

Das Magazin von maxon motor

# driven

Best of 2013



## Hightech-Kameras

Blitzschnell und legendär S. 8



**Bequeme Sitze, bessere Luft –  
Flugzeugtechnik heute S. 20**



**Wieder aufstehen und gehen  
dank moderner Prothesen S. 38**

**X**TRA DYNAMISCH

# Von 0 auf 9000 min<sup>-1</sup> in 4 ms.

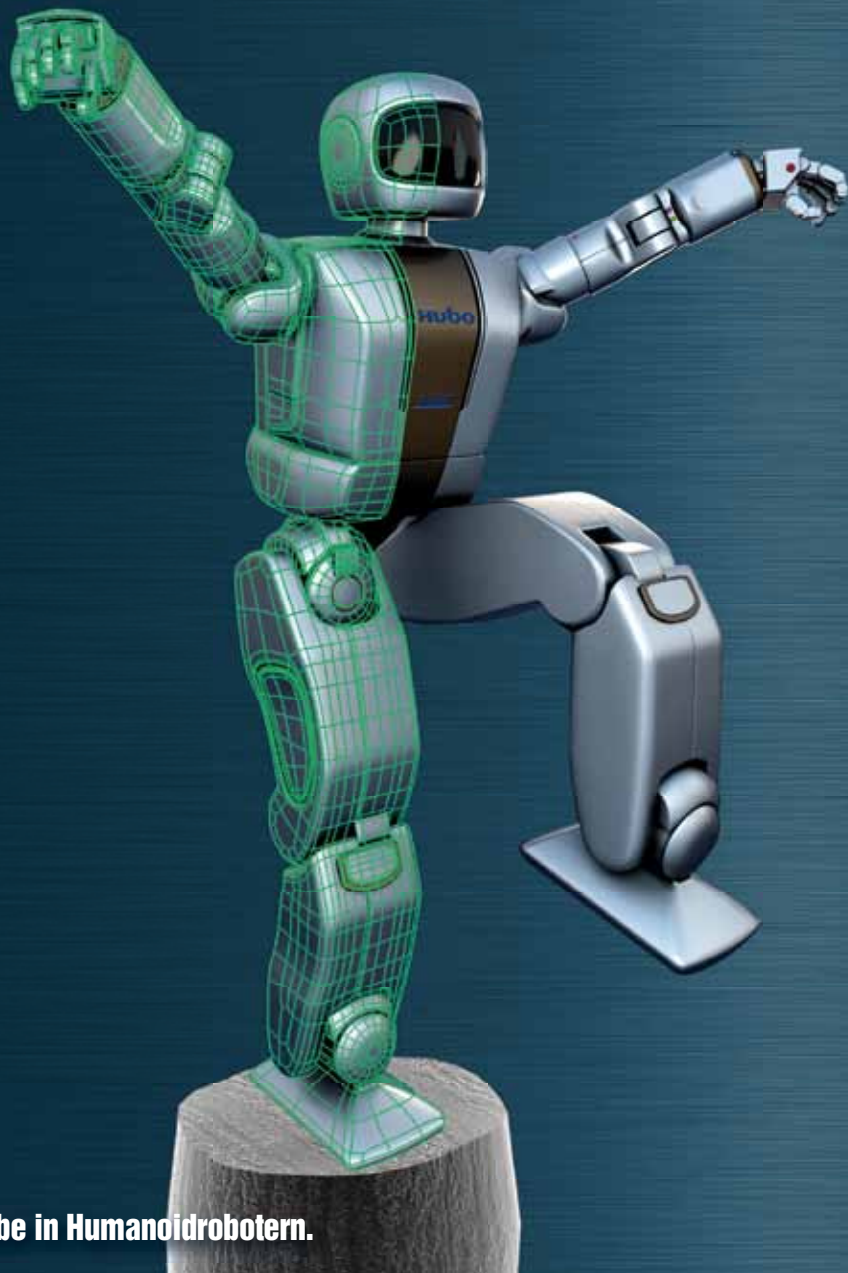
**11** READY IN  
**DAYS**

Die konfigurierbaren DC-Antriebe von maxon motor sind sehr dynamisch: Der DCX-Motor mit 35 mm Durchmesser beschleunigt bei Nennspannung in 4 ms auf 9000 min<sup>-1</sup>. Konfigurieren Sie ihn gleich online. In maximal 11 Arbeitstagen ist Ihr Antrieb auch mit Getriebe und Sensor modifiziert und für den Versand bereit.

[dcx.maxonmotor.com](http://dcx.maxonmotor.com)



**maxon motor**  
driven by precision



**maxon-Antriebe in Humanoidrobotern.**



maxon EC-4pole  
Das Powerpaket.

# Wenn es drauf ankommt.

**Auch in Androiden kommen unsere Antriebssysteme zum Einsatz. Die stecken z.B. in Hand-, Arm-, Hüft- und Beingelenken und sorgen dafür, dass sich Serviceroboter nicht nur im Film präzise bewegen.**

Androide wie Hubo 2 vom Korea Advanced Institute of Science and Technology (Kaist) werden immer beweglicher. Sie können gestikulieren, Hände schütteln, laufen, ja sogar springen. Dafür braucht es energieeffiziente und dynamische DC-Antriebe – z.B. den bürstenlosen maxon EC-4pole.

Das maxon-Produktprogramm ist modular aufgebaut und besteht aus: bürstenlosen sowie bürstenbehafteten DC-Motoren mit eisenloser maxon-Wicklung, Flachmotoren mit Eisenkern, Planeten-, Stirnrad- und Spezialgetrieben, Istwertgebern und Steuerelektronik.

maxon motor ist der weltweit führende Anbieter von hochpräzisen Antrieben und Systemen bis 500 Watt. maxon motor steht für kundenspezifische Lösungen, höchste Qualität, Innovationskraft und ein weltweites Vertriebsnetz. Testen Sie uns: [www.maxonmotor.com](http://www.maxonmotor.com)

**maxon motor**  
driven by precision

Editorial

# Im Fokus: Roboter, Hightech- Kameras und Marsmenschen



Eugen Elmiger, CEO der maxon motor ag

**A**ntriebssysteme von maxon motor kommen in unzähligen Anwendungsgebieten zum Einsatz – sei es in der Medizintechnik, in der Luft- und Raumfahrt oder in der Kommunikationsbranche. Und dies waren auch die Fokusthemen unserer drei Tablet-Ausgaben von «driven – Das Magazin von maxon motor» im Jahr 2013. Die besten Storys, Interviews und Fachberichte präsentieren wir Ihnen in diesem Magazin als «Best of». Lesen Sie das Interview mit dem Robotikexperten Rob Knight, erfahren Sie, wie Hightech-Kameras blitzschnell gestochen scharfe Bilder schiessen, staunen Sie, wie Menschen dank moderner Prothesen wieder gehen können, und entdecken Sie, wie es wäre, als Marsmensch zu leben.

Viel Spass beim Lesen!



Die aktuelle Tablet-Ausgabe mit interaktiven und multimedialen Features finden Sie im Apple App Store und im Google Play Store.



An Drohnen befestigte Kameras ermöglichen neue Einsichten. S.14



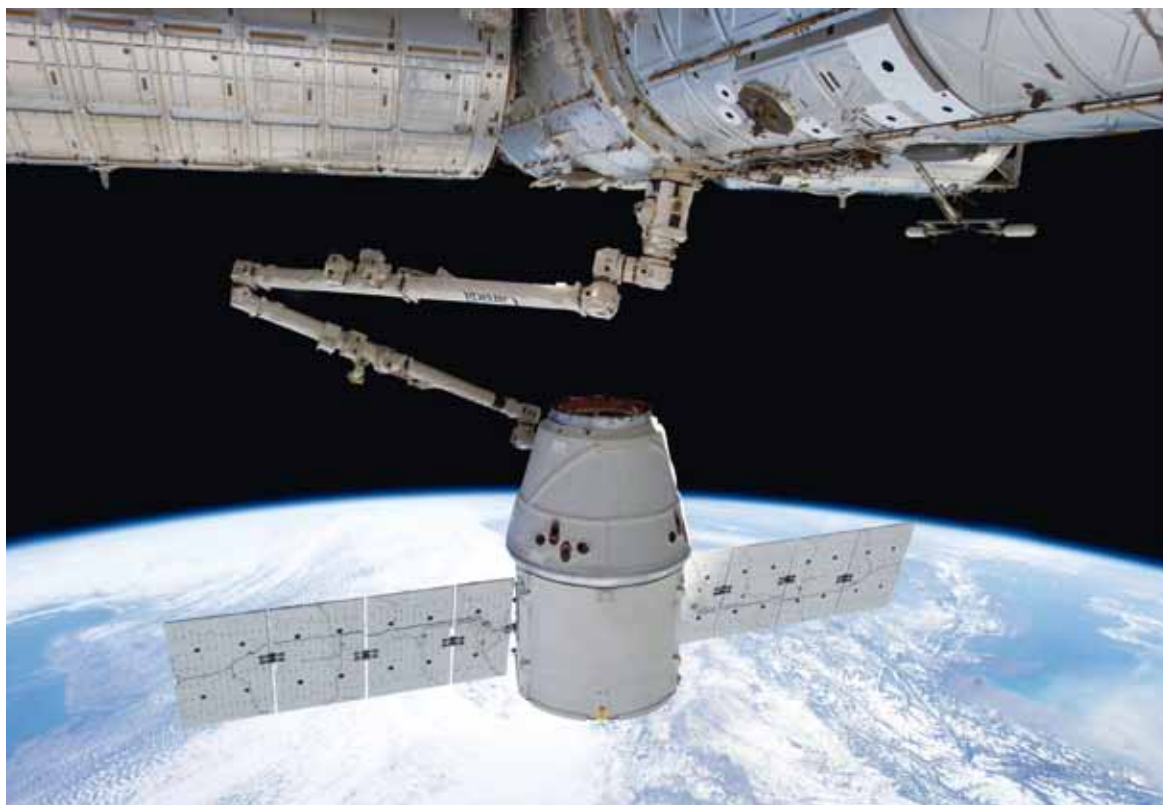
Mit Prothese vorn dabei. S. 37



Marsmensch auf Zeit. S. 30

4	Pictures of the year 2013	28	Zukunftsvisionen Von Hochgeschwindigkeitsflugzeugen und Reisen zum Mond und zum Mars
6	News		
8	Im Fokus Faszinierende Fotos mit Hightech-Kameras	30	Leben auf dem Mars
10	Zeitzeugen Augenblicke, digital festgehalten für die Ewigkeit	32	Moderne Prothesen sind Lebensretter
14	Die Welt von oben Luftbilder verschaffen oft ungeahnte Perspektiven und Einblicke	38	Neue Freiheit Autonomie dank Exoskelett «Rex»
16	Mysterium Weltall Wie mit Teleskopen das Universum erforscht wird	40	Klein, aber oho! Geschichte und Zukunft der Miniantriebe
20	Luftige Komfortzonen Einsatz von maxon Motoren im modernen Passagierflugzeug	42	Im Vakuum Was Elektromotoren im Vakuum leisten
24	Raketenantrieb Hyperschallflugzeuge werden Bruchteile der heutigen Flugzeit benötigen	44	Jede Zehntelsekunde zählt maxon Motoren sorgen für ultraschnelle Schaltvorgänge
26	Nanosatelliten im All	46	ECCERobot Oder wie Roboter unser Leben verändern werden
		48	DCX: Online konfigurieren

# 2013



## Weltall

### 3. März 2013

Die Dragon-Kapsel von SpaceX dockte am 3. März 2013 an der Internationalen Raumstation (ISS) an. An Bord waren neben Nahrung für die ISS-Crew auch Versorgungsgüter und wissenschaftliche Ausstattung, darunter Stammzellen von Mäusen, Proteinkristalle und Pflanzensamen. Auch bei dieser Mission waren bürstenlose maxon Motoren für die Positionierung der zwei Solarpanels, die Öffnung der Luke der «Instrument Bay»-Einheit und für die Fixierung der ausfahrbaren Haltevorrichtung der Dragon-Kapsel für den Roboterarm der ISS verantwortlich.



## Paris

### 17. Juni 2013

Die Boeing 787 Dreamliner sorgte an der Flugshow der Paris Air Show für viel Aufsehen. Besonderes Merkmal des Passagierflugzeugs ist eine spezielle Klimaanlage, die lange Flugreisen für Passagiere angenehmer macht. 48 bürstenlose maxon DC-Motoren, Stirnradgetriebe und Resolver-Kombinationen sorgen in luftiger Höhe für ein angenehmes Klima.



## Zürich

**9. März 2013**

Die internationale Robotikmesse «Robots on Tour» lockte viele Besucher nach Zürich. Vor Ort gab es zahlreiche Roboter zu bestaunen, darunter auch «Roboy». Er gehört zu den modernsten sehnen-gesteuerten Robotern. Über 50 bürstenlose maxon Antriebe sorgen für exakte Bewegungen des Humanoid-Roboters.



Erfolgreiche Beteiligung

## maxon motor von SpaceX ausgezeichnet

maxon motor wurde mit dem «Flown in Space»-Patch von SpaceX ausgezeichnet. Diese vom SpaceX-Firmenchef Elon Musk unterzeichnete Urkunde bestätigt, dass maxon motor erfolgreich an der ersten SpaceX-Mission zur ISS im Mai 2012 beteiligt war. Auch bei weiteren Missionen funktionierten die maxon Motoren sehr zuverlässig. Die bürstenlosen Motoren hatten bei den SpaceX-Missionen die verantwortungsvolle Aufgabe, die Solarpanels der Dragon-Kapsel für die Stromversorgung nach der Sonne auszurichten und die Luke der «Instrument Bay»-Einheit, welche das Navigationsgerät enthielt, zu öffnen. Ausserdem wurden die Antriebe benötigt, um die während des Flugs ausfahrbare Haltevorrichtung zu fixieren, damit der Roboterarm der ISS die Dragon-Kapsel greifen konnte.

Verstärktes Serviceangebot

## Neuer Produktionsstandort in Korea



Seit Anfang 2013 produziert maxon in Sejong City (KR) bürstenlose Gleichstrommotoren des Typs EC-i 40. Der Motor mit einem Durchmesser von 40 Millimetern ist für Leistungen bis 70 Watt ausgelegt und zeichnet sich durch ein besonders hohes Drehmoment aus.

«Die maxon motor Gruppe expandiert mit ihrem vierten Produktionsstandort – nach der Schweiz, Deutschland und Ungarn – nach Asien. Die Expansion ist Teil unserer langfristigen Wachstumsstrategie im asiatischen Raum», sagt Eugen Elmiger, CEO der

maxon motor Gruppe. Howard Sul, Präsident der maxon motor manufacturing Co. Ltd., ergänzt: «Die Entwicklung und Produktion von maxon Motoren ist ein wertvoller Beitrag zum bestehenden Markt in Korea. In Sejong werden wir neuste Technologien kontinuierlich verfolgen und mitentwickeln, um höchste Produktqualität zu gewährleisten.» Der neue Standort stärkt das Serviceangebot für den gesamten ostasiatischen Raum. Sul: «Wir freuen uns, unseren Kunden einen hochstehenden und schnellen Service bieten zu können.»

# 172'584 Liter

Sie wollen zur Fussball-WM 2014 nach Rio de Janeiro? In einem Airbus A380? Wenn Sie mit 600 Passagieren reisen, braucht es dafür rund 172'584 Liter Kerosin. Das sind ca. 288 Liter pro Person. Ein neuer Dieselpersonenwagen mit 2-Liter-Hubraum, 163 PS und vier Insassen verbraucht für dieselbe Strecke (Luftlinie) etwa 431 Liter Treibstoff. Etwas mehr als 100 Liter pro Person, also fast dreimal so wenig. Mit Aerodynamik, neuen Turbinen und Leichtbau versuchen Ingenieure stetig, Sprit zu sparen. Einen Beitrag dazu leisten eisenlose DC-Motoren. Sie haben einen hohen Wirkungsgrad und sind leicht.



## NEUE PRODUKTE

Neue Motor/Getriebe-Varianten

## maxon DCX 10S / DCX 22L und maxon GPX 22C / GPX 22LN

maxon motor hat die DCX-Produktreihe erweitert. Neben dem DCX 10L ist nun auch eine kürzere Version, der DCX 10S, erhältlich. Dieser bürstenbehaftete DC-Motor besticht – wie alle Motoren der DCX-Reihe – durch hohe Leistungsdichte und Laufruhe. Der DCX 22L ist der neue grosse Bruder der Kurzversion DCX 22 S. Dieser bürstenbehaftete DC-Motor übertrifft mit einem Durchmesser von 22 mm sogar den bestehenden RE 25 (20 Watt). Mit dem GPX 22C wurde eine leistungsoptimierte Version des GPX 22 geschaffen. Durch die Verwendung von Keramikachsen konnten bessere Leistungsdaten und eine längere Lebensdauer erreicht werden. Ebenfalls neu in der GPX-Familie ist eine geräuschreduzierte Version des GPX 22. Das GPX 22LN enthält in der Eingangsstufe spezielle Kunststoffplanetenräder, wodurch die Laufgeräusche um etwa 5 dBA reduziert werden.



maxon DCX 10S



maxon DCX 22L

maxon GPX 22C/  
GPX 22LNmaxon ESCON  
Module 50/5

Einfache Inbetriebnahme –  
höchste Leistung

## maxon ESCON Module 50/5

Das miniaturisierte OEM-Einsteckmodul gehört zur neuen ESCON-Servocontroller-Familie. Der leistungsstarke 4-Quadranten-PWM-Servocontroller ist für die effiziente Ansteuerung von permanentmagneterregten bürstenbehafteten DC-Motoren und BLDC-

Motoren (bürstenlose DC-Motoren) mit Hall-Sensoren bis ca. 250 Watt ausgelegt. Das OEM-Einsteckmodul besitzt sehr gute Reglereigenschaften und einen sehr schnellen digitalen Stromregler mit enormer Bandbreite zur optimalen Motorstrom-/Drehmomentkontrolle. Das drifffreie und dynamische Drehzahlverhalten erlaubt einen Drehzahlbereich zwischen 0 und 150'000 min<sup>-1</sup>.

Für die Erstinbetriebnahme des Moduls steht ein Motherboard zur Verfügung. Mittels der grafischen Benutzeroberfläche «ESCON Studio» ist der Servocontroller einfach parametrierbar.

Spindelgetriebe  
GP 8 S

Verschleissarm und günstig

## Spindelgetriebe GP 8 S

Antriebsspindeln wandeln eine Drehbewegung in eine lineare Bewegung um. Die zwei häufigsten Bauformen sind die Kugelumlaufspindel und die Gewindespindel. Bei kleinen Antrieben findet man auch metrische Gewinde, wie beim neuen Spindel-

getriebe GP 8 S von maxon. Das Getriebe kann standardmässig mit zwei Motortypen kombiniert werden (RE8/0,5 Watt und RE8/0,5 Watt mit Encoder). Wichtiges Merkmal für die metrische Spindel ist, dass keine Selbsthemmung auftritt und dass die Spindelgetriebe günstig sind. Die Keramikspindel hat den Vorteil, dass sie aufgrund einer speziellen Oberflächenstruktur (ceramic glide surface) den Verschleiss der Mutter minimiert. Die Spindeln werden beispielsweise in der Antriebs-, Mess- und Medizintechnik, in der Optik und in Vakuum- und Laboranwendungen eingesetzt.





Modell: Leica S2  
Verschlussgeschwindigkeit: 1/750 Sek



Modell: Leica S2  
Verschlussgeschwindigkeit: 1/1500 Sek

# Blitzschnelle Bilder

Digitale Spiegelreflexkameras liefern faszinierend scharfe Fotos. Dabei ist nicht nur die Fähigkeit des Fotografen gefragt, auch die Technik im Inneren der Kamera spielt eine wichtige Rolle.



Der Zentralverschluss arbeitet erschütterungsfrei und ist sehr schnell. Die Motor-Getriebe-Einheit dient zum Aufziehen von drei Zugfedern, die für den Zentralverschluss die Energie speichern.

**D**as Leica S-System vereint die Bildqualität einer Mittelformatkamera mit der Handlichkeit, Schnelligkeit und Flexibilität einer Kleinbildkamera. Die für das Leica S-System verwendeten Objektive enthalten einen eigenen Prozessor für die vollständige Steuerung des Autofokus. Zudem sind die Objektive des Leica S-Systems auch als Version mit Zentralverschluss erhältlich, welcher maximale Freiheit bei der Blitzfotografie garantiert.

Der Zentralverschluss ist neben dem in der Kamera integrierten sogenannten Schlitzverschluss eines der zwei gebräuchlichen Konstruktionsprinzipien. Der Zentralverschluss befindet sich typischerweise «zentral» im Objektiv zwischen den Linsen. Er besteht aus mehreren konzentrisch um die optische Achse gruppierten Lamellen, die nach dem Auslösen der Kamera synchron aus dieser Achse zurückschnellen und den Weg des Lichts auf den Sensor freigeben.



**maxon A-max 12**  
Ø 12 mm,  
Edelmetallbürsten,  
0,75 Watt

## Starker Mini

Die Motor-Getriebe-Einheit im S-Objektiv von Leica ist verantwortlich für das Aufziehen von drei Zugfedern. Dafür kommt als Basismotor ein A-max 12 zum Einsatz. Das verwendete Getriebe ist eine

Bei Spiegelreflexkameras schliesst sich zunächst der Zentralverschluss nach dem Auslösen, da alle Bildeinstellungen zuvor bei Offenblende vorgenommen wurden. Dann klappt der Spiegel hoch, der Zentralverschluss öffnet sich erneut für die Dauer der Belichtung und schliesst sich wieder. Danach schwenkt der Spiegel zurück in den Strahlengang, und der Verschluss öffnet sich erneut. Der Zentralverschluss ist ein Hightech-Produkt, obwohl er ganz klassisch mechanische Federn als effizienten Energiespeicher nutzt. Das Federaufzugsprinzip ermöglicht zudem eine extrem kompakte Bauweise.

## maxon Motor sorgt für Spannung

Die Federn werden von einem kundenspezifisch entwickelten Elektromotor von maxon motor mit Präzisionsfreilaufgetriebe gespannt und geben beim Auslösen ihre Energie an die Verschlusssektoren ab. Eine besondere Konstruktion sorgt dafür, dass die Sektoren beim Öffnen und Schliessen am Zurückschlagen gehindert werden. Ein per Mikroprozessor gesteuertes Klinkenschaltwerk steuert über zwei durch Elektromagnete betätigte Stößel den Verschlussablauf.

Die Motor-Getriebe-Einheit ist verantwortlich für das Aufziehen von drei Zugfedern, die den Energiespeicher für den Zentralverschluss darstellen. Dafür kommt als Basismotor ein maxon A-max 12 zum Einsatz. Das verwendete Getriebe ist eine Neuentwicklung und für den geringen verfügbaren Raum optimiert. Die Entwicklung der kompakten, geschlossenen und dichten Sonderausführung mit rechtwinkliger Kraftübertragung mittels Kronenrad auf das Zahnrad des Zentralverschlusses war eine besondere Herausforderung. ■

komplette Neuentwicklung und dem verfügbaren Raum angepasst. Das maxon A-max-Programm steht für qualitativ hochwertige Gleichstrommotoren mit einem optimalen Preis-Leistungs-Verhältnis.



Das Ganze ist mehr als die Summe seiner Teile: Leica setzt mit dem S-System einen neuen Massstab.

# Momente für die Ewigkeit

Seit es technisch möglich ist, ist es den Menschen ein Bedürfnis, besondere Augenblicke auf Bildern festzuhalten – seien es historische Ereignisse oder sportliche Abenteuerouren. Leica ist ein Pionier unter den Kameraherstellern.

**Text:** Anja Schütz



Die erste Leica-Kamera, die sogenannte Ur-Leica.

Die Bergsteigerin Hilde Bjorgaas im Fokus der Leica S2 und auf dem Weg nach oben: Sie klettert in den Lofoten, einer norwegischen Inselgruppe, die aus ungefähr 80 Inseln besteht.



# 1968

Impressionen von den Olympischen Spielen in Mexico City, aufgenommen von René Burri.



**D**ie schroffen Felsen auf den Lofoten, einer Inselgruppe vor der Küste Norwegens, sind eine Herausforderung für jeden Kletterer. Rund 800 Höhenmeter gilt es zu bewältigen. Jeder Felsspalt wird auf seine Festigkeit geprüft, erst dann wird der nächste Haken gesetzt. Ohne Absicherung wäre die Gefahr, in die Tiefe zu stürzen, viel zu gross. Schliesslich auf dem Gipfel zu stehen, ist das Grösste für jeden Bergsteiger. Diesen Augenblick will man für die Ewigkeit festhalten.

Pioniere unter den Kameraherstellern wie Leica machen das möglich. Die Geschichte des Unternehmens geht zurück bis ins Jahr 1849. Damals gründete der Optiker Carl Kellner in Wetzlar (D) ein optisches Institut. Die erste Leica – die sogenannte Ur-Leica – wurde 1914 von Oskar Barnack konstruiert. Darauf folgten viele weitere Kameramodelle.

Bereits 1961 überstieg die Serienproduktion eine Million Geräte. 1986 wird schliesslich die Leica GmbH gegründet, um die Aktivitäten am Fotomarkt zu bündeln. Zwölf Jahre später erscheint die erste digitale Leica-Kompaktkamera.

Bis heute ist das Unternehmen auf Wachstumskurs und hat unter anderem mit seinen digitalen Spiegelreflexkameras die Herzen vieler Fotografen erobert. Und bis heute bestehen auch enge Verbindungen zur weltweit bekannten Bildagentur «Magnum Photos», bei der eine Mitgliedschaft als Fotograf einem Ritterschlag gleichkommt. Dieses Jahr hat Leica den Fotoreporter und Magnum-Fotografen René Burri für sein Lebenswerk mit dem «Leica Hall of Fame Award» geehrt. Der heute 80-jährige Fotograf hielt mit seinen Arbeiten viele wichtige Ereignisse des letzten Jahrhunderts fest und erlangte dadurch Weltruhm. Dazu gehören beispielsweise das Porträtbild des kubanischen Revolutionsführers Ernesto «Che» Guevara mit Zigarre. Ausserdem hielt der Schweizer historische Bilder von Deutschland vor und nach dem Mauerbau sowie den Mauerfall für die Ewigkeit fest. ■■■



Eine Legende: René Burri vor seinem Lebenswerk, ausgezeichnet mit dem «Leica Hall of Fame Award».

Fotos: Keystone/Sandro Camparolo, René Burri/Magnum Photos



# 1979

Beeindruckend: Transport des legendären Space Shuttle durch Kalifornien, festgehalten von René Burri.

# 1989

Den Fall der Berliner Mauer im November 1989 dokumentierte René Burri mit zahlreichen Bildern.





Das thermische Solarkraftwerk Torresol in Südspanien, fotografiert von einer Drohne mit Technik von Photo Higher.

# Die Welt von oben



Der bürstenlose Gleichstrom-Servomotor maxon EC 32 flat treibt die kardanische Kameraaufhängung an. Das kundenspezifische Antriebssystem hat eine flache und kompakte Form und erfüllt hohe Anforderungen an Drehzahl und Drehmoment. Am wichtigsten ist jedoch der spielfreie Ausgang, der es für den Einsatz in kardanischen Kameraaufhängungen prädestiniert. Ein kundenspezifischer Servocontroller von maxon steuert den Motor an.

Bilder aus der Luft können für eine Vielzahl von Branchen und Unternehmen grosse Vorteile bringen. Meist werden erst von oben Dinge sichtbar, die man vom Erdboden aus nicht erkennen kann.

**B**ergbauunternehmen erkunden beispielsweise Bergwerke aus der Luft, Öl- und Gasförderer überprüfen aus der Luft ihre Bohrinseln und Energieversorger ihre Hochspannungsleitungen. Bei all diesen Anwendungen gibt es eine grosse Herausforderung: Bei oft widrigen Umgebungsbedingungen muss die Kamera bei Wind, den dadurch entstehenden Turbulenzen und den Vibrationen des sie tragenden Luftfahrzeugs in stabiler Position gehalten werden. Möglich macht dies eine hochpräzise arbeitende kardanische Aufhängung zur Stabilisierung der Kamera. Mit der Aufhängung steht dem Nutzer eine stabile und ebene Plattform zur Verfügung, mithilfe derer sich ohne Störung Luftbilder von allerhöchster Qualität machen lassen.

Das neuseeländische Unternehmen Photo Higher mit Sitz in Wellington hat sich auf die

Konstruktion, Entwicklung und Fertigung hochpräziser kardanischer Kameraaufhängungen für senkrecht startende Drehflügler-Drohnen spezialisiert. Die Aufhängungen von Photo Higher zeichnen sich durch geringes Gewicht, Leichtgängigkeit und hohe Stabilität aus. Ein Kernstück ist die Antriebseinheit der Stabilisierungsplattform, für die das Unternehmen kleine bürstenlose Gleichstrom-Servomotoren benötigt. Gegenstand der ursprünglichen Anforderung an die Antriebseinheit war eine spielfreie Servomotor-Getriebe-Kombination mit  $40 \text{ min}^{-1}$  und einem Ausgangsdrehmoment von 2 Nm. Das Gesamtgewicht von Motor und Getriebe durfte 100 g, die Gesamtlänge 50 mm nicht überschreiten.

Bei Drohnenanwendungen spielt in der Regel der Energieverbrauch eine wichtige Rolle. Mit höherer Leistungsdichte und höherer Effizienz



Das Halo 2000 von Photo Higher ist ein Drei-Achsen-Kamerastabilisierungssystem aus 100 Prozent Carbonfaser. Für die Stabilisierung werden Motoren und Servosteuerungen von maxon eingesetzt.

weisen die bürstenlosen Gleichstrom-Servomotoren von maxon im Vergleich zu anderen Motoren einen geringeren Energieverbrauch auf, und die Drohne kann länger in der Luft bleiben.

Nach etlichen Versuchen mit diversen Antriebseinheiten, unter anderem dem Einsatz eines Winkelgetriebes, welches sich letztendlich als zu schwer erwies, wurde schliesslich eine ideale Lösung gefunden: ein flacher bürstenloser Gleichstrom-Servomotor, der die kardansche Aufhängung direkt antreibt. Dieses an die Bedürfnisse des Kunden angepasste Antriebssystem besitzt eine flache und kompakte Form und erfüllt die Anforderungen in Bezug auf Drehzahl und Drehmoment. Am wichtigsten ist jedoch der spielfreie Ausgang, der es für den Einsatz in kardanschen Kameraaufhängungen zur perfekten Lösung macht. Unabhängig von Marke und Modell der verwendeten Kamera kann der Endnutzer bei der neuen Konstruktion die Aufhängung immer nachjustieren und den Schwerpunkt des gesamten Systems einstellen. Bei einem gut ausbalancierten System ermöglichen die Gleichstrom-Servomotoren bei minimalem Energieverbrauch schnelles Beschleunigen und gutes Ansprechverhalten.

Neben den bürstenlosen Gleichstrom-Servomotoren für die verschiedenen Kameraaufhängungen verwendet Photo Higher auch eine kundenspezifische maxon Servosteuerung für die Gleichstrommotoren. Einige Merkmale, darunter Platinenform, Steuerparameter, Verstärkung und Stecker, wurden speziell an die besonderen Gegebenheiten dieser Anwendung angepasst. Die Kameraaufhängungen der Modellreihen AV und Halo von Photo Higher wurden für anspruchsvolle Anwendungen entwickelt. So kann das System auch für Filmaufnahmen verwendet werden. In Kombination mit einer Drohne kann der Nutzer schnell hochauflösende Luftbilder und Geodaten erhalten. Neben Drohnen eignen sich auch Hubschrauber, Luftschiffe, Kräne, Boote usw. als Einsatzplattform für kardansche Kameraaufhängungen. Das Einsatzgebiet ist also ganz vielfältig, gerade Luftaufnahmen faszinieren immer wieder durch ihre Perspektive und ungeahnte Einblicke. Luftaufnahmen machen Zusammenhänge sichtbar, die zuvor nur zu ahnen waren. So werden sie heute auch immer wieder dazu genutzt, unterirdisch verborgene archäologische Fundstätten auf einfache Weise auffindig zu machen. ■



**maxon EC 32 flat**  
Ø 32 mm,  
bürstenlos, 15 Watt



**maxon ESCON Servo-controller**



# Künstliche Sterne erschaffen – geht das?

Bis wir Menschen dereinst künstliche Sterne erschaffen können, ist der Weg noch weit. Für wissenschaftliche Anwendungen existiert indes bereits eine solche Technologie: Die «Optical Tube Assemblies» lassen den Himmel leuchten.

**Text:** Anja Schütz

Das Very Large Telescope (VLT) auf dem Berg Paranal in Chile ist das Flaggschiff der europäischen Astronomie. Die Bedingungen für Beobachtungen im Bereich des Infrarot- und des sichtbaren Lichts sind hier optimal.

## Die künstlichen Sterne entstehen in einer Höhe von 90 km mit einer Genauigkeit von 45 mm.

**D**ie Europäische Südsternwarte – das European Southern Observatory (ESO) – ist das wissenschaftlich erfolgreichste Observatorium der Welt. Seit ihrer Gründung im Jahre 1962 stellt die ESO Astronomen und Astrophysikern Forschungseinrichtungen zur Verfügung, die auf dem neuesten Stand der Technik sind. Das Flaggschiff der europäischen Astronomie ist das Very Large Telescope (VLT), welches sich in Chile auf dem Berg Paranal befindet und optimale Bedingungen für Beobachtungen im Bereich des Infrarot- und des sichtbaren Lichts bietet. Erst kürzlich wurde mit dem Teleskop der bislang älteste bekannte Zwilling unserer Sonne entdeckt. Dieser sonnenähnliche Stern ist schätzungsweise 8,2 Milliarden Jahre alt, während die Sonne nur 4,6 Milliarden Jahre alt ist.

Das VLT besteht aus vier «Hauptteleskopen» mit Spiegeldurchmessern von 8,2 Metern und vier auf Schienen beweglichen «Hilfsteleskopen». Die Niederländische Organisation für angewandte wissenschaftliche Forschung (TNO) hat ein Projektionssystem für das VLT entwickelt. Die sogenannten «Optical Tube Assemblies» (OTA) sind komplexe Projektionssysteme zur Erzeugung künstlicher Sterne. Mit Hilfe dieser Systeme schießen vier leistungsstarke 20-Watt-Laser Lichtpunkte in die Atmosphäre und erzeugen dort «künstliche Sterne». Diese dienen dazu, Bildverzerrungen des VLT zu korrigieren, die durch Turbulenzen in der Luft verursacht werden. Teleskope sammeln in der Regel einfallendes Licht vom Himmel und fokussieren es in einem Instrument. Die neue Technologie funktioniert umgekehrt: Die Teleskope werden dazu verwendet, um Laserstrahlen in den Himmel zu projizieren, um so Lichtpunkte zu erschaffen. Die Laserstrahlen erregen eine Schicht von Natrium-Atomen in einer Höhe von

90 km, wodurch diese zu leuchten beginnen. Dies passiert mit einer Genauigkeit von 45 mm auf 90 km Höhe. Diese glühenden Flecken – künstlichen Leitsternen gleich – erleichtern den Wissenschaftlern astronomische Beobachtungen.

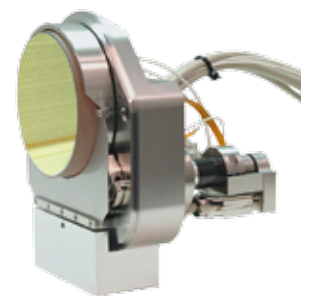
### maxon Antriebssysteme im Feldselektor-Mechanismus

Die Konstruktion des OTA besteht aus einem 20-fach-Laserstrahl-Aufweiter und einem aktiven, kipp- und schwenkbaren Spiegel, dem Feldselektor-Mechanismus (FSM). Dieser Mechanismus ist mit einer Kombination aus Membranfeder und Streben verbunden, die lediglich Kipp- und Schwenkbewegungen zulassen. Der Spiegel des FSM hat einen Durchmesser von 100 mm. Er kann um zwei orthogonale Achsen in einer Ebene parallel zur Spiegelfläche rotiert werden. Die Drehung des Spiegels bewirkt eine asymmetrisch reduzierte Reaktion des Winkels der Laserstrahl-Ausrichtung am Himmel. Der Spiegel ist elastisch gelagert und wird mittels selbsthemmender Stellantriebe mit hoher Steifigkeit ausgerichtet. Um die erforderliche absolute Genauigkeit zu erreichen, werden Sensoren eingesetzt, welche die Ausrichtung des Spiegels zur Basis direkt messen.

Ein hochpräzises Antriebssystem mit bürstenlosen maxon Flachmotoren, einem Planetengetriebe mit Spindel und Encoder ist für die exakten Kipp- und Schwenkbewegungen des Spiegels im FSM und damit für die exakte Ausrichtung der Laser zum Himmel verantwortlich. In einem Teleskop kommen zwei maxon Motoren pro FSM-Einheit zum Einsatz. Für die Konstruktion der Stellantriebe waren vor allem die Anforderungen an die Dynamik ausschlaggebend. Nur wenige kommerzielle Stellantriebe sind mit einer Selbsthemmung ausgestattet, die diese Anforderungen erfüllt. TNO hat daher auf Grundlage eines Standard-Spindeltriebs von maxon mit einem Planetengetriebe mit integrierter Kugelumlaufspindel eine hochpräzise Federübersetzung entwickelt. Wegen der begrenzten Bauhöhe in den FSM-Einheiten eignen sich die bürstenlosen Flachmotoren besonders gut für die Anwendung. 2015 wird das erste Teleskop mit der neuen Lasertechnologie im Paranal Observatory in Chile ausgerüstet. Ausserdem plant die ESO, die Technologie in weiteren Teleskopen einzusetzen. Ob die Menschheit in ferner Zukunft künstliche Sterne erzeugt oder nicht: Die Sterne viel klarer sehen wird sie auf jeden Fall. ■■■■



Mit Hilfe der Projektionssysteme OTA werden Lichtpunkte oder «künstliche Sterne» in die Atmosphäre geschossen.



Der erste Prototyp des Feldselektor-Mechanismus (FSM). Pro FSM-Einheit kommen zwei maxon Motoren zum Einsatz.

# Die mysteriöse Dunkle Energie

Die Faszination eines klaren Sternenhimmels beeindruckt jeden, der die Möglichkeit hat, eine dunkle Nacht zu erleben. Dunkle Materie und Dunkle Energie sind dabei zwei wichtige Komponenten, um die Ausdehnung des Universums zu verstehen.

**Text:** Bruno Leibundgut

**D**as funkelnde Sternenlicht zeugt von fernen Welten. Und die Entfernungen sind immens. Soeben hat die erste Sonde (Voyager 1) nach 35-jähriger Reise das Sonnensystem verlassen. Inzwischen ist der Satellit 18,8 Milliarden Kilometer von der Sonne und der Erde entfernt. Ein Lichtstrahl oder Funkbefehl benötigt etwas über 17 Minuten, um von der Erde zu Voyager 1 zu gelangen. In anderen Worten, die Betreuer von Voyager 1 können ruhig einen Kaffee trinken gehen, nachdem ein Befehl abgeschickt wurde, da die Bestätigung über eine halbe Stunde dauert.

Trotzdem ist die Voyager 1 im Verhältnis zu den Weiten des Weltalls nur einen Katzensprung von uns entfernt. Der nächste Stern zur Sonne ist bereits 4,6 Lichtjahre weit weg. Die Antwort auf ein freundliches «Hallo» würde etwas über 9 Jahre auf sich warten lassen! Und die meisten Sterne, die wir nachts sehen können, sind Hunderte oder Tausende von Lichtjahren entfernt. Kommunikation in einem solchen System wird sehr schnell zu einer Gedulds-, ja Lebensaufgabe.

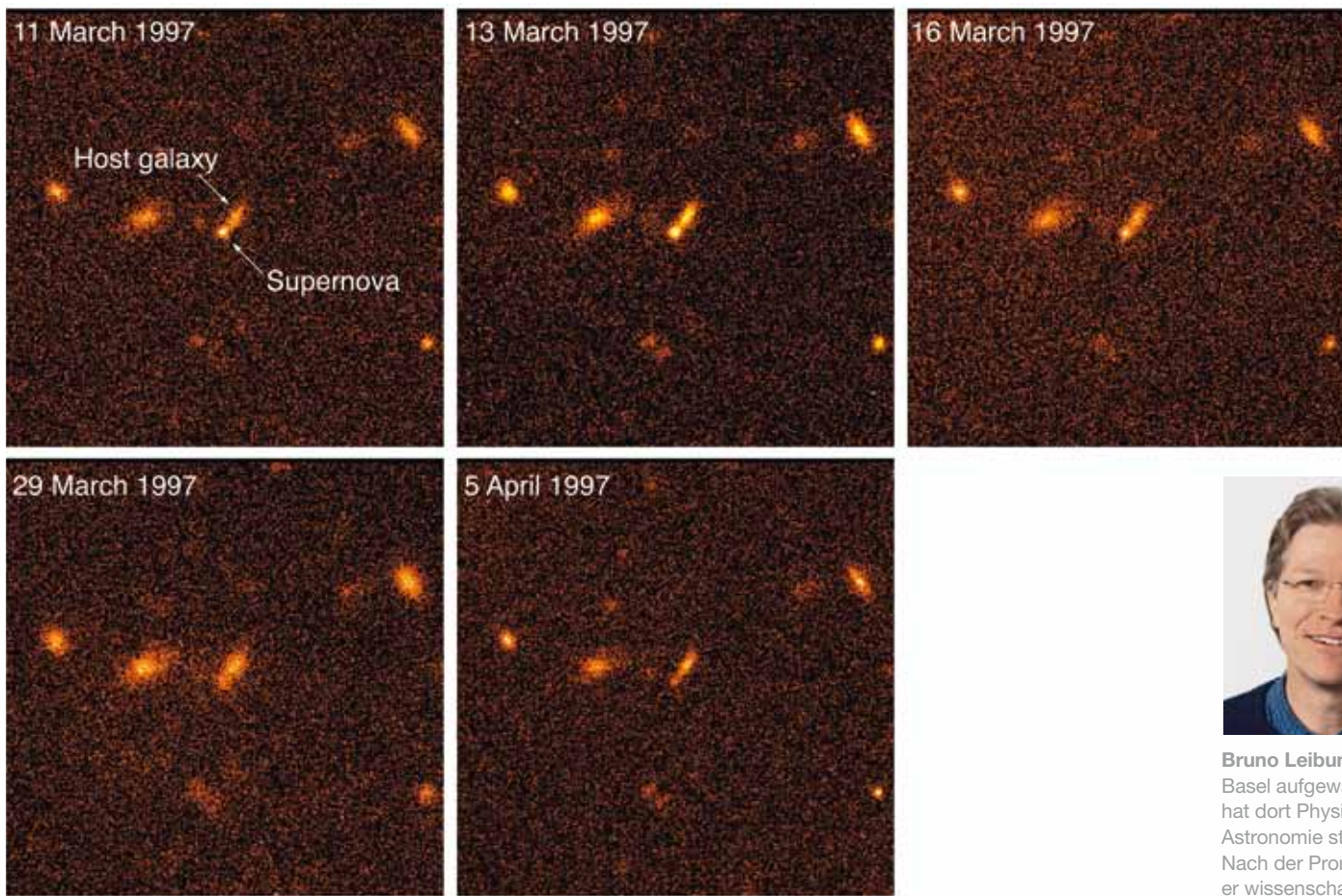
## Es begann mit dem Urknall

Allerdings ist da noch ein Merkmal des Nachthimmels, dessen Bedeutung oft übersehen wird. Die Nacht ist dunkel! Selbst in einem dichten Sternfeld ist der grösste Teil des Himmels schwarz. Diese triviale Aussage ist fundamental für unser Verständnis des Universums. In einem unendlich alten, unendlich grossen und statischen Universum wäre die Nacht nicht dunkel,

sondern so hell wie die Oberfläche der Sterne. Diese Tatsache wurde schon von Edmund Halley und Jean-Philippe Loys de Chéseaux im 18. Jahrhundert erkannt, von Heinrich Wilhelm Matthäus Olbers im frühen 19. Jahrhundert beschrieben und ist heute allgemein als Olbers-Paradoxon bekannt. Man muss sich das so vorstellen: In einem unendlich grossen Wald würde in jeder Richtung der Blick irgendwann auf einen Baumstamm treffen. Ähnlich würde in einem unendlichen Universum der Blick irgendwann auf der Oberfläche eines Sterns enden und damit der gesamte Himmel so hell sein wie die Oberfläche der Sonne.

In einem endlichen Wald ist es hingegen möglich, hinter dem Waldrand einen See zu erkennen. Damit ist angedeutet, dass das Universum dynamisch und wahrscheinlich auch endlich sein muss. Der Urknall bildet den zeitlichen Anfang unseres Universums vor etwa 13,5 Milliarden Jahren. Da es sich ausdehnt, wird das Licht zu längeren Wellenlängen verschoben. Diese Strahlung kann als Hintergrundstrahlung tatsächlich beobachtet werden, allerdings ist sie für das menschliche Auge nicht sichtbar.

Das dynamische Universum ist bestimmt durch seinen Inhalt. Entscheidend dabei ist die Wirkung der Schwerkraft und deshalb der Materie im Universum. Die Ausdehnung seit dem Urknall sollte durch die gravitationelle Anziehung verlangsamt werden. Allerdings ist die beobachtbare Materie ungenügend, um diese



Beobachtungen einer Supernova. Der Helligkeitsverlauf ist deutlich sichtbar. Etwa am 13. März war sie am hellsten und ist dann im Verlaufe eines Monats verglüht. Diese Supernova explodierte rund 5 Milliarden Lichtjahre von der Sonne entfernt.



**Bruno Leibundgut** ist in Basel aufgewachsen und hat dort Physik und Astronomie studiert. Nach der Promotion hatte er wissenschaftliche Stellen an der Harvard University in Massachusetts, USA, und der University of California in Berkeley, USA, inne. Seit zwei Jahrzehnten ist er wissenschaftlicher Mitarbeiter an der Europäischen Südsternwarte (European Southern Observatory – ESO) in München, zuletzt als wissenschaftlicher Direktor. Er war Mitglied eines der zwei Teams, die die beschleunigte Expansion des Universums entdeckt haben.

Entwicklung zu erklären. Es mussten zwei zusätzliche Komponenten, Dunkle Materie und Dunkle Energie, postuliert werden. Die Dunkle Materie wirkt anziehend, während die Dunkle Energie, die möglicherweise eine Eigenschaft des Raumes ist und ihn beschleunigt, das Universum auseinandertreibt. Dunkle Materie ist nötig, um den Zusammenhalt von Galaxien zu erklären. Die Dunkle Energie wurde entdeckt, als entfernte Sternexplosionen – sogenannte Supernovae – beobachtet wurden. Eine Supernova kann über ein paar Wochen beobachtet und dafür benutzt werden, die Entfernungen im Universum zu vermessen.

### Mysterium Dunkle Energie

Zwei Forschergruppen beobachteten weit entfernte Supernovae, um den Beitrag der Dunklen Materie zur Ausdehnung des Universums zu vermessen. Sie stellten unabhängig voneinander

fest, dass die am weitesten entfernten Supernovae weiter weg sind, als in einem hypothetischen materielosen (also leeren) Universum erwartet würde. Dies konnte nur durch eine zusätzliche Kraft erklärt werden. Für diese Entdeckung erhielten Saul Perlmutter, Adam Riess und Brian Schmidt 2011 den Nobelpreis für Physik.

Was Dunkle Materie und Dunkle Energie wirklich sind, ist noch nicht verstanden. Dunkle Materie muss aus Teilchen bestehen, die nicht der täglichen Erfahrung entsprechen. Ihre Wechselwirkung mit unserer Welt ist so gering, dass sie nur auf Skalen von ganzen Milchstraßen gemessen werden kann und im Labor noch nicht nachgewiesen werden konnte. Dunkle Energie ist noch mysteriöser. Sie könnte mit einem Begriff, den Einstein einmal aus Verzweiflung in die Physik einführte, zusammenhängen. Es wird jedoch noch Jahre dauern, bis wir diese Komponenten besser verstehen können. ■■■

## Autopilot und Pedalverstellung



Auch im Cockpit eines Flugzeugs kommen bürstenlose und bürstenbehaftete DC-Motoren von maxon motor zum Einsatz. Zum Beispiel bei der Fluglageregelung und der Ansteuerung der mechanischen Steuerflächen, in der automati-

schen Schubhebelregelung oder in Force-Feedback-Joysticks der Fly-by-wire-Flugsteuerung. Auch die Pedalverstellung im Cockpit wird von maxon Motoren gesteuert. Der Pilot kann das Pedal der Seitenruder optimal auf seine

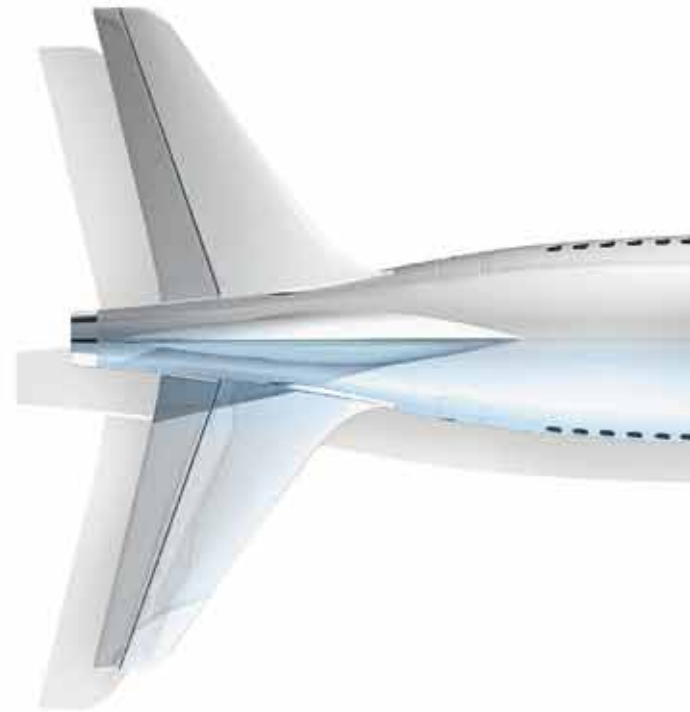
Beinlänge einstellen. Eine maxon Einheit treibt eine Linearspindel an, welche das Pedal verstellt. Dafür werden ein Antriebssystem aus einem bürstenlosen EC 22 und ein Planetengetriebe (GP 22 C) verwendet.



**maxon EC 22**  
Ø 22 mm, bürstenlos,  
40 Watt



**maxon GP 22 C**  
Ø 22 mm, 0,5–2,0 Nm



## Satelliten-Kommunikation

In naher Zukunft wird es vermutlich auf vielen Flügen Internet- und Handyverbindungen geben, auch dank maxon Produkten: maxon Antriebseinheiten sind für die Dreh- und Kippbewegung der Antenne zuständig, um sie immer auf die aktuelle Satellitenposition auszurichten. Der Satellit sendet und empfängt die Daten von einer Erdstation. Zum Einsatz kommen bürstenlose EC 45 Flachmotoren, EC 32 Motoren, die Stirnradgetriebe GS 45 sowie Encoder.



**maxon GS 45**  
Ø 45 mm, 0,5–2,0 Nm



**maxon EC 32**  
Ø 32 mm, bürstenlos,  
80 Watt

## Blenden und Displays

An Flugzeugkabinen gibt es unzählige Systeme, die automatisch funktionieren. So zum Beispiel die Fensterblenden, Displays oder Sitze. Auch hier kommen die leichten

und effizienten maxon Antriebe zum Einsatz. Für die Blendenverstellung in einem modernen Flugzeug werden EC-max 16 Motoren in Kombination mit ei-

nem Planetengetriebe (GP 16) verwendet. Mit dem bürstenlosen Design sind die Antriebe bestens für lange Betriebszeiten vorbereitet.



**EC-max 16**  
Ø 16 mm, bürstenlos,  
5 Watt



# Bequeme Sitze, bessere Luft

Moderne Passagierflugzeuge bieten immer mehr Komfort. maxon Motoren leisten dazu einen entscheidenden Beitrag – eine Herausforderung in luftiger Höhe.

In modernen Passagierflugzeugen machen zum Beispiel pneumatische Luftkissen in den Sitzen lange Flüge viel angenehmer. Hierbei wird der herkömmliche Schaumstoff in den Sitzkissen durch luftgefüllte Kammern ersetzt. Für die Befüllung der Kissen mit Luft sorgen maxon Flachmotoren. maxon Motoren sorgen zudem für eine geräuscharme elektronische Anpassung der Sitzlehnen und tragen auch so etwas zum

Komfort der Passagiere bei. Blenden und die für die Bordunterhaltung vorhandenen Displays funktionieren je nach Flugzeugtyp automatisch und werden durch Motoren bewegt. Im Klimakontrollsystem einer Boeing 787 sind insgesamt 48 maxon Motoren verbaut. Dazu gehören Antriebe für die Kabinenbelüftung, für die Kühlung der Elektronik sowie für das Öffnen und Schließen des Lufteinlasses an der Flugzeugaussenseite. Die über 5 Meter lange und 700 Kilogramm schwere Klimaanlage des Flugzeugs würde ausreichen, um 25 Privathaushalte zu kühlen beziehungsweise zu wärmen. Das Kabinenbelüftungssystem besteht aus 36 Absperrventilen, die von bürstenlosen maxon EC 45 Flachmotoren

angetrieben werden. Diese leichten Motoren wurden so konstruiert, dass sie aufgrund ihrer geringen Abmasse selbst in den kleinsten Raum passen. Die EC-Flachmotoren erreichen Drehzahlen von bis zu 20'000 rpm und haben dank ihrer offenen Bauweise bei hohen Drehmomenten eine sehr gute Wärmedissipation.

### maxon Motoren in Cockpit und Toilette

Schauen wir ins Cockpit. Auch hier kommen bürstenlose und bürstenbehaftete DC-Motoren von maxon motor zum Einsatz, zum Beispiel bei der Fluglageregelung und der Ansteuerung der mechanischen Steuerflächen, der automati-

schen Schubhebelregelung oder in Force-Feedback-Joysticks der Fly-by-wire-Flugsteuerung. Darüber hinaus braucht es in einem Flugzeug unzählige Ventile für unterschiedlichste Aufgaben. So funktionieren beispielsweise die Wasserzufuhr und die Wasserentsorgung in den Flugzeugtoiletten über Ventile, die durch maxon Antriebe geöffnet und geschlossen werden.

### Höchste Belastungen über lange Lebensdauern

Motoren für Luft- und Raumfahrtanwendungen unterscheiden sich deutlich von Standardmotoren. Denn diese müssen grosse Temperaturschwankungen (-55 bis +85 °C) aushalten, ständigen Vibrationen und wiederkehrenden Schockbelastungen widerstehen, über eine lange Lebensdauer verfügen und möglichst geringe elektromagnetische Störfelder haben. Zudem spielen Gewicht, Laufruhe und absolute Zuverlässigkeit des Antriebssystems eine wichtige Rolle.

### Pneumatisches Sitzsystem



Mehr zum Sitzsystem von Lantai im Interview mit CEO Dr. Urs Rickenbacher auf Seite 23

In modernen Passagierflugzeugen machen pneumatische Luftkissen in den Sitzen lange Flüge viel angenehmer. Das System ersetzt den herkömmlichen Schaumstoff in den Sitzkissen durch luftgefüllte Kammern. Für die Befüllung der Kammern mit Luft sorgen bürstenlose maxon Flachmotoren. Das System lässt unterschiedliche Füllstände zu, wodurch der Passagier stufenlos zwischen einer harten oder weichen Einstellung wählen kann. Durch das Luftkissensystem werden die Flugzeugsitze leichter, sodass der Kerosinverbrauch

des Flugzeugs und damit die Betriebskosten reduziert werden können. Die Flügelzellenpumpe des Luftkissens wird durch einen einzigen bürstenlosen EC 45 Flachmotor pro Sitz angetrieben. Dieser hat eine Abgabeleistung von mehr als 30 Watt, wiegt aber nur 75 Gramm, was ein besonders wichtiges Kriterium für den Einsatz in Flugzeugen ist.



maxon EC 45 flat  
Ø 42,9 mm,  
bürstenlos, 30 Watt

### Klimasystem für Passagierflugzeuge

Moderne Druckkabinen und Klimasysteme sorgen in Verkehrsflugzeugen für eine angenehme Atmosphäre. Bürstenlose DC-Motoren von maxon helfen dabei, dass in der Kabine der richtige Druck herrscht, genügend Sauerstoff vorhanden ist und die Temperatur stimmt. Das Kabinenbelüftungssystem besteht aus 36 Schmetterlingsventilen, die mit EC 45 Flachmotoren betrieben werden. Die Linearantriebe für die Lufteinlässe bestehen aus angepassten bürstenlosen EC 32 Motoren mit Tieftemperatur-

Hallsensoren, einer Flammsperre bei der Abgangswelle und speziellen vibrationsresistenten Gewinden zur Befestigung. Der maxon EC 45 flat zeichnet sich aus durch eine einfache, zuverlässige Konstruktion mit hoher Drehmomentfestigkeit in kurzer Bauform. Der bürstenlose Motor funktioniert im Standardtemperaturbereich der zivilen Luftfahrt von -55 bis +85 °C. Insgesamt 48 Antriebssysteme von maxon motor sind in der Boeing 787 verbaut.



maxon EC 45 flat  
Ø 42,8 mm,  
bürstenlos, 50 Watt

# «Es gilt, quer zu denken»

**Weltweit stammen rund 60 Prozent aller Flugzeugtextilien von der Schweizer Firma Lantal. Mit der Entwicklung eines pneumatischen Sitzsystems hat Lantal eine weitere Marktlücke für sich entdeckt.**

**Interview:** Anja Schütz

**Was fasziniert Sie besonders an Ihrer Tätigkeit als CEO bei Lantal? Wo liegen die grössten Herausforderungen?**

Es ist faszinierend, täglich mit Menschen unterschiedlicher Kulturen zusammenzuarbeiten und die Schönheit und Vielfalt der Textilindustrie zu erleben. Herausfordernd sind vor allem die Internationalität des Geschäfts sowie unser Ziel, bei hoher Konkurrenz mit entsprechendem Kosten- und Margendruck und einem hohen Grad an Volatilität Bestleistungen zu erbringen.

**Wie kam Lantal auf die Idee, ein pneumatisches Sitzsystem (PCS) zu entwickeln? War es ein steiniger Weg, die Idee bei Kunden zu vermarkten?**

Urs Baumann, damals Eigentümer und Geschäftsführer von Lantal, sah ein patentiertes, luftgefülltes Sitzbänklein bei der damaligen Er-

finderfirma «prospective concepts». Er kombinierte und erkannte eine Verwendungsmöglichkeit für die Technologie in Lantals Kerngeschäft mit Sitzbezügen. Bis das

«Mich fasziniert die Zusammenarbeit mit Menschen unterschiedlicher Kulturen.»

erste kommerzielle Sitzkissen zertifiziert und bei einer Airline eingebaut war, dauerte es vier Jahre. Weitere vier Jahre dauerte es, bis Business- und First-Class-Sitze mit einem volladaptiven Sitzkissensystem ausgestattet waren. Zertifizierungen sind – mit Recht – sehr aufwändig im Luftfahrtgeschäft.

**Die Luftkissentekhnologie hat mittlerweile in der Business- und First-Class-Fliegerei Fuss gefasst. Mit welcher Airline muss ich**

**fliegen, um in den Genuss des Komfortsystems zu kommen?**

Die erste Airline mit dem vollständig pneumatischen Komfortsystem in den Sitzen der Business und der First Class der Langstreckenflotte war Swiss International Airlines. Unterdessen sind über 3000 Sitzplätze, hauptsächlich in der Business Class, damit ausgestattet, neben der SWISS auch bei der Lufthansa, bei Brussels Airlines, Austrian Airlines und bei British Midland International unter der Flagge von British Airways. Bestellungen von Air Canada für die Boeing B777 sowie von zwei nordamerikanischen Airlines und einer Fluggesellschaft aus dem Mittleren Osten liegen vor.

**Wie viel investiert Lantal in Forschung und Innovation?**

Das kann so in einer Zahl nicht beantwortet werden. Im internationalen Umfeld sind Innovationen überlebenswichtig. Wir beobachten ständig Themen und Trends in der Flugzeug-, Bus- und Bahnindustrie sowie in verwandten Bereichen wie Architektur, Mode, Möbeldesign und Mobilität, um Trends und Ideen zu erkennen und sie für eine nachhaltige Unternehmensentwicklung zu nutzen. Dabei gilt es, quer zu denken, branchenfremde Impulse aufzunehmen und diese mit unseren strategischen Zielen zu vernetzen. Innovation ist für ein hochspezialisiertes Unternehmen von zentraler Bedeutung und beschränkt sich keineswegs nur auf neue Designvarianten und gezielte Prozessoptimierungen, sondern auch auf neue Produkte, die dem Kunden erfolgreich mehr oder neuen Nutzen generieren.



**Dr. Urs Rickenbacher** studierte an der Universität St. Gallen Wirtschaftspädagogik und promovierte zum Dr. oec. HSG. Nach seinem Studium war er bei Unternehmen wie Gebr. Sulzer AG, Kuoni Reisen AG, Jelvoli AG und der USM-Gruppe in leitenden Positionen tätig, bevor er 2003 die Nachfolge als CEO und Delegierter des Verwaltungsrates bei Lantal Textiles Group in Langenthal (Schweiz) antrat.



Laden Sie die Tablet-Ausgabe 2//2013 von driven herunter und lesen Sie dort das vollständige Interview. [magazin.maxonmotor.ch](http://magazin.maxonmotor.ch)





Raketentriebwerke sorgen für Höchstgeschwindigkeiten: Nach dem ersten Antriebsschub trennt sich die Boosterstufe von der Passagierkapsel. Gelandet wird wie bei einem Passagierflugzeug.

# In 90' von Paris nach Sydney

Heute braucht ein Flugreisender für die Strecke von 16'800 km rund 24 Stunden. Hyperschallflugzeuge mit Raketenantrieb sollen die Reisedauer künftig auf einen Bruchteil reduzieren.

**Text:** Anja Schütz

«Wegen der Reibung mit der Erdatmosphäre brauchen Nase und Flügel eine aktive Kühlung.»

**D**as Hyperschallflugzeug SpaceLiner braucht keine lange Startbahn, es startet senkrecht in den Himmel über Paris. Nach einer Flugphase von rund acht Minuten wechselt es in die Horizontale und gleitet fortan in einer Höhe von 80'000 Metern an sein Ziel. Dabei sind die 50 Passagiere zwischenzeitlich mit zwanzigfacher Schallgeschwindigkeit unterwegs, was ungefähr 20'000 km/h entspricht. 80 Minuten später landet der SpaceLiner auf einer normalen Landebahn in Sydney. Was einfach klingt, ist in der Realität komplex.

Im Rahmen der Studie Fast20XX (Future high-Altitude high-Speed Transport) haben sich Wissenschaftler aus Deutschland, Österreich, Spanien, der Schweiz, Italien, Belgien, den Niederlanden, Frankreich und Schweden zusammengetan, um die Vision des SpaceLiners zu

konkretisieren. Das Konzept basiert auf einem zweistufigen, wiederverwendbaren System: einer Passagierkapsel und einer Boosterstufe, die sich nach dem ersten Antriebsschub von der Passagierkapsel trennt.

## Raketenantriebe sorgen für Schub

Im Prinzip funktioniert ein Hyperschallflug wie jeder andere Flug, allerdings mit Geschwindigkeiten von mindestens 1,7 km/s, also über 6000 km/h. Der SpaceLiner kann für kurze Zeit sogar Geschwindigkeiten von mehr als 20'000 km/h erreichen. Dies verlangt entsprechend leistungsfähige Antriebe. «Beim SpaceLiner lösen wir das geschickt durch den Einsatz von Raketentriebwerken», sagt Projektleiter Martin Sippel vom Deutschen Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR) in Bremen. Der Raketenantrieb verbrennt flüssigen Wasserstoff und Sauerstoff zu Wasserdampf. Anders als etwa beim Überschallflugzeug Concorde, das rund 25'000 Liter Kerosin pro Stunde verbrauchte, ist der Antrieb des SpaceLiners damit von vornherein umweltverträglich konzipiert.

## Aktive Kühlung nötig

Eine weitere Herausforderung für die Wissenschaftler stellt die Hitzeentwicklung während des Fluges dar. Durch die enorme Reibung mit der Erdatmosphäre entstehen an der Aussenhülle des SpaceLiners Temperaturen von bis zu 1800 °C. «Neben einem leichten und besonders zuverlässigen passiven Thermalschutz auf den grossen Oberflächen benötigt der SpaceLiner an der Nasenspitze und an den Flügelvorderkanten deshalb eine aktive Kühlung», erklärt Sippel.

Derzeit befindet sich das Projekt in einer frühen Entwurfsphase. Gemäss DLR könnte das erste Hyperschallflugzeug mit Privatpassagieren 2050 starten. Bis sich die Technologie im preisaffinen Massentourismus einsetzen liesse, würde es allerdings noch etwas länger dauern. Martin Sippel rechnet damit, dass ein SpaceLiner-Ticket am Anfang etwa so viel kosten wird wie eines für Space-Tourismus-Flüge, wie sie etwa Virgin Galactic anbietet. Wir sprechen von rund 200'000 Dollar – ein teures, dafür umso schnelleres Reisevergnügen. Bis Hyperschallfliegen für die breite Bevölkerung zur Gewohnheit wird, sorgen allerlei technische Entwicklungen für den Komfort der Passagiere. Dazu tragen auch maxon Motoren bei, die in zahlreichen Flugzeugkomponenten verbaut sind und im Verborgenen zuverlässig ihren Dienst verrichten. ■■■



Laden Sie die Tablet-Ausgabe 2//2013 von driven herunter und sehen Sie in einer Simulation, wie sich ein Flug im SpaceLiner abspielen könnte. [magazin.maxonmotor.ch](http://magazin.maxonmotor.ch)



## Wie schnell ist eigentlich ein Hyperschallflugzeug?

**Mesosphäre**  
Höhe: 80'000 m

SpaceLiner  
20'000 km/h (Mach 20 – 24)



Felix Baumgartner  
1342 km/h (Mach 1.1)

Düsenjet  
maximal 3500 km/h (Mach 2 bis 3)

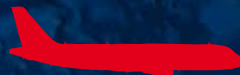


**Stratosphäre**  
Höhe: 36'000 m

Concorde  
2333 km/h (Mach 2)



Passagierflugzeug  
915 km/h (0,85 Mach)



**Troposphäre**  
Höhe: 10'000 m



Etwa so gross  
wie 3 Kubik-Würfel:

Der Minisatellit UKube-1.

# Nanosatelliten auf dem Weg ins All



«Die Beteiligung von maxon motor am Projekt war ausschlaggebend für die Entwicklung des Trägheitsantriebs.» Craig Clark, CEO Clyde Space

## Das schottische Unternehmen Clyde Space erforscht neue Anwendungsmöglichkeiten für Nanosatelliten. Dabei setzt es auf bürstenlose DC-Motoren von maxon motor.

**Text:** Anja Schütz

**U**Kube-1 ist die erste britische CubeSat-Mission – und der erste schottische Satellit überhaupt. Seine Reise in den Weltraum trat er mit der russischen Sojus-2-Rakete im September 2013 vom Kosmodrom in Baikonur (Kasachstan) an. An Bord des Satelliten befinden sich ein GPS-Gerät zur Messung des Weltraumwetters in der Plasmasphäre sowie eine Kamera, die Aufnahmen von der Erde macht. Mit Hilfe eines neuartigen Bildsensors sollen die Auswirkungen von kosmischer Strahlung auf technische Geräte erfasst und herausgefunden werden, ob durch deren Nutzung die Sicherheit von Kommunikationssatelliten erhöht werden kann. UKube-1 beherbergt zudem verschiedene Instrumente, die es britischen Studenten ermöglichen, mit dem Weltraumfahrzeug zu interagieren.

Nanosatelliten oder CubeSats sind miniaturisierte Satelliten, die in der Weltraumforschung eingesetzt werden. Sie haben eine Größe von gerade einmal 10 x 10 x 10 cm und wiegen weniger als 1 Kilogramm. Die kostengünstigen und praxistauglichen Satelliten wurden für Forschungszwecke entwickelt. Um die Neigungsregelung für die kleinen CubeSats zu verbessern, arbeitet Clyde Space mit maxon motor zusammen. Damit eröffnen sich für die Nanosatelliten neue Anwendungsbereiche, beispielsweise die Beobachtung der Erde mit hochauflösenden Kameras, die Übertragung von Daten mit hoher Bandbreite, weltraumwissenschaftliche und astronomische Anwendungen oder die genaue Prüfung neuer Technologien im Orbit.

Clyde Space und maxon motor haben gemeinsam ein triaxiales Neigungsregelungssystem entwickelt. Es basiert auf einer Drehmomentpositionierung mittels eines Trägheitsrades. Das Rad wird von einem bürstenlosen DC-Motor von maxon angetrieben. Bei Änderung der Drehzahl entsteht ein Reaktionsmoment, das eine Drehung des CubeSat bewirkt. Eine Rotation mit gleichbleibender Drehzahl stabilisiert den Satelliten. Um eine vollständige Neigungsregelung in drei Achsen zu erzielen, werden mehrere Trägheitsräder eingesetzt. Clyde Space suchte nach einer kostengünstigen Lösung und entschied sich für einen bürstenlosen Standardmotor von maxon mit einem Durchmesser von 20 mm. maxon motor modifizierte dieses Produkt entsprechend der Anwendungsumgebung, lieferte und installierte das Trägheitsrad und sorgte für den Dynamikabgleich der gesamten Baugruppe. «Die Beteiligung von maxon motor am Projekt war ausschlaggebend für die Entwicklung des Trägheitsantriebs. Wir sind jetzt in der Lage, unseren Kunden eine komplette triaxiale Neigungsregelung auf Basis von Serienkomponenten anzufertigen», erklärt Craig Clark, CEO von Clyde Space. Bei der Wahl der Komponenten war ihm eine hohe Belastbarkeit wichtig: «Wir haben bewusst mit maxon motor zusammengearbeitet, um sicherzustellen, dass die bürstenlosen DC-Motoren die starken Vibrationen und Stöße beim Raketenstart und die hohe thermische Zyklusbelastung und Strahlung im Orbit überstehen.»



maxon Motoren treiben die Trägheitsräder an, die die Neigung des Satelliten regeln.

# Am Rande der Mariner-Täler

Robin Phillips, Projektmanager Aerospace bei der maxon motor ag in Sachseln (Schweiz), zu Hyperschallfliegen und bemannten Reisen zu Mond und Mars.



**Robin Phillips** hat Mathematik und Astrophysik studiert und arbeitete anschließend als Instrument-Support-Wissenschaftler am James-Clerk-Maxwell-Teleskop auf Mauna Kea in Hawaii. Danach wechselte er an die Universität von Lethbridge in Alberta (CA), wo er in einer Forschungsgruppe tätig war, die spezielle Messinstrumente für Teleskope entwickelte. Dabei kam er in Berührung mit maxon Motoren, was ihn letztlich zu seiner heutigen Arbeit bei der maxon motor ag führte.

## Im Jahr 2030 werden wir mit Hyperschall-Passagierflugzeugen in nur 90 Minuten von Europa nach Australien fliegen!

Ich bin sicher, dass dies einmal realistisch wird, aber nicht vor 2030. Seit den 1960er-Jahren gab es viele Versuche, Hochgeschwindigkeitsflugzeuge zu entwickeln. Diese Projekte sind immer wieder gescheitert. Nicht wegen der Technik, sondern weil ein entsprechender Markt fehlte. Die Menschen wollen zwar durchaus schnell, aber auch günstig reisen. Hier ist die konventionelle Fliegerei im Vorteil. Ein Beispiel dafür ist das Überschall-Passagierflugzeug Concorde, das sich gegenüber der Boeing 747 nicht durchsetzen konnte. Beide Flugzeuge wurden in den späten 1960er-Jahren entwickelt. Trotz massiven staatlichen Zuschüssen entschieden sich die meisten Fluggesellschaften eher für die Boeing als für die Concorde. Heute ist die Situation nicht anders: Boeing hat ihr Projekt eines schnelleren Verkehrsflugzeugs, des Sonic Cruisers, vor ein paar Jahren aufgegeben und stattdessen die viel wirtschaftlichere 787 entwickelt. Grosser Kostentreiber sind die fossilen Brennstoffe. Bevor Hyperschallreisen für kommerzielle Fluggesellschaften realistisch werden, muss es deshalb einen Technologiewandel bei den Antriebssystemen und der Flugzeugkonstruktion geben. Ich bin überzeugt, dass wir irgendwann ein solches Flugzeug entwickeln werden – vielleicht werden meine Enkel im Alter damit fliegen.

## Es wird nicht mehr lange dauern, bis ein Astronaut im Rahmen der bemannten Weltraumforschung seinen Fuss auf den Mars setzt!

Der Mond und der Mars sind nicht so weit von uns entfernt. Sie gehören sogar zu den Objekten im Weltall, die wir am ehesten besuchen können. Wir sind aber noch weit von einer Weltallforschung à la «Star Trek» entfernt. Die unbemannte Raumsonde Voyager 1, die in den frühen 1980er-Jahren Jupiter und Saturn erreichte, befindet sich erst jetzt am Rande unseres Sonnensystems – 35 Jahre nach ihrem Start ins All. Trotzdem glaube ich, dass es eher eine Marskolonie geben wird als regelmässige Hyperschallflüge von Europa nach Australien. Es gibt eine ganze Reihe von vermögenden Menschen, die mit ihren Unternehmen alles daransetzen, die Kosten für Weltraumreisen zu reduzieren und bereits in zehn bis zwanzig Jahren erste Touristen zum Mars zu fliegen. Und dafür ist nicht mal eine neue Antriebstechnologie nötig. Probleme bereitet derzeit vielmehr die Frage, wie man den empfindlichen menschlichen Körper auf dem Weg zum Mars vor Hitze, Kälte, Strahlung sowie der schwierigen Landung schützt. Das Luftkransystem, welches bei der Landung des NASA-Rovers Curiosity im August 2012 genutzt wurde, ist ein riesiger Fortschritt. Es ist eines der wenigen Systeme, die schwere Lasten – und dazu gehören natürlich auch bemannte Raumschiffe – auf einem Planeten absetzen können.

## Es gibt mehrere sehr ambitionierte Projekte, den Mars zu besiedeln. Dabei steht noch gar nicht fest, ob der Mensch auf dem Mars überleben kann!

Die Chancen stehen gut, dass in den nächsten 50 Jahren Menschen auf dem Mars leben werden. Die Technologie dafür ist vorhanden. Wir wissen, dass es auf dem Mars gefrorenes Wasser gibt. Mithilfe von geeigneten Energiequellen wäre es daher kein Problem, die Grundlagen für die Erhaltung von menschlichem Leben auf dem Mars zu schaffen. Wir sind theoretisch in der Lage, Marskapseln zu Wohnzwecken zu bauen, Gewächshäuser für den Anbau von Lebensmitteln zu schaffen und die Marsatmosphäre in Luft umzuwandeln, die wir atmen können. Derzeit ist es für Regierungen allerdings zu teuer, solche Projekte zu finanzieren. Die Mondlandungen von 1969 und 1972 zählen zweifellos zu den aussergewöhnlichsten Leistungen der Raumforschung – sie waren aber auch das Produkt der besonderen politischen Umstände der 1960er-Jahre und nicht Teil eines langfristigen Plans. Aber warum eigentlich sollte der Mensch auf dem Mars leben? Es braucht einen guten Grund dafür, Menschen auf fremden Planeten anzusiedeln. Denn sie müssen dort leben und arbeiten, auf lange Sicht muss sich eine stabile Wirtschaft entwickeln. Das braucht Zeit. Nachdem Kolumbus Nordamerika entdeckt hatte, dauerte es 128 Jahre, bis eine erste dauerhafte Ansiedlung in Plymouth (Massachusetts) entstand. Dort wurden natürliche Ressourcen für die Ansiedlung und die Entwicklung einer Wirtschaft genutzt – genauso müssten wir auf dem Mars die Bodenschätze nutzen. Bis zu einer vollständigen autarken Kolonie wäre es ein langer Weg. Bergbau wäre aber nicht die einzige wirtschaftliche Grundlage einer Marskolonie, auch der Tourismus könnte sich lohnen. Ich persönlich würde sehr gern einmal am Rand der «Mariner-Täler» stehen und die Aussicht geniessen.

# Marsmensch auf Zeit



**Volker Maiwald** hat Luft- und Raumfahrttechnik an der RWTH Aachen studiert. Seit 2010 arbeitet er als Systemingenieur in der Abteilung Systemanalyse Raumsegment für das Deutsche Zentrum für Luft- und Raumfahrt am Institut für Raumfahrtssysteme in Bremen. Vom 23. Februar bis 9. März 2013 war Volker Maiwald als stellvertretender Kommandant und Habitat-Ingenieur Teil der Crew 125 der Mars Desert Research Station.



Die Marsbasis in der Wüste von Utah ist klein: Gerade mal zehn Meter Durchmesser hat die zweistöckige Station, in der die sechs «Astronauten» für zwei Wochen leben.



Während der «Aussenmissionen» sammelt die Crew Gesteinsproben, die später im Labor der Mars Desert Research Station (MDRS) untersucht werden.

In der Antike war der Mars wegen seiner auffällig roten Farbe die Verkörperung des Kriegsgottes – seither trägt er dessen Namen. 1965 lieferte die Raumsonde «Mariner 4» erste Nahaufnahmen des Mars und zerstreute so recht schnell frühere Vorstellungen von künstlich angelegten «Kanälen» oder gar Zivilisationen auf dem Mars. Dennoch bleibt er für viele Wissenschaftler hochinteressant. Seine Oberfläche erlaubt (momentan) keine menschliche Besiedlung, sie ist jedoch weniger lebensfeindlich als die der Venus.

Der Mars ist reich an Rohstoffen, es gibt darauf Wassereis, und er ist verhältnismässig leicht zu erreichen.

So gibt es momentan eine Vielzahl an Sonden und Rovern (z.B. Europa Mars Express oder die US-Rover Curiosity und Opportunity), die den

Mars erforschen. ESA und NASA, aber auch einige private Firmen planen, Menschen zum Mars zu bringen und dort Kolonien aufzubauen – Zukunftsmusik der nächsten 30 Jahre. Ein solches Unterfangen – gleich den historischen Entdeckerreisen, aber hoffentlich friedfertiger – braucht Planung und Training, wie etwa in der Mars Desert Research Station (MDRS) in Utah, wo ich während zweier Wochen das «Leben auf dem Mars» testen konnte. Die Wüstenstation der Mars Society hat, neben geologischer und biologischer Wissenschaft, das Ziel, die Einschränkungen einer Marsmission zu erproben und hilfreiche Erfahrungen zu sammeln, bevor man tatsächlich zum Mars aufbricht. Aber was will man dort? Der Mars kann uns viele Antworten zur Entstehung und Entwicklung des Sonnensystems und der Erde liefern und bietet uns – mit technischer Hilfe – Lebensraum. In der Woche vor meiner Reise nach Utah sind zwei Asteroiden dicht an die Erde herangekommen, einer schlug in Russland ein. Es ist also vielleicht gar nicht falsch, ins Auge zu fassen, einen weiteren Planeten zu besiedeln.

### Beengtheit in endloser Weite

Eine bemannte Mission zum Mars wäre natürlich mit Einschränkungen verbunden. In Utah hatte unsere sechsköpfige Crew einen täglichen Wasservorrat von 120 Litern – das hat man zu

Hause für sich alleine. Geduscht wurde jeden dritten Tag für zwei Minuten. Das Essen bestand aus Trockennahrung: kleine Tomaten-, Brokkoli- oder Rindfleischwürfel, die mit Wasser versetzt und so geniessbar wurden. Vor allem

aber die Isolation von der Umwelt war ein einschneidendes Erlebnis: Man kann die Marsstation nicht beliebig verlassen. Auch bei den Aussen-einsätzen ist man durch den (simulierten) Raumanzug von der Aussenwelt abgeschnitten. Die Einengung bemerkt man schon nach wenigen Tagen. Und es war eine sehr intensive Zeit: Im Schnitt haben wir am Tag etwa 18 Stunden gearbeitet, an Experimenten und Berichten, am Kontakthalten zur Bodenkontrolle und an Wartungsarbeiten.

Jedes Gramm, das man zum Mars bringen will, kostet viel Geld. Also muss man mit so wenig wie möglich auskommen. Idealerweise ist alles recycelbar. Die MDRS ist rund, hat einen Durchmesser von 8 Metern und zwei Stockwerke. Unten befinden sich Werkstatt, Labore und Luftschleusen, oben Computerarbeitsplätze, Küche, Esstisch und die «Quartiere», die für jeden 1,5 mal 2 Meter umfassen – etwas beengt.

Aber nach zwei Wochen «Leben auf dem Mars» sind sechs Fremde aus fünf Nationen zu guten Freunden geworden – und vielleicht ist das die grösste Errungenschaft einer Marsmission: Näher zusammenzurücken, denn schon bei den Flügen zum Mond hiess es: Wir kamen in Frieden, für die ganze Menschheit. ■■■



Die Quartiere der Crew: ein Klapptisch und ein Bett auf 3 m<sup>2</sup> Fläche.



Seine rote Farbe verdankt der Mars dem eisenhaltigen Mineral Hämatit.

Die Crew 125 der MDRS: Csilla Orgel, Ayako Ono, Volker Maiwald (hinten von links), Melissa Battler, Hans van 't Woud, Matt Cross (vorne von links).







# Starke Stellvertreter

Moderne Prothesen sind Hightech-Systeme, die Leben retten und die Lebensqualität ihrer Träger markant verbessern. Weitere Fortschritte erhoffen sich Forscher durch eine stärkere Anbindung ans Nervensystem.

**Text:** Anja Schütz

**D**er Computerspezialist Curtis Grimsley aus New York arbeitet konzentriert an seinem Rechner, als plötzlich die Erde bebte. Er sitzt in seinem Büro im 70. Stockwerk des World Trade Centers, an diesem unglücklichen 11. September 2001. Was wie ein normaler Arbeitstag begann, wandelt sich innerhalb von Sekunden in einen Albtraum: Bilder fallen von den Wänden, Papier fliegt durch die Luft, Menschen laufen um ihr Leben. Panisch flüchten sie zum Treppenhaus. Auch Curtis hat das Glück, rasch die Treppen zu

erreichen. Er hetzt die siebzig Stockwerke nach unten, erreicht den Eingang, gelangt ins Freie. Erst später wird er erfahren, was an diesem Morgen genau passiert ist, wie viele seiner Kollegen im World Trade Center ihr Leben liessen, welch grosses Glück er hatte. Curtis konnte sich retten – trotz der Beinprothese, die er seit einem Unfall trägt. Der ehemalige Basketballspieler und Leichtathlet hatte dabei sein linkes Bein bis oberhalb des Knies verloren. Einige Jahre lang lebte Curtis Grimsley mit einer herkömmlichen

Prothese, bis er von einer neuen deutschen Entwicklung hörte: dem C-Leg, dem ersten vollständig mikroprozessorgesteuerten Beinprothesensystem der Welt. Im C-Leg (Computerized Leg) integrierte Sensoren analysieren stetig die Gehsituation, die Hydraulik der Prothese passt sich entsprechend an. Mit einer herkömmlichen Prothese hätte sich Curtis wahrscheinlich nicht retten können.

Dass Prothesen «mitdenken», war nicht immer so. Die Geschichte der Prothesen hat ihren Ursprung bei den alten Ägyptern – schon sie verwendeten um 2000 v. Chr. einfache Prothesen. Im Mittelalter waren Holz oder Eisen die bevorzugten Materialien für künstliche Gliedmassen. Eine der bekanntesten Prothesen des 16. Jahrhunderts ist die «eiserne Hand» von Götz von Berlichingen: Sie bestand aus mehr als 200 Teilen und war aufgrund ihrer Beweglichkeit ein Wunderwerk ihrer Zeit. Ihre Finger waren beweglich und liessen sich mit Zahnrädern in verschiedenen Positionen fixieren.

### Armmuskeln koordinieren die Handbewegung

Heute sind Hand- und Armprothesen um einiges komplexer. Die menschliche Hand ist durch das perfekte Zusammenspiel zahlreicher Nerven, Sehnen, Muskeln und Knochen ein einmaliges Präzisionsinstrument der Natur. Ihre natürliche Form und ihre zahlreichen Funktionen anhand einer Prothese nachzubilden, ist eine der grössten Herausforderungen der Medizintechnik. Der menschlichen Hand sehr nahe kommt die Handprothese «Michelangelo» der Ottobock HealthCare GmbH. Sie kann sieben verschiedene Greifbewegungen durchführen. Hierfür bewegt ein maxon Motor das Grundgelenk des Daumens, ein weiterer bewegt die Grundgelenke der übrigen Finger. Das künstliche Handgelenk rastet in verschiedenen Stellungen ein, ist aber sonst gedämpft beweglich. Diese Dämpfung lässt Bewegungen der Prothese sehr natürlich erscheinen, etwa beim Händeschütteln.

Bei funktionellen Arm- oder Handprothesen ist die Schnittstelle zum menschlichen Körper sehr wichtig, da die Bewegungen der Prothesen durch Körpersignale über die noch intakte Armmuskulatur gesteuert werden. Die Bewegung der Prothese wird oft mit zwei Armmuskeln koordiniert, wobei zum Beispiel einer die Hand öffnet und der andere sie wieder schliesst. Der kontrahierende Muskel löst dabei einen elektrischen Impuls auf der Haut aus, den implantierte



Curtis Grimsley gelang mit seiner Beinprothese «C-Leg» die Flucht aus dem World Trade Center.

Elektroden abfangen und einem Mikroprozessor in der Prothese zuführen. Je stärker der Anwender den Muskel anspannt, desto schneller und kräftiger greift die Prothese zu. Zusätzlich kommt ein in den künstlichen Daumen integrierter Kraftsensor zum Einsatz, der Stärke und Richtung der Kraft beim Zudrücken misst. Droht zum Beispiel ein Gegenstand aus der Hand zu rutschen, justiert die Technik nach und verhindert, dass dieser runterfällt.

**Die Hand ist ein einmaliges Präzisionsinstrument der Natur. Sie nachzubilden, ist schwer.**

### Von der Exoprothese zur Endoprothese

Im Gegensatz zu sogenannten Exoprothesen, also künstlichen Körperteilen, die sich ausserhalb des Körpers befinden, werden Endoprothesen in den menschlichen Körper implantiert – beispielsweise als Herzschrittmacher, Ohrimplantat oder Medikamentenpumpe. Technisch stark ausgereift sind implantierbare Medikamenten-Dosiersysteme. Sie sind für die Betroffenen oftmals überlebenswichtig, weshalb sie

### Flüssigkeitspumpe Alfapump

Das zwischen Hautfett-schicht und Bauchfell eingesetzte Alfapump-Implantat besteht aus dem biokompatiblen Kunststoff Peek. Die besonderen Umgebungsbedingungen im menschlichen Körper erfordern spezielle Motoren und eine angepasste Elektronik, da bei der Verwendung von Kunststoff keine hermetisch dichte Einkapselung möglich ist. Das Implantat wird wegen der vorhandenen Feuchtigkeit vollständig verfüllt, die Elektronik mit einer zusätzlichen Beschichtung geschützt. In der Pumpe sitzt ein bürstenloser maxon Motor.



**maxon EC 13**  
Ø 13 mm, bürstenlos,  
6 Watt

Der Motor EC 13 treibt die Pumpenzahnräder der Alfapump an. Der Motor verfügt über Hallsensoren, die für die Positionsrückmeldung wichtig sind. Die Steuerung des Motors nutzt sie, um eine zuverlässige und stabile Funktion insbesondere bei niedrigen Drehzahlen und hohen Lastmomenten zu erreichen.



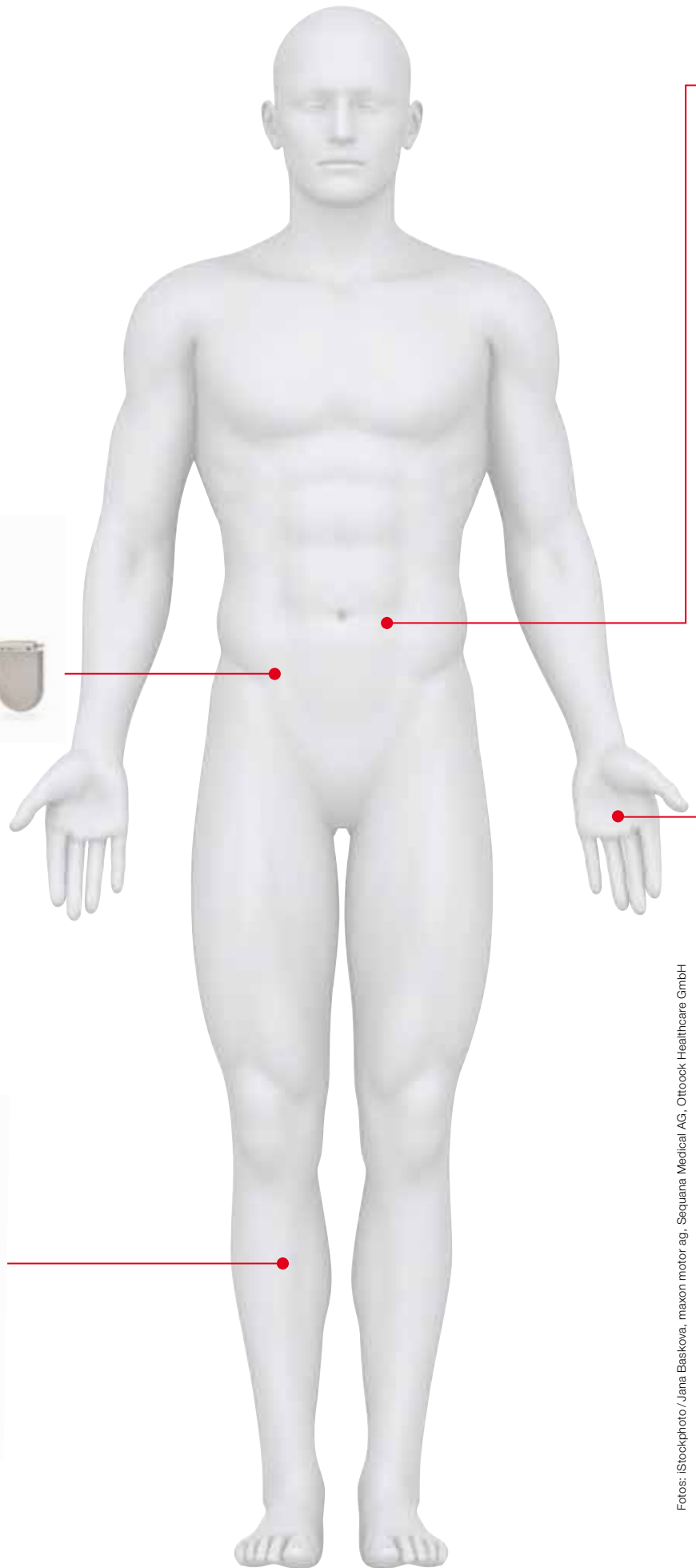
### Beinprothese C-Leg

Ein Mikroprozessor im Kniegelenk des C-Leg erkennt, in welcher Phase des Gehens sich der Träger befindet, und stellt sich in Echtzeit darauf ein – sowohl für die Schwung- als auch die Standphase. Die aktive Prothese passt sich eigenständig verschiedenen Terrains und Gehgeschwindigkeiten an, indem sie rund 50-mal pro Sekunde die Belastung im Knöchel sowie den Kniewinkel misst. Die Elektronik errechnet auf Basis dieser Daten die erforderliche Dämpfung im hydraulischen Kniegelenk und sorgt dafür, dass servogesteuerte Ventile das Knie zum richtigen Zeitpunkt beugen und strecken.



**maxon RE 10**  
Ø 10 mm, Edelmetall-  
bürsten, 0,75 Watt

In jedem C-Leg sitzen zwei RE 10 Motoren von maxon motor. Stärke des Motors ist seine geringe Baugröße – er hat 10 Millimeter Durchmesser. Der RE 10 verfügt über eisenlose Wicklungen und Neodym-Magnete, die höchste Leistung bei minimalem Bauvolumen gewährleisten. Zur Kommutation der Motoren werden Edelmetallbürsten eingesetzt.



## Implantierbare Medikamenten-Dosiersysteme

Das aktive Implantat wird in den Unterbauch implantiert und gibt von dort die vom Arzt bestimmte Medikamentendosis zur definierten Tageszeit ab. Es verfügt über eine Wireless-Datenschnittstelle zu einem Patienten-Interface, was eine Anpassung der Dosierung jederzeit möglich macht. Das interne Medikamenten-Reservoir kann durch einen Spezialisten nachgefüllt werden. Die mehrjährige Lebensdauer des Implantats wird einzig durch die Lebensdauer der Batterie begrenzt. Sein Herzstück



**maxon medical Pumpenmechanismus**

bildet eine Hubkolbenpumpe von maxon medical. Diese generiert eine lineare Bewegung, die eine Flüssigkeitsförderung bewirkt. Die äusserst eng tolerierten Einzelteile der Pumpe ermöglichen ein exakt einstellbares Pumpvolumen von unter einem Mikroliter pro Kolbenhub.



## Aktive Handprothese «Michelangelo»

Sieben verschiedene Greifbewegungen, ein natürliches Aussehen und ein geringes Gewicht von nur 420 Gramm zeichnen die Prothese «Michelangelo» des Herstellers Ottobock aus. Michelangelo ist eine myoelektrische Prothese (Fremdkraftprothese). Bei jeder Kontraktion des Muskels entsteht auf der Haut des Anwenders eine elektrische Spannung, die die Prothese steuert. Der Hauptantrieb sorgt für die Greifbewegung und die Griffkraft der Prothese. Aktiv angetriebene Elemente sind Daumen, Zeige- und Mittelfinger. Ringfinger und kleiner Finger bewegen sich passiv.



**maxon EC 10 (Basis)**  
Ø 10 mm, bürstenlos,  
8 Watt, mit Hallsensoren

In der Prothese «Michelangelo» sitzen zwei EC 10 Motoren. Der Motor wurde mit einer hochpräzisen Schneckenverzahnung modifiziert. Die elektronisch kommutierten bürstenlosen DC-Motoren zeichnen sich durch ein günstiges Drehmomentverhalten, eine hohe Leistung, einen extrem grossen Drehzahlbereich und eine sehr hohe Lebensdauer aus.

absolut zuverlässig arbeiten müssen. Des Weiteren werden bei vielen Krankheiten implantierbare Pumpensysteme genutzt – beispielsweise bei Diabetes oder Aszites. Bei Aszites sammelt sich Flüssigkeit im Bauchraum, Ursache sind häufig schwere Krankheiten wie Krebs. Um die Flüssigkeitsansammlung kontrolliert zu regulieren, hat das Schweizer Unternehmen Sequana Medical ein aktives Implantat entwickelt. Bei Bedarf pumpt diese «Alfapump» mit Unterstützung eines maxon Motors die Flüssigkeit vom Bauchraum in die Blase des Patienten. Die ersten beiden kommerziellen Implantationen des Pumpensystems erfolgten im Oktober 2011 in Wien (Österreich). Gemäss Prof. Dr. Markus Peck-Radosavljevic von der Abteilung für Gastroenterologie und Hepatologie des Allgemeinen Krankenhauses Wien sind die beiden kurzen Eingriffe problemlos verlaufen. «Mit dem Alfapump-System gelang ein echter Durchbruch in der Behandlung von Aszites. Den Patienten bleibt damit die kräftezehrende Drainage-Prozedur im Krankenhaus erspart», sagt Peck-Radosavljevic.

**Endprothesen sitzen als Implantate im Körperinnern.**

## Neuronale Anbindung als Zukunftsvision

Trotz aller Fortschritte in der Medizintechnik ist es noch ein weiter Weg, bis Prothesen und Implantate in Funktionsweise und Aussehen mit ihren natürlichen Vorbildern vollständig mithalten können. Traum vieler Prothesenentwickler ist eine noch innigere Verbindung von Körper und Technik. Der Schlüssel dazu liegt in neuronalen Schnittstellen – Elektroden, am besten im Gehirn platziert, sollen künftig noch komplexere Bewegungsabläufe der Prothesen ermöglichen. Auch im Bereich der Haptik liegt noch Potenzial. So gibt es heute etwa verschiedene Forschungsansätze mit dem Ziel, künstliche Hände fühlen zu lassen. Im EU-Forschungsprojekt «SmartHand» forscht ein Team von Wissenschaftlern aus Italien und Schweden an einer künstlichen Hand, die mit 40 Sensoren und kleinen Motoren ausgestattet ist und so den Tastsinn der menschlichen Haut nachahmen kann. Der Schwede Robin af Ekenstam, der wegen einer Krebserkrankung seine rechte Hand verlor, hat den Prototyp der Wissenschaftler als einer der ersten Patienten getestet: «Wenn ich etwas greife, kann ich es in den Fingerspitzen fühlen, was sehr seltsam ist, da ich eigentlich keine mehr habe.»



Laden Sie die Tablet-Ausgabe 1//2013 von driven herunter und sehen Sie, wie sich die Prothese «Michelangelo» über die Muskulatur steuern lässt.  
magazin.maxonmotor.ch

# «Der Träger soll die Prothese vergessen»

**Mit «C-Leg» hat die Ottobock HealthCare GmbH eine einzigartige Beinprothese geschaffen, die dem Träger mehr Sicherheit und Lebensqualität verschafft.**

**Interview:** Anja Schütz

**Herr Pfuhl, Sie sind seit 17 Jahren bei der Ottobock Gruppe tätig. Wie hat Ihre Karriere begonnen und was sind Ihre Aufgaben als Managing Director Prosthetics?**

Ich begann als Assistent des Inhabers Prof. Hans Georg Näder und war verantwortlich für den Aufbau der strategischen Unternehmensplanung. Die Herausforderung bestand darin, einerseits die Wachstumsziele des Unternehmens zu kommunizieren und andererseits in Teams strategische Optionen zur Zielerreichung zu

«Die Sicherheit des Amputierten ist das wichtigste Anliegen.»

erarbeiten. Nachdem ich anschliessend acht Jahre CMO der Ottobock HealthCare war, wurde ich 2012 zum Leiter der Business Unit Prothetik ernannt. Mit der Ausrichtung der Organisation an Business Units wollte das Unternehmen schlagkräftiger und schneller werden. Vor allen Dingen aber half dieser Schritt, Ziele und Strategien für die Geschäftsfelder zu implementieren und die erfolgskritischen, wertschöpfenden Funktionen optimal zu vernetzen. Das beschreibt dann auch schon meine aktuelle Aufgabe.

**Das Unternehmen Ottobock ist heute sehr erfolgreich – die Mitarbeiterzahl hat sich verdreifacht, der Umsatz gar vervierfacht. Wie haben Sie persönlich diese rasante Entwicklung erlebt?**

Genau wie Sie sagen: rasant! Das Unternehmen erfindet sich immer wieder neu. Das verlangt von den Mitarbeitern die Fähigkeit, sich permanent neuen Herausforderungen zu stellen und flexibel zu bleiben, vor allen Dingen aber lernfähig zu sein und das Erfahrungswissen im

Unternehmen auszubauen. Es ist faszinierend zu erleben, welche Produkte durch genau dieses Erfahrungswissen, das wir immer wieder mit externer Kompetenz vernetzen, hervorgebracht werden.

**Die Beinprothese C-Leg ist ein Wunderwerk der Prothetik. Die Charakteristik der Hydraulik wird durch zwei Ventile moduliert, die von RE 10 DC Motoren gesteuert werden. Wie wichtig ist diese Funktionsweise für die Prothese?**

Zunächst einmal ist die Sicherheit des Amputierten im Alltag das wichtigste Anliegen bei einer beinprothetischen Versorgung. Hinzu kommt die Schaffung von Freiheitsgraden, die unmittelbar in höherer Mobilität und Lebensqualität münden. Die verstellbare Hydraulik ist das Herzstück des C-Leg-Beinprothesensystems. Sie ermöglicht, dass sich die Prothese den verschiedensten Situationen anpasst. Über mehrere Sensoren werden solche Situationen, zum Beispiel Gehen auf unebenem Untergrund im Wald, Hinabgehen von Schrägen oder auch plötzliches Stolpern, erkannt und von einem Mikroprozessor verarbeitet, der die Informationen und Stellsignale an Kleinstmotoren weitergibt. Diese passen dann die Hydraulik an. Grösse, Gewicht, Stromverbrauch und Geräuschentwicklung müssen dabei möglichst gering sein. Unser Ziel ist, dass der Träger seine Prothese quasi «vergisst» und damit so sicher wie möglich in Beruf und Alltag unterwegs ist. Sie muss deshalb nicht nur so leicht und unauffällig wie möglich sein, der Amputierte muss dem System auch vertrauen und sich darauf verlassen können. Damit das gewährleistet ist, verwenden wir nur Komponenten von höchster Qualität. ■■■

**Dr. Helmut Pfuhl** wurde am 22. April 1961 geboren. Der Diplom-Kaufmann war während und nach seinem Studium der Betriebswirtschaftslehre für die Universität Göttingen und für Mercedes-Benz tätig. Seit 2002 ist er Geschäftsführer der Ottobock HealthCare GmbH. 2012 hat er die Leitung der Business Unit Prothetik übernommen.



Laden Sie die Tablet-Ausgabe 1//2013 von driven herunter und sehen Sie in einem Videoporträt, wie sich der Alltag mit C-Leg leben lässt: magazin.maxonmotor.ch



**Kelly Cartwright** wurde am 22. April 1989 in Melbourne (Australien) geboren. 2008 wurde sie vom Australian Paralympics Committee entdeckt und in die australische Nationalmannschaft aufgenommen. Seither konnte sie zahlreiche Erfolge feiern, zuletzt an den Paralympics 2012 in London. Kelly Cartwright gehört zu den Paralympics-Botschaftern der Otto-Boock HealthCare GmbH.

## «Das Einzige, was wirklich nicht geht, ist High Heels tragen»

**Kelly Cartwright** verlor im Teenager-Alter aufgrund einer Krebserkrankung ihr rechtes Bein. Bei den Paralympics 2012 holte sie sich mit einem Weitsprung von 4,38 Metern Gold und stellte damit einen neuen Weltrekord auf.

### Welche Rolle spielt der Sport in Ihrem Leben?

Sport war schon vor der Amputation wichtig für mich, allerdings eher als Hobby. Nach der Amputation wurde Sport zur wichtigsten Sache in meinem Leben. Im Moment kann ich mir nicht vorstellen, ohne Sport zu leben.

### Wie wichtig ist das Verhältnis zwischen Athlet und Orthopädie-Techniker?

Es ist sehr wichtig, dass man ein vertrauensvolles Verhältnis hat. Dass man jemanden hat, der einem zuhört und einen ernst nimmt. Menschen sind verschieden und haben individuelle Bedürfnisse. Eine Lösung, die bei einem Sportler gut funktioniert, kann beim nächsten falsch sein.

### Leben Sie nach einem bestimmten Motto?

Für mich gilt: Du kannst alles tun, was du tun möchtest. Egal, ob du eine Behinderung hast oder nicht. Ich werde oft gefragt, was ich mit meinem Handicap alles nicht tun kann. Das Einzige, was mir dazu einfällt, ist, High Heels zu tragen. Ich tue gewisse Dinge wegen meiner Behinderung auf eine andere Art und Weise, aber ich tue sie trotzdem. ■■■■



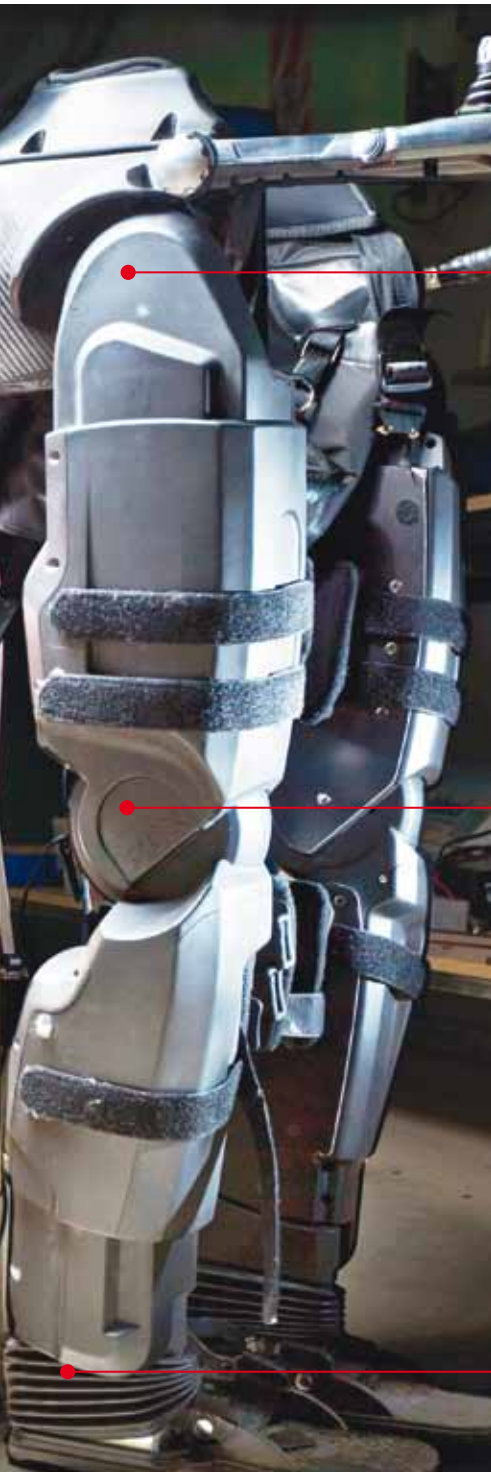
# Wieder aufstehen, stehen, gehen...

Rex Bionics mit Sitz in Auckland hilft mobilitätseingeschränkten Menschen wieder auf die Beine: mit dem Roboter-Exoskelett «Rex». Integrierte maxon Motoren sorgen für den gleichmässigen Antrieb der künstlichen Gliedmassen.

**Text:** Anja Schütz

**D**as Exoskelett wiegt 38 Kilogramm, wobei der Anwender nichts von diesem Gewicht trägt. Es wird mithilfe eines integrierten, austauschbaren Akkus betrieben, welcher bei Dauerbetrieb rund zwei Stunden hält. Mit einem Joystick und einem Kontrollpad wird Rex gesteuert – bei anderen Exoskeletten erfolgt die Steuerung häufig über Sensoren. Ein grosser Vorteil der Joystick-Bedienung ist, dass keine Bewegungs- oder Ner-

venfunktionen notwendig sind, um das Exoskelett zu bewegen. Mit etwa drei Metern pro Minute ist Rex zwar nicht sehr schnell, dafür bewegt sich der Nutzer sehr sicher vorwärts. Denn egal, ob ein- oder ausgeschaltet, das Exoskelett bleibt stets stabil. So kann der Anwender etwa auch an einer Sportveranstaltung oder einem Konzert teilnehmen, ohne die Sorge zu haben, umgeworfen zu werden. Rex erfordert zudem



Der Rollstuhl ist leer. Das Exoskelett gibt kurzzeitige Autonomie zurück.

keine zusätzlichen Hilfsmittel wie Krücken, so dass der Nutzer seine Arme und Hände völlig frei verwenden kann.

#### Starke Motoren für sicheren Stand

Rex ist ein hochkomplexes elektromechanisches Gerät – jedes Exoskelett enthält Tausende von Präzisionsteilen inklusive der Gliedmassen, die durch ein Netzwerk von 29 Mikrocontrollern gesteuert werden. Die spezielle Anordnung der Mikrocontroller macht Bewegungen und Reaktionen innerhalb von Sekunden möglich. Dabei fühlen sich die Bewegungen von Rex für den Anwender sehr gleichmässig an. Für diesen ruckfreien Bewegungsablauf sorgen maxon Motoren. Die Motoren sind verantwortlich für alle Bewegungen der Gliedmassen, die sich in der gleichen Weise bewegen wie ein menschliches Bein. In einem Exoskelett sind zehn maxon Motoren des Typs DC RE 40 integriert. Der RE 40 verfügt über leistungsstarke 150 Watt und hat einen Wirkungsgrad von über 90 Prozent. Die mechanisch kommutierten Gleichstrommotoren zeichnen sich durch ein günstiges Drehmomentverhalten, eine hohe Dynamik, einen extrem grossen Drehzahlbereich und eine lange Lebensdauer aus. Rex Bionics hat sich bewusst für die hochwertigen maxon Motoren entschieden, da es sich bei Rex um ein hochsensibles Medizinprodukt handelt und die Sicherheit des Nutzers und seiner Umgebung höchste Priorität hat.

**Rex ist ein hochsensibles Medizinprodukt, die Sicherheit hat höchste Priorität.**



**maxon RE 40**  
Ø 40 mm, Graphitbürsten,  
150 Watt

**Hoher Wirkungsgrad**  
Je Exoskelett kommen zehn DC-Motoren RE 40 von maxon motor zum Einsatz. Der RE 40 verfügt über kraftvolle 150 Watt und hat einen Wirkungsgrad von mehr als 90 Prozent. Die mechanisch kommutierten Gleichstrommotoren

zeichnen sich speziell durch ein günstiges Drehmomentverhalten, eine hohe Dynamik, einen extrem grossen Drehzahlbereich und ihre lange Lebensdauer aus.



# Wie kleine Antriebe Grosses leisten

Ob für Kamerasysteme, humanoide Roboter oder Einsätze im Weltall: Überall werden Hightech-Antriebe benötigt, die auf kleinstem Raum Grosses leisten. Ein Blick in die Historie der Miniantriebe – und ein Ausblick in die Zukunft.



**Stärkere Automatisierung**  
1996 kam die A-max Reihe auf den Markt – eine moderne, kostengünstige Version mit Al-NiCo-Magnet. Hier war es maxon motor gelungen, eine nach wie vor grosse Variantenvielfalt anzubieten, gleichzeitig aber eine sinnvolle Automatisierung

zu erreichen. Bald darauf wurde mit dem RE-max mit Nd-Fe-Magneten eine noch stärkere Version gebaut.

1996



**Bürstenlose Gleichstrommotoren**

1988 begann mit den elektronisch kommutierten Motoren eine neue Ära. Die ersten hiessen «maxon BL motor EC040-070». Das Kürzel BL stand für «bürstenlos». Die elektronisch kommutierten DC-Servomotoren zeichnen sich speziell durch ein günstiges Drehmomentverhalten, eine hohe Leistung, einen extrem grossen Drehzahlbereich und eine hohe Lebensdauer aus.

1988

**Neue Magnetmaterialien**

1983 erreichte maxon motor mit der Ferrit-Reihe (F-Motoren) ein für eisenlose Motoren bis dahin unerreichtes Preis-Leistungs-Verhältnis. Ferritmagnete bedingen ein grösseres Volumen, sind aber wesentlich günstiger. Damals entstand auch das modulare Produktprogramm, bei dem der Kunde sein Antriebssystem selbst zusammenstellen kann: Motoren, Getriebe und Digitaltachos.

1983



**Kundenspezifische Entwicklungen**

Sie gehören heute zu den grossen Stärken von maxon motor. Bis heute entwickelte maxon motor zahlreiche neue Produkte für teilweise extreme Anwendungsgebiete wie etwa den Einsatz auf dem Mars.

1996



**Für Extremleistungen**

2010 lancierte maxon motor als weltweit erster Anbieter einen Standardmotor für extrem raue Einsatzbedingungen, der Temperaturen von über 200 Grad aushalten kann. Für die hohen Anforderungen in der Tiefbohrtechnik entwickelt, eröffnete der Antrieb neue Möglichkeiten für viele weitere Anwendungen.

2010

Fotos: maxon motor ag, NASA/JPL



1961

**Firmengründung**

1961 wurde die Interelectric AG, heute maxon motor ag, von den Brüdern Erwin und Artur Braun als Produktionsstätte des Frankfurter Elektrokonzerns Braun gegründet. Diese stellte im Produktionsgebäude in Sachseln zunächst Scherfolien für Elektrorasierer der Braun GmbH her. Von «Miniantrieben» war damals noch keine Rede.

**Selbsttragende Kupferwicklung**

Zwischen 1968 und 1970 schuf die Entwicklungsabteilung in Rekordzeit ein ganzes Typenprogramm von DC-Motoren mit Durchmessern von 12 bis 32 Millimetern. Gleichzeitig liess maxon motor das Herstellungsverfahren für eisenlose Rotoren, eine selbsttragende Kupferwicklung, patentieren. Das Fehlen von Eisen erhöhte den Wirkungsgrad gegenüber herkömmlichen DC-Motoren um fast das Doppelte.

1968-1970

**Eisenlose Spule**

Nachdem die Braun GmbH 1967 an Gillette verkauft worden war, musste ein neues Produkt her. Mit der Entwicklung eines Multifunktionsrasierers entwickelte das Unternehmen einen ersten elektrischen Mikrohochleistungsmotor mit einer eisenlosen Spule: die Geburtsstunde der maxon DC-Motoren!

1967



Herzstück des maxon Motors: die weltweit patentierte eisenlose Wicklung.



Der erste DC-Motor von maxon, damals noch für einen Multifunktionsrasierer gedacht.

**Konfigurierbare Antriebe**

Präzisionsantriebe von maxon motor findet man heute in der Kommunikationstechnologie, der Industrieautomation, der Automobilindustrie, der Robotik, der Sicherheitstechnik oder der Luft- und Raumfahrt. Sie stecken zum Beispiel in Unterwasserrobotern, die Schiffe reinigen, oder in Telesko-

2012



pen, die neue Sternbilder untersuchen. 2012 wurde ein neues Motorprogramm ins Leben gerufen. Die leistungsstarken DCX-Motoren mit passenden Getrieben und Encodern werden online konfiguriert und stehen innerhalb von elf Werktagen zur Verfügung.

**Kleiner, leistungsfähiger, intelligenter, robuster**

Egal ob Computer, Handy oder andere elektronische Anwendungen: Die Geräte werden immer kleiner. Dieser Trend zur Miniaturisierung setzt sich auch in der Antriebstechnologie fort. Immer mehr «Intelligenz» kann auf noch

kleinerem Raum platziert werden. Ausserdem erlauben stärkere Magnete die Konzentration von mehr Leistung auf begrenztem Platz. Aktuell misst der kleinste Antrieb im Standardprogramm, der maxon EC 4, gerade einmal vier Millimeter im Durchmesser. Zudem fordern extreme Anwendungen Motoren, die beispielsweise Temperaturen von bis zu 500 Grad aushalten. Erste Tests wurden schon erfolgreich durchgeführt.

2013





Der Teilchenbeschleuniger von Diamond Light Source in Grossbritannien.

# Elektromotoren im Vakuum

Elektromotoren kommen auch im Vakuum zum Einsatz, etwa in Produktionsanlagen für die Halbleiterindustrie, in Teilchenbeschleunigern oder im erdnahen Weltraum.

**Text:** Kornelia Stubicar, Projektmanagerin bei der maxon motor ag

**D**er Begriff Vakuum bezeichnet den Zustand eines Gases in einem bestimmten Volumen bei einem Druck, der deutlich geringer ist als der Atmosphärendruck. Gemeint ist damit ein Zustand in einem Raum, der weitgehend frei von Partikeln ist. Elektromotoren in einem Vakuum zu betreiben, stellt eine besondere Herausforderung dar. Zunächst muss unterschieden werden, in welchem Vakuumbereich man sich bewegen möchte. Hier unterscheidet man zwischen Grob-, Mittel-, Fein-, Hoch- und Ultrahochvakuum.

## Spezifische Anpassungen

Motorkomponenten gasen bei Vakuum verstärkt aus. Der Unterdruck führt dazu, dass sich die austretenden Materialien an den umliegenden Wänden und den Komponenten niederschlagen. Die Motorkomponenten können deshalb im Vakuum nicht in der standardmässigen Ausführung verwendet werden. Die Vakuumklasse entscheidet darüber, inwieweit die einzelnen Motorkomponenten angepasst werden müssen.

Je höher die Vakuumklasse, desto wichtiger ist der vorgängige Ausgasprozess. Daraus resultieren höhere Anforderungen an die Temperaturbeständigkeit der Motorkomponenten, da diese beim Ausgasen thermisch beansprucht werden. Der Elektromotor wird meist in einem Ofen ausgegast, und auch beim Betrieb im Vakuum kommt es zu einer thermischen Beanspruchung. Verursacht wird sie durch eine reduzierte Wärmedissipation: Es besteht die Gefahr einer Überhitzung, da der Motor die produzierte Wärme in der evakuierten Umgebung schlechter abgeben kann. Ein Dauerlastbetrieb im Vakuum ist deshalb möglichst zu vermeiden. Andernfalls sollte schon vor der Antriebsauswahl eine Leistungsreserve eingeplant werden.

Im Vakuum gasen Schmiermittel in Lagern und Getrieben des Antriebs viel schneller aus, was seine Lebensdauer stark reduzieren kann. Das vermehrte Ausgasen von Kunststoffen, etwa in Kabelisolationen, führt dazu, dass Kunststoffe spröde werden. Dies kann durch die Verwendung von Teflon anstelle von PVC vermieden werden. Wird ein Standardmotor im Vakuum eingesetzt, kann dies nach kürzester Zeit zur Verunreinigung der evakuierten Umgebung (Vakuum) führen. Besonders im Hoch- und Ultrahochvakuum kann dieser Einfluss des Antriebs auf das Vakuum ein Problem darstellen.

Die Kontamination des Vakuums wird durch das Ausgasen von Weichmachern in Kunststoffen, von Kleb- und Schmierstoffen sowie von Oberflächenbeschichtungen verursacht. Sie kann aber auch von Luftfeinschlüssen bei nicht entlüfteten Konstruktionen stammen.

Vakuumklassen	Druck hPa	Anwendungsbereich (~mbar)	maxon motor Typen
Großvakuum	300 ... 1	Staubsauger	Alle Typen
Feinvakuum	1 ... 10 <sup>-3</sup>	Vakuumverpackung, Glühlampen, Halbleiterindustrie	Alle EC-, DC-Motoren mit speziellen Graphitbürsten
Hochvakuum (HV)	10 <sup>-3</sup> ... 10 <sup>-7</sup>	Silizium-Wafer-Verarbeitung	Alle EC-, DC-Motoren mit Edelmetallbürsten
Ultrahochvakuum (UHV)	10 <sup>-7</sup> ... 10 <sup>-12</sup>	Herstellung von Elektronenröhren, erdnahe Weltraum (Mond)	Heavy-Duty-(HD-)Serie, modifizierter (BLDC) EC-Motor
Extrem hohes Vakuum (EHV)	< 10 <sup>-12</sup>	Weltraum, Massenspektrometer	Kundenspezifischer Antrieb basierend auf HD-Motoren

Besonders kritisch sind solche Ausgasungen bei Halbleiter- und optischen Anwendungen, weil sie etwa auf optischen Elementen, Wärmestrahlern oder Solarzellen kondensieren können. Um das Ausgasen von Komponenten im Vakuum zu verhindern, werden gezielte Massnahmen bei der Herstellung der Motoren getroffen. Beispielsweise wird die Getriebebeschmierung angepasst, indem spezielle vakuumtaugliche Schmierstoffe verwendet werden. Auch Klebeverbindungen werden weitestgehend vermieden oder durch Schweißverbindungen ersetzt. Im Allgemeinen werden Materialien verwendet – seien es Kunststoffe, Isolationen oder Kleber –, die tiefe Ausgasraten aufweisen.

### Motoren für Teilchenbeschleuniger

Ein Beispiel für die Verwendung von maxon Motoren im Ultrahochvakuum ist ein Teilchenbeschleuniger (Synchrotron) im britischen Oxfordshire. Im Synchrotron mit seinen 45'000 Quadratmetern werden zur Untersuchung von Molekularstrukturen Elektronen bis auf 3 Giga-elektronenvolt (GeV) beschleunigt und Lichtstrahlen generiert, die bis zu zehn Milliarden Mal heller strahlen als die Sonne. Damit die Elektronen nicht durch Kollision mit Luftmolekülen verlorengehen, findet der gesamte Prozess in einem Vakuum statt, in dem nur ein Milliardstel des atmosphärischen Drucks herrscht.

Die Herausforderung bestand darin, einen bürstenlosen Hochleistungsmotor ohne Kleb- und Kunststoffe und mit einer extrem hohen Temperaturbeständigkeit zu entwickeln. Ausgangspunkt für diese kundenspezifische Lösung war der BLDC-Motor EC 22 HD (Heavy Duty) von maxon. Ursprünglich für den Einsatz in der Ölförderung unter dem Meeresspiegel entwickelt, erfüllte der bürstenlose maxon Motor 22 mm mit seinem lasergeschweißten Gehäuse aus rostbeständigem Stahl und seinem grossen Temperaturbereich eine Vielzahl der Anforderungen

für den Einsatz im Vakuum. Als bürstenloser DC-Motor ist er effizienter, leiser und verfügt über ein besseres Ansprechverhalten als der zuvor verwendete Schrittmotor.

Bei der Modifizierung des EC 22 HD für den Einsatz im Synchrotron musste maxon motor zahlreiche Faktoren berücksichtigen. Der erste davon war das Wärmeverhalten. Der im Teilchenbeschleuniger eingesetzte Motor ist bis 200 °C temperaturbeständig. Ebenfalls von grundlegender Bedeutung war ein Getriebe mit hoher Übersetzung. Um die Ausgasung im Hochvakuum von 10<sup>-7</sup> mbar und mehr möglichst gering zu halten, wurde jedes Bauteil des Motors einzeln geprüft und bei Bedarf verbessert. Die üblicherweise verwendete PVC-Ummantelung der Kabel wurde beispielsweise durch eine Beschichtung aus Kapton ersetzt. Auf die üblichen Klebstoffe und Epoxide wurde verzichtet und der Motor zum grössten Teil durch Schweißverbindungen zusammengefügt.

### Fazit

Um Elektromotoren im Vakuum einzusetzen, sind zahlreiche Faktoren zu berücksichtigen. So muss zum einen dafür gesorgt sein, dass der Elektromotor durch Ausgasen von Materialien das Vakuum nicht «verschmutzt», zum anderen muss aber auch gesichert sein, dass die Motoren Eigenschaften wie eine hohe Temperaturbeständigkeit mitbringen. Mit den Heavy-Duty-Motoren und den entsprechenden Getrieben (EC 22 HD; EC 32 HD; GP 32 HD) ist eine sehr gute Basis für Anwendungen im Vakuum gegeben. Denn als bürstenlose DC-Motoren sind die maxon Antriebe von Haus aus effizienter, leiser und verfügen über ein besseres Ansprechverhalten als die für Vakuumanwendungen bisher oftmals verwendeten Schrittmotoren. Mit der Expertise von maxon motor lassen sich die Antriebe für die kundenspezifischen Bedürfnisse optimieren. ■■■■



Der modifizierte maxon Motor EC 22 HD im Teilchenbeschleuniger DLS.

Die Geschichte des elektronischen Schaltsystems von Campagnolo, das heute den Namen «Campagnolo EPS» (Electronic Power Shift) trägt, ist eine Tour in sechs Etappen. Die Entwicklungsarbeiten begannen 1992, zwei Jahre später stiess maxon motor zu dem Projekt hinzu. Drei Jahre später kam das erste EPS-Schaltssystem auf den Markt und wurde seitdem kontinuierlich weiterentwickelt.



# Unter Strom

Vor der Ziellinie zählt beim Zeitfahren jede Sekunde. Der Hersteller Campagnolo hat ein elektronisches Schaltsystem entwickelt, bei dem integrierte maxon Motoren für Schaltvorgänge innerhalb Zehntelsekunden sorgen.

Text: Anja Schütz



Das neueste, im November 2011 erfolgreich lancierte EPS-System besteht aus einem Akku, der Elektronik, einem Schalthebel, der Verdrahtung und der Antriebsmechanik. maxon Motoren sitzen im Schaltwerk (hinten) und im Umwerfer (vorne).

Das elektronische Schaltsystem erreicht eine sehr hohe Schaltgenauigkeit, eine hohe Ansprechgeschwindigkeit und die notwendige Leistung. So sind schnellere Schaltvorgänge möglich. Die Position des Umwerfers lässt sich exakter einstellen als bei einem mechanischen System.



Mit nur einem Klick am Schalthebel wechselt die Schaltung vom kleinsten auf das grösste Ritzel. Das elektronische Schaltwerk schaltet damit in gerade mal 1,5 Sekunden durch elf Gänge.

## Nah an 100%

Der kompakte maxon RE 16 eignet sich sehr gut für Anwendungen, bei denen der Platz begrenzt ist. Ein ähnlicher RE-Motor wurde als Basis für das elektronische Schaltsystem von Campagnolo verwendet. RE-Motoren sind qualitativ hochstehende Gleichstrommotoren, ausgerüstet mit leistungsstarken Permanentmagneten. Herzstück des Motors ist der weltweit patentierte eisenlose Rotor. Er bedeutet modernste Technologie für kompakte, leistungsstarke und trägheitsarme Antriebe. Dank des kleinen Massenträgheitsmoments haben die DC-Motoren eine hohe Beschleunigung.



**maxon RE 16**  
Ø 16 mm, Graphit- oder Edelmetallbürsten, 2 bis 4,5 Watt

**Rob Knight** hat an der Cambridge University Fertigungstechnik und an der University of Essex Embedded Systems und Robotik studiert. Er war an der Entwicklung des weltweit ersten kommerziellen Roboterfisches beteiligt. Momentan engagiert er sich für die Entwicklung des humanoiden Roboters ECCE.

**Rob Knight sucht einen neuen Namen für ECCE. Schreiben Sie uns Ihren kreativen Namensvorschlag an [driven@maxonmotor.com](mailto:driven@maxonmotor.com)**



# Ein bisschen **mehr** **Menschlichkeit**

Rob Knight von The Robot Studio widmet sein Leben der Robotik. Besonders am Herzen liegt ihm ECCE. Die Bewegungen der Roboter kommen den Menschen immer näher.

**Interview:** Anja Schütz

## **Worin besteht der Unterschied zwischen ECCE und seinem Vorgänger EDS?**

Der wichtigste technische Unterschied besteht in der Qualität der eingesetzten Antriebstechnik. Im EDS kamen für den Massenmarkt entwickelte Motoren und Getriebe zum Einsatz, die normalerweise in Akkuschaubern verbaut sind. Im Prinzip sind sie zwar der Aufgabe gewachsen, machen dabei aber gehörigen Lärm und sind nicht besonders effizient. ECCE3 wurde mit einem Mix aus Getriebemotoren von

maxon und Steuerelektronik eines Drittanbieters ausgerüstet. Die Antriebselemente von maxon motor sind mit einem Open-Source-ROS verknüpft. So können wir endlich das im anthropomimetischen Ansatz schlummernde Potenzial demonstrieren.

## **Was ist ein anthropomimetischer Roboter?**

Das ist eine Maschine, die so genau wie möglich nach dem Vorbild der menschlichen Anatomie konstruiert wurde. Sie weist also die

gleiche Muskel- und Knochenstruktur auf wie ein Mensch. Der Antriebsstrang jedes Muskels verfügt über ein serienelastisches Element, z.B. eine Feder. Solche sogenannte nachgiebigen Roboter haben ein viel «weicherer» Bewegungsmuster.

### ECCE3 ist im Moment lediglich ein Torso – wie sehen die nächsten Schritte in der Entwicklung aus?

Wir haben es uns zur Aufgabe gemacht, die Roboterentwicklung für die Open-Source-Gemeinde zu öffnen. Dazu ist jedoch ein neuer Ansatz in der Herstellung notwendig. Bisher wurden alle Roboter ausschliesslich von Hand geformt und anhand von Montagetechniken zusammengesetzt, die nur schwer weitergegeben werden können. Wir planen, die neueste DCX-basierte Ausführung in CAD nachzukonstruieren und für den 3-D-Druck zu optimieren.

Wir haben bereits damit begonnen, die Implementierung der von uns verwendeten Open-Source-Software zu veröffentlichen, und hoffen, dass wir in naher Zukunft eine ausführliche Open-Source-Bauanleitung für die Hardware hinzufügen können. Unser Ziel ist die Schaffung einer komplett integrierten Open-Source-Plattform, auf der die gesamte Entwicklung – von der Software bis zu den Schrauben und Muttern für die Montage – zusammengefasst ist. Dies ist das Grundprinzip beim Bau von Robotern: Das gesamte System muss als eine Einheit funktionieren. Im Gegensatz zur Programmierung, die sich von einem System auf ein anderes übertragen lässt, liegt bei der Robotik der Schlüssel in der Integrität des Systems. Und soweit es uns betrifft, planen wir in der Tat, einen Roboter zu bauen, der eine vollständige Kopie des menschlichen Körpers darstellt – von Kopf bis Fuss.

### Sie verwenden maxon DCX-Motoren. Welche Vorteile bietet diese Antriebstechnologie?

Sie sind kleiner und leichter. Eine hohe Lauf- und Drehmoment tragen zur Verbesserung des Roboters bei. Wirklich super ist, dass wir mit dem maxon DCX 22 den Roboter insgesamt kleiner machen und gleichzeitig 20 Prozent mehr angetriebene Freiheitsgrade realisieren konnten. So entstand

die bisher realistischste Nachbildung der Muskulatur einer menschlichen Schulter.

### Es scheint weniger eine Frage zu sein, ob Roboter Teil unseres täglichen Lebens werden, als vielmehr, wann das geschieht. Wie sieht in Ihren Vorstellungen der Roboter aus, der mit uns den Alltag teilt?

Wenn Roboter tatsächlich Teil unseres Alltags werden, ist es unschwer vorstellbar, dass sie entsprechend unseren Vorlieben funktionieren. So kann man etwa mit dem Roboter durch Antippen von Kontrollkästchen auf dem Smartphone kommunizieren, z.B. «10 Uhr Bügeln». Nur, dass der Roboter einem dann keine Nachricht schickt, sondern einfach die Aufgabe erfüllt. Er könnte mit dem Hund Gassi gehen, bestellte Lebensmittel entgegennehmen, Essen zubereiten, staubsaugen und was sonst noch anfällt. Allerdings gehen diese Aufgaben derzeit noch weit über die Fähigkeiten eines Roboters hinaus, und es werden noch einige Anstrengungen notwendig sein, um das zu ändern.

Die entscheidende Frage ist, ob das rechtzeitig passiert und die Roboter damit die Möglichkeit erhalten, zur Lösung von Problemen beizutragen, die in unserer Gesellschaft verwurzelt sind, jetzt langsam zutage treten und sich in den kommenden Jahren noch zuspitzen werden. Die langsame Erholung von der jüngsten Wirtschaftskrise in Europa beispielsweise ist das Spiegelbild einer in gewaltigen Dimensionen verschuldeten Gesellschaft und einer über das gesunde Mass hinaus alternden Bevölkerung. Roboter mit ihren vielseitigen Fähigkeiten können eine technologische Lösung darstellen, vielleicht sogar für beide der genannten Probleme. Dieser Weg ist allerdings nur eine von mehreren Möglichkeiten.

### Werden in näherer Zukunft weiterentwickelte Kopien des ECCE3 die Hausarbeit oder ähnliche Aufgaben erledigen?

Das ist auf jeden Fall das Ziel. Die nächste Generation sollte zur Ausführung einfacher Aufgaben in der Lage sein, z.B. zum Aufräumen von Kinderspielzeug – also von grossen Gegenständen mit grellen Farben, die auch eine unsanfte Behandlung vertragen. Daran sollten sich dann anspruchsvollere Aufgaben anschliessen. Was ich mir allerdings aus tiefstem Herzen wünsche, ist, dass sich diese Entwicklung in den nächsten Jahren beschleunigt! ■■■■

**Hohe Leistungsdichte**  
maxon DCX-Motoren bestechen durch sehr hohe Leistungsdichte und Laufruhe. Die robuste Konstruktion und der eisenlose maxon Rotor machen sie zu einem dynamischen Antrieb für viele Anwendungen – auch für den Roboter ECCE. Die passenden GPX-Planetengetriebe überzeugen durch hohe Leistungsübertragung bei kurzer Bauform.



**maxon DCX 22S**  
Ø 22 mm, bürstenbehaftet,  
5,5 Watt (Edelmetallbürsten),  
14 Watt (Graphitbürsten),  
konfigurierbar



**maxon GPX 22**  
Ø 22 mm,  
Planetengetriebe,  
konfigurierbar

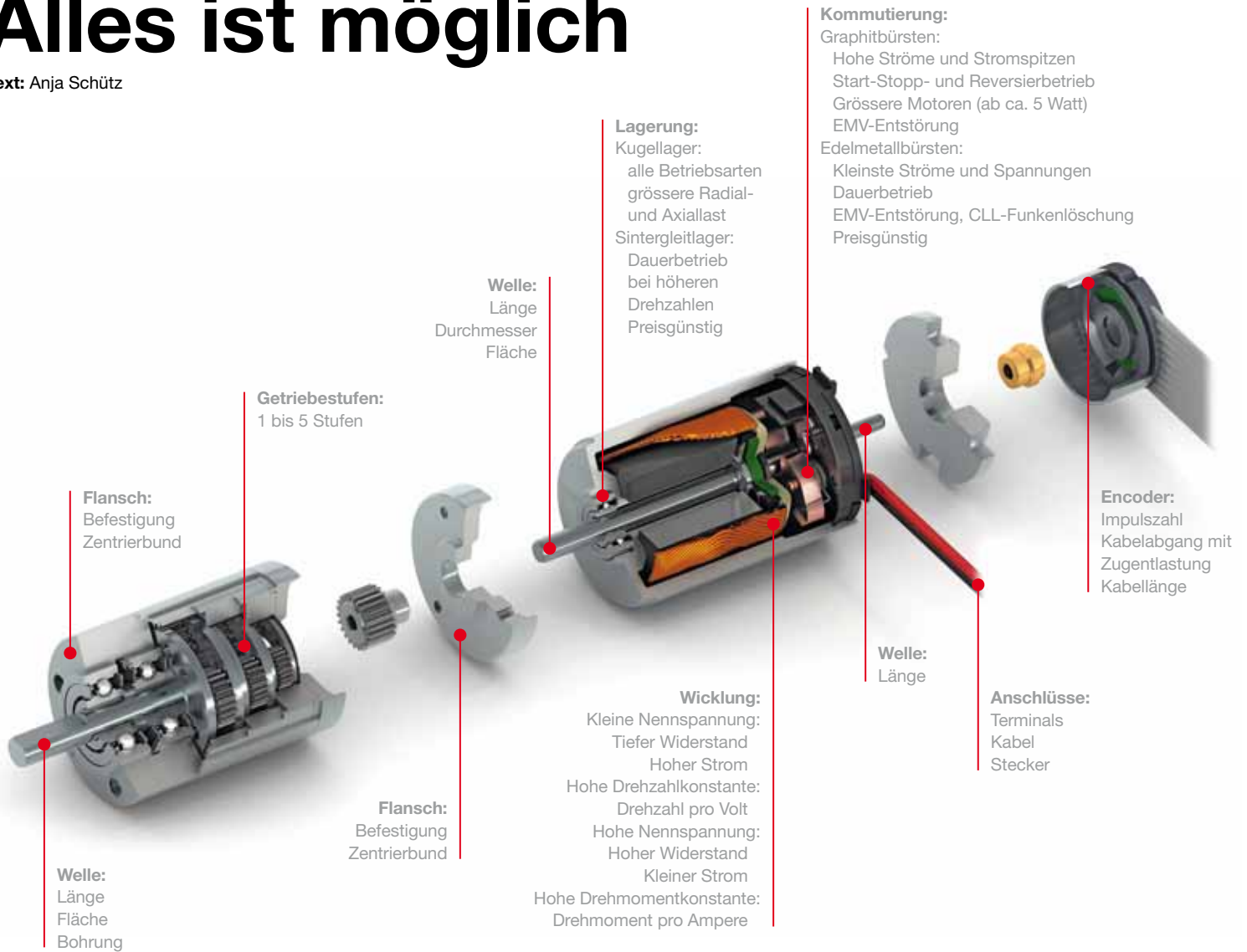
«Er könnte mit dem Hund Gassi gehen, Essen zubereiten, bügeln oder staubsaugen.»



# maxon X drives

## Alles ist möglich

Text: Anja Schütz



Das Bild zeigt, was vom Benutzer online konfiguriert werden kann: [dcx.maxonmotor.com](http://dcx.maxonmotor.com)

**E**nde 2012 hat maxon motor eine neue dynamische Antriebsreihe auf den Markt gebracht. Die DCX-Motoren zeichnen sich durch ein kompaktes Design, eine optimierte Leistungsdichte, einen hohen Individualisierungsgrad, die Anwendung neuester Fertigungstechnologien und kurze Lieferzeiten aus. Sie sind besonders für Anwender geeignet, die sehr spezifische Anforderungen an Motoren stellen und sich mit ihrem Produkt noch in der Entwicklung befinden. Die kurze Lieferzeit der DCX-Motoren begünstigt



Luca Bongulielmi, Leiter Strategische Geschäftsentwicklung bei der maxon motor ag.

eine möglichst kurze «Time to market». Individuell konfigurierbare Getriebe und Encoder vervollständigen das X-Programm.

### Konfigurierbar von A bis Z

Eine Stärke der DCX-Motoren ist ihre hohe Leistungsdichte. Der Motor DCX 35 L erreicht mit einem Durchmesser von 35 mm nahezu die Kennliniensteigung ( $4 \text{ min}^{-1} \text{ mNm}^{-1}$ ) des DC-Motors RE 40 (40 mm Durchmesser,  $3,5 \text{ min}^{-1} \text{ mNm}^{-1}$ ). Sein maximaler Wirkungsgrad liegt bei über 90 Prozent und seine maximale Abgabeleistung bei 120 Watt. Den Kombinationsmöglichkeiten sind innerhalb der DCX-Antriebsreihe kaum Grenzen gesetzt. So verfügt der DCX 22S über Edelmetall- oder Graphitbürsten, kann mit standardmässig vorgespannten Kugellagern oder Sinterlagern ausgestattet werden und deckt mit sechs verschiedenen eisenlosen Wicklungen einen grossen Spannungsbereich ab. Mit den neu entwickelten Gehäusen und Flanschen lassen sich beliebige Befestigungsvarianten parametrisieren. Für enge Platzverhältnisse gibt es den DCX-Motor in einer kurzen Variante ohne Flansch. Auch Länge und Durchmesser der An-

triebswelle sind wählbar. Die Motoren können zudem mit oder ohne Kabel ausgestattet werden, und auch deren Länge ist variabel.

Die GPX-Getriebe übertragen hohe Drehmomente bei einer kompakten Bauform und sind geräusch- und spielarm. Auch sie sind konfigurierbar und können mit bis zu fünf Getriebestufen ausgestattet werden. Die ebenfalls konfigurierbaren ENX-Encoder bieten eine robuste Bauart und eine hohe Signalqualität. Die 2-Kanal-Encoder mit differenziellen Signalen garantieren eine störungsfreie Funktion auch unter grössten Belastungen. Die Encoder sind in Impulsanzahl, Kabelabgang und Kabellänge variabel.

Ihre robuste Konstruktion, die hohe Leistungsstärke, ihre Laufruhe und der eisenlose maxon Rotor machen DCX-Motoren zu einem Antriebssystem für ganz unterschiedliche Anwendungsgebiete. Sie eignen sich besonders gut für Anwendungen in einem Drehzahlbereich von unter  $20'000 \text{ min}^{-1}$  und für Anwendungen im Start-Stopp-Betrieb. Die Zielmärkte der DCX-Antriebsreihe liegen unter anderem in der Medizintechnik, der Industrieautomatisierung, der Robotik, der Luft- und Raumfahrt sowie bei mechatronischen Anwendungen.

### Online konfigurieren und bestellen

Die neue Produktreihe bürstenbehafteter DC-Antriebe bildet einen wichtigen Teil der Produktfamilie von maxon motor. Neben der Produkt- und Technologieentwicklung waren laut Luca Bongulielmi, Leiter Strategische Geschäftsentwicklung bei maxon motor, auch die Konzeption und die Implementierung schlanker Prozesse in der Auftragsabwicklung eine Herausforderung. Design und Prozesse sind optimal auf die Konfiguration der Produkte ausgelegt. Zentrales Werkzeug ist dabei ein Online-konfigurator, mit dem maxon motor seinen Kunden ganz neue Möglichkeiten für Konfiguration und Bestellung von maxon Produkten bietet. So können beispielsweise nach dem Abschluss einer Konfiguration Massbilder in 2-D und 3-D heruntergeladen werden. Ein komplettes Spezifikationsdokument beschreibt das konfigurierte Antriebssystem. ■■■



An DCX-Motoren ist fast alles konfigurierbar. Laden Sie die Tablet-Ausgabe 1//2013 von driven herunter und erfahren Sie in unserem Video, wie es geht. [magazin.maxonmotor.ch](http://magazin.maxonmotor.ch)

Die kurze Lieferzeit der DCX-Motoren begünstigt eine kurze «Time to market».



Die Tablet-Ausgabe von driven können Sie kostenlos für iOS und Android herunterladen.



Weitere Infos:  
[magazin.maxonmotor.ch](http://magazin.maxonmotor.ch)

# Das digitale Magazin-Erlebnis

Erleben Sie Antriebstechnik von maxon motor in all ihren Facetten, multimedial und interaktiv. Nutzen Sie eine geballte Ladung Know-how aus Forschung und Praxis. Holen Sie sich jetzt die Tablet-Ausgabe von driven.

## Features

- Interaktionsmöglichkeiten
- Spannende Videos
- 360-Grad-Views
- Links zu maxon Produktdaten

## Impressum

**Herausgeber:** maxon motor ag,  
Brünigstrasse 220, Postfach 263,  
CH-6072 Sachseln,  
Tel. +41 (41) 666 15 00

**Geschäftsleitung:** Eugen Elmiger,  
Dr. Karl-Walter Braun,  
Dr. Ulrich Claessen, Norbert Bitzi

**Projektleitung:** Michel Riedmann  
**Chefredaktion:** Anja Schütz

**Realisation:** Infel Corporate Media,  
Militärstrasse 36, CH-8004 Zürich

**Redaktion:** Michael Frischkopf,  
Simona Stalder, Alexander Jacobi,  
Marcel Leibacher, Claudia Sebald  
**Gestaltung:** Guido Von Deschwanden  
(Creative Director), Peter Kruppa,  
Sebastian Mutti

**Bildredaktion:** Diana Ulrich

**Korrektorat:** Franz Scherer,  
Eichhofweg 1, CH-6318 Walchwil

**Druck:** Landenberg-Druck AG,  
Pilatusstrasse 10, CH-6060 Sarnen

**Erscheinungsweise 2014:** 2-mal  
p.a. als iPad-/Android-App und als  
Printmagazin (April, November)

**Sprachen:** Deutsch, Englisch  
**Auflage:** 15'000 (dt.), 6000 (engl.)

**Copyright:** © 2013 by maxon  
motor ag, Sachseln. Nachdruck  
nur mit schriftlicher Genehmigung  
des Herausgebers.



**driven – Das Magazin von maxon motor.**

**Jetzt kostenlos herunterladen.**

Apple

Android



[magazin.maxonmotor.ch](http://magazin.maxonmotor.ch)

**maxon motor**

driven by precision