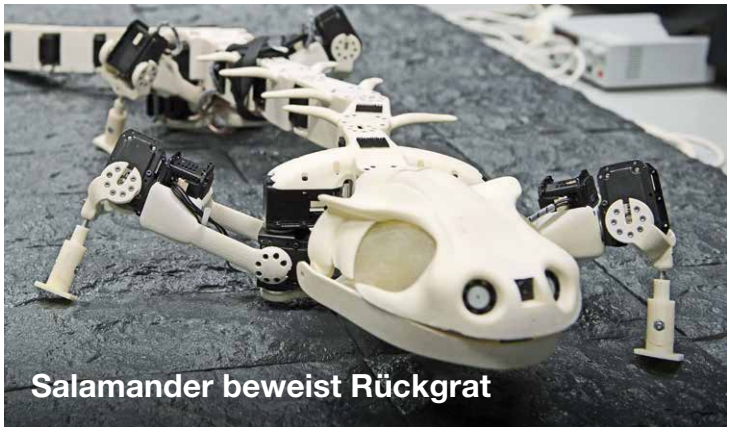
Das Magazin von maxon motor

driven

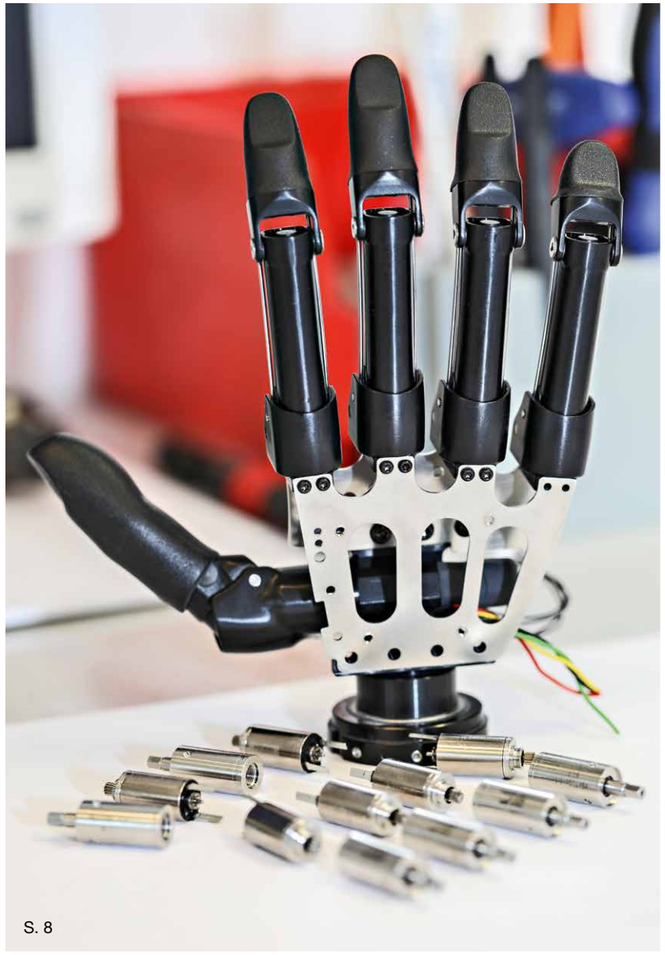
Forschung trägt Früchte

Wie die Bionik neue Fortschritte ermöglicht



Salamander beweist Rückgrat

Olympiasieger ist Pate für E-Bike-Ambulanz


S. 8

S. 26

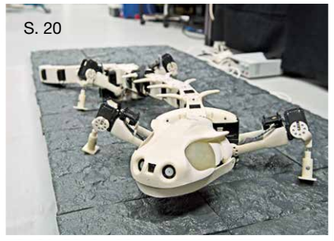
S. 32

S. 7

S. 12

S. 24

S. 14


S. 20

S. 34

S. 16

Fotos: Karin Mertens / maxon motor, Adrian Bretscher, maxon motor group, Adrian Venetz / maxon motor, Carnegie Mellon University, Stew Milne, Marsi Bionics, Sibylle Kathriner, Jérémias Wieland / maxon motor

4 **News**

Fokus: Die Natur als Vorbild
8 «Ein Schlaraffenland für Ingenieure»
Ein kleines Start-up eröffnet mit bionischen Handprothesen ganz neue Möglichkeiten für den Träger.

12 Der Schritt-Macher
Ein Powerpaket von maxon motor ersetzt den Wadenmuskel einer Fussprothese und bietet so Halt in jedem Terrain.

14 Ein grosser Schritt für kleine Füsse
Dieses Exoskelett wächst mit und fördert die Beweglichkeit, entwickelt speziell für Kinder.

16 Fauna Robotica
Tierroboter mit der Natur nachempfundenen Bewegungsapparaten. Eine Bildergeschichte.

Exploration
20 Natürlich gesteuert
Ein Team der EPFL in Lausanne erforscht die Geheimnisse des Rückgrats mithilfe eines Salamander-Roboters, des Pleurobots.

maxon inside
24 Wie kommt die Intelligenz ins System?
Das Team von Motion Control gibt bei maxon motor Antwort auf alle Fragen um die Ansteuerung von Motoren.

Special
26 Mit Rad und Tat
Ein Nothelfer auf dem Velo: In Mosambik testet ein Olympiasieger den Einsatz des Bikedrive-Antriebs als E-Bike-Ambulanz.

Expertise
29 DC-Motoren als Generatoren
Wie können bürstenbehaftete und bürstenlose DC-Motoren als Generatoren eingesetzt werden? Ein Fachbeitrag.

Innovation
32 Hüpf und weg
Ein junges Team der ETH Zürich entwickelt einen Roboter, der springend Treppen überwinden kann.

Kolumne
34 Wie Kunden vom digitalen Wandel profitieren
Global Digital Manager Ning Liu blickt in die digitale Zukunft von Unternehmen.

maxon worldwide
36 Die Welt von maxon motor
Die Produktionsstandorte und Vertriebsgesellschaften auf einen Blick.

Wettbewerb
38 In welchem Land eröffnet maxon motor Ende 2018 eine neue Produktionsstätte?
Zu gewinnen: die Vogel-Drohne Bionic Bird Deluxe Edition.

Editorial

Wie gut können wir **die Natur kopieren?**

Eugen Elmiger, CEO der maxon motor ag

Ingenieure greifen oft auf die Natur als Vorbild zurück, wenn sie neue Technologien entwickeln. Denn Menschen, Tiere und Pflanzen haben sich über Jahrmillionen weiterentwickelt und sich dabei jeweils perfekt an ihre Umgebung angepasst. Wir schaffen es leider nur selten, die Vorbilder eins zu eins zu kopieren, werden aber immer besser, wie die zwei Beispiele der Hand- und Fussprothesen in diesem Magazin eindrücklich zeigen.

Die «driven»-Redaktion hat Ihnen, liebe Leserinnen und Leser, zudem eine Auflistung der aktuell spannendsten Tierroboter zusammengestellt. Überraschungen sind garantiert.
Weiter erfahren Sie mehr über unsere erfolgreichen Motion-Control-Spezialisten, wie Sie DC-Motoren auch als Generatoren verwenden können und wie Sie künftig bei maxon von der Digitalisierung profitieren.

Ich wünsche Ihnen viel Spass beim Lesen!

0,00000001 Meter

So gross ist ein Nanometer. Oder besser: so klein. In dieser winzigen Welt wirken sogar Bakterien wie Riesen. Unmöglich, Roboter in dieser Grösse zu bauen, oder? Falsch gedacht. In den vergangenen Jahren haben Forscher erste Erfolge im Bereich der Nanorobotik vorweisen können. In einem Artikel in der Fachzeitschrift «Nature» berichteten Wissenschaftler 2017, wie sie Nanoroboter gezielt gegen Krebszellen einsetzen. Mit Robotern, wie man sie sich allgemein vorstellt, haben diese Winzlinge jedoch wenig zu tun. Sie bestehen aus raffiniert zusammengesetzten Kohlenstoff-Molekülen, die sich zu drehen beginnen, sobald sie mit ultraviolettem Licht bestrahlt werden. Solche Molekül-Motoren können dann Zellwände aufbohren – und dies mit schier unglaublichen drei Millionen Umdrehungen pro Sekunde. Bis diese «Nanobots» verbreitet in der Humanmedizin eingesetzt werden, dürfte allerdings noch einige Zeit vergehen.

Fotos: iStock / Redemption, maxon motor group

Wachstum

maxon motor startet Produktion in den USA

Im Rahmen der internationalen Expansion von maxon motor errichtet maxon precision motors ein neues Fertigungswerk in Taunton (Massachusetts/USA). Der neue Produktionsstandort (5500 Quadratmeter gross) liegt nur knapp 25 Kilometer nördlich des derzeitigen Vertriebsingenieurbüros in Fall River und öffnet im November 2018 seine Tore.
Durch diese Erweiterung kann maxon die Wachstumschancen im US-Vertrieb optimal ausnützen. Der neue Standort bietet reichlich Platz für Büros und ein grösseres Lager. Über 50 Prozent der Fläche werden jedoch vom Fertigungsbereich eingenommen. Hier werden weiterhin kleine Losgrössen modifizierter Produkte hergestellt, da dies einen stetig wachsenden Teil des Nordamerika-Geschäfts darstellt.
Um an den Märkten auch Produkte mit hohem Mehrwert anbieten zu können, wird die neue Anlage über eine Konstruktionsabteilung und die Möglichkeit zur Massenfertigung verfügen. Damit kann maxon kürzere Reaktionszeiten, engere Zusammenarbeit in der Konstruktion und Fertigung von Sonderbaugruppen, eine lokale Lieferkette zur Kostensenkung und viele weitere Möglichkeiten zur Schaffung von Mehrwert anbieten und so seine US-Kunden besser unterstützen.
Mit der Fertigungsanlage in den USA setzt maxon auf Partnerschaft mit dem Kunden und den Aufbau enger Beziehungen, um auf diese Weise zum Erfolg des Kunden beizutragen.

So wird das neue Gebäude in Taunton ausschauen (rechts). Unten die aktuelle Baustelle.

maxon Innovation Lab

maxon motor rückt näher zur EPFL

Im Mai 2018 eröffnet maxon motor, der Spezialist für Antriebstechnologie, das maxon Innovation Lab an der Technischen Hochschule in Lausanne (EPFL). Das Lab soll eine Plattform für neue Technologien und Business-Entwicklungen bieten und maxon Mitarbeitenden, Partnern und Studierenden offenstehen. Es befindet sich im Innovation Park der EPFL, in dem rund 160 Unternehmen und Start-ups vertreten sind, die alle vom Forschungsklima der Hochschule profitieren.
maxon motor verspricht sich einen regen Austausch mit Technologiespezialisten sowie einen verstärkten Zugang zur aktuellen Forschung. Das Lab wird Studierenden als Trainingsplattform zur Verfügung stehen und ihnen Möglichkeiten für Masterprojekte bieten. Olivier Chappuis, der selber einst an der EPFL studiert hat, wird das maxon Innovation Lab leiten. Er sagt: «Ich freue mich auf die vielen neuen Geschäftsideen und fruchtbaren Kollaborationen, welche im Ökosystem der EPFL auf uns warten.» maxon motor verfügt über umfassendes Praxiswissen in der Antriebsauslegung und Mechatronik – unter anderem in den Bereichen Robotik, Luftfahrt, Medizintechnologie, Industrieautomation und Mobility. Der Antriebsspezialist hat 2017 bereits ein Innovation Lab an der Hochschule Luzern eröffnet und baut sein internationales Akademie- und Innovationsnetzwerk stetig aus.

Von der Kooperation mit den Technologiespezialisten der EPFL verspricht sich maxon die Entwicklung neuer Geschäftsideen und den Zugang zur aktuellen Forschung.

Fotos: Alain Herzog, maxon motor group

NEUE PRODUKTE

EC 90 flat (260 W)

Der kräftigste Motor der maxon Familie

Maximales Drehmoment auf kleinstem Raum: Das ist der neue EC 90 flat von maxon motor. Der bürstenlose Flachmotor ist überarbeitet und optimiert worden und ab diesem Frühling in zwei Varianten erhältlich – mit 160 oder 260 Watt. Die kräftigere Ausführung liefert ein beeindruckendes Dauerdrehmoment von bis zu 1 Nm und ist somit der drehmomentstärkste maxon Antrieb. Das macht den EC 90 flat mit 260 Watt besonders geeignet für den Einsatz als Direktantrieb, also ohne Getriebe. Zum Beispiel bei Radantrieben, Logistiksystemen sowie Pumpen. In Kombination mit dem MILE-Encoder kann dieser Motor auch hervorragend für Positionieraufgaben eingesetzt werden.

maxon EC 90 flat
Ø 90 mm,
260 W, bürstenlos

maxon ECX SQUARE 16 L
Ø 16 mm,
bürstenlos

ECX SQUARE 16 L

Der bürstenlose Antrieb für kostengünstige Lösungen

maxon motor bietet seinen Kunden neu eine kostengünstige Alternative im Bereich der bürstenlosen DC-Motoren an. Der Antriebsspezialist hat als Basis die moderne ECX-Plattform genommen und sie mit einem neuen quadratischen Gehäuse aus Duroplast kombiniert. Das Resultat ist der ECX SQUARE 16 L. Dieser überzeugt durch eine hohe Effizienz, Laufruhe sowie eine lange Lebenserwartung und kann auch in Überlast betrieben werden. Er ist besonders interessant für Anwendungen wie Ventilatoren, Pumpen oder Handschleifmaschinen. Bei Bedarf lässt sich der ECX SQUARE 16 L mit den Planetengetrieben GPX 16 (1 und 2 Stufen) sowie dem GPX 19 (3 und 4 Stufen) kombinieren.

Online-Shop

Bürstenlose und bürstenbehaftete DC-Motoren, Encoder, Getriebe, Steuerungen und Zubehör finden Sie in unserem Online-Shop: **shop.maxonmotor.ch.** Mit wenigen Klicks stellen Sie Ihren Wunschantrieb zusammen. Darüber hinaus gibts umfangreiche Produktspezifikationen und über 6000 kostenlose Downloads.

«Ein Schlaraffenland für Ingenieure»

Ein kleines Start-up wirbelt gerade den Markt für Handprothesen durcheinander. Mit Innovationswillen, kompakten DC-Motoren und einer Tastfunktion.

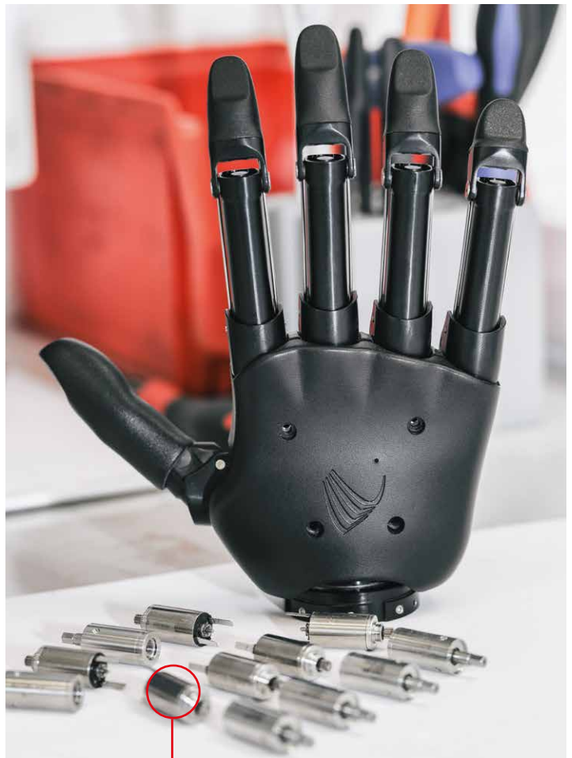
Die Herausforderungen beginnen bereits beim Öffnen der Türe. Die menschliche Hand umschliesst den Griff, drückt ihn herunter und bewegt sich flexibel. Eine elektromechanische Handprothese dagegen ist steif. Wenn sich die Türe bewegt, führt das zu grossen Krafteinwirkungen auf den einzelnen Fingern. Eine gute Prothese muss deshalb aus hochwertigen Materialien und Komponenten bestehen. Davon ist Stefan Schulz überzeugt. Er ist Gründer und CEO von Vincent Systems, einem Start-up in der deutschen Stadt Karlsruhe mit zehn Mitarbeitenden. Und wenn es um Handprothesen geht, weiss Schulz Bescheid. Seine erste elektromechanische Prothese baute er 1999, als er noch am Karlsruher Institute of Technology (KIT) tätig war. Zehn Jahre später folgte der Wechsel in die Privatwirtschaft.

«Den bionischen Prothesen gehört die Zukunft!»

Inzwischen ist bereits die dritte Generation der Handprothesen von Vincent Systems erhältlich. «Sie ist leichter und kompakter als andere Modelle und wiegt praktisch gleich viel wie die menschliche Hand», so Schulz. In ihrer kleinsten Ausführung ist sie sogar für Kinder geeignet – der jüngste Träger ist gerade mal acht Jahre alt. Trotzdem, und das ist das Besondere, handelt es sich um eine bionische Hand. Heisst: Jeder einzelne Finger wird aktiv mit einem DC-Motor angetrieben, der

Stefan Schulz, CEO von Vincent Systems, erklärt die Funktionsweise der neusten Handprothese.

Fotos: Karin Hofmann



maxon DCX 10 S
Ø 10 mm, 1 W,
Edelmetallbürsten

die dem menschlichen Vorbild möglichst nahe kommt. «Aber egal, was wir auch für Innovationen konstruieren, es handelt sich im Vergleich zum menschlichen Vorbild im Endeffekt immer um einen Kompromiss. Das Produkt wird nie perfekt sein. Es geht immer noch besser.» Das entmutigt ihn keineswegs. Im Gegenteil: Es ist ihm Ansporn für seine tägliche Arbeit. Und wohl auch eines der Erfolgsgeheimnisse von Vincent Systems. Denn im Verlauf der noch jungen Firmengeschichte haben die Ingenieure die Handprothese schon mehrfach komplett überarbeitet – um die Rückmeldungen der Prothesennutzer einzubeziehen sowie aufgrund von neuen technischen Ansätzen. Und das scheint nicht einmal eine so grosse Sache gewesen zu sein, wenn man Stefan Schulz beim Erzählen zuhört. Als Ingenieur fühlt er sich sichtlich wohl in seinem Gebiet.

Die meisten Armprothesen sind heute noch so aufgebaut wie in den Sechzigerjahren. Damals kamen erste Prothesen mit Motoren und mit myoelektrischen Steuerungen auf den Markt. Mittels zweier Elektroden an den noch vorhandenen Muskeln kann der Träger entscheiden, ob sich die Greifer schliessen oder öffnen. Angetrieben werden meist nur Daumen und Zeigefinger. Und daran hat sich lange wenig geändert. Auch weil viele Träger mit diesen einfachen Funktionen zufrieden waren. Deshalb sagt Stefan Schulz: «Die Welt der Prothetik lag lange im Schneewittchenschlaf und ist heute ein Schlaraffenland für Ingenieure.» Er schätzt zwar die einfachsten Prothesenmodelle als robustes Hilfsmittel, ist aber überzeugt: «Den bionischen Prothesen gehört die Zukunft! Die technischen Möglichkeiten sind vorhanden, also sollten wir sie nutzen, um den Kunden einen hohen Grad an Freiheiten zu ermöglichen.»

Daumen sogar mit zwei Stück. Da sich die Motoren direkt im Finger und Daumen befinden, können bei Patienten auch einzelne fehlende Finger ersetzt werden. Und noch etwas macht die Hand von Vincent Systems besonders: Sie ist die erste kommerziell erhältliche Prothese, die ihrem Träger ein Feedback gibt, wie stark er zugreift. Das geschieht mit kurzen Vibrationsimpulsen. Würde die Hand einfach gleichmässig vibrieren, könnte sich der Mensch schnell daran gewöhnen und das Signal nicht mehr wahrnehmen.

«Das Produkt wird nie perfekt sein»

Die Aufgabe von Stefan Schulz und seinen Kollegen ist nie fertig, und dessen ist er sich bewusst. Als Ingenieur will er eine mechatronische Handprothese entwickeln,

maxon Motoren eine Spur kräftiger

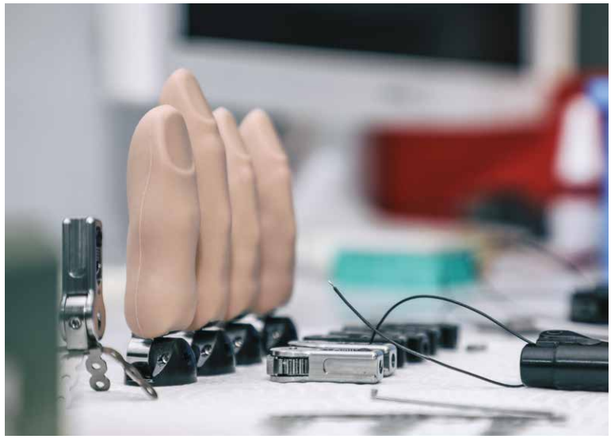
Gleichzeitig stellen Prothesen eine grosse technische Herausforderung dar, denn die verschiedenen Anforderungen widersprechen sich: hohes Drehmoment und hohe Geschwindigkeit bei kompakter Bauweise.

Und das alles möglichst energiesparend. Entsprechend wichtig ist die Wahl der verbauten Elektromotoren. Vincent Systems setzt in seinen Händen bis zu sechs bürstenbehaftete DC-Motoren von maxon motor ein: so genannte DCX 10 Antriebe in Kombination mit modifizierten Planetengetrieben GP 10 A. «Sie sind kompakt und für unsere Anwendung die Motoren mit der derzeit höchsten Energiedichte», sagt Stefan Schulz. Zudem müssen die Antriebe etwas aushalten, fünf Jahre störungsfrei arbeiten. Obwohl sie jeden Tag auf viele Arten stark beansprucht werden. «Wir sind sehr zufrieden und haben vor, gemeinsam mit maxon die Elektromotoren weiter für unsere künftigen Prothesen zu modifizieren.»

Prothesen stellen mit ihren Anforderungen an den Antrieb eine grosse technische Herausforderung dar.

Wenn jeder Finger einzeln bewegt werden kann, ergeben sich für den Träger viele Möglichkeiten. Zwölf Griffmuster stehen zur Verfügung, die alle relativ einfach über Muskelkontraktionen abgerufen werden können – mit einem langen Halten des Muskelsignals oder einem Doppelimpuls zum Beispiel. Wichtig war Stefan Schulz, dass die Patienten dafür nicht die gesunde Hand zu Hilfe nehmen müssen. Denn: «Eine Handprothese soll den Träger unterstützen und nicht die Aufmerksamkeit der gesunden Hand beanspruchen.» Die meisten Kunden kommen schon nach einer halben Stunde gut mit der Bedienung zurecht. Bis sie die Prothese wirklich intuitiv steuern können, dauert es einige Wochen oder Monate. Dann können sie Fahrrad fahren, Schuhe binden, rohe Eier halten – und natürlich auch Türen öffnen.

Bei bionischen Handprothesen kann jeder Finger einzeln bewegt werden.



Fotos: Karin Mertens

Der Schritt-Macher

Die Empower-Prothese von Ottobock gibt ihrem Träger die verlorengegangene Bewegungsfreiheit zurück – dank eines kräftigen bürstenlosen Motors, der bei jedem Schritt die Energie eines Wadenmuskels freisetzt.

Ohne Waden lässt sich schlecht gehen. Denn ein Grossteil der Energie, die wir fürs Gehen benötigen, kommt von der Wadenmuskulatur. Personen mit Unterschenkelamputationen ermüden deshalb schnell, wenn sie mit Fussprothesen unterwegs sind. Ein normaler Tagesablauf wird so praktisch verunmöglicht. Ein Umstand, der Hugh Herr lange gestört hat. Der Professor am MIT in Boston ist seit einem Bergsteigerunfall beidseitig unterschenkelamputiert, hat sich davon aber nicht unterkriegen lassen und jahrelang an der perfekten Prothese getüftelt: «Jeder sollte das Recht haben, zu gehen. Wir müssen unsere Einschränkungen nicht akzeptieren.»

Als Hugh Herr seine Hightech-Prothese schliesslich der Öffentlichkeit präsentierte, war die Verblüffung gross. Sein Gangbild war natürlich, kaum von anderen Menschen zu unterscheiden. Er vollführte sogar einen kurzen Sprint an Ort und Stelle. Etwas, das bislang als nicht möglich galt.

Ein Motor ersetzt die Wade

Bei der Entwicklung der Fussprothese haben sich Hugh und sein Team an der Natur orientiert. Entsprechend spricht er bei seiner Erfindung von einer Bionic-Prothese – einem perfekten Zusammenspiel von Biologie und Design. Was schön klingt, sieht in der Praxis dann so aus: Ein kräftiger Motor treibt eine Feder an, welche ihre Energie direkt auf den Fuss überträgt. So wird die fehlende Kraft der Wade künstlich zurückgegeben, Schritt für Schritt beim Zehenabstoss. Mit Hilfe von mehreren Sensoren «weiss» die Prothese immer, in welcher Position eines Bewegungsablaufes sie sich gerade befindet, und führt entsprechende Aktionen aus. Und nicht nur das: Je stärker die Prothese belastet wird, desto mehr Energie liefert sie – wie ein natürlicher Fuss. Somit sind selbst kleine Sprints möglich, aber auch das Gehen auf unebenem Grund und auf Rampen.

Über 1500 Prothesen sind im Einsatz

Inzwischen ist die dritte Generation des Prothesenfusses, der Empower, auf dem Markt erhältlich. Mehr als 250 Personen sind damit unterwegs. Einer von ihnen ist der 32-jährige Dylan. Er sagt: «Der Empower lässt meine Schmerzen verschwinden und gibt mir das Gefühl, meine Beine zurückzuhaben.» Auch Larry ist begeistert: «Die Prothese gibt mir Energie, statt sie mir zu nehmen. So kann ich den ganzen Tag lang aktiv bleiben.»

Die Empower-Prothese ermöglicht sogar das Gehen in schwierigem Terrain – durch direkte Energieübertragung auf den Fuss und den Einsatz von Sensoren.

maxon EC-4pole 30
Ø 30 mm, 200 W, bürstenlos

Rechnet man die Vorgängermodelle des Empowers hinzu, wurden bereits über 1500 Anwender mit Hughs Erfindung ausgestattet. Sein kleines Unternehmen gehört inzwischen zur Ottobock-Gruppe, dem weltweit führenden Anbieter von Prothesen aller Art. Hugh Herr ist als Leiter der biomechatronischen Forschungsgruppe am MIT nach wie vor eng mit dem Ottobock-Entwicklerteam in Boston verbunden und plant, die Prothese weiter zu verbessern. Wiebke Gellersen, Marketingspezialistin bei Ottobock, sagt dazu: «Wir wollen die Einbauhöhe und Fussgrösse des Empowers reduzieren, um die Prothese in Zukunft einer breiteren Anwendergruppe anbieten zu können.»

Verdoppelte Akkulaufzeit

Bereits der Empower ist im Vergleich zu seinem Vorgänger auf ein neues Level gehoben worden. Innerhalb von 16 Monaten hat ein Entwicklerteam den Energieimpuls verfeinert, damit sich das Gehen noch natürlicher anfühlt. Auch das Design wurde verbessert, der Akku ist neu in den Knöchel integriert. Gleichzeitig konnte die Akkulaufzeit verdoppelt werden.

Die aktive Energiezufuhr geschieht über eine Carbonfeder, die wiederum von einem kräftigen, bürstenlosen DC-Motor von maxon angetrieben wird. Zum Einsatz kommt ein EC-4pole 30 Motor, ein Powerpaket, welches für höchste Leistung pro Volumen- und Gewichtseinheit bekannt ist. Gerade bei Prothesen ist das optimale Verhältnis von Grösse, Gewicht und Leistung entscheidend. Die Ingenieure bei maxon motor kennen diese Herausforderung von verschiedensten Anwendungen in der Prothetik und der robotischen Rehabilitation. Entsprechend sagt Paul Balutis, Chefentwickler des Empowers: «maxon motor ist ein grossartiger Lieferant, da er das Technologiefeld der Prothetik versteht.»

Fotos: Marco Moog, Stew Milne, Joshua Stearns

Ein grosser Schritt für kleine Füsse

Marsi Bionics entwickelt Exoskelette für Kinder. Weil sich junge Menschen in ständigem Wachstum befinden, erfordert die Entwicklung solcher Exoskelette eine hohe Ingenieurskunst.

Man kennt sie aus Actionfilmen, Comics und Computergames: Exoskelette, die dem Menschen ungeahnte Kräfte verleihen und ihn mit allen möglichen technischen Raffinessen ausstatten. Doch es gibt sie auch im richtigen Leben, solche Konstruktionen, die den Bewegungsapparat des Menschen unterstützen – wenn auch nicht ganz so spektakulär wie in Hollywoodstreifen. Die Zielgruppe in der realen Welt sind meistens gelähmte oder muskelkranke Menschen. Eine Hürde dabei: Die technisch aufwändigen Exoskelette sind sehr teuer. Ob sie in einigen Jahren oder Jahrzehnten die Rollstühle ersetzen werden, bleibt abzuwarten.

Weil Exoskelette oft relativ starre Konstruktionen sind, die lediglich im Bereich der Gelenke beweglich sind, kommen sie vorwiegend bei erwachsenen Menschen zum Einsatz. Denn hier besteht die Gefahr nicht, dass das Exoskelett dem Träger plötzlich nicht mehr passt. Anders bei Kindern: Ein Exoskelett, das einem Sechsjährigen wie angegossen sitzt, kann ihm bereits ein Jahr später viel zu klein sein. Erschwerend kommt bei muskelkranken Menschen hinzu, dass ihre Muskelmasse mit der Zeit abnimmt – auch darauf sollte man mit einem Exoskelett idealerweise reagieren können.

Genau hier setzt Marsi Bionics an. Das spanische Unternehmen entsprang 2013 als Spin-off aus dem Centre for Automation and Robotics (CAR), einem Joint Venture der spanischen Forschungseinrichtung CSIC und der Technischen Universität in Madrid. Neben Exoskeletten für Erwachsene gehören zum Produkteportfolio von Marsi Bionics auch pädiatrische Exoskelette namens Atlas 2020 und Atlas 2030. Bereits Kinder ab dem Alter von drei Jahren, die an einer neuromuskulären Krankheit leiden, können es benutzen. Relativ leicht lässt sich das 14 Kilogramm schwere Exoskelett an verschiedene Beinlängen und Hüftbreiten anpassen, sodass es auch Teenagern bis zum Alter von etwa 14 Jahren passt.

Die Beweglichkeit bleibt erhalten

Als Therapiegerät unterstützt das Exoskelett die Kinder nicht nur beim Gehen. Es kann auch dem fortschreitenden Verlust der Beweglichkeit – ein Symptom der spinalen Muskelatrophie – entgegenwirken. Hier kommt eine weitere Besonderheit des Atlas 2030 ins Spiel. Das Exoskelett macht sich die Tatsache zunutze, dass Kinder mit spinaler Muskelatrophie nicht völlig gelähmt sind, sondern ihre Beine bis zu einem gewissen Grad selbst bewegen können. Der Atlas 2030 verfügt über Sensoren, die schwache Beinbewegungen registrieren und dann sofort unterstützend eingreifen. Das Kind kann also das Exoskelett direkt mit den Beinen steuern.

«Der Atlas 2030 ist ein Upgrade des Atlas 2020», erklärt Elena García, die Initiatorin und Mitbegründerin von Marsi Bionics. «Während der Atlas 2020 hauptsächlich für die Nutzung in Spitälern – etwa Gehtraining und Rehabilitation – gedacht ist, soll der Atlas 2030 bei den Kindern daheim und im Alltag zum Einsatz kommen.» Beide Modelle sind bereit für die industrielle Produktion und werden auf dem Markt sein, sobald sie die CE-Kennzeichnung (Zertifizierung) erhalten haben. Bis es so weit ist, wird der Atlas 2020 weiterhin in Spitälern in der klinischen Forschung benutzt.

Viel Leistung und platzsparend

Einen Teil zu dieser Ingenieurskunst aus Spanien beigesteuert hat auch der Schweizer Antriebsspezialist maxon motor. An jedem Bein des Exoskeletts kommen fünf Motoren des Typs EC 45 flat zum Einsatz. Die bürstenlosen, flachen Motoren liefern ein besonders hohes Drehmoment auf kleinem Raum. Als Sensoren dienen induktive MILE-Encoder, die Steuerung übernehmen Servocontroller aus der ESCON-Reihe von maxon. «Die EC-flat-Motoren liefern das beste Verhältnis zwischen Leistung, Gewicht und Volumen», sagt Elena García. «Dies ist von grösster Bedeutung, denn ein Exoskelett benötigt viel Leistung, soll aber möglichst leicht und platzsparend sein. Gerade in diesem Punkt müssen wir unser Exoskelett noch weiter verbessern.»

EC 45 flat
Ø 42,8 mm,
bürstenlos, 70 W

Der Rahmen hilft, das Gleichgewicht zu halten – es geht aber auch ohne.

Fotos: Marsi Bionics

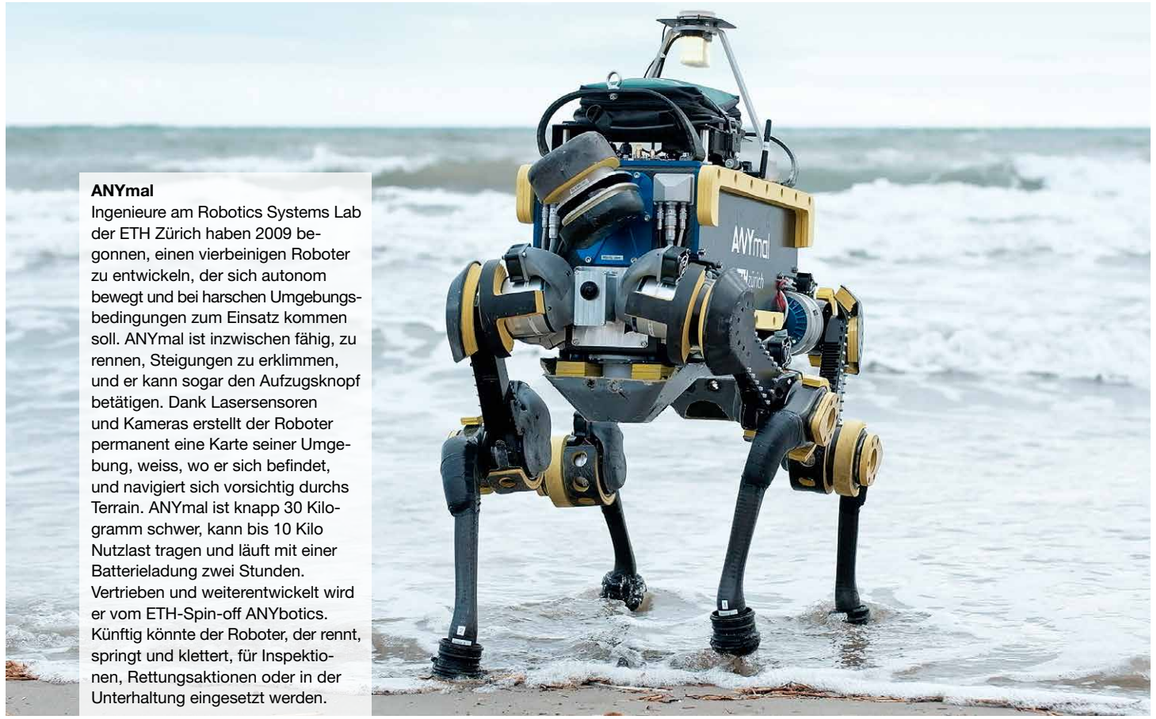
Fauna

Robotica

Nach Millionen von Jahren Evolution hat die Natur viele ausgeklügelte Bewegungsapparate hervorgebracht, an denen sich Ingenieure orientieren, um ihre Roboter besser zu machen. Wir zeigen einige aktuelle technische Entwicklungen, die es in sich haben.

Der bionische Vogel
Es ist zwar nur ein Spielzeug, aber was für eines. Der Bionic Bird sieht genau so aus wie ein Vogel und fliegt auch wie einer. Entwickelt von einem französischen Unternehmen, lässt sich der Bionic Bird über ein Smartphone steuern und erreicht eine Geschwindigkeit von bis zu 20 Kilometern pro Stunde bei einer Reichweite von 100 Metern. Seine Entwickler träumten schon lange von einem elektrisch angetriebenen Vogel, doch erst die leichte Mikrotechnologie machte das Vorhaben möglich. Und so ist der nur neun Gramm schwere Bionic Bird eine spannende Alternative zu den üblichen Propellerdrohnen.

Fotos: Bionic Bird, ETH / ANYbotics, Eelume

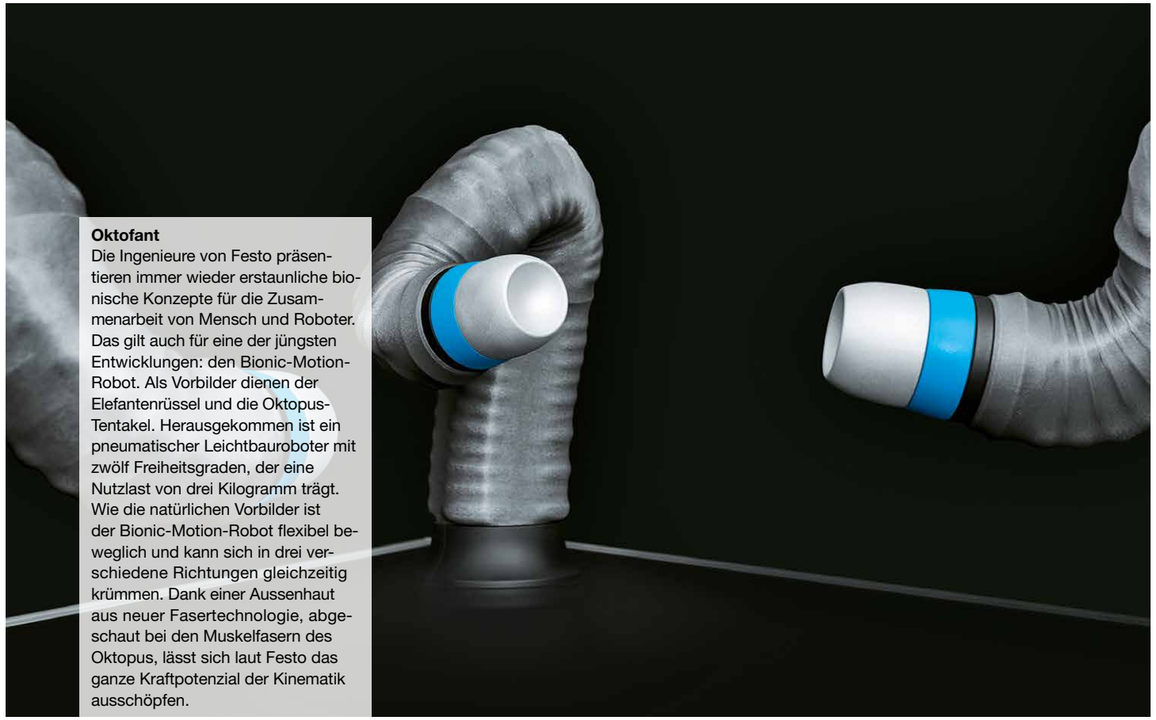


ANYmal
Ingenieure am Robotics Systems Lab der ETH Zürich haben 2009 begonnen, einen vierbeinigen Roboter zu entwickeln, der sich autonom bewegt und bei harschen Umgebungsbedingungen zum Einsatz kommen soll. ANYmal ist inzwischen fähig, zu rennen, Steigungen zu erklimmen, und er kann sogar den Aufzugsknopf betätigen. Dank Lasersensoren und Kameras erstellt der Roboter permanent eine Karte seiner Umgebung, weiss, wo er sich befindet, und navigiert sich vorsichtig durchs Terrain. ANYmal ist knapp 30 Kilogramm schwer, kann bis 10 Kilo Nutzlast tragen und läuft mit einer Batterieladung zwei Stunden. Vertrieben und weiterentwickelt wird er vom ETH-Spin-off ANYbotics. Künftig könnte der Roboter, der rennt, springt und klettert, für Inspektionen, Rettungsaktionen oder in der Unterhaltung eingesetzt werden.

Die Unterwasserschlange
Das norwegische Start-up Eelume hat einen modularen Unterwasserroboter in Form einer Schlange entwickelt, der für Inspektionen, Wartungen und Reparaturarbeiten eingesetzt werden soll. Der schlanke und flexible Körper des Roboters kann lange Distanzen zurücklegen und erreicht auch Stellen, die für konventionelle Unterwasserroboter nicht zugänglich sind. Die Ingenieure arbeiten schon zehn Jahre am Schlangenroboter und entwickeln ihn laufend weiter. In Zukunft soll er permanent auf dem Meeresgrund an einer Dockingstation bleiben und bei Bedarf zum Einsatz kommen. Noch ist die Unterwasserschlange auf ein Kabel angewiesen. Sie ist aber bereits jetzt flexibel und kann mit ihren beweglichen Verbindungsteilen auch als Roboterarm mit montierten Werkzeugen eingesetzt werden. maxon motor liefert für die Verbindungsmodule bürstenlose DC-Motoren in Kombination mit kundenspezifischen Getrieben.

Die Roboterschlange
Dieser Roboter sieht nicht nur aus wie eine Schlange, sondern bewegt sich auch so. Dank seiner unabhängigen Module klettert der Snake-Bot an Hosenbeinen sowie Laternenmasten hoch und ist mit sechs Zentimetern Durchmesser fähig, in enge Spalten zu kriechen – etwa nach einem schweren Erdbeben. Entwickelt hat ihn die Carnegie Mellon University in Pittsburgh (USA). Inzwischen ist daraus das Start-up HEBI Robotics hervorgegangen. In den aktuellen Modulen befinden sich bürstenlose Flachmotoren EC-flat 20 von maxon, da diese Antriebe ein hohes Drehmoment liefern und kurzfristig überlastet werden können, was sich als Vorteil in dieser Anwendung erweist. Pro Schlange kommen rund 20 Module zum Einsatz. Sie werden inzwischen auch zu anderen «Tieren» zusammengesetzt.

Fotos: Carnegie Mellon University, Bionic Bird, Festo



Oktofant
Die Ingenieure von Festo präsentieren immer wieder erstaunliche bionische Konzepte für die Zusammenarbeit von Mensch und Roboter. Das gilt auch für eine der jüngsten Entwicklungen: den Bionic-Motion-Robot. Als Vorbilder dienen der Elefantenrüssel und die Oktopus-Tentakel. Herausgekommen ist ein pneumatischer Leichtbauroboter mit zwölf Freiheitsgraden, der eine Nutzlast von drei Kilogramm trägt. Wie die natürlichen Vorbilder ist der Bionic-Motion-Robot flexibel beweglich und kann sich in drei verschiedene Richtungen gleichzeitig krümmen. Dank einer Aussenhaut aus neuer Fasertechnologie, abgeschaut bei den Muskelfasern des Oktopus, lässt sich laut Festo das ganze Kraftpotenzial der Kinematik ausschöpfen.

Wettbewerb

Haben Sie noch keinen Vogel? Dann machen Sie mit auf Seite 38.

Natürlich gesteuert

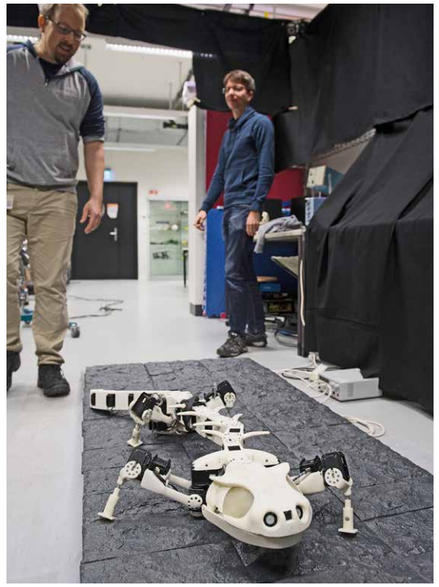
Fotos: Sibylle Kathriner, iStock / DavidHCoder

Die Wirbelsäule ist ein Wunderwerk der Natur – und noch längst nicht vollständig erforscht. Ein Team der Technischen Hochschule in Lausanne baut Roboter, um die Geheimnisse des Rückgrats zu ergründen.

Auke Ijspeert ist Professor an der Technischen Hochschule in Lausanne (EPFL) und dort Leiter des Biorobotics Laboratory (BioRob). Er studierte Physik und doktorierte an der Universität Edinburgh im Bereich Künstliche Intelligenz. Seine Forschungsinteressen liegen an der Schnittstelle zwischen Robotik, informationsverarbeitenden Eigenschaften des Nervensystems, nichtlinearen dynamischen Systemen und maschinellem Lernen.

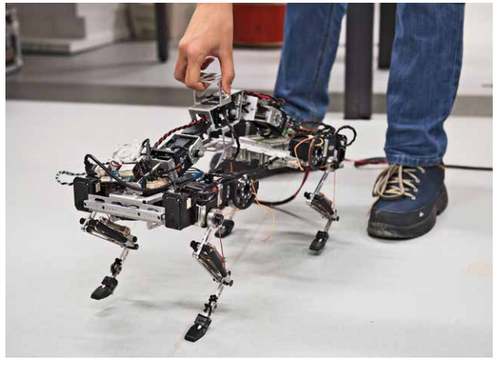
Die Zähne putzen, einen Kaffee zubereiten, eine Tür aufschliessen: Für viele Bewegungen ist das Gehirn die zentrale Steuerinstanz. So gelangt man leicht zum Schluss, dass ohne Hirn gar nichts läuft. Doch das ist falsch. Wenn der Arzt mit einem kleinen Hammer auf unser Knie klopft, schnellt der Unterschenkel nach vorn. Und wenn wir mit der Hand versehentlich eine heisse Herdplatte berühren, ziehen wir sie reflexartig zurück. Für solche Bewegungen ist nicht das Gehirn zuständig, sondern ein anderer Teil des zentralen Nervensystems, nämlich das Rückenmark. Ein etwas makabrer Beweis, dass sich ein Lebewesen auch ohne Gehirn bewegen kann, ist ein geköpftes Huhn. Es flattert noch einige Sekunden umher, nachdem ihm der Kopf abgeschlagen worden ist.

Doch wie funktionieren die motorischen Schaltkreise im Rückenmark? Welche Kontrollmechanismen liegen Bewegungen von Wirbeltieren zugrunde? Diesen und vielen weiteren Fragen geht das 17-köpfige Team von Auke Ijspeert an der Technischen Hochschule in Lausanne (EPFL) nach. Die Forscher haben einen eher aussergewöhnlichen Ansatz für ihre Untersuchungen gewählt: Sie bauen Roboter. Entsprechend heisst ihre Wirkungsstätte Biorobotics Laboratory, kurz Biorob. «Wir nutzen Roboter als wissenschaftliches Werkzeug, um die Fortbewegung von Lebewesen besser zu verstehen», erklärt Auke Ijspeert. Hier geht es also nicht darum, Roboter zu bauen, die möglichst spektakulär aussehen oder eigenständig arbeiten können. «Mit unseren Robotern wollen wir einen Beitrag leisten an die Forschung in den Bereichen der Neurowissenschaften und Biomechanik.» Auch die Evolutionsbiologie profitiere davon. «Bei vielen Tieren übernimmt das Rückenmark die Hauptkontrolle über die Bewegungen, das finde ich sehr faszinierend.»



Peter Eckert (links) und Simon Hauser präsentieren den Pleurobot im Biorobotics Laboratory.

Für Aufsehen sorgten Auke Ijspeert und sein Team mit dem Pleurobot. Was auf den ersten Blick aussieht wie eine Art paläontologischer Skelett-Bausatz, ist in Wahrheit eine raffinierte Nachbildung des Bewegungsapparats eines Salamanders. Wer zusieht, wie sich der von 27 Motoren angetriebene Pleurobot im Wasser und an Land bewegt, dem bleibt nur noch das Staunen. Die Ähnlichkeit zu den natürlichen Bewegungen eines Salamanders ist frappant. Das Biorob-Team hat keinen Aufwand gescheut, um den Pleurobot mit möglichst grosser Ähnlichkeit zu einem Salamander zu konstruieren: Mittels dreidimensionaler Röntgenvideos analysierten sie jedes einzelne Glied eines sich bewegenden Salamanders. Es folgten akribische Berechnungen von Mechanik und Motorik.



«Serval» ist ein vierbeiniger Roboter, mit dem katzenähnliche Fortbewegungen studiert werden. Er besitzt eine spezielle Beinkonstruktion mit Federn, um sich dem Untergrund besser anpassen zu können.

Gehirn steuert nicht allein

Nicht zufällig stehen Amphibien im Fokus der biomechanischen Forschung. Interessant ist ihr Bewegungsapparat, weil er einen graduellen Übergang der Fortbewegung an Land und im Wasser zulässt. Bereits in früheren Jahren hatten Neurobiologen nachgewiesen, dass ein Salamander mittels Stimulation des Rückenmarks quasi «ferngesteuert» werden kann. Eine schwache elektrische Stimulation lässt den Salamander gehen; erhöht man die Stimulation, führt der Salamander nach einem bestimmten Schwellenwert die typischen Schwimmbewegungen aus. Letztlich bedeutet dies, dass das Gehirn eines Salamanders nicht die alleinige Kontrolle über den Bewegungsapparat hat. Vielmehr bilden Rückenmark und Gliedmassen ein fast autonomes Steuerungs- und Bewegungssystem. «Das Gehirn dient lediglich als stimulierende Instanz», so Auke Ijspeert. Auch der Pleurobot funktioniert nach diesem System: Um von der Laufbewegung zur Schwimmbewegung zu gelangen, wird letztlich einfach der Strom erhöht. «Wenn wir den Pleurobot fernsteuern, müssen wir nicht jeden einzelnen Motor kontrollieren. Wir bestimmen – ähnlich wie das Hirn eines Salamanders – lediglich Richtung, Tempo und Intensität des Stimulus.» Die Funktion des Rückenmarks übernimmt beim Pleurobot ein Mikrocontroller, auf dem – vereinfacht erklärt – mathematische Modelle von neuronalen Netzen im Rückenmark eines Salamanders einprogrammiert sind.

Bei vielen Tieren übernimmt das Rückenmark die Hauptkontrolle über die Bewegungen.

Und wozu der ganze Aufwand? «Das Interesse liegt auf einem fundamentalen Verständnis, wie das Nervensystem in Wirbelsäulen funktioniert», erklärt Auke Ijspeert. Dies sei ein sehr komplexes Gebiet und noch lange nicht ausschöpfend erforscht. Gerade weil das Rückenmark gut geschützt im Wirbelkanal der Wirbelsäule liege, seien hier Messungen der neuronalen Aktivität sehr schwierig, gar schwieriger als im Gehirn. «Man kann nicht einfach Elektroden ins Rückenmark eines sich bewegenden Tieres stecken und dann messen, was da vor sich geht.» Er möge diese Verbindung von Biologie und Robotik auch deshalb besonders, weil andere Wissenschaftszweige davon profitieren. Ein grundlegendes Verständnis von Bewegung helfe beispielsweise bei der Herstellung von Neuroprothesen. Erkenntnisse im Bereich der neuronalen Systeme und des Rückenmarks fliessen in die Erforschung von neuen Therapien bei Querschnittslähmung ein.

Weiter hat das EPFL-Team mit dem Envirobot – einem schlangenartigen schwimmenden Roboter – bereits auch die Entwicklung und den Bau eines sogenannten Inspektionsroboters umgesetzt. Er kommt beispielsweise zum Einsatz, um Gewässerverschmutzungen zu registrieren und messen.

Das Team um Auke Ijspeert forscht längst nicht nur an Amphibienrobotern. Auch der katzenartige Roboter namens Serval oder humanoide Roboter gehören zum Inventar des Labors. Für viele Projekte – so auch für den Pleurobot – nutzt das Biorobotics Laboratory DC-Motoren von maxon. Besonders in der Robotik kommen die modularen Dynamixel-Aktuatoren der Firma Robotis zum Einsatz. In diesen Modulen sind hauptsächlich maxon Motoren vom Typ RE-max verbaut, also die bewährten bürstenbehafteten Motoren mit eisenloser Wicklung. «Wir mögen maxon motor sehr», so das Kompliment von Auke Ijspeert an den Schweizer Antriebsspezialisten.

Fotos: Sibylle Kathriner

Im Biorobotics Laboratory werden Roboter als wissenschaftliches Werkzeug entwickelt, um die Fortbewegung von Wirbeltieren besser zu verstehen.

Wie kommt die Intelligenz ins System?

Bei der Planung von Antriebssystemen kommt man um das Thema Motion Control nicht herum. Zum Glück kümmert sich bei maxon motor ein kompetentes Team um alle Fragen rund um die Ansteuerung von Motoren.

Was macht ein Motor ohne Steuerung? Genau: fast gar nichts. Mit einer Spannungsquelle kann man zwar einen bürstenbehafteten DC-Motor zum Drehen bringen – das war es dann aber auch schon. In den unzähligen hochspezifischen Anwendungen, in denen maxon Motoren ihre Arbeit verrichten, bildet eine präzise Ansteuerung das Rückgrat des Systems. Und trotzdem geht manchmal fast vergessen, dass maxon neben Motoren und Getrieben auch passende Steuerungen entwickelt und vertreibt – Motion Control nennt sich heute diese Abteilung. «Ja, manchmal leiden wir schon etwas, wenn nur über Motoren geschrieben wird und nicht über Steuerungen», sagt Abteilungsleiter Patrik Gnos. Doch er fügt schmunzelnd hinzu: «Das treibt uns erst recht zu Höchstleistungen an.»

Eine Steuerung von vielen: das ESCON Module 50/8 Motherboard.

Kompakt und zuverlässig: eine EPOS4-Steuerung.

Der Motion-Control-Chef Patrik Gnos bespricht sich mit seinem Mitarbeiter Markus Stoop.

Fotos: Adrian Venetz / maxon motor

2017 hat maxon 843 000 Steuerungen verkauft. 70 Prozent mehr als im Vorjahr. Der markante Anstieg ist vor allem einem Hersteller von grossen Dieselmotoren zu verdanken. Diesem liefert maxon spezielle Pumpsysteme – bestehend aus Motor, Elektronik und Software – für die Schadstoffreduktion. Bisher sind rund 1,3 Millionen Stück dieser kleinen Pumpsysteme verkauft worden. Weil es den Ingenieuren bei maxon motor gelungen ist, die Herstellungskosten des Antriebssystems massiv zu senken, sind die Stückzahlen in die Höhe geschossen. «Das macht uns natürlich stolz», sagt Patrik Gnos. 45 Personen arbeiten derzeit in der Abteilung Motion Control: Elektroingenieure, Maschinenbauingenieure, Physiker, Informatiker. Vieles dreht sich dabei um das Thema Regelalgorithmus. Was ist damit gemeint?

Ein Algorithmus ist eine Arbeitsanweisung, eine klare Abfolge von Befehlen, um ein bestimmtes Ziel zu erreichen. Auch ein Kuchenrezept ist ein Algorithmus. Solche Algorithmen können clever aufgebaut sein – und auch weniger clever. Beispiel: Beim Kuchenbacken kann man stur jeden Schritt einzeln ausführen, ohne an den nächsten zu denken. Dabei aber verliert man Zeit und hinterlässt ein Chaos in der Küche. Clever ist es zum Beispiel, den Ofen vorzuheizen, bevor der Teig fertig ist. Oder aufzuräumen, während der Kuchen im Ofen ist. Auch in Antriebssystemen braucht es eine Software mit Arbeitsanweisungen für die Hardware. Und je cleverer dieser Regelalgorithmus programmiert ist, desto zuverlässiger und effizienter arbeitet das System. Im Idealfall ist es dank einer ausgeklügelten Software sogar möglich, auf zusätzliche Hardware wie beispielsweise Sensoren zu verzichten. «Genau hier setzen wir mit unserem Know-how an», erklärt Patrik Gnos. «Ein Algorithmus bringt die Intelligenz in ein Antriebssystem.» Und die Optimierung von Algorithmen ist eine ständige Aufgabe bei der Abteilung Motion Control. «Wenn die Kunden das Gefühl haben, wir bieten ihnen bereits die perfekte Steuerung an, dann sind wir schon lange am Überlegen, wie die Steuerung noch besser werden kann.»

Beraten statt nur verkaufen

Das Team der Motion Control steht in einem regen Austausch mit den Kunden. Diese beratende Tätigkeit sei eine der grossen Stärken von maxon, sagt Patrik Gnos. Man unterscheide zwischen Pre-Sales-Support (vor dem Kauf) und After-Sales-Support (nach dem Kauf). Ein typischer Fall beim Pre-Sales-Support: «Der Kunde erklärt uns, welche Funktionalität sein Antriebssystem haben soll. Dann helfen wir ihm bei der Auswahl einer passenden Steuerung», erklärt Patrik Gnos. Unterstützend steht maxon motor dem Kunden auch zur Seite, wenn er das Antriebssystem bereits gekauft hat. «Das kann eine ganz einfache Anfrage sein – zum Beispiel ein Kabel, das nicht am richtigen Ort eingesteckt ist.» Oder wenn die Anbindung an eine übergeordnete Steuerung nicht wunschgemäss funktioniere. «Deshalb ist es uns extrem wichtig, den Kunden zu beraten und betreuen, bevor er ein Produkt bestellt.» Dieser Support von maxon werde global sehr geschätzt.

Vom Komponentenhersteller zum Systemanbieter: Dieser eingeschlagene Weg von maxon motor ist ganz im Sinne von Patrik Gnos. Seit über 20 Jahren setzt er sich dafür ein, den Kunden nicht einfach Einzelkomponenten zu verkaufen, sondern massgeschneiderte Antriebssysteme. Und lachend fügt der Motion-Control-Chef hinzu: «Am liebsten würde ich auch das Branding ändern: maxon statt maxon motor. Eben weil maxon viel mehr kann als Motoren herstellen.»

Mit Rad und Tat

In medizinischen Notfällen muss es schnell gehen. Doch wenn das Krankenhaus weit weg und nur über Sandpisten zu erreichen ist, brauchts andere Lösungen. In Mosambik kommt jetzt ein E-Bike zum Einsatz – getestet vom weltbesten Mountainbiker.

Fotos: Adrian Bretscher

Der Schweizer Nino Schurter hat auf dem Bike alles erreicht. Er ist mehrfacher Weltmeister, Olympiasieger und der aktuell wohl beste Mountainbiker der Welt. Und doch zeigt er sich stark beeindruckt nach dem Besuch eines kleinen Dorfes in Mosambik, im Süden Afrikas, wo die Bewohner schwangere Frauen und andere Patienten mit dem Fahrradanhänger ins nächstgelegene Health Center fahren – über Sandpisten. «Sogar ich als Spitzensportler hätte Mühe, den schweren Anhänger mit Patient zu ziehen», sagt Schurter. Aus diesem Grund hat die Gesundheitsorganisation SolidarMed gemeinsam mit maxon zwei vorhandene Ambulanz-Bikes mit dem Nachrüstkit von maxon Bikedrive ausgestattet. Eine zweijährige Pilotphase soll nun zeigen, ob sich die E-Bike-Ambulanz bewährt.

Nino Schurter unterstützt die E-Bike-Ambulanz als Pate, das Projekt liegt ihm sichtlich am Herzen, weshalb er in Mosambik eine Ausnahme macht und für einmal auf

Die Bewohner eines kleinen Dorfes in Mosambik organisieren für den mehrfachen Olympiasieger Nino Schurter ein Velorennen.

ein E-Bike sitzt, um den schweren Anhänger zu ziehen. Schliesslich will er testen, was die Ambulanz taugt. Seine erste Bilanz: «Der Motor ist robust, aber die Qualität des Velos ist noch nicht gut. Reparaturen sind nur eine Frage der Zeit.» Die Tipps des weltbesten Bikers werden vom Projektleiter der E-Bike-Ambulanz vor Ort dankbar entgegengenommen. Denn der Prototyp soll bis Ende 2019 stetig weiterentwickelt werden. Bei einem Erfolg des Projekts möchte SolidarMed die E-Bike-Ambulanz dann auf die ganze Region ausweiten.

Der Besuch in Mosambik hat Schurter stark beeindruckt. «Die Natur ist wunderschön, und die Menschen sind extrem nett und fröhlich.» Besonders gerührt zeigt er sich von einem Velorennen, welches die Bewohner des Dorfes speziell für ihn organisiert haben und an dem er als Prominenter auch teilnimmt – in diesem Fall ohne Motor.

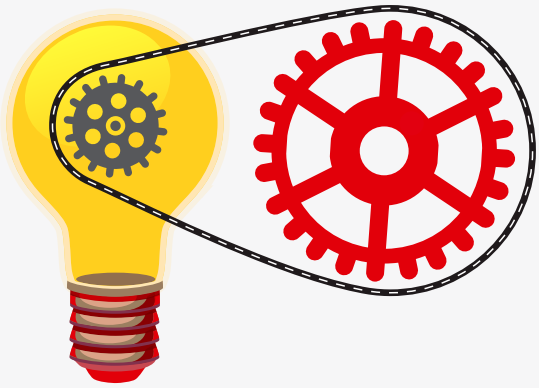
maxon Bikedrive unterstützt das E-Bike-Ambulanz-Projekt von SolidarMed mit zwei Nachrüstkits, die jeweils aus Motor, Batterie und Powergrip bestehen. Der maxon Bikedrive kann in fast jedes beliebige Fahrrad eingebaut werden und ist derzeit nur in der Schweiz erhältlich, bald auch in Deutschland.

www.maxonbikedrive.com

Fotos: Adrian Bretscher

DC-Motoren als Generatoren

Sowohl bürstenbehaftete als auch bürstenlose DC-Motoren lassen sich als Generatoren betreiben. Allerdings gibt es bei der Auslegung des Antriebs einige wichtige Punkte zu beachten.



Hin und wieder werde ich gefragt, ob sich die DC-Motoren von maxon auch als Generatoren eignen. Die kurze Antwort lautet: Ja. Unsere Motoren haben einen hohen Wirkungsgrad – auch im Generatorbetrieb. Die grundlegenden Zusammenhänge zwischen Drehzahl und Spannung sowie zwischen Strom und Drehmoment sind darüber hinaus sehr einfach. Im Folgenden einige Regeln für eine erfolgreiche Auswahl des richtigen Antriebs für den Generatorbetrieb.

Gleich- oder Wechselspannung?

> **Regel #1**
> Um eine Gleichspannung zu erzeugen, wähle einen bürstenbehafteten DC-Motor oder verwende einen bürstenlosen DC-Motor (EC) mit Spannungsgleichrichter. Um eine Wechselspannung zu erzeugen, wähle einen bürstenlosen DC-Motor und kontaktiere nur zwei Phasen. Hallsensoren werden nicht benötigt.

Drehzahlkonstante k_n

Generatoren werden häufig bei Drehzahlen von 1000 UpM oder darunter betrieben. Für unsere kleinen DC-Motoren ist dies eine sehr tiefe Drehzahl. Um 10 V oder mehr bei 1000 UpM zu generieren, benötigt man eine Drehzahlkonstante von 100 UpM/V oder weniger. Die entsprechenden Wicklungen sind im maxon motor Portfolio nicht einfach zu finden. Nur ein paar hochohmige Wicklungen bei grösseren Motoren erfüllen diese Bedingung. Kleinere Motoren haben dagegen höhere Drehzahlkonstanten.

Tabelle 1 zeigt eine Auswahl von Motoren mit tiefer Drehzahlkonstante (oder hoher Generatorkonstante = erzeugter Spannung pro Drehzahl). Meist hat nur die Motorwicklung mit dem höchsten Widerstand eine Drehzahlkonstante von unter 100 UpM/V.

> **Regel #2**
> Ohne Berücksichtigung der Last sollte die Motorwicklung eine Drehzahlkonstante von $k_n < \frac{n}{U}$ oder kleiner haben.

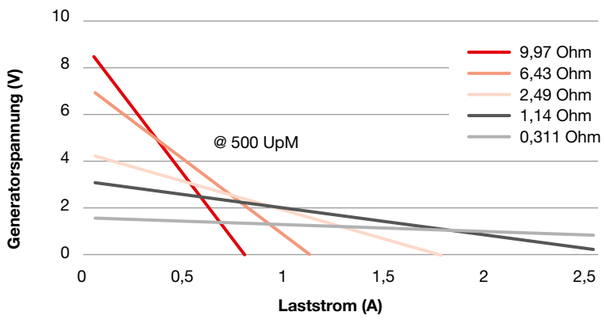
Als Alternative kann die Motordrehzahl auch durch ein Getriebe erhöht werden (siehe nächste Seite).

Widerstand

Regel #2 verlangt nach Motoren mit hoher Generatorkonstante. Leider haben diese Wicklungen ebenfalls hohe Widerstände. Ein hoher Widerstand reduziert die Ausgangsspannung unter Last, und die Ausgangsspannung reagiert empfindlich auf den Laststrom.

Motortyp	Drehzahl-konstante k_n	Spannung pro 1000 UpM	Anschluss-widerstand	Bemerkung
DCX 32 L	97,9 UpM/V	10,2 V	4,1 Ω	Wicklung mit tiefstem k_n
DCX 26 L EB	111 UpM/V	9,0 V	11,6 Ω	Wicklung mit tiefstem k_n
RE 50 GB	39,5 UpM/V	25,3 V	3,9 Ω	Wicklung mit tiefstem k_n
RE 40 GB	56,2 UpM/V	17,8 V	10,2 Ω	tieferes k_n möglich
RE 25 GB	97,8 UpM/V	10,2 V	36,8 Ω	Wicklung mit tiefstem k_n
EC-max 40	76,1 UpM/V	13,1 V	7,2 Ω	Wicklung mit tiefstem k_n
EC-i 40 HT 70W	104 UpM/V	9,6 V	2,0 Ω	Wicklung mit tiefstem k_n
EC-i 40 HT 100W	104 UpM/V	9,5 V	0,9 Ω	Wicklung mit tiefstem k_n
EC-flat 45 50W	95 UpM/V	10,5 V	7,5 Ω	Wicklung mit tiefstem k_n
EC-flat 45 70W	72,7 UpM/V	13,7 V	6,9 Ω	Wicklung mit tiefstem k_n
EC-flat 60 100W	83,4 UpM/V	12,0 V	1,1 Ω	Wicklung mit tiefstem k_n

Auswahl von Motoren mit tiefer Drehzahlkonstante.



Die Spannung-Strom-Kennlinien verschiedener Wicklungen des DC-Motors RE 40 mit Edelmetallbürsten bei 500 UpM. Man beachte die unterschiedliche Steigung jeder Wicklung.

momentanforderungen zu erfüllen, muss oft ein Motor mit viel höherer Typenleistung verwendet werden als verlangt. Insbesondere, wenn die Drehzahl verglichen mit typischen Motordrehzahlen eher tief ist.

Grenzen bezüglich Drehmoment und Drehzahl

Das Drehmoment des Antriebs bestimmt die Grösse und den Typ des Motor-Generators. Der Motor benötigt ein Dauerdrehmoment, das höher ist als das Drehmoment des Generators. Beim Bestimmen des Drehmoments oder des Laststroms ist die Betriebsart zu berücksichtigen. Läuft der Generator dauernd während langer Zeit, in intermittierenden Betriebszyklen oder nur während kurzer Intervalle? Entsprechend benötigt man einen DC-Motor mit genügend Dauerdrehmoment oder Dauerstrom. Auch die Grenzdrehzahl des Motors muss respektiert werden. Allerdings ist dies aufgrund der eher tiefen Drehzahlen meist keine Herausforderung.

Grenzen bezüglich Strom und Spannung

Die passende Wicklung eines gegebenen Motortyps ergibt sich aus den Anforderungen für Strom und erzeugter Spannung. Die Wicklung muss die geforderte Spannung U auch unter Last erzeugen können. Unter der Annahme einer festen Generatordrehzahl n muss die erzeugte Spannung U_t der Wicklung grösser sein als U

$$U_t = \frac{n}{k_n} - R_{mot} \cdot I_L > U$$

Ohne Berücksichtigung des Laststroms wählt man die Drehzahlkonstante gemäss Regel #2: Die Wicklung braucht also einen genügend hohen Widerstand. Da die erlaubten Ströme mit zunehmendem Widerstand abnehmen, sollte man prüfen, ob der Dauerstrom nach wie vor ausreicht.

Das Diagramm zeigt sehr schön die gegenläufigen Effekte von verschiedenen Wicklungen.
- Je höher der Wicklungswiderstand, desto höher die erzeugte (Leerlauf-)Spannung.
- Aber: Je höher der Wicklungswiderstand ist, umso empfindlicher reagiert die Ausgangsspannung auf Stromänderungen.

Diese gegenläufigen Effekte können bis zu einem gewissen Grad vermieden werden, indem man grössere Motoren auswählt, welche kleinere Widerstände für dieselbe Generatorkonstante aufweisen (gemäss Regel #3).

Getriebe-Motor-Kombinationen

Regel #4

Verwende Getriebe, um sehr tiefe Drehzahlen zu erhöhen. Allerdings sind die maxon motor Getriebe nur bedingt für Übersetzungen in höhere Geschwindigkeiten geeignet. Am besten eignen sich Getriebe, die rückdrehbar sind: Also Planetengetriebe mit einer oder zwei Stufen sowie Stirnradgetriebe (oder Spezialanfertigungen).

Gründe für die Verwendung von Getriebe-Motor-Kombinationen liegen in den oft sehr langsamen Antriebsmechanismen bei Generatoren; da sie zum Beispiel durch Wind, Wasser oder von Hand angetrieben werden. Einige beachtenswerte Aspekte und Empfehlungen dazu:
- Getriebe werden in diesen Fällen von der Abgangsseite her angetrieben. Allerdings sind die maxon Getriebe nicht speziell auf Rückdrehbarkeit ausgelegt, und der Wirkungsgrad ist eher bescheiden.
- Getriebe mit hoher Untersetzung (drei Stufen und höher) sind nicht rückdrehbar; sie drehen also nicht, wenn sie mit dem maximalen Dauerdrehmoment angetrieben werden. Besser geeignet sind ein- oder zweistufige Planetengetriebe. Diese können meist von der Abgangsseite her angetrieben werden.
- Noch besser sind Stirnradgetriebe. Sie sind viel leichter rückdrehbar, und der Wirkungsgrad in diese Richtung ist höher.

Spezialfall: DC-Motor als DC-Tacho

Regel #5

Für DC-Tachos verwende DC-Motoren mit Edelmetallbürsten. Wähle die Wicklung gemäss der geforderten Tachospannung und dem Drehzahlbereich deiner Anwendung. Der Wicklungswiderstand spielt hier keine Rolle, solange der Lastwiderstand einige kΩ gross und die Ströme entsprechend klein sind.

Regel #3

Um eine stabile Spannung über einen grossen Lastbereich zu erhalten, wähle eher einen grossen DC-Motor, wo der Widerstand relativ tief ist – auch bei grosser Generatorkonstante.
Die bürstenlosen EC-i 40 High Torque Motoren von maxon sind in dieser Hinsicht sehr interessant.

Leistungseinschränkungen

Den Motor-Generator sollte man nicht nur aufgrund der Leistung wählen. Um die Dreh-

Foto: maxon motor ag

drive.tech
Mehr Fachberichte und Blogbeiträge von unseren maxon Experten finden Sie auf **www.drive.tech**

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.

Hüpf
und weg

Für viele Roboter bilden Treppen unüberwindbare Hindernisse. Ein junges Team der ETH Zürich baut ein Gefährt, das Stufen mit Leichtigkeit überwinden soll – und zwar hüpfend.

maxon EC frameless 90 flat
bürstenlos, 260 W

Ascento – so lautet der schlichte Name der ausgefeilten Konstruktion von acht Maschinenbau- und einem Elektroingenieurstudenten der ETH Zürich. Der Roboter hat es in sich: Er fährt und balanciert auf zwei Rädern. Dies ist technisch zwar einiges schwieriger zu realisieren als ein Gefährt auf vier Rädern, doch die Beweglichkeit und die Anpassung an unterschiedliche Terrains sind mit einem sogenannten «bipedal robot» besser möglich.

Damit nicht genug: Das Hauptziel der neun angehenden Ingenieure ist es, den Roboter springen zu lassen. Wie ein Känguru soll er mit einem kräftigen Satz in die Höhe schnellen und wieder sicher auf seinen zwei Rädern landen. «Damit könnte der Roboter Treppen und andere Hindernisse bewältigen», erklärt Student Florian Weber. Das Ascento-Team ist im Rahmen eines Fokusprojekts entstanden. Hierbei haben Bachelor-Studenten verschiedener Fachrichtungen die Möglichkeit, ihr theoretisches Wissen an einem konkreten Projekt anzuwenden – von der Idee bis zum funktionsfähigen Prototyp.

Speziell am Ascento ist, dass es sich bei dieser Konstruktion quasi um ein inverses (umgekehrtes) Pendel handelt. Der Schwerpunkt liegt oberhalb der Achse. Folglich kann der Ascento nur aufrecht stehen und fahren, wenn er mit Strom versorgt wird und aktiv versucht, mit den Rädern die Balance zu halten. (Ähnlich wie ein stehender Mensch kontinuierlich Energie aufbringen muss, um das Gleichgewicht zu halten.) Vergleichbar ist der Ascento damit mit einem Segway: Auch hier wird das Gefährt von zwei Rädern angetrieben, die auf derselben Achse liegen, und es braucht eine geregelte Antriebstechnik, um die Balance zu halten.

Einsatzmöglichkeiten für den Ascento liegen etwa im Bereich der Inspektionsrobotik in Gebäuden. Das Gefährt könnte beispielsweise in einsturzgefährdete oder brennende Häuser gebracht werden. Eine eingebaute Kamera liefert dann den Rettungskräften ausserhalb des Gebäudes wertvolle Informationen. Für solche Einsatzzwecke gibt es zwar schon verschiedene Roboter. «Doch gerade beim Treppensteigen kommen viele Roboter an ihre Grenzen», sagt Marcus Vierneisel, ebenfalls ein Mitglied der neunköpfigen Fokusgruppe. Der Ascento soll die Treppen im Schritttempo eines Menschen bewältigen können. Durch die leichte und zweirädrige Konstruktion ist der Ascento ohnehin agiler unterwegs als andere Roboter. «Grössere Roboter können dafür mit der Umwelt interagieren. Dies kann Ascento nicht», ergänzt Maschinenbaustudent Lionel Gulich. Ausgestattet mit Sensoren, könne Ascento dafür in kurzer Zeit ein Gebäude auskundschaften und die Räume in 3D scannen. Der Prototyp wird natürlich noch nicht in der Lage sein, eigenständig ein ganzes Haus abzufahren. Er soll aber beispielsweise ferngesteuert auf eine Treppe zufahren und dann mittels Sensoren selbst ausmessen und berechnen können, welche Sprunghöhe und -weite nötig ist, um die einzelnen Treppenstufen zu bewältigen. «Jeden einzelnen Sprung mittels Fernsteuerung auszulösen, wäre viel zu kompliziert und langsam», gibt Florian Weber zu bedenken. Der Ascento fällt damit in die Kategorie halbautonomer Roboter.

Ob aus dem Fokusprojekt und dem Ascento-Prototyp dereinst tatsächlich ein serienreifer Inspektionsroboter werden kann, ist noch offen. Dies ist aber nicht das vordringliche Ziel. Ein Fokusprojekt dient den jungen ETH-Studierenden in erster Linie dazu, sich an ein konkretes Projekt zu wagen, statt nur Theorie zu büffeln.

Fachlich und finanziell unterstützt werden die angehenden Ingenieure vom Antriebsspezialisten maxon motor, dies im Rahmen des Young Engineers Program (YEP) von maxon. Angetrieben wird der Ascento unter anderem mit zwei maxon Motoren des Typs EC 90 flat. Das Drehmoment von 963 mNm, das diese Motoren liefern, ist für die Fahrt des Roboters auf einer Ebene eigentlich überdimensioniert. Ihre Stärke bringen die Motoren beim Ausbalancieren des Ascento bei der Landung auf einer schmalen Treppenstufe ins Spiel, denn hierfür sind grosse und präzis gesteuerte Drehmomente nötig. Die ETH-Studenten haben sich für die Frameless-Ausführung der Motoren entschieden. Hier werden Rotor und Stator getrennt und ohne Antriebswelle ausgeliefert. Erst bei der Integration in ein System werden Rotor und Stator miteinander verbunden. Gerade in der Robotik sind die Frameless-Motoren von maxon oft die erste Wahl, weil sie eine platzsparende und elegante Einbindung in Gelenkstrukturen ermöglichen. Angesteuert werden die beiden Motoren von je einem EPOS4-Modul.

Young Engineers Program

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

Jetzt bewerben:
www.drive.tech

Studenten der ETH Zürich bauen einen Roboter mit dem gewissen Etwas: den hüpfenden Ascento.

Fotos: Adrian Venetz / maxon motor

Wie Kunden vom **digitalen Wandel profitieren**

«Wie bist du bankrott gegangen? Auf zweierlei Weise. Erst schleichend, dann plötzlich.» Diese Zeilen aus Hemingways Roman «Fiesta» finden ihren Widerhall in einem wirtschaftlichen Umfeld, in dem sich Unternehmen digitalen Herausforderungen gegenübersehen. Dies betrifft agile, junge Start-ups ebenso wie die Platzhirsche der Branche.

Autor: Ning Liu

Fotos: Jeremias Wieland / maxon motor ag

Ning Liu ist Global Digital Manager bei maxon motor. Er stammt aus China und hat in Shanghai Künstliche Intelligenz und Robotik studiert. Darauf aufbauend, hat Ning sein MBA an der IMD in Lausanne absolviert und dabei die Schweiz kennen gelernt. Er analysiert innerhalb der maxon Gruppe das Potenzial in den Bereichen Digitalisierung und Virtuelle Realität.

Statistiken zufolge ist die durchschnittliche Lebenserwartung von Unternehmen in den S&P 500 von 61 Jahren im Jahr 1958 auf etwa 20 Jahre gesunken. Wir bei maxon motor fragen uns deshalb immer: Wie können wir in dieser sich schnell verändernden Welt erfolgreich sein? Wie können wir unseren Kunden höheren Mehrwert anbieten?

Der Wandel ist allgegenwärtig

Die Grenzen zwischen Branchen werden neu definiert, Zugang zu Unternehmensressourcen ist wichtiger als Eigentum, lineare Wertschöpfungsketten werden zu digital vernetzten Ökosystemen. Um in diesem neuen Umfeld überleben zu können, benötigen Firmen eine Strategie für den digitalen Wandel. Der digitale Wandel ermöglicht es Organisationen, sich selbst neu zu erfinden – den Kern des Unternehmens zu transformieren, neue Quellen der Wertschöpfung zu finden und zu nutzen.

Der «digitale Windpark» von General Electric ist ein sehr gutes Beispiel: Eingebettete Sensoren und Steuereinheiten in Windenergieanlagen sind vernetzt und kommunizieren auf mehreren Ebenen. Die Turbinenblätter können die Umgebung wahrnehmen. Durch Technologien wie Radar und Lidar erfahren sie, aus welcher Richtung der Wind weht. Motoren passen den Anstellwinkel der Rotorblätter den Windverhältnissen an. Auf diese Weise wirken die Anlagen des gesamten Windparks zusammen, kommunizieren und optimieren sich selbst entsprechend den herrschenden Bedingungen; selbst Unterschiede im Mikroklima innerhalb des Parks werden berücksichtigt. Informationen über Kosten und Qualität der generierten Energie können dann an das Versorgungsunternehmen gesendet werden. Dieses wiederum kann dadurch seine Planung so gestalten, dass bei günstigen Windverhältnissen auf andere Energieressourcen wie Kohle und Gas verzichtet werden kann. All das geschieht mit Hilfe Cloud-basierter Plattformen. Diese bilden die digitale Infrastruktur für den Windpark und ermöglichen die Erhebung, Visualisierung und Analyse von Daten für einzelne Anlagen oder den gesamten Standort.

Der digitale Wandel bei maxon

Wie nutzen wir bei maxon als globale Organisation das Potenzial des digitalen Wandels? Wir digitalisieren jedes einzelne Glied unserer Wertschöpfungskette. Dies umfasst auch die Schaffung von digitalen Marketing- und Vertriebsaktivitäten, die uns ein besseres Verständnis unserer Kunden ermöglichen. Unsere Kunden können bereits heute Antriebssysteme entsprechend ihren Bedürfnissen selber online konfigurieren. Darüber hinaus verbessern wir laufend unsere digitale Fertigung, um beste Qualität, Flexibilität und pünktliche Lieferung zu gewährleisten. Nicht zuletzt arbeitet maxon an intelligenten Produkten für die vorausschauende Instandhaltung.

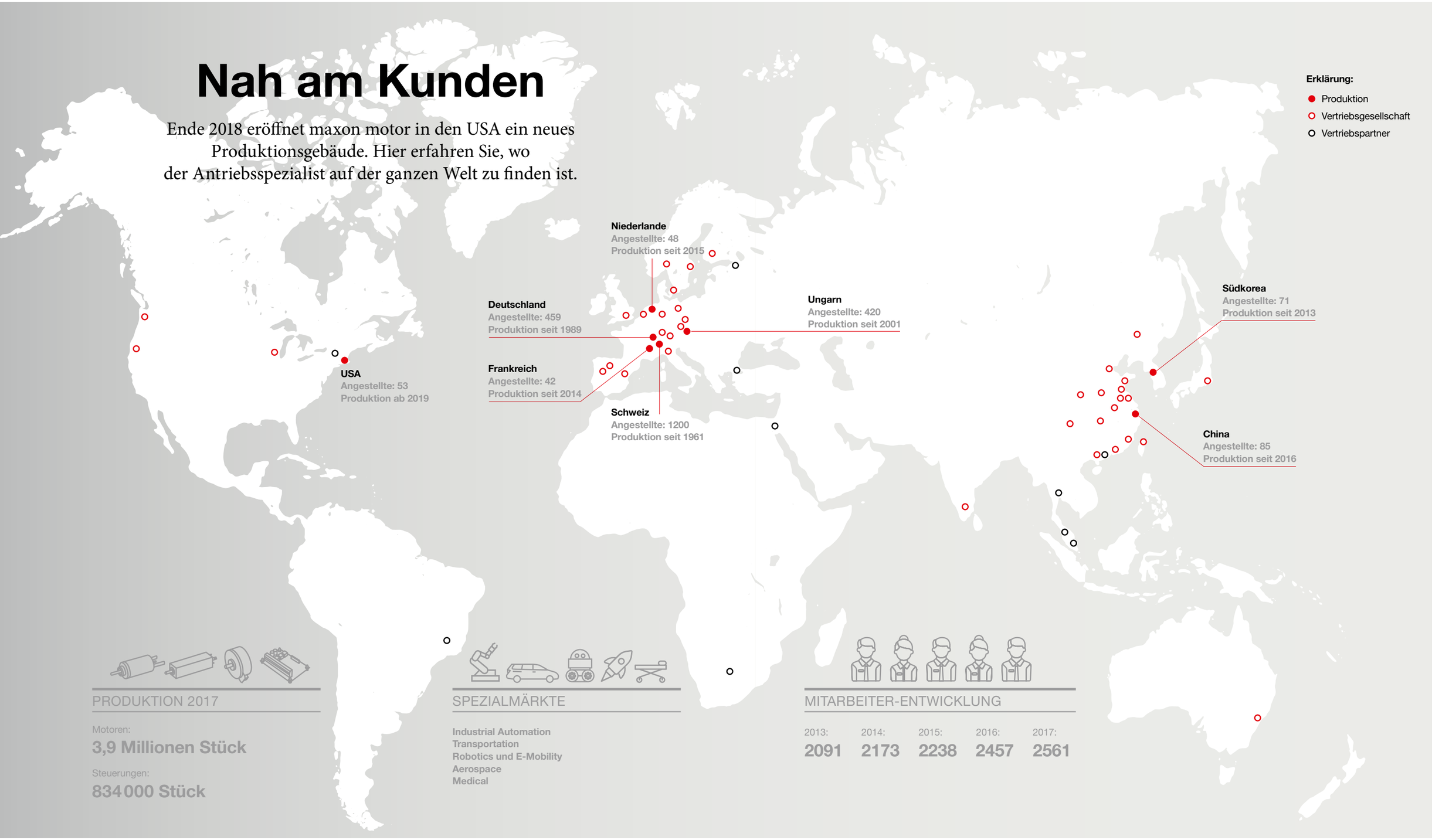
Wie Kunden profitieren

Roboter «gehen» in die Fabrik und arbeiten Hand in Hand mit Menschen – bereits heute. Wir integrieren kooperierende Roboter wie YuMi von ABB Robotics in unsere Produktion und Montage, um Qualität und pünktliche Lieferung unserer Produkte zu gewährleisten. Gleichzeitig können unsere intelligenten Bewegungssteuerungen mit Funktionen des Internet of Things (IoT) automatisch mögliche Mängel und Lebensdauerwarnungen erkennen und entsprechende Meldungen an Kunden senden. Aber das ist noch nicht alles. Die Integration von Künstlicher Intelligenz, z. B. als visuelle Qualitätskontrolle durch Computer, ist Teil unseres kontinuierlichen Bestrebens, unseren Kunden die beste Qualität zu liefern.

drive.tech
Mehr Blogbeiträge und Fachberichte finden Sie auf **www.drive.tech**

Nah am Kunden

Ende 2018 eröffnet maxon motor in den USA ein neues Produktionsgebäude. Hier erfahren Sie, wo der Antriebsspezialist auf der ganzen Welt zu finden ist.



PRODUKTION 2017

Motoren:
3,9 Millionen Stück

Steuerungen:
834 000 Stück

SPEZIALMÄRKTE

Industrial Automation
Transportation
Robotics und E-Mobility
Aerospace
Medical

MITARBEITER-ENTWICKLUNG

2013:	2014:	2015:	2016:	2017:
2091	**2173**	**2238**	**2457**	**2561**

Wettbewerb

In welchem Land eröffnet maxon motor Ende 2018 eine neue Produktionsstätte?

Die Antwort findet sich in diesem Magazin. Einfach die Lösung per E-Mail senden an:
driven@maxonmotor.com

Zu gewinnen gibt es drei Mal eine Vogel-Drohne Bionic Bird Deluxe Edition. Diese lässt sich über ein Smartphone steuern, hat eine Reichweite von 100 Metern und erreicht Geschwindigkeiten von bis zu 20 Kilometern pro Stunde.

Teilnahmeschluss ist der 30. Juni 2018

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

Folgen Sie uns auf Twitter: @maxonmotor **und Facebook:** Erfahren Sie mehr über uns und nehmen Sie Kontakt auf.

Mehr spannende News, Storys und Blogs rund um Antriebstechnik finden Sie auf: **www.drive.tech**

Impressum

Herausgeber: maxon motor ag
Redaktion: Stefan Roschi, Adrian Venetz
Copyright: © 2018 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 (Editorial Design)
Korrektorat: Franz Scherer
Druck: Druckerei Odermatt AG

Erscheinungsweise: 2-mal pro Jahr
Sprachen: Deutsch, Englisch, Chinesisch
Auflage: 10500 (dt.), 6500 (engl.) 2000 (chin.)

driven online: magazin.maxonmotor.ch

Foto: Bionic Bird

Bereit für den **Roten Planeten**

Dieser bürstenlose DC-Motor EC 32 flat mit Rastmomentbremse ist speziell für die nächste Mars-Mission der NASA optimiert worden. Nichts kann ihn erschüttern, weder starke Schläge noch Vibrationen beim Raketenstart. Der Motor hält Temperaturen von –130 bis +115 Grad stand. Seine Aufgabe: im Innern des Mars-Rovers zusammen mit anderen maxon Antrieben die Bodenproben handhaben.

Foto: Studio Willen