koppungssystem. Das heisst: Auf beiden Seiten kommt eine identische Verbindung zum Einsatz. Diese besteht aus einem festen inneren Ring (Hard-Capture-System) und einem flexiblen Aussenring (Soft-Capture-System), der über sechs Freiheitsgrade und Kraftsensoren verfügt. Über den Aussenring wird zuerst die Andockenergie absorbiert, erst danach kommt es zur definitiven, luftdichten Verbindung, die durch mechanische Haken gesichert wird.

Das Unternehmen SENER ist für die Entwicklung und Montage des Hard-Capture-Systems zuständig. Inzwischen ist man am Qualifikationsmodell daran, das 2020 ausführlich getestet werden soll. «Danach soll der IBDM möglichst schnell in einem Versorgungsflug für die ISS eingesetzt werden», sagt Gabriel Ybarra von SENER. Ein nächster Schritt wäre dann unter anderem der Einsatz in der Lunar-Space-Station der NASA, einer Weltraumstation, die ab 2025 den Mond umrundet und als Ausgangspunkt für bemannte Reisen zum Mars dienen könnte.

### Dualsysteme für maximale Sicherheit

Für die Ingenieure bei SENER ist es ein herausforderndes Projekt: «Wir mussten zuerst alle Anforderungen, die durch ESA und NASA gestellt wurden, komplett verstehen und herausfinden, wie wir diese erfüllen können. Speziell auch mit Bezug auf Sicherheit, denn der Dockingmechanismus meistert ja auch bemannte Flüge.» Die eingesetzten elektrischen Antriebe müssen nicht nur leicht sein und das benötigte Drehmoment liefern, sondern auch äusserst zuverlässig arbeiten. Aus diesem Grund arbeitet SENER seit mehreren Jahren mit dem Antriebsspezialisten maxon zusammen.

Die maxon Ingenieure haben für SENER zwei Antriebe entwickelt, mit denen alle möglichen Funktionen ausgeführt werden können. Der erste besteht aus zwei bürstenlosen EC-4pole Motoren und einem GPX UP Getriebe. Zwölf dieser Antriebe bewegen die Einrasthaken im IBDM-Dockingmechanismus. Beim zweiten Elektroantrieb handelt es sich um eine Kombination aus Flachmotor und Planetengetriebe. Er kommt elfmal zum Einsatz und bewegt unter anderem die Steckverbindungen und die Fangflaschen.

Da es sich beim IBDM-Dockingmechanismus um eine flugkritische Anwendung handelt, sind redundante Antriebssysteme notwendig. Sie müssen also auch bei Ausfall des primären Antriebs funktionieren. Oft wird das mit einem zweiten Motor gelöst, der im Notfall einspringen kann. So auch beim Elektroantrieb für die Einrasthaken. Doch für das zweite Antriebssystem haben die maxon Ingenieure eine andere, unkonventionelle Lösung gefunden. Nicht ein zusätzlicher Motor wird verwendet, sondern eine zusätzliche Wicklung. Der eingesetzte Flachmotor besitzt also zwei Wicklungen, und jede kann unabhängig von der anderen den Rotor antreiben. Eine geschickte Lösung, die Sicherheit garantiert und gleichzeitig Platz spart.

Gabriel Ybarra lobt die Zusammenarbeit mit maxon: «Das Team versteht unsere Bedürfnisse und ist jeweils schnell bei Designanpassungen.» Und beide Partner haben ein Herz für mechatronische Systeme.

«Es ist wunderbar, in den kompletten Zyklus involviert zu sein – von der Design- über die Produktions- bis hin zur Testphase. Das macht die Sache richtig interessant. Und wenn sich dann das System zum ersten Mal bewegt, ist das, wie wenn man dem eigenen Kind bei den ersten Schritten zuschaut.» ■

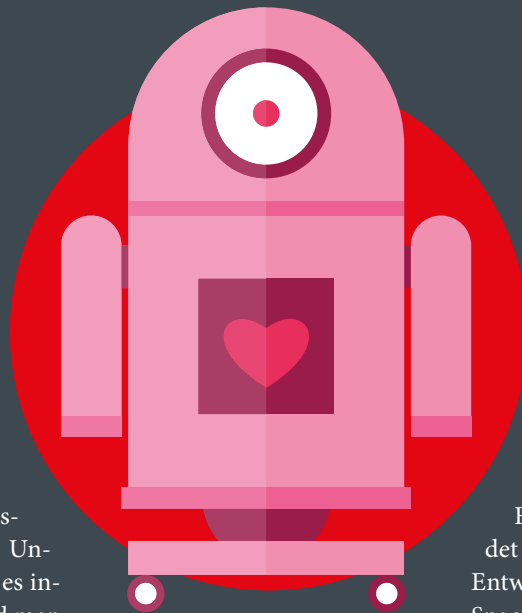


**Oben** Eine künstlerische Darstellung des Dream Chasers, der an der ISS andockt ist. **Unten** Das IBDM-System mit dem festen inneren Ring und dem flexiblen Aussenring.

# Roboter sind die besseren Astronauten

Text Stefan Roschi

Erinnern Sie sich an Mars One? Das Medienprojekt verkündete vor fast zehn Jahren, mindestens vier Menschen auf den Mars zu bringen. Mittels One-Way-Ticket. Das Medienecho war riesig, die Kritik aus Fachkreisen ebenso: Unrealistisch und unethisch sei das Unterfangen. Um das Projekt ist es inzwischen ruhig geworden, und man kann es als gescheitert bezeichnen. Aber: Auch die professionellen Player tun sich schwer damit, Menschen zum Mars zu bringen (und sicher zurück). Die NASA hat inzwischen den Mond als Zwischentappe definiert. Die Weltraumbehörde möchte bis 2024 wieder Frauen und Männer auf den Mond bringen und danach eine permanente Präsenz sicherstellen – auf der Oberfläche wie auch in der Umlaufbahn, wo eine Mini-ISS errichtet werden soll. Dieses Gateway soll als Ausgangspunkt für Marsmissionen dienen. Ab wann genau, ist unklar. Kommt hinzu, dass immer noch viele technische Herausforderungen gemeistert werden müssen: Wie schützt man Astronauten vor der Weltraumstrahlung? Können Menschen sicher auf dem Mars landen und später wieder starten? Wie produziert man Sauerstoff und Nahrung vor Ort? Für all diese Fragen wird es Lösungen geben.



Sie benötigen jedoch Zeit. Derweil spricht das private Unternehmen SpaceX davon, 2022 die erste unbemannte Rakete zum Mars zu schießen, Menschen sollen etwas später folgen. Das dafür benötigte Flugsystem Starship befindet sich allerdings noch in der Entwicklung. Darüber hinaus ist SpaceX für – sagen wir – ambitionierte Zeitpläne bekannt. Bis auf Weiteres sind wir also auf Roboter angewiesen, die auf dem Mond oder dem Mars forschen und arbeiten. Was nicht weiter tragisch ist. Die technischen Fortschritte, die in den letzten Jahren bei Projekten dieser Art gemacht wurden, fliessen zurück in die Industrie, wovon wir alle profitieren. Zudem sind inzwischen mehrere Länder und Unternehmen in der Lage, Roboter ins All zu bringen, was die Sache spannend macht und viele neue Erkenntnisse verspricht. Robotermissionen sind günstiger und sicherer als bemannte Weltraumreisen. Und durchaus emotional. Ziemlich sicher wird bei maxon die eine oder andere Freudenträne vergossen, wenn der erste Mars-Hubschrauber 2021 abhebt. Keine Frage, wir wollen irgendwann Menschen auf dem Mars sehen. Bis es aber so weit ist, feuern wir unsere Roboterhelden frenetisch an. ■



Wettbewerb

# Wie viele maxon DC-Motoren steuern den ersten Mars-Hubschrauber?



Unter allen Teilnehmenden mit der richtigen Antwort verlosen wir fünf portable Bluetooth-Lautsprecher UE Wonderboom. Viel Glück!

Senden Sie die Antwort per E-Mail an: [driven@maxongroup.com](mailto:driven@maxongroup.com)

Teilnahmeschluss ist der 31. Januar 2021

Die Gewinner werden informiert. Mitarbeitende von maxon sind von der Teilnahme ausgeschlossen. Über den Wettbewerb wird keine Korrespondenz geführt. Der Rechtsweg ist ausgeschlossen.

[www.drive.tech](http://www.drive.tech)

## Schauen Sie doch mal bei unserem Blog vorbei!

Auf dem maxon Corporate Blog [www.drive.tech](http://www.drive.tech) finden sich viele spannende Berichte, Videos und Fachartikel, in denen maxon Experten ihr Wissen weitergeben. Lassen Sie sich begeistern, lernen Sie Neues und diskutieren Sie mit unseren Bloggern.



Zum Beispiel dieser Artikel über die durch Covid-19 veränderte Roboter-Mensch-Beziehung.



Story

### Covid-19: Drive technology and physical distancing



## In der Warteschlange

Der ExoMars Rover Rosalind Franklin hätte 2020 starten sollen, doch dann musste die Europäische Weltraumorganisation (ESA) die Mission um zwei Jahre verschieben.

Auch die rund 50 Antriebe von maxon warten somit auf ihren Einsatz. Darunter der bürstenlose DC-Motor EC 40 mit einem Getriebe GP 41, auf dem die Namen aller maxon Mitarbeitenden eingraviert sind, die am Projekt beteiligt waren.