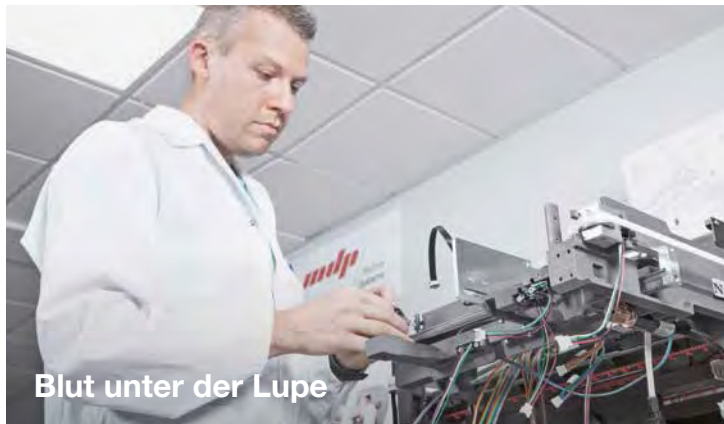


# Das Magazin von maxon motor driven



## Mensch. Medizin. Technik.

Wie wir vom Fortschritt profitieren



Blut unter der Lupe



Unter Strom: von «furka» bis «gotthard»



S. 18



S. 5



S. 38



S. 21



S. 7



S. 30



S. 8



S. 34



S. 22



S. 26

Fotos: maxon motor ag / Philipp Schmidli, Daniel Grillet, Preceyes, Ethan Gardner

4 News

**Fokus Medizintechnik**

8 **Mensch. Medizin. Technik.**

Neue Technologien minimieren bei medizinischen Eingriffen die Risiken – dank dem Einsatz von Robotern und 3-D-Lasernavigation.

**Exploration**

18 **Hier wird Robotik gelernt und gelebt**

Die Technische Hochschule in Lausanne forscht erfolgreich in der Robotik. Eines ihrer Produkte: die mechatronische Hose.

**maxon History**

21 **Jeder sein eigener Fernsehdirektor**

Videorekorder – die Neuheit der 1960er Jahre. Für Grundig entwickelte maxon in Rekordzeit neue Motoren.

**maxon inside**

22 **Blut unter der Lupe**

Hightech-Maschinen analysieren menschliche Blutproben, erkennen Gerinnungsstörungen und helfen, Leben zu retten. Mit Fördermodulen von maxon Frankreich.

**Innovation**

26 **600 Meter unter dem Eis**

Wissenschaftler erforschen die kilometerdicke Eisschicht der Antarktis. Mit ganz neuer Technik.

**Innovation**

30 **Unter Strom: von «furka» bis «gotthard»**

Das AMZ-Racing-Team hat bereits einen Weltrekord aufgestellt: Seine Elektrorennwagen beschleunigen schneller als jeder Verbrennungsmotor.

**Expertise**

34 **Die Erwärmung von Motoren in Handgeräten**

Handgeräte sollten sich möglichst nicht erhitzen. Wie muss ein Motor konzipiert sein, um dies zu erreichen?

**Special**

38 **Ein grosses Stück Freiheit**

Othmar Zoll sitzt zwar im Rollstuhl. Trotzdem ist er mit seinem Handbike und dem maxon Bikemotor jeden Tag aktiv unterwegs.

**Wettbewerb**

42 **Wo findet sich dieser Bildausschnitt?**

Teilnehmen und eine GPS-Multisportuhr von Garmin gewinnen.

Editorial

# Der Fortschritt in der Medizintechnik bringt uns zum Staunen



Eugen Elmiger, CEO der maxon motor ag

Innovation ist ein Wort, das oft benutzt wird. Alle wollen innovativ sein und somit fortschrittlich, intelligent, zukunftsweisend. Doch zu keiner anderen Branche passen diese Attribute besser als zur Medizintechnik. Alleine 2015 wurden weltweit über 12 474 neue Patente in diesem Technologiefeld angemeldet (Seite 6).

Die Entwicklung ist rasant. Die Maschinen und Werkzeuge werden kleiner, effizienter und präziser. Chirurgen führen heute mit Robotern minimalinvasive Operationen durch und hinterlassen kaum Narben. Heikle Operationen am Auge könnten bald schon Routine sein. Und es scheint nur eine Frage der Zeit, bis Operationsinstrumente zu einer bestimmten Stelle im Hirn gelangen können und dabei sensible Regionen sozusagen umfahren (vgl. Fokus).

maxon motor ist hautnah dabei, wenn neue Technologien im Medizinbereich entstehen – egal ob an Universitäten, in Start-ups oder grossen Unternehmen. Mit unserem Wissen unterstützen wir jedes vielversprechende Projekt und freuen uns immer, wenn es zum Durchbruch kommt und Ärzte wie Patienten von neuen Produkten profitieren.

Ich wünsche Ihnen viel Spass beim Lesen.

Cyathlon: Wettkampf der Roboter-Menschen

Sie überwandn Hindernisse, bewiesen Geschicklichkeit und kämpften gegen die Zeit. 66 Teams aus der ganzen Welt waren am 8. Oktober in Zürich am ersten Cyathlon und präsentierten ihre Technologien. In sechs Disziplinen traten sie gegeneinander an: Beinprothesen, Armprothesen, Exoskeletts, motorisierte Rollstühle, Liegeräder mit Muskelstimulation und Virtuelle Rennen durch Gedankensteuerung. Im Bild: Das Exoskelett von Team Varileg mit maxon Motoren drin. Über 6000 Zuschauer fieberten mit und feuerten die Piloten im Stadion an. Für die Organisatorin des Events, die Technische Hochschule Zürich (ETH), war der Anlass ein Erfolg. Nun sollen weitere Events im gleichen Stil folgen, damit Menschen mit Behinderungen, Techniker und die Öffentlichkeit noch näher zusammenrücken.



Fotos: ESA/Boris Bettege, maxon motor ag, Alessandro Della Bella

Mars-Missionen für jedermann

maxon baut Rover für das Verkehrshaus der Schweiz

Das Verkehrshaus der Schweiz ist das erfolgreichste Museum des Landes mit über einer halben Million Besuchern jährlich. In der interaktiven Ausstellung, befinden sich Transportmittel aller Art: Autos, Züge, Flugzeuge oder Schiffe. Jetzt erneuert das Museum in Luzern seine Space-Ausstellung, und maxon motor leistet einen Beitrag dazu. Welches Thema könnte sich da besser eignen als der Mars? Schliesslich hat maxon durch die Beteiligung an den NASA-Rover-Missionen weltweit Bekanntheit erlangt. Der Antriebsspezialist gestaltet eine Marslandschaft, durch die sich die Besucher bewegen können und wo sie Informationen zum Roten Planeten erhalten. In dieser Landschaft befinden sich zudem 1:1-Modelle der Mars-Rover Sojourner, Opportunity und ExoMars.

Alle drei Modelle sind von maxon Lernenden gebaut worden und mit beweglichen Teilen ausgestattet – zum Beispiel der Bohreinheit oder dem Kamerakopf. Die Rover sind zudem so positioniert, dass Besucher ein Selfie mit ihnen machen können.

ExoMars Rover fliegt 2020

maxon ist in allen Original-Rovern mit einer grossen Zahl von Antrieben vertreten. Im Opportunity sind zum Beispiel 35 DC-Motoren verbaut. Im ExoMars Rover befinden sich sogar ganze Module, die von maxon zusammengebaut worden sind. Sie treiben das Gefährt an und sind für die Steuerung zuständig. Der ExoMars Rover steht derzeit allerdings noch auf der Erde. Der Start zum Mars ist für 2020 vorgesehen.

verkehrshaus.ch



**Oben:** Der Sojourner ist einer von drei Mars-Rovern, die in der neuen Space-Ausstellung im Verkehrshaus der Schweiz zu sehen sind.  
**Rechts:** Lernende von maxon motor präsentieren stolz den selbst gebauten ExoMars Rover.



# 12474

Die Medizintechnik boomt. 2015 gab es weltweit 12 474 Patentanmeldungen in diesem Technologiefeld. Spitzenreiter sind die USA, die mit deutlichem Abstand die meisten Patente (5158) einreichen – gefolgt von Deutschland (1456) und Japan (1152). Den grössten Anstieg verzeichneten im Vergleich zum Vorjahr die Schweizer (+ 22,2 Prozent) und die Chinesen (+ 17,7 Prozent), gefolgt von den US-Amerikanern (+ 17,1 Prozent). Viel Potenzial für neue, innovative Produkte in der Medizintechnik.

Haben auch Sie Ideen für neue Patente? Wir sind gespannt auf Ihre Projekte, die wir gern mit unserem Wissen und unseren Produkten unterstützen. Kontaktieren Sie uns: [kontakt.maxonmotor.ch](mailto:kontakt.maxonmotor.ch)



Storys, Blogs und Innovationen über Antriebstechnik

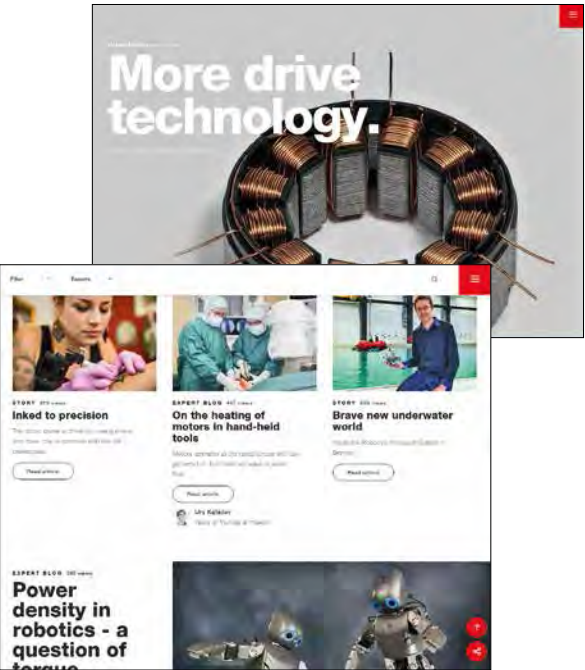
## drive.tech – neue Website für Technikliebhaber

Freunde der Antriebstechnik können sich freuen: Sie erhalten eine neue Website mit Geschichten über Roboter, Marsfahrzeuge oder elektro-mechanische Prothesen. Und können sich in Blogs über die Energieeffizienz bei Antrieben, über die richtige Wahl des Motors und über Branchentrends informieren. Hinter der Website drive.tech steht niemand anderes als maxon motor, das führende Unternehmen für Gleichstrommotoren und Antriebssysteme.

**Junge Ingenieure präsentieren ihre Projekte**  
drive.tech ist eine englischsprachige Website – sie bietet laufend neue Inhalte und dient zudem als Plattform für spannende Projekte aus der ganzen Welt. Im Bereich Young Engineers Program (YEP) präsentieren junge Unternehmen oder Studententeams, die von maxon unterstützt werden, ihre Erfindungen. Die Leser erhalten Einblick in die neusten Entwicklungen im Bereich der Antriebstechnik und haben die Möglichkeit, beliebte Artikel mit Freunden zu teilen.

drive.tech

Auf drive.tech finden Technikliebhaber spannende Geschichten, News und Wissen aus der Antriebstechnik.



Fotos: maxon motor ag, getty images / B2M Productions

## NEUE PRODUKTE

Frameless-Motoren

### Maximale Leistung auf kleinstem Raum

Es gibt spezielle Fälle, in denen Flachmotoren nicht optimal in eine Struktur integriert werden können. Etwa bei Gelenken von Robotern. Der Antriebsspezialist maxon motor bietet deshalb seine bürstenlosen Flachmotoren auch als Frameless-Motor-Kit an. Rotor und Stator werden getrennt geliefert – ohne Lagerung und ohne Motorwelle – und erst beim Zusammenbau der Komponenten miteinander verbunden. Damit erhält der Kunde das Optimum aus hoher Drehmomentdichte und minimalem Volumen. Mit Aussendurchmessern von nur 32 bis 90 Millimeter sind die bürstenlosen DC-Motoren äusserst kompakt. Als Aussenläufer konzipiert, bieten sie im Innern viel Platz für Kabeldurchführungen. maxon liefert sie mit oder ohne Hallsensoren. Für eine einfache Ansteuerung.



maxon EC 45 flat  
Ø 45 mm, bürstenlos



maxon EC 90 flat  
Ø 90 mm, bürstenlos



maxon GPX 16 Speed  
Ø 16 mm, sterilisierbar

GPX Sterilisierbar

### Starke Getriebe für Highspeed-BLDC-Motoren

Hohe Geschwindigkeiten von bis zu 120 000 Umdrehungen pro Minute, kaum Erwärmung und ein laufruhiges Verhalten. Mit diesen Eigenschaften punkten die bürstenlosen ECX-Motoren von maxon, die seit knapp einem Jahr erhältlich sind – in den Varianten Standard, High Power, Keramik und Sterilisierbar. Doch gute Motoren brauchen starke Getriebe. Und deshalb bietet maxon neu die GPX-Speed-Planetengetriebe in den Durchmessern 16 und 22 Millimeter an. Diese Grössen sind alle sterilisierbar und auch mit Wellendichtung erhältlich. Die GPX Speed liefern die nötige Kraft. Zum Beispiel bei Handgeräten, die fürs Sägen oder Bohren gedacht sind. Zudem lassen sie sich im maxon Konfigurator per Computer oder Handy nach Wunsch konfigurieren und sind in 11 Tagen lieferbar.

Alle maxon Produkte sowie Spezifikationen, CAD-Daten und Manuals gibts im Online-Shop. [shop.maxonmotor.ch](http://shop.maxonmotor.ch)

# Immer besser!

Jeder medizinische Eingriff birgt Risiken in sich. Neue Technologien sollen diese minimieren – seien es Augenoperationen mit Hilfe von Robotern, biegsame Operationsgeräte für komplizierte Gehirneingriffe oder hochpräzise 3D-Lasernavigation für die Computertomographie.

**D**ie Medizintechnik ist ein Gebiet, das sich dynamisch entwickelt. Jedes Jahr kommen neue Geräte und Technologien hinzu. Einige Trends darunter: Operationsverfahren werden durch moderne Verfahren immer schonender, die Zugänge minimalinvasiver, Chirurgen erhalten Unterstützung durch computerassistierte Navigation.

Hersteller medizinischer Produkte investieren rund 10 Prozent ihres Umsatzes in Forschung und Entwicklung. Und im Durchschnitt werden 50 Prozent des Umsatzes mit Produkten erzielt, die jünger als zwei Jahre sind. Die beeindruckende Innovationskraft der Branche zeigt sich auch im ständigen Anstieg der Patentanmeldungen. maxon Antriebe sind in zahlreichen medizinischen Anwendungen vertreten – schliesslich ist die Medizintechnik für maxon der umsatzstärkste Markt.

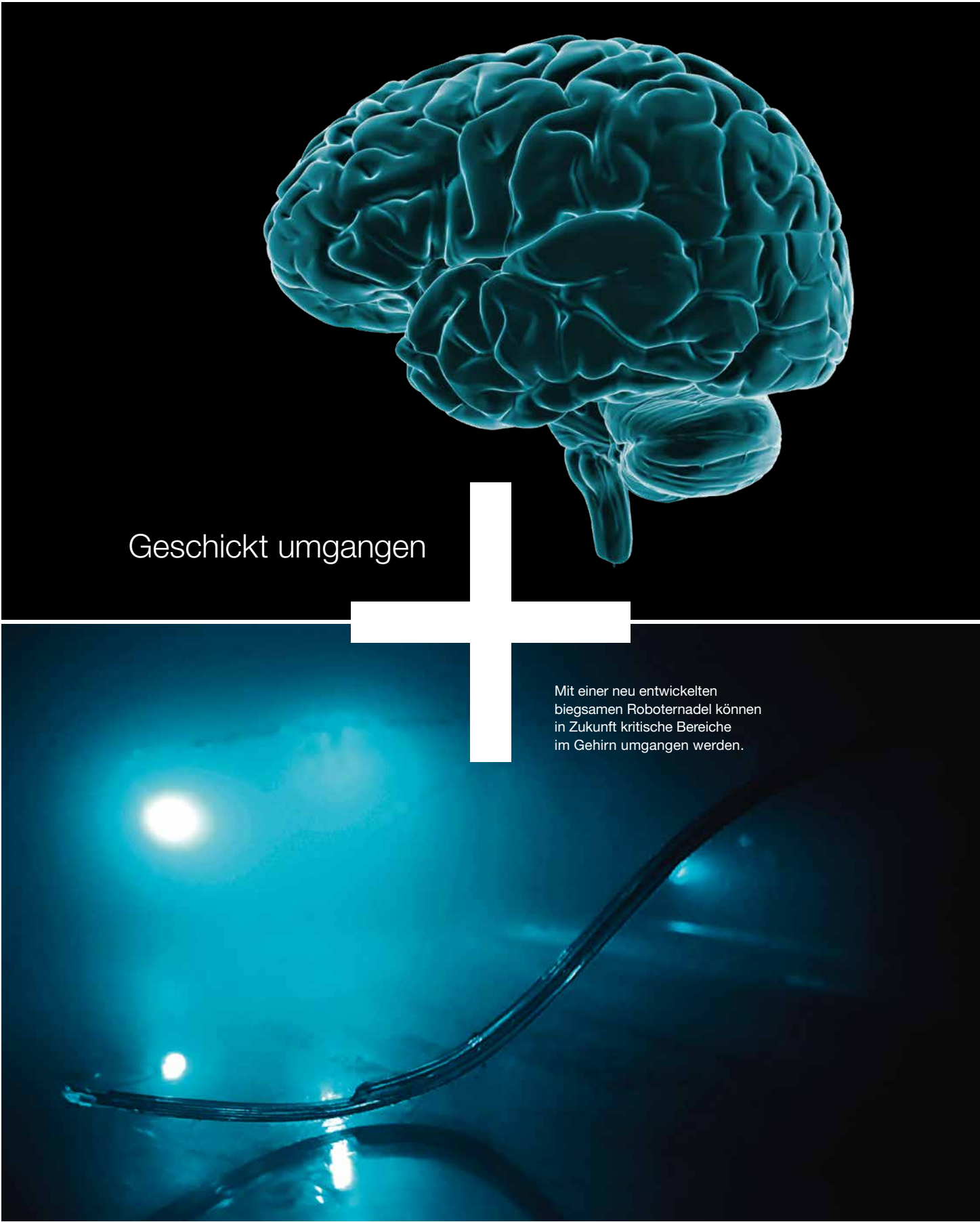
Foto: Keystone / science photo library / Martin Dohrm

Gestochen scharf



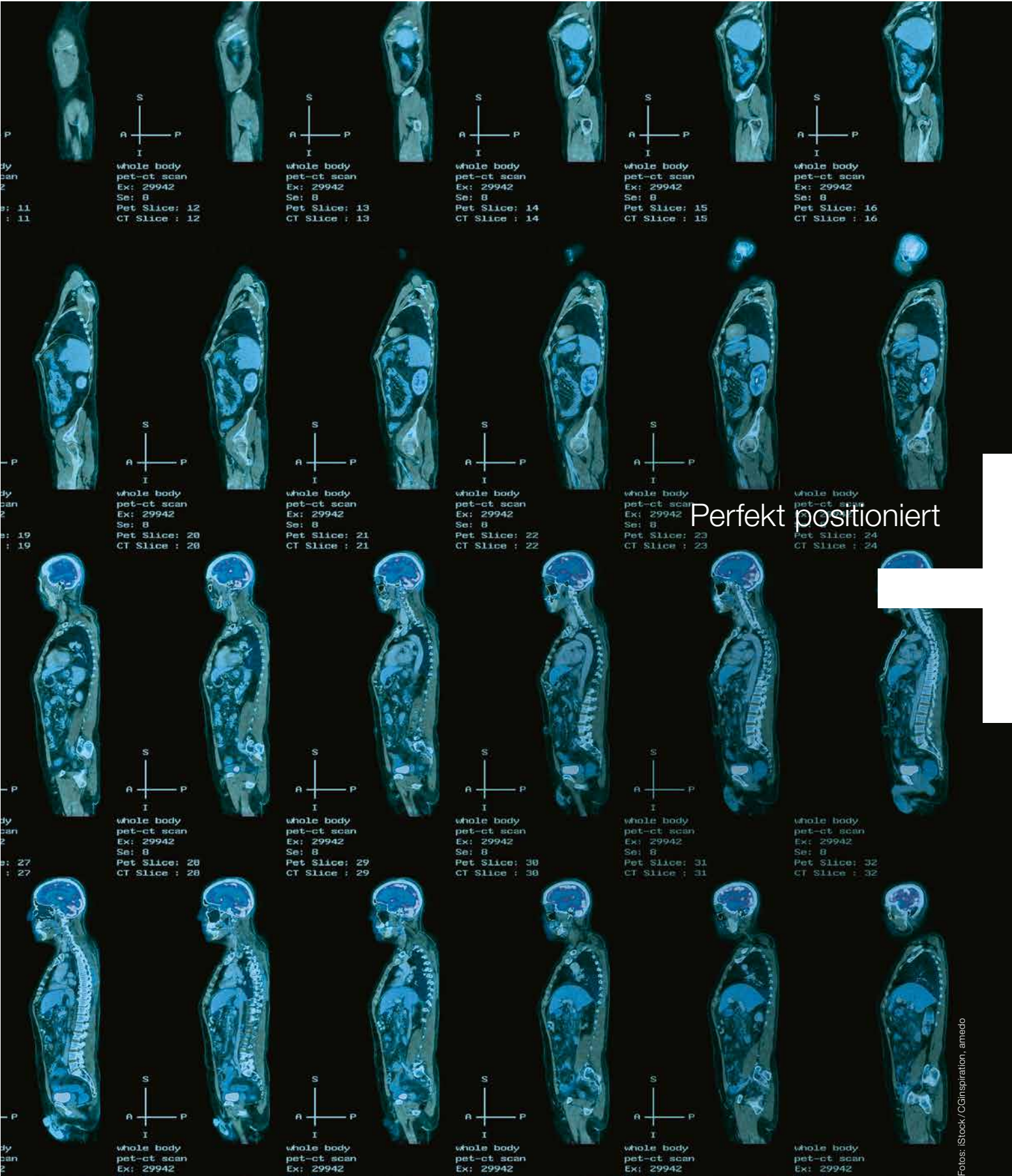
Der assistierende Roboter ermöglicht Augen-OPs, die bisher nicht umsetzbar waren. Eine Weltneuheit.

Fotos: iStock / Firstsignal, Preceyes, Imperial College



Geschickt umgangen

Mit einer neu entwickelten biegsamen Roboternadel können in Zukunft kritische Bereiche im Gehirn umgangen werden.



Perfekt positioniert



Das vollautomatische Lasernavigationssystem ermöglicht dank seiner motorisierten Positioniereinheit präzise Eingriffe am Computertomographen (CT).

# Perfekt positioniert: Ein Laser weist den Weg

Die Radiologie am Unispital in Basel ist top-modern ausgestattet, neben dem weltweit ersten 3D-Röntgengerät setzt das Spital auch auf ein neuartiges Lasernavigationssystem für Computertomographie-(CT-)gesteuerte Punktionseingriffe. «Es bietet für die bild-gesteuerten Eingriffe sehr viele Vorteile», erklärt Dr. med. Christoph Zech, Abteilungs-leiter Interventionelle Radiologie am Univer-sitätsspital Basel.

## Unsichtbares sichtbar machen

Zum Einsatz kommt die Computertomogra-phie, die detaillierte Querschnittsröntgenbil-der des Körpers aufnimmt, seit 1974. Ärzte erhalten hochauflösende Bilder des mensch-lichen Körpers und wissen somit, wo ihr Ziel ist, wenn sie zum Beispiel eine Tumorprobe entnehmen wollen. Doch wie gelangen sie zu

Millimetergenau können  
Nadeln mit dem  
Laser injiziert werden.

diesem Ziel? Wo ge-nau wird die Nadel angesetzt? Welcher Winkel ist zu wäh-len? Eine bislang eher schwierige Aufgabe, da es auf jeden Mil-limeter ankommt. Und genau hier assistiert das vollautomatische Lasernavigationssystem des Unternehmens amedo. Dieses besteht aus einem deckenmontierten Kreisbogenele-ment, auf dem sich eine motorisierte Laser-positioniereinheit befindet. Das ist alles – ein simples System mit grosser Wirkung für Arzt und Patient.

## Strahlenbelastung sinkt

Der Laserstrahl des Navigationssystems pro-jiziert Einstichstelle und Einstichwinkel der Nadel auf die Haut des Patienten und visu-alisiert so den Nadelpfad, entlang dessen der Radiologe das Instrument führen muss. Über einen Fusschalter bestimmt Dr. Zech die exakte Nadelposition. Der Arzt löst da-mit eine Bildsequenz zur Überwachung des

laufenden Eingriffs aus, der Infiltration einer Nervenwurzel. Auf dem Monitor des Com-putertomographen wird die Position der 0,7 mm dünnen Nadel präzise dargestellt. Bereits in der ersten Bildserie befindet sie sich an der richtigen Stelle. «Hier hilft uns das neue Laser-navigationssystem enorm», so Zech. Die Ein-führtiefe der Nadel wird ebenfalls angezeigt. Zusätzliche Positionsbestimmungen mit Hilfe von CT-Schichtbildern sind so kaum noch nötig, wodurch die Strahlenbelastung für die Patienten erheblich sinkt. Mit herkömmlicher Technik musste die Position der Nadel zwei-bis dreimal oder öfter kontrolliert werden.

## maxon Motoren positionieren Laser

Damit sich die fahrbare Lasereinheit auf dem Kreisbogen des Gerätes exakt hin und her be-wegt, kommen bürstenlose maxon Antriebs-systeme zum Einsatz: ein bürstenloser Flach-motor mit einem Durchmesser von 45 mm in Kombination mit dem Planetengetriebe GS45 und MR Encoder. Sie treiben über eine Synchronscheibe einen Endlosriemen an, der den Schlitten auf dem Kreisbogen bewegt. In diesem Schlitten befindet sich der drehbare Laserpointer. Für die Drehbarkeit der Laser-Spiegel-Mechanik sind zwei weitere maxon Motoren verantwortlich: die bürstenlosen EC-max 16. Zusammen mit Planetengetriebe GP16A und MR Encoder ermöglichen sie die exakte Einstellung des Laserstrahls, um alle für einen Eingriff notwendigen Winkel anzei-gen zu können. Die drei EPOS2 Module 36/2 übernehmen die Steuerung der Motoren un-ter Berücksichtigung aller Prozessparameter sowie die Kommunikation mit dem Steu-errechner. Für die maxon Antriebssysteme sprach vor allem deren kleine Bauform und Zuverlässigkeit, erklärt Volker Tröskén, ge-schäftsführender Gesellschafter von amedo.

Das junge Bochumer Medizintechnik-Unternehmen hat mit dem Lasernavigati-onssystem ein Gerät entwickelt, das es bisher am Markt nicht gegeben hat. Der Erfolg ist beeindruckend – inzwischen sind weltweit 16 Geräte im Einsatz. Das sechsköpfige Team hat Vertriebspartner in 14 Ländern. «Wir er-kannten den Bedarf der Ärzte nach einer Lö-sung für eine einfache, risikoreduzierte und zeitsparende Navigationshilfe für CT-gesteu-erte Eingriffe und entwickelten zusammen mit dem Grönemeyer Institut für Mikrotherapie in Bochum das Lasernavigationssystem.»

Fotos: amedo, maxon motor ag



Nachdem der Nadelpfad auf den CT-Planungs-bildern durch den Radiologen bestimmt worden ist, fährt der Laserkopf auf dem Bogen zur ent-sprechenden Posi-tion und projiziert einen Laser-punkt auf die Haut.



maxon EC 45 flat  
Ø 45 mm, 30 W, bürstenlos



maxon EPOS2  
Module 36/2



Der Arzt sticht die Feinnadel in die Haut und richtet sie entlang des Lasers aus, sodass der Punkt mittig auf die Nadel projiziert wird. Die errechnete Eindringtiefe wird mit Hilfe von Abstandsmarkierungen auf der Nadel kontrolliert.



# Geschickt umgangen: Eine Wespe zeigt, wie es geht

Was haben Wespen mit Gehirnochirurgie zu tun? Eigentlich nicht viel – doch eine spezielle Wespenart dient einem Forscherteam aus England als Vorbild bei der Entwicklung einer Operationsnadel für die Gehirnochirurgie. Um beispielsweise Tumore mit Medikamenten zu behandeln, ist es heute in der Neurochirurgie üblich, diese Medikamente über eine starre, dünne Kanüle in das Gehirngewebe zu bringen. Dabei ist das Risiko recht hoch, gesundes Gewebe zu verletzen. Denn die starre Kanüle erlaubt es nur, auf geradem Weg in eine bestimmte Region des Gehirns vorzudringen. Ein flexibles Operationstool wäre genau die richtige Lösung.

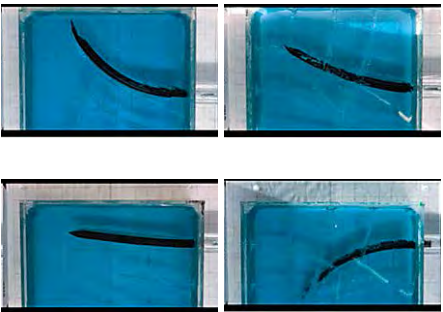
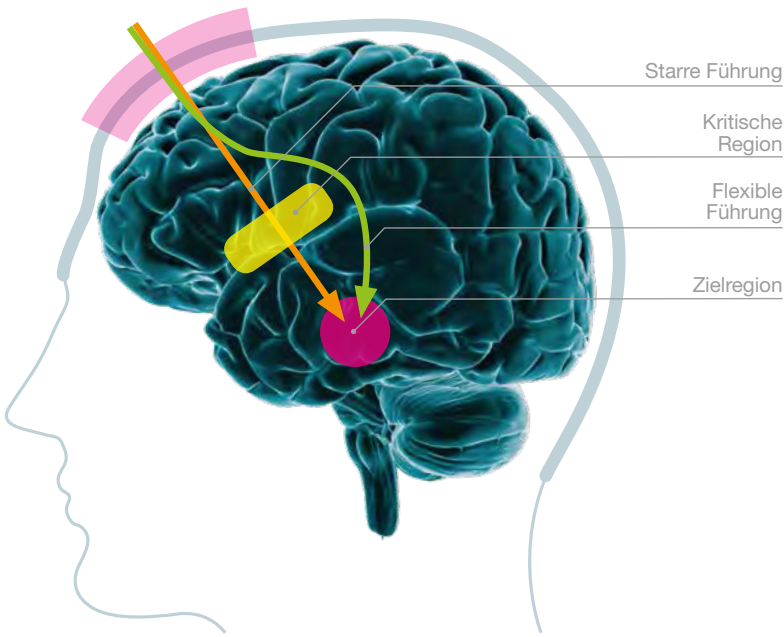
Und hier kommt das Imperial College London ins Spiel. Das Team rund um Dr. Rodriguez y Baena hat in den letzten Jahren an einem Projekt gearbeitet, das zum Ziel hat, eine biegsame Roboternadel zu entwickeln, mit der man tiefe Regionen im Gehirn erreichen kann. Gleichzeitig sollen kritische Regionen des Gehirns vermieden werden. Das junge Forscherteam imitiert einen speziellen Mechanismus einer weiblichen

Holzwespe, die ihre Eier mittels eines feinen, aber sehr starken Legebohrers in das Holz von Bäumen legt. Unter dem Codenamen STING (Soft Tissue Intervention and Neurosurgical Guide) haben die Wissenschaftler einen Prototyp entwickelt, der aus vier Segmenten mit einem Gesamtdurchmesser von 2,5 Millimeter besteht. Dieser wird durch einen Puzzleähnlichen Verzahnungsmechanismus zusammengehalten. maxon Antriebe erzeugen die Vor- und Rückwärtsbewegungen der Segmente.

**«Die komplette Palette»**  
Dr. Riccardo Secoli ist Mitglied des Forschungsteams am Imperial College. Er hat

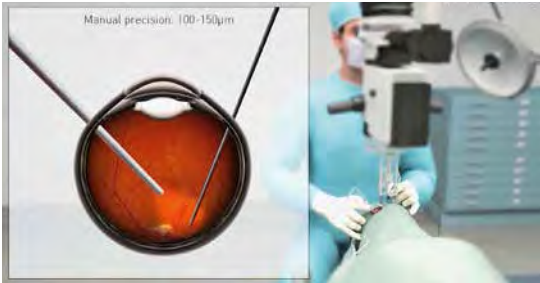
für die Anwendung den bürstenlosen maxon Flachmotor EC20 mit dem Planetengetriebe GP22 ausgewählt. Für die exakte Ansteuerung wird die Positioniersteuerung EPOS 24/2 verwendet. «Ausschlaggebend für unsere Auswahl war der einfache Zugang zur API (Application Programming Interface) Schnittstelle. Zudem ist maxon der einzige Hersteller, der die komplette Palette anbietet: Motor, Getriebe, Controller», sagt Secoli.

Das Team hat Anfang 2016 im Rahmen des EU-Programms für Forschung und Innovation Horizon2020 eine 8,3 Millionen Euro hohe Subvention erhalten. Das neue Projekt mit dem Codenamen EDEN2020 (Enhanced Delivery Ecosystem for Neurosurgery, [www.eden2020.eu](http://www.eden2020.eu)), hat das Ziel bis 2020 einen neuen Standard im Feld der neurochirurgischen Diagnostik und Therapie zu schaffen. ■■■



Während der Operation passt sich die Nadel flexibel der Form des Gehirns an. Im Gegensatz zur starren Kanüle kann die biegsame Operationsnadel kritische Bereiche des Gehirns umgehen.

Fotos: iStock/Firstsignal, Imperial College, Preceyes



Das neue Robotersystem wird bei der Operation von Netzhauterkrankungen eingesetzt. Ein Joystick sorgt für Präzision: Bewegt der Arzt den Joystick einen Zentimeter, bewegt sich der Roboterarm in der Verlängerung nur einen Millimeter.

## Gestochen scharf: Weltneuheit für Augenoperationen

Während es bei den meisten Operationen heute roboterassistierende Systeme gibt, sucht man diese in der Augenchirurgie bisher vergebens. Ein niederländisches Unternehmen hat das geändert. Die erste Operation mit dem System verlief erfolgreich.

Weltweit leiden schätzungsweise rund 50 bis 70 Millionen Menschen unter Sehstörungen, deren Ursache eine Netzhautkrankheit ist. In vielen Fällen ist bisher keine angemessene Behandlung möglich. Augenoperationen sind jedes Mal eine grosse Herausforderung für den Chirurgen. Eine grundsätzliche Bedingung ist eine ruhige Hand. Augenoperationen wie zum Beispiel die Behandlung ei-

ner Netzhautablösung erfordern eine extrem hohe Genauigkeit. Da kann die menschliche Hand gegenüber einem robotergeführten Eingriff nicht mithalten.

**10- bis 20-mal höhere Genauigkeit**  
Deshalb hat das Unternehmen Preceyes, hervorgegangen aus einem Spin-off der Universität Eindhoven (Niederlande), ein für Augenoperationen völlig neues Robotersystem entwickelt. Speziell für die Behandlung von Netzhauterkrankungen ermöglicht das assistierende System eine 10- bis 20-mal höhere Genauigkeit als mit der menschlichen Hand. Das macht Augenoperationen durchführbar, die bisher mangels Präzision nicht umsetzbar waren. Ein enormer Gewinn für Patienten, aber auch für Chirurgen, die mit Hilfe des Roboters viel effektiver und genauer arbeiten können.

Die weltweit erste roboterassistierte Operation im Inneren des Auges wurde erfolgreich im Oxford John Radcliffe Hospital durchgeführt. «Das ist der Höhepunkt von zehn Jahren Arbeit. Die Leichtigkeit, mit der die Operation durch Prof. MacLaren ausgeführt wurde, ist ein wichtiger Fortschritt für robotergestützte Augen-OPs und eine klare Bestätigung unserer Technologie», sagt Marc de Smet, MD Chief Medical Officer von Preceyes.

**Haptische Feedbackfunktion**  
Die Funktionsweise ist einfach. Während der operierende Arzt am Kopf des Patienten sitzt und durch ein Mikroskop schaut, bedient er mit einer Hand einen Joystick, dessen Bewegung auf den Roboterarm (Slave) übertragen wird. Der Roboter skaliert die Bewegung nach unten, das heisst, wenn der Chirurg den Joystick um einen Zentimeter bewegt, dann bewegt sich die Spitze des Roboterarms nur um einen Millimeter. Die andere Hand führt, je nach Bedarf, manuelle Bewegungen aus. Das System ist so ausgelegt, dass die Operation auch durch reine Bewegungssteuerung durchgeführt werden kann: über zwei Joysticks und zwei Roboterarme. Neben einer haptischen Feedbackfunktion, die den Chirurgen nicht nur sehen, sondern auch seine Aktionen fühlen lässt, erlaubt das Robotersystem einen schnellen Instrumentenwechsel. Das ist ein wichtiger Faktor, da sich so die Operationsdauer verkürzt. Die Bewegungen der Roboterarme werden durch hochpräzise maxon Antriebssysteme ausgeführt. ■■■

# Hier wird Robotik gelernt und gelebt

An der Technischen Hochschule in Lausanne arbeiten Studenten und Forscher in verschiedenen Bereichen der Robotik. Das Ergebnis: kommerziell erfolgreiche Produkte. Möglicherweise gehört dazu auch bald die mechatronische Hose.

**N**ach wenigen Schritten setzen die Motoren ein und übertragen ihr Drehmoment über eine Spindel auf meine Beine. Die Knie gehen hoch. Links, rechts. Schritt für Schritt werde ich durch das Exoskelett unterstützt. Laufen muss ich zwar noch selber, aber ich werde förmlich nach vorne geschoben. Ein komisches Gefühl. Trotzdem geht das Laufen erstaunlich natürlich, seitliche Beinbewegungen etwa sind möglich. Und dabei ist das Gerät, das ich trage, erst ein Prototyp.

## Grössere Mobilität für ältere Leute

HiBSO, so heisst das Exoskelett, ist am Labor für Robotiksysteme (LSRO) entwickelt worden – an der Technischen Hochschule in Lausanne (EPFL). Ziel des Projektes ist es, ein Unterstützungsgerät für ältere Leute zu entwickeln, die nicht mehr gut zu Fuss unterwegs sind, aber trotzdem gehen und stehen können. Die Nutzer sollen es ohne Hilfe anziehen können und damit ihre Mobilität zurückgewinnen, erklärt Doktor Mohamed Bouri, Leiter Rehabilitation und robotische Assistenzsysteme. Bis zu einer möglichen Serienreife ist es allerdings noch ein weiter Weg. Vorerst dient HiBSO als Forschungsobjekt, das von Studenten und Doktoranden

Ein Blick in das Labor für Robotiksysteme der Technischen Hochschule in Lausanne (EPFL): Hier arbeiten 25 Personen an verschiedensten Projekten, von Industriautomation, Haptik, Operationsrobotik bis zur Rehabilitation.

im Labor weiterentwickelt wird. Treppensteigen ist beispielsweise noch nicht möglich. Zudem geht der Puls bei Testpersonen nach wie vor höher, wenn sie das Gerät benutzen. Durch verbesserte natürliche Bewegungsmuster sollte das irgendwann nicht mehr der Fall sein.

#### Interdisziplinäre Forschung

Das Labor für Robotiksysteme hat aber noch viel mehr zu bieten. Rund 25 Personen arbeiten an verschiedensten Projekten. Hier findet der

Besucher Forschungsarbeit und Entwicklungen im Bereich Industrieautomation, Haptik, Operationsrobotik oder Rehabilitation. Einige Aufträge kommen di-

rekt aus der Industrie, andere sind staatlich finanzierte Forschungsprojekte. «Durch unsere Arbeit kommen wir mit sehr vielen Disziplinen in Berührung. Das ist nicht nur interessant, sondern macht grossen Spass», sagt Professor Hannes Bleuler, Leiter des Labors.

**Mobil eingeschränkte Menschen können dank der mechatronischen Hose laufen.**

#### Erfinder des Delta-Roboters

Beim Rundgang fällt auf, dass viele Roboter in ihrem Design auf einer Parallelstruktur basieren. Und das hat seinen Grund, schliesslich wurde im LSRO Anfang der 1980er Jahre der Delta-Roboter erfunden. Dieser ist inzwischen ein kommerziell erfolgreicher Pick-and-Place-Roboter, der in der Industrieautomation eingesetzt wird. «Die Parallelstruktur hat aus unserer Sicht noch viel Potenzial», sagt Jeremy Olivier vom Labor. «Sie benötigt zwar meistens mehr Platz, dafür ist sie bedeutend leichter als andere Designs.»

Im LSRO wird die Parallelstruktur aktuell für neuartige Operationsroboter getestet, welche bei minimalinvasiven Eingriffen zum Einsatz kommen – also bei Operationen im Bauchraum, bei denen die Roboterarme nur durch kleine Einschnitte eingeführt werden. Die bisherigen Modelle sind mit drei bis vier Armen ausgestattet, und jeder benötigte einen eigenen «Eingang» in den Körper. Jetzt werden Designs getestet, bei denen bloss eine Öffnung nötig ist. Die zwei Manipulatoren, die der Operateur über eine Konsole steuert, sind in einem Rohr versteckt und entfalten sich erst im Innern des menschlichen Körpers. Ein möglicher Vorteil dieser Methode

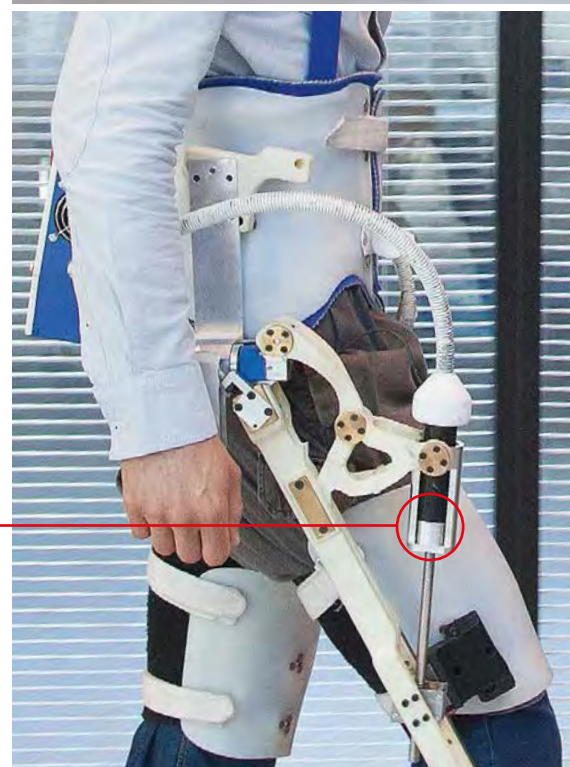
ist, dass die Handhabung für den Chirurgen natürlich ist, ähnlich wie wenn er mit seinen eigenen Händen direkt im Körper hantieren würde. Zudem ist der Heilungsprozess nach dem Eingriff kürzer.

Wann und wie diese Technik zum Einsatz kommt, ist noch offen. Doch falls sie Erfolg hat, wäre es ein weiterer Leistungsausweis des Robotiklabors an der EPFL. ■

Das Exoskelett soll ältere Leute unterstützen, die nicht mehr gut zu Fuss sind, aber stehen und gehen können.



maxon RE 30  
Ø 30 mm, 60 W,  
Graphitbürsten



Fotos: Peter Fauland, maxon motor ag, Grundig

1978

## Jeder sein eigener Fernsehdirektor

Die ersten Videorekorder für den Heimgebrauch kamen Anfang der 1960er Jahre auf den Markt. maxon entwickelte damals in Rekordzeit Motoren für Grundig-Videorekorder.



Ein original maxon Motor für Grundig-Geräte von damals.

Videoaufzeichnungsgeräte galten 1978 als technische Wunderwerke von überwältigender Komplexität. Für viele Leute grenzte es an ein Wunder, dass man plötzlich Sendungen im Fernsehen aufzeichnen konnte, und das sogar für zehn Tage im Voraus. Als Besonderheit bot das Gerät eine ununterbrochene Laufzeit von fünf Stunden bei einer sehr guten Bildqualität.

Das Grundig SVR 4004 war eines der fortschrittlichsten Bildaufzeichnungsgeräte der damaligen Zeit. Die Eroberung des Konsumelektronikmarktes war für maxon nur möglich, da ein Jahr zuvor die Motoren für die Uher-Tonbandgeräte (siehe driven 1/2016) entwickelt worden waren. maxon entwickelte für diese in Rekordzeit zwei neue Motoren. In grossen Stückzahlen produzierte der damalige Standort in Sarnen (Obwalden) Motoren für das Grundig-System. Dieser Motor mit

der Bezeichnung 2055 wurde im SVR-System (Super Video Recording) zweimal als Wickelmotor für das ½-Zoll-Magnetband verwendet. SVR ist eine von Grundig im Alleingang auf den Markt gebrachte Systemvariante des VCR-Systems, eines Videobandverfahrens zur Aufzeichnung von Fernsehbildern.

Die maxon Motoren von damals ermöglichten erst die Funktion eines derart komplizierten Laufwerks. Neben den maxon Motoren wurden noch vier weitere Motoren benötigt, um den Videorekorder von der Antriebsseite her funktionstüchtig zu machen.

Ein Grund für den Misserfolg des Systems war, dass Grundig nicht für den Markt in den USA produzierte – den damals grössten Markt für Unterhaltungselektronik. Eine kostengünstigere Grossserienproduktion war somit nicht möglich. 1981 wurde das System wieder eingestellt. ■



mdp-Monteur Yannick Charel baut die Transporteinheit für das medizinische Analysegerät zusammen.

Fotos: maxon motor ag / Daniel Gillet, iStock / harmpati

# Blut unter der Lupe

Hightech-Maschinen analysieren menschliche Blutproben, erkennen Gerinnungsstörungen und helfen so, Leben zu retten. Die maxon Vertriebsgesellschaft in Frankreich liefert nicht nur die passenden Antriebe – sondern baut ganze Fördermodule. Ein Einblick.



## Gerinnungsstörung: Was ist das?

Die Hämostasediagnostik befasst sich mit Erkrankungen der Blutgerinnung. Gerät die Gerinnung aus dem Gleichgewicht, können verschiedene Beschwerden und Krankheiten auftreten. Eine zu starke Gerinnung etwa führt zu Thrombosen, also zur Bildung von Blutgerinnseln. Diese können Venen oder Arterien verstopfen und in einigen Fällen sogar zu einer Lungenembolie führen.

Unser Blut, was für eine spannende Flüssigkeit. Sie transportiert Sauerstoff und Nährstoffe, wehrt Fremdkörper ab und schliesst Wunden. Jedenfalls im Normalfall. Denn bei einigen Menschen kommt es zu Gerinnungsstörungen (siehe Kasten). Diese sind für Betroffene unangenehm und können zu ernsthaften Folgen führen – ja sogar zum Tod. Umso wichtiger sind die Früherkennung einer Bluterkrankung und die Suche nach einer Heilung. Dafür braucht es entsprechend viele Tests. Deshalb laufen in Laboren und Spitälern Analysegeräte, die rund um die Uhr Proben selbstständig pipettieren können und schnell Resultate liefern. Solche industriellen Automatisierungsgeräte müssen präzise und zuverlässig arbeiten. Das stellt hohe Anforderungen an alle Komponenten und die Entwickler.

## Vollautomatische Analyse des Bluts

Stago ist eine französische Firma, die sich auf Analyseinstrumente auf dem Gebiet der Hämostasediagnostik, also der Blutgerinnung, spezialisiert hat. Rund 20 000 Geräte von Stago sind weltweit im Einsatz – darunter auch der STAR Max. Dieses vollautomatische Analysesystem ist mit einem Drei-Achsen-Roboter ausgestattet und hat Platz für 215

Proben und 1000 Testgefäße. Die Maschine arbeitet selbstständig, überprüft die Ergebnisse, gleicht sie ab und überwacht die Prozesse. Das spart eine Menge Zeit für Biologen und Techniker. Deshalb ist das Gerät vor allem für Labore mit einem hohen Probenaufkommen geeignet.

## Präzision auf drei Achsen

STAR Max ist Ende 2014 auf den Markt gekommen. Doch bereits 1991 hat Stago ein erstes Analysegerät mit einem X-Y-Z-Achsenroboter entwickelt. Schon damals war mdp dabei, die Vertriebsgesellschaft von maxon motor in Frankreich. Entsprechend wurde der Antriebsspezialist bei STAR Max erneut in der ersten Phase der Entwicklung kontaktiert, um die wichtigsten Fragen zu klären: Wie erreicht man präzise Bewegungen auf allen drei Achsen? Wie können die Reagenzien vollautomatisch pipettiert werden? «Schliesslich hat mdp mit ihrer grossen Erfahrung ihre Standardprodukte so angepasst, dass sie unseren Vorgaben entsprachen», sagt Jean-François Gelin, Projektleiter Innovation R&D bei Stago. «Zudem haben mdp und maxon ihr Fachwissen eingebracht und uns wertvolle Tipps gegeben.»

Einfache Ansteuerung der Motoren

Die Zusammenarbeit geht inzwischen so weit, dass mdp in der eigenen Produktion in Neyron die komplette Förderanlage für die Pipettenracks zusammenbaut und diese dann für die Endmontage an Stago liefert. Für die Bewegungen der Racks kommen verschiedene Typen des maxon DC-Motors A-max zum Einsatz, wobei die Durchmesser zwischen 16 und 26 Millimeter variieren. Diese Gleichstrommotoren sind sehr dynamisch und einfach anzusteuern. Zudem verbaut mdp passende Planetengetriebe, um das jeweils nötige Drehmoment zu erhalten. Die maxon Vertriebsgesellschaft ist somit nicht nur Antriebsspezialist, sondern ein Experte auf dem Gebiet der Mechatronik und Automatisierung. «In unserem Firmenmotto «Motoren, Systeme, Lösungen», widerspiegelt sich genau das», sagt Alain Pontille, Managing Director bei mdp. «Wir sind ganz nah an unseren Kunden und erarbeiten gemeinsam Lösungen, damit ihr Produkt wirtschaftlich erfolgreich ist.»

Bei Stago hat das sehr gut geklappt. «Als wir mit der Entwicklung von Hämostase-Analysemaschinen begannen, glaubte kaum

jemand an unseren Erfolg», sagt Jean-François Gelin von Stago. Heute beschäftigt das Unternehmen über 2100 Mitarbeitende und liefert seine Highend-Produkte in 110 Länder. ■■■

Thierry Bournier stellt die Spannung des Riemens ein.



Fotos: maxon motor ag / Daniel Gillet



maxon GP 22  
Planetengetriebe,  
Ø 22 mm



maxon A-max 22  
Ø 22 mm, 6 W



In der mdp-Werkstatt in Neyron beginnt Thierry Bournier mit der Montage der Transporteinheit für das Stago-Analysegerät.

Vertrieb und Teilproduktion von maxon motor

Seit Herbst 2014 ist mdp offiziell Teil der maxon motor Gruppe. Zuvor war das Unternehmen der Vertriebspartner in Frankreich. Gegründet wurde mdp 1982 als Anbieter von Mikromotoren verschiedener Hersteller. Später wuchs das Unternehmen stark dank Standardprodukten, die schnell verschickt werden konnten, sowie einem Call-Center für technischen Support. Heute arbeiten 41 Personen am Sitz in Neyron ausserhalb von Lyon – unter anderem im Vertrieb, in der Entwicklung und der eigenen Produktion. mdp bietet ihren Kunden nicht nur Antriebe an, sondern fertigt auf Wunsch komplette Antriebssysteme wie im Fall von

Stago. Dadurch gehört mdp zu den sechs weltweiten Produktionsstätten von maxon motor. Die anderen befinden sich in der Schweiz, in Deutschland, Ungarn, den Niederlanden und Korea.



# 600 Meter unter dem Eis

Die kilometerdicke Eisschicht der Antarktis birgt viele Geheimnisse in sich. Wissenschaftler erkunden seit Jahrzehnten die Geschichte des Weltklimas anhand von Eisbohrungen. Ein Team der Forschungsorganisation British Antarctic Survey mit ganz neuer Technik.



Julius Rix, Ice Core Drilling Engineer: «Viele Eisbohr-Standorte sind einfach nur flache, weite Flächen, doch wenn du dort bist, ist es jedes Mal eine phänomenale Landschaft.»

Fotos: BAS, maxon motor ag



maxon EC 45  
Ø 45 mm, 250 W, bürstenlos;  
kombiniert mit modifiziertem  
Planetengetriebe GP 52



- 1 Bohrspirale
- 2 Motor-Controller
- 3 Bohrer-Aussenhülle
- 4 Messer
- 5 Feste Bohrspirale

Die britische Organisation hat fünf Forschungsstationen in der Antarktis, fünf Flugzeuge, zwei Eisbrecherschiffe und jede Menge Wissenschaftler, die im ewigen Eis forschen. BAS ist das weltweit grösste Forschungszentrum für polare Forschung. Das «Ice Dynamics and Palaeoclimate»-Team entwickelt eine neue Technologie (RAID = Rapid Access Isotope Drill) für Eisbohrungen. Eine Technik, die es ermöglicht, viel schneller ins Eis vorzudringen. Konventionelle Eisbohrungen dauern dagegen sehr lang. Die 3,4 Kilometer tiefe Bohrung am Dome Concordia in der Ostantarktis nahm zum Beispiel fünf Jahre in Anspruch. Und brachte 800 000 Jahre altes Eis zu Tage. Der bislang tiefste Einblick in die Vergangenheit der Erdatmosphäre.

Doch manchmal bringen so tiefe Eisbohrungen keine grossen Ergebnisse – nämlich dann, wenn an der falschen Stelle gebohrt wird, erklärt Julius Rix, Ice Core Drilling Engineer bei BAS. Mit der neuen Technologie wird es laut Robert Mulvaney, wissenschaftlicher Leiter des Forschungsteams, möglich sein, vor grossen Bohrungen mehrere kleine Bohrungen in rund 600 Meter Tiefe zu machen und Eisproben an die Oberfläche zu befördern. Eine Bohrung in diese Tiefe

dauert nur rund sieben Tage, bei einer herkömmlichen Bohrung wären das zwei Monate. Die Dicke des Eises und die Erdwärme lassen dann darauf schliessen, ob es sich lohnt, Tiefenbohrungen zu machen. «Es ist alles sehr spannend, denn noch nie zuvor hat jemand probiert, so schnell Eislöcher in der Antarktis zu bohren», erklärt Mulvaney begeistert.



**Standardprodukt in der Antarktis**

«Es erwies sich als schwierig, einen leistungsstarken kleinen Motor für unsere Anwendung zu finden», sagt Rix. BAS fragte deshalb bei maxon motor UK nach einem starken Motor mit hohem Drehmoment an. Der Antrieb sollte bei konstantem Drehmoment die Geschwindigkeit variieren können. Eine Voraussetzung war auch die Grösse – je kleiner, umso besser, denn der Antrieb muss in den relativ schmalen Bohrer passen. Nicht zu vergessen die harten Umweltbedingungen, die das Antriebssystem aushalten muss. Die maxon Ingenieure machten den Vorschlag, einen bürstenlosen maxon EC 45 mit 250 Watt und ein Planetengetriebe GP 52 zu verwenden. Ein Standardprodukt. Es zeigte sich nach ersten Testbohrungen, dass das Standardprodukt problemlos den hohen Vibrationen und niedrigen Temperaturen standhält. Nur ein paar geringfügige Modifikationen waren erforderlich. «maxon hat uns sehr geholfen, den Richtigen Motor auszuwählen, und uns vorab Testmotoren zur Verfügung gestellt», sagt Rix. —

**Nie zuvor konnten so schnell Eislöcher in der Antarktis gebohrt werden.**

Das Video zum Artikel:  
[drive.tech](https://drive.tech)



Mit der neuen Technologie ist es möglich, vor grossen Bohrungen mehrere kleine Bohrungen in rund 600 Meter Tiefe zu machen und Eisproben an die Oberfläche zu befördern.

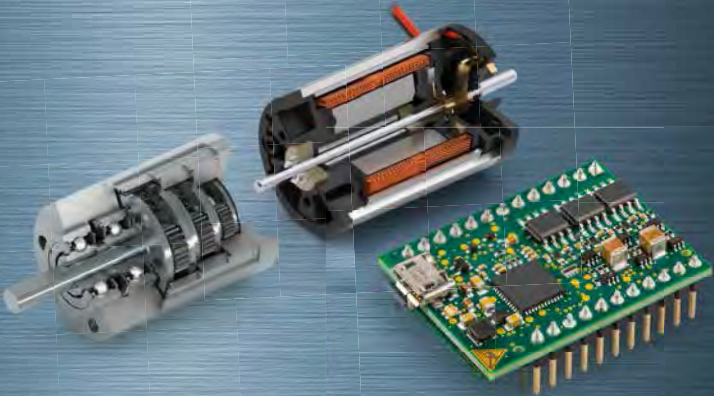


Julius Rix zeigt im Kühlraum ein paar Eiskerne, die bereit für die Analyse sind.



# Antriebssysteme für die Automobilindustrie.

**Kompakt, robust und effizient.**



[automobilindustrie.maxonmotor.ch](https://www.automobilindustrie.maxonmotor.ch)

**maxon motor**  
driven by precision



Nicht zu bremsen! Das AMZ Racing Team räumte mit «gotthard» auch 2016 wieder Preise ab.

Fotos: AMZ

# Unter Strom: von «furka» bis «gotthard»

Von null auf hundert in 1,513 Sekunden – das ist ein neuer Weltrekord in der Beschleunigung eines elektrisch angetriebenen Fahrzeugs. Das Studententeam von AMZ hat diesen Rekord im Juni 2016 erreicht.

Hinter dem Projekt steht der Akademische Motorsportverein Zürich (AMZ), der 2006 von Studierenden der ETH Zürich gegründet wurde. Diese entwickeln jährlich einen Prototyp für verschiedene «Formula Student»-Wettbewerbe in Europa. Beim diesjährigen Wettbewerb in Silverstone waren 130 Studententeams aus über 30 Ländern anwesend. AMZ baut nach drei Fahrzeugen mit Verbrennungsmotoren seit 2010 rein elektrisch angetriebene Rennwagen. Inzwischen gibt es sieben schnelle Elektroflitzer. Jedes Mal erhalten die Rennautos Namen von berühmten Pässen der Schweiz. Dieses Jahr diente der Gotthardpass als Namensgeber für den zehnten Rennboliden aus der AMZ-Werkstatt. Das Gesamtgewicht von «gotthard» liegt gerade mal bei 172 Kilogramm. Mit einer Leistung von 216 PS ergibt sich ein Verhältnis von 1,26 PS/kg, ein Wert, der sogar Supersportwagen in den Schatten stellt und eine enorme Beschleunigung ermöglicht.

### maxon Antrieb fürs DRS

Eine winzige, aber wichtige Rolle für die Effizienz von «gotthard» spielen maxon Antriebssysteme. Sie kommen im sogenannten Drag Reduction System (DRS) zum Einsatz. Wie der Name DRS schon ausdrückt, ist dessen Aufgabe die Minderung des Luftwiderstands über den Heckflügel am Fahrzeug. Das erhöht die Effizienz des Fahrzeugs.

Das hintere Flügelement des Heckflügels wird durch eine Hebelmechanik angesteuert. Für die Verstellung dieses Flügelements ist eine Kombination des bürstenlosen maxon Motors EC 22 und des Planetengetriebes GP 22 HP mit Encoder verantwortlich. Die Antriebseinheit ist im Hauptflügel des Heckflügels versenkt.

Der Heckflügel am Fahrzeug sorgt für eine Minderung des Luftwiderstands – gesteuert wird dieser von maxon Motoren.



maxon EC 22  
Ø 22 mm, 100 W, bürstenlos



Die Renner des AMZ-Teams sammeln Rekorde. Hier «gotthard» auf dem Weg zum nächsten Sieg.

Beim DRS spricht man im Motorsport von zwei verschiedenen Zuständen. Je nach Streckenabschnitt ist die Klappe geschlossen oder offen. Der geschlossene Zustand wird für den Grossteil der Strecke eingesetzt. Vor allem aber bei Kurvenfahrten. Denn hier hat der Heckflügel den grössten Abtriebswert. Ein höherer Abtrieb bedeutet mehr Haftung der Reifen, dies wiederum ermöglicht eine höhere Kurvengeschwindigkeit. Auf geraden Strecken jedoch will man den Luftwiderstand so gering wie möglich halten, um höhere Endgeschwindigkeiten zu ermöglichen. Hier kommt der zweite Zustand zum Zuge.

Der zweite ist der offene Zustand. Durch die Minimierung des Widerstands benötigt das Auto ausserdem weniger Energie auf der Geraden.

**0,2 Sekunden für eine Drehung**  
Laut Philip Dalla Palma, Fokus-Student des Projekts und verantwortlich für Front- und Heckflügel, entsprach das maxon Antriebssystem genau den gewünschten Anforderungen. «Unsere Ansprüche an den Antriebsstrang waren eigentlich sehr einfache: Die DRS-Klappe muss innerhalb von 0,2 Sekunden gedreht werden. Auf die Welle des Planetengetriebes wird eine maximale Belastung

von 1,7 Nm wirken, und die Welle musste sich um 165 Grad drehen können.» Weiteren Weltrekorden und Siegen steht also nichts im Weg. Erst im August hat das AMZ-Team mit «gotthard» den Gesamtsieg des «Formula Student»-Wettbewerbs in Österreich geholt. Herzlichen Glückwunsch!



Die Beschleunigung im Verhältnis zum Gewicht wird ständig optimiert, sodass Spitzenzeiten erreicht werden.

Fotos: AMZ, Ingo Höhn

Die Elektroracer des AMZ-Teams

**2016 «gotthard»**  
Das aktuelle Fahrzeug des AMZ mit vier Motoren  
Leistung: 159 kW  
Gewicht: 172 kg



**2015 «flüela»**  
4 AMZ-Radnabenmotoren mit bis zu 20 000 Umdrehungen pro Minute  
Leistung: 148 kW  
Gewicht: 173 kg  
Beschleunigung 0–100 km/h: 1,9 s  
Maximale Geschwindigkeit: 120 km/h



**2014 «grimsel»**  
Das leichteste Fahrzeug des AMZ  
4 AMZ-M4-Radnabenmotoren  
Leistung: 148 kW  
Gewicht: 180 kg  
Beschleunigung 0–100 km/h: 1,513 s  
Maximale Geschwindigkeit: 120 km/h



**2012 «umbraill»**  
2 selbst gefertigte AMZ-M2-Elektromotoren  
Leistung: 80 kW  
Gewicht: 170 kg  
Beschleunigung 0–100 km/h: 3,2 s  
Maximale Geschwindigkeit: 120 km/h



**2013 «julier»**  
Erstes Fahrzeug mit Allradantrieb  
4 AMZ-M3-Motoren  
Leistung: 70 kW  
Gewicht: 180 kg  
Beschleunigung 0–100 km/h: 2,6 s  
Maximale Geschwindigkeit: 120 km/h



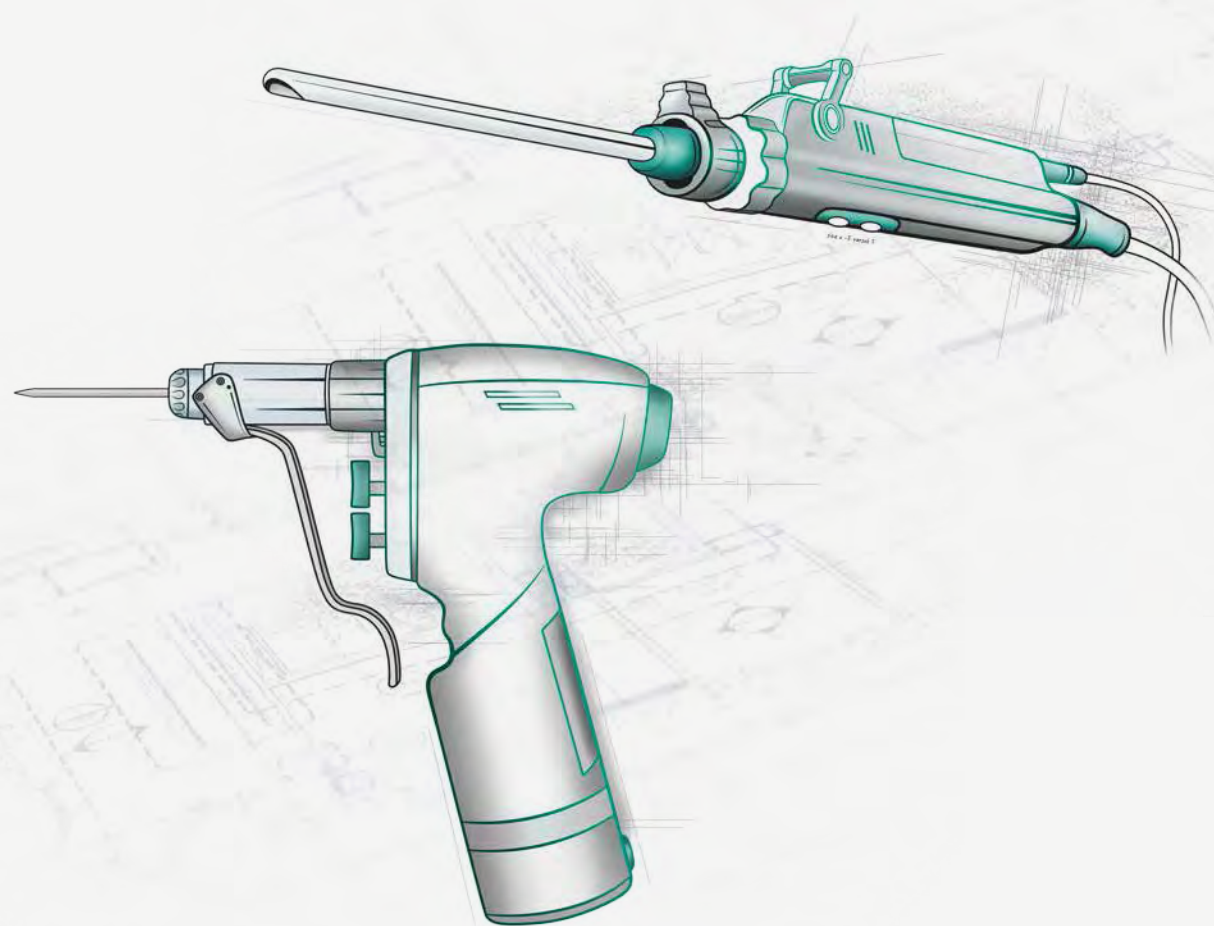
**2010 «furka»**  
Erster Elektromotorenwagen  
2 DC-Elektromotoren / Lithium-Polymer-Akkuzellen  
Leistung: 60 kW  
Gewicht: 227 kg  
Beschleunigung 0–100 km/h: 3,8 s  
Maximale Geschwindigkeit: 111 km/h



**2011 «novena»**  
Erstes Fahrzeug mit selbst entwickelten und selbst gefertigten Elektromotoren  
Leistung: 70 kW  
Gewicht: 181 kg  
Beschleunigung 0–100 km/h: 3,4 s  
Maximale Geschwindigkeit: 120 km/h

# Die Erwärmung von Motoren in Handgeräten

Mehrere Faktoren sorgen dafür, dass ein DC-Motor heiss wird. Doch gerade in Handgeräten will man dies verhindern. Mit einem überdimensionierten Motor schafft man Abhilfe. Es gibt aber noch andere Möglichkeiten.



**Urs Kafader** ist seit über 20 Jahren für die technische Ausbildung bei maxon motor verantwortlich. Er führt Schulungen zur Technik und zum Einsatz von maxon Produkten durch – für die Mitarbeitenden am maxon Hauptsitz in Sachseln, für das internationale Verkaufsnetz, aber auch für Kunden. Der promovierte Physiker absolvierte zusätzlich ein MBA in Produktionswissenschaften. Seine berufliche Laufbahn begann er am Institut für Festkörperphysik der ETH Zürich.

Fotos: maxon motor ag

**E**in DC-Motor, der in der Nähe des Nennmoments betrieben wird, kann sehr heiss werden. Im Dauerbetrieb erreicht die Wicklung Temperaturen von bis zu 155°Celsius, was eine Gehäusetemperatur im Bereich von 120°Celsius ergibt. Kein Chirurg würde gerne mit so einem Handgerät operieren. Nicht einmal, wenn es nur halb so heiss wäre. Was also ist zu tun?

Vernachlässigt man die Reibung, so gibt es zwei Hauptverlustquellen, welche den Motor aufheizen: Stromwärme- und Eisenverluste.

## Stromwärmeverluste

Die Stromwärmeverluste sind mit dem zum Strom proportional benötigten Lastdrehmoment verknüpft. Wie allgemein bekannt, nehmen diese Verluste quadratisch zum Strom zu. Hohe Ströme in der Nähe des Nennstroms führen zu Temperaturen, die für menschliche Berührung ungeeignet sind. Lässt man Motoren nur beim halben Nennstrom laufen, ergeben sich moderate Temperaturen (typisch unterhalb 50°Celsius), die sich besser mit Berührungen vertragen. Für die Motorauswahl bedeutet dies im Wesentlichen: den Motor überdimensionieren!

Die Betrachtungen bis hierher gründen auf Dauerbetrieb, bei dem die maximalen Temperaturen erst nach rund zehn Minuten erreicht werden. In Handgeräten hat man es meist jedoch mit einem intermittierenden Betrieb zu tun, der bis zu 30 Minuten und länger dauern kann. Das bedeutet: Auch hier muss eine Dauerbetriebsbetrachtung angewendet wer-

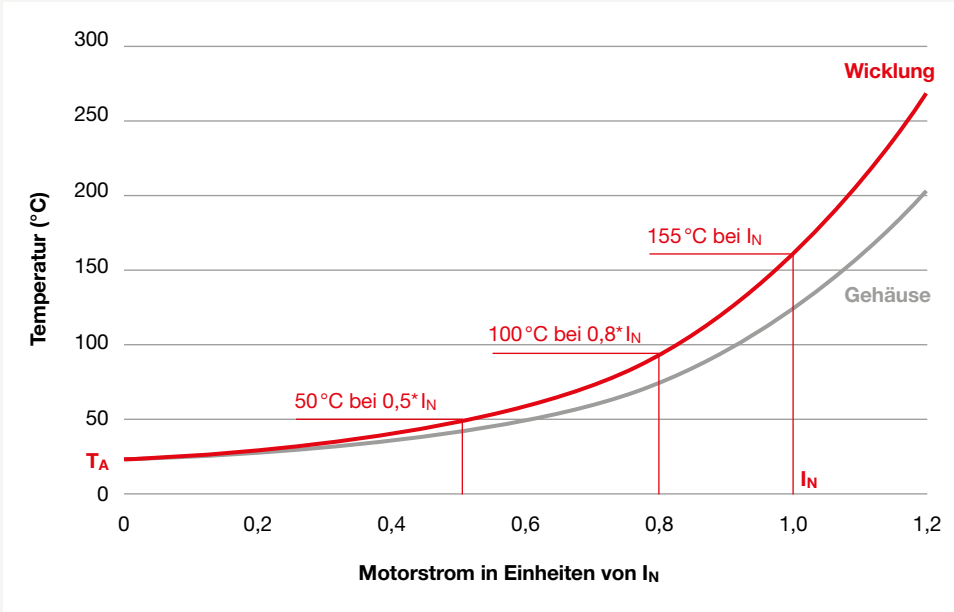
den, allerdings mit dem Effektivwert (RMS) des Laststroms (quadratische Mittelung über den gesamten Lastzyklus). Die mittlere Erwärmung entspricht dann einem Dauerbetrieb mit dem RMS-Lastmoment.

## Eisenverluste

Die Eisenverluste sind mit der Drehzahl gekoppelt. Die Wirbelstromverluste steigen quadratisch mit der Drehzahl an und erwärmen den Motor beim Drehen – sogar ohne Last. In Handgeräten kann dies bei Schleifern und Fräsen, die bei mehreren zehntausend Umdrehungen pro Minute (UpM) arbeiten, ein Problem sein. Solche hochdrehenden Motoren benötigen ein spezielles Design, um die Wirbelstromverluste klein zu halten. Sie werden typischerweise mit einer kleinen Anzahl Magnetpolen, einer eisenlosen Wicklung und ultradünnen Eisenblechen mit tiefer Hysterese im Rückschluss ausgeführt. Das maxon

**Lässt man Motoren nur beim halben Nennstrom laufen, ergeben sich moderate Temperaturen.**

Wicklungs- und Gehäusetemperatur in Abhängigkeit des Motorstroms (Motor im Dauerbetrieb).



ECX Speed Programm kombiniert diese speziellen Eigenschaften. Die bürstenlosen DC-Motoren mit ihrer langen Bauform und mit Durchmessern zwischen 16 und 22 Millimetern passen perfekt in Handgeräte, die bei hohen Drehzahlen von mehreren zehntausend Umdrehungen pro Minute betrieben werden.

PWM-Ansteuerung und Induktivität

Es zeigt sich allerdings, dass Motorenerwärmung nicht nur eine Frage von Drehmoment, Drehzahl und Bauweise ist. Sie hängt auch von der Gestaltung der PWM-Ansteuerung und der Einstellung der Regelparameter ab. Kürzlich beklagte sich ein Kunde über seinen heißen Motor (80°Celsius und mehr) sogar bei Leerlaufbetrieb. Eine genauere Analyse ergab, dass die Ansteuerung und die Versorgungsspannung einen bedeutenden Einfluss hatten.

Eisenlose Wicklungen haben eine sehr tiefe Induktivität, was sich in einer kleinen elektrischen Zeitkonstante auswirkt. Entsprechend reagiert der Strom sehr schnell auf Spannungsänderungen; das ist gut für ein dynamisches Motorverhalten. Wird der Motor aber mit einer pulsweitenmodulierten

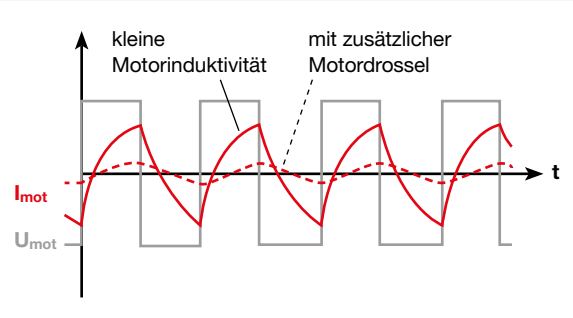
(PWM) Endstufe angesteuert (was die meisten Regler tun), folgt der Motorstrom den schnellen Spannungswechseln, was zu einem grossen Stromrippel führen kann. Während die PWM-Spannung und der Stromrippel keinen Einfluss auf das mechanische Verhalten des Motors haben – der Motor «sieht» im Wesentlichen den Mittelwert von Strom und Spannung –, heizen die Stromspitzen des Rippels den Motor auf. In ähnlicher Weise führen steif eingestellte Regelkreise zu starken und schnellen Stromreaktionen mit entsprechender Erwärmung. Gegenmassnahmen, um den Stromrippel klein zu halten, sind:

- Die Versorgungsspannung der PWM-Endstufe verkleinern in Fällen, wo dies aufgrund der Drehzahlanforderungen der Anwendung möglich ist.
- Die PWM-Frequenz erhöhen, um dem Stromrippel weniger Zeit zu geben, sich auszubilden.

Oft hilft es, die Versorgungsspannung auf ein absolutes Minimum herunterzufahren.

- Eine Zusatzinduktivität (Motordrossel) in Serie zu den Motoranschlüssen anbringen. Damit wird die elektrische Zeitkonstante vergrössert und die Stromreaktion gedämpft. Diese letzte Massnahme ist nicht sehr attraktiv. Denn sie erhöht die Kosten und benötigt extra Bauraum.
  - Möglichst weiche Regelparameter wählen. Die maxon Controller berücksichtigen die tiefe Induktivität der maxon DC-Motoren. Sie arbeiten bei hohen PWM-Frequenzen von 50 bis 100 kHz und sind mit genügend Zusatzinduktivität für die meisten Motoren und Situationen ausgestattet.
- Das Temperaturproblem des Kunden war übrigens schnell gelöst: Es genügte, seine überdimensionierte Steuerung durch einen maxon ESCON Controller zu ersetzen. Die ESCON-Lösung hat weniger, aber durchaus genügend Nennleistung. Sie arbeitet mit einer höheren PWM-Frequenz als der bestehende Regler und enthält eine grössere

eingebaute Motordrossel. Das alleine hätte bereits viel bewirkt. Doch die Temperatur konnte sogar noch weiter gesenkt werden: Dazu wurde die Versorgungsspannung in die Nähe des absolut benötigten Minimums heruntergefahren.



Stromrippel im Stillstand mit und ohne Zusatzinduktivität (schematisch). Der Strommittelwert (d.h. das mittlere Drehmoment) ist in beiden Fällen null. Die Motorenerwärmung ist aber unterschiedlich.

Besonders in chirurgischen Handgeräten muss eine zu starke Erwärmung des Motors vermieden werden.



maxon ECX Speed 22  
bürstenlos, sterilisierbar



maxon Servocontroller  
ESCON 50/5



Fotos: maxon motor ag, Fotolia/Bergingfoto

# Ein grosses Stück Freiheit

Othmar Zoll nutzt jeden Tag sein Handbike, das er mit dem maxon Bikemotor aufgerüstet hat. Steigungen, die für ihn zuvor unmöglich gewesen sind, meistert er jetzt ohne Probleme. Mit einem Lächeln im Gesicht.

Die Zufahrt war früher immer zu steil für Othmar Zoll und sein Handbike. Trotz Elektromotor schaffte er die letzten Meter zu seinem Haus im Süden der Schweiz nie. Das Drehmoment des Antriebs war einfach zu klein. Aber dann entdeckte er den Bikemotor von maxon.

Othmar ist pensionierter Innenarchitekt und Künstler, 66-jährig und sportlich. Zwar ist er bereits die Hälfte seines Lebens auf den Rollstuhl angewiesen, aber davon einschränken lässt er sich nicht. Schon gar nicht, seit er das Handbike entdeckt hat. Dieses kann er

mit wenigen Griffen am Rollstuhl montieren und mit seinen Armen mittels Handpedalen antreiben.

## «Es macht einfach grossen Spass»

Zuerst hatte er ein Modell ohne Motor, später kam eine elektrische Unterstützung dazu. Seit Herbst 2015 ist er nun mit dem Bikemotor von maxon, dem Bikedrive, unterwegs. Das Nachrüstkit aus Motor, Akku und Powergrip passt perfekt in sein Handbike. Selbst die letzte Steigung zu seinem Ferienhaus ist nun kein Problem mehr. «Für mich ist das Handbike

Fotos: maxon motor ag / Philipp Schmitt

mit dem Motor ein grosses Stück Freiheit», sagt Zoll. «Ich komme an alle möglichen Orte, bin an der frischen Luft, und es macht einfach grossen Spass.»

**Positiver Effekt auf die Gesundheit**

Auf den Bikedrive ist er zufällig gestossen. Ein Fahrradhändler hat ihn auf den neuen Bike-motor aufmerksam gemacht. Daraufhin kontaktierte er maxon, und etwas später konnte er das eingespeichte Rad bei sich zu Hause einbauen. Und heute staunt er, dass er nicht öfter Rollstuhlfahrer sieht, die mit einem Handbike unterwegs sind. «Es würde vielen Leuten gut-tun. Denn mit einem solchen Motor profi-

tierst du nur», sagt Othmar. «Ich kann grosse Strecken zurücklegen, mit anderen Fahrrad-fahrern mithalten und trainiere gleichzeitig meine Schultern.» Und dank der Elektroun-terstützung werden die Gelenke nicht überlas-tet. Das ist wichtig. Denn viele Rollstuhlfahrer haben durch Überbelastungen Schulterprob-leme. Zoll sagt: «Für mich ist das Handbike deshalb auch gleich eine Therapie. Beschwer-den habe ich schon lange keine mehr.»

**Selbst im Winter unterwegs**

Othmar Zoll ist ein kreativer Mensch, malt gerne zu Hause, übt sich im Steinhauen und kocht. Aber wenn er das Haus verlässt, tut er



Das Bikedrive-Nachrüstkit aus Motor, Akku und Powergrip passt perfekt ins Handbike von Othmar Zoll. Jetzt meistert er damit sogar steile Zufahrten.

das selten ohne sein Handbike. 20 bis 40 Ki-lometer gehören zu seinem Tagesprogramm. Er fährt über die Hügel der Zentralschweiz, an den Flüssen und Seen entlang. Und das so-gar im Winter. Das nennt er Unabhängigkeit. Und darüber hinaus hat sein Handbike einen weiteren positiven Effekt: «Wenn mich die Leute damit sehen, wissen sie, dass ich aktiv bin und trotz Rollstuhl gut alleine zurecht-komme. Dadurch begegnen sie mir auf eine natürliche Art, ich möchte sagen: auf Augen-höhe.» Er lacht, macht eine Kehrtwende und fährt los. ■■■

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



Fotos: maxon motor ag / Philipp Schmidli



# Was versteckt sich hinter diesem Bildausschnitt?

Sport trägt bekanntlich dazu bei, länger gesund und fit zu bleiben. Noch mehr Spass macht das mit einer GPS-Sportuhr. Machen Sie mit und gewinnen Sie eine Garmin Forerunner 735XT. Einfach den Bildausschnitt in der aktuellen Ausgabe von driven suchen und die Antwort per E-Mail an [driven@maxonmotor.com](mailto:driven@maxonmotor.com) senden. *Teilnahmeschluss ist der 31. Januar 2017.*

Mitarbeiter von maxon motor sind von der Teilnahme ausgeschlossen. Über den Wettbewerb wird keine Korrespondenz geführt. Der Rechtsweg ist ausgeschlossen.



Die GPS-Multisport-Uhr Garmin Forerunner 735XT sorgt problemlos für Abwechslung mit ihren integrierten Aktivitätsprofilen: Laufen, Radfahren, Schwimmen, Langlauf, Paddelsportarten, Trailrunning, Wandern und Krafttraining. Mit Herzfrequenzmessung am Handgelenk.



Was interessiert Sie an diesem Thema besonders?

Teilen Sie es uns mit auf unserem Twitterkanal @maxonmotor oder unter [driven@maxonmotor.com](mailto:driven@maxonmotor.com)

## Impressum

**Herausgeber:** maxon motor ag  
**Redaktion:** Stefan Roschi, Anja Schütz  
**Copyright:** © 2016 by maxon motor ag, Sachseln. Nachdruck nur mit schriftlicher Genehmigung.

**Realisation:** Infel Corporate Media  
**Projektleitung und Redaktion:** Bärbel Jördens  
**Gestaltung:** Peter Kruppa (Art Director), Marina Maspoli  
**Korrektorat:** Franz Scherer  
**Druck:** Druckerei Odermatt AG

**Erscheinungsweise:** 2-mal pro Jahr  
**Sprachen:** Deutsch, Englisch, Chinesisch  
**Auflage:** 10500 (dt.), 4500 (engl.)

**driven online:** [magazin.maxonmotor.ch](http://magazin.maxonmotor.ch)

Foto: maxon motor ag / Daniel Gilliet

Was immer Sie brauchen.

# Für Missionen zu fremden Planeten.

maxon DC-Motoren und Getriebe stecken auch im ExoMars-Rover, der 2020 auf den Mars geschickt wird. Die Antriebe sind besonders effizient und robust. Vibrationen, Schläge und tiefste Temperaturen können ihnen nichts anhaben. Was immer Sie in der Antriebstechnik brauchen, maxon motor hilft Ihnen dabei.

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



**maxon motor**  
driven by precision

ExoMars is a partnership mission between the European Space Agency, ESA, and the Russian space agency, Roscosmos. ©ESA

**drive.tech** by maxon motor

# Mehr als Antriebstechnik.



Trends, Technologien und Wissen rund um Antriebstechnik.

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