DRIVEN

by
maxon motor

leise Revolution

___ **Wie E-Mobility unsere Zukunft verändern wird.** S. 10

___ **Warum ein Fossil die Robotik-Ingenieure begeistert.** S. 40

Inhalt

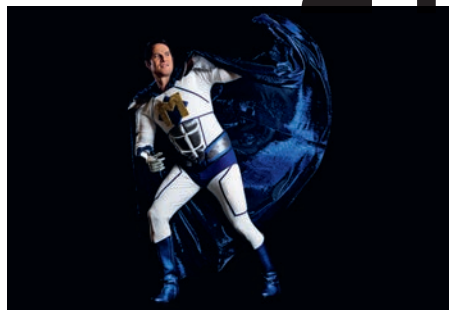
Fokus __E-Mobility
Die Fortbewegung macht Fortschritte.

10

22

Fokus __Rebroboter
Warum von Hand jäten, wenn es auch mit Ingenieurkunst geht?

24



Special __Cybathlon
Seine Handprothese ist kein Hindernis, sondern ein Heldenstück.

16

Fokus __Shell Eco-Marathon
Antriebssysteme von maxon lassen Studierende jubeln.

20

energy to go

Fokus __Batterie-Know-how
Ohne sie geht nichts in der E-Mobility: Akkus. Und fleissig wird an neuen Technologien geforscht.

27

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

18

Infografik
Wie aus Komponenten vielfältige Systeme werden.

Impressum

Herausgeber: maxon motor ag
Redaktion: Stefan Roschi, Adrian Venetz
Realisation: Infel AG
Projektleitung: Bärbel Jördens
Gestaltung: Angélique El Morabit
Korrektorat: Franz Scherer
Druck: Druckerei Odermatt AG
Erscheinungsweise: 2-mal pro Jahr
Sprachen: Deutsch, Englisch, Chinesisch
Auflage: 10 500 (dt.), 7500 (engl.), 2000 (chin.)

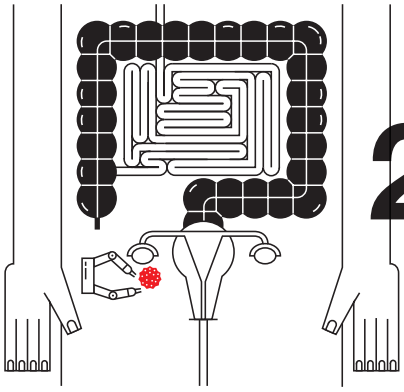
Copyright: © 2019 by maxon motor ag, Sachseln. Nachdruck nur mit schriftlicher Genehmigung.

driven online: magazin.maxonmotor.ch

Folgen Sie uns

Mehr spannende News, Storys und Fachberichte finden Sie auf unserem Blog: **www.drive.tech**

Fotos: Leon Neal/Getty Images (Cover); Krisztian Bocsi/Bloomberg via Getty Images; Vitrover; Philipp Schmidli; TUfast; maxon motor; Melke Herkersdorf / wz; Anita Allemann; Foccus; Fred Merz/lundi13;



Innovation __Operationsroboter
Operieren ohne Skalpell: Kleinstroboter finden andere Wege in den Körper.
28

maxon inside __Reinraum
Hightech und Schmutz vertragen sich nicht.
30

33
Expertise
Was hat es mit der Induktivität in Motoren auf sich?

38
Innovation __YEP-Bericht
Saubere Abwasserkanäle dank jungen Technikern.

40

Innovation __Gastartikel
Robotik-Experte Kamilo Melo gibt einen Einblick in seine Forschung.

43
Wettbewerb
Mitmachen und **gewinnen**

Eugen Elmiger,
CEO maxon Group

Wohin bewegen wir uns in Zukunft?

Wer hätte vor 50 Jahren gedacht, dass eine Familie mit ihrem Privatauto in die Ferien fahren kann, ohne einen Tropfen Benzin zu verbrauchen? Dass auch untrainierte Biker mit ihrem Velo einen Ausflug in die Bergwelt unternehmen können? Dass in Rebbergen keine Menschen, sondern Roboter das Unkraut beseitigen? Nur drei von unzähligen Beispielen, die zeigen, welchen Einfluss elektrische Antriebssysteme auf unseren Alltag und unsere Mobilität haben. Im neuen «driven» stellen wir Ihnen, liebe Leserinnen und Leser, neue Entwicklungen und Trends rund um das Thema E-Mobility vor.

Weiter lesen Sie in dieser Ausgabe, in welch vielfältigen Anwendungen Antriebssysteme von maxon zum Einsatz kommen. Zudem geben wir Ihnen einen Einblick in unsere Akku-Entwicklung sowie in unsere neuen Reinräume. Und wer es ganz genau wissen will, findet einen fundierten Fachartikel zum Thema Induktivität in eisenbehafteten Gleichstrommotoren.

Wir wünschen Ihnen eine spannende Lektüre.

maxon steigt bei Team Emirates ein

maxon motor wird offizieller Lieferant des Emirates Team New Zealand für den 36. America's Cup, einschliesslich der Wettfahrten zur America's Cup World Series und des Christmas Race. Als dreimaliger Gewinner des America's Cup war Emirates Team New Zealand der erste nichtamerikanische Teilnehmer, der den Pokal erfolgreich verteidigte. Für das Projekt Titelverteidigung im 36. America's Cup, vom 6. bis zum 21. März 2021 in Auckland, kann das Team auf die Unterstützung von maxon zählen. Die America's-Cup-Klassenregel AC75 erlaubt den Einsatz von Elektromotoren zum Antrieb von Hydraulikventilen, Kupplungen, Rudern und Flügeln. Den Teams ist darüber hinaus die Verwendung von Motoren zur Steuerung von Simulatorplattformen und Prüfvorrichtungen erlaubt.

Foto: Gregory Bull/Keystone

OMEGA

Grossbritannien

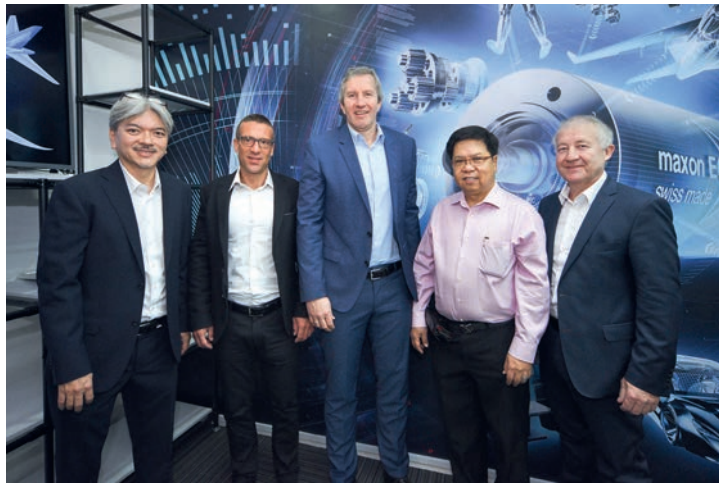
maxon motor übernimmt Motoren-hersteller Parvalux

Die maxon motor Gruppe wächst weiter. Sie hat im Dezember 2018 den britischen Hersteller von Getriebemotoren Parvalux Electric Motors Ltd übernommen. Parvalux besitzt mehr als 70 Jahre Erfahrung in der Entwicklung und Produktion von bürstenbehafteten DC-Motoren, AC-Motoren sowie Getrieben. Das Unternehmen beschäftigt 185 Mitarbeitende in drei Produktionsstätten in Bournemouth und erzielt einen Umsatz von 23 Millionen britischen Pfund. Mit der Eingliederung von Parvalux vergrössert maxon das Portfolio und macht einen weiteren wichtigen Schritt hin zum kompletten Systemanbieter. Zudem eröffnen sich spannende Märkte im Bereich der Medizintechnik (Treppenlifte, elektrische Rollstühle und mehr) sowie Industrie (Robotik, Transportsysteme).
«Wir wollen langfristig die Nummer eins im Antriebsmarkt sein und unseren Kunden den bestmöglichen Service bieten», sagt maxon CEO Eugen Elmiger. Und Verwaltungsratspräsident Dr. Karl-Walter Braun ergänzt: «Ich bin überzeugt, dass Parvalux mit seinen Qualitätsprodukten und seinem Know-how zu diesem Ziel beitragen und die maxon Welt hervorragend ergänzen wird.»

Ende des Mars-Abenteuers

Lebe wohl, lieber Opportunity

90 Tage hätte der Opportunity Rover der NASA ursprünglich durchhalten müssen. 15 Jahre ist er schliesslich auf dem Mars herumgefahren, hat 45 Kilometer zurückgelegt und viele wissenschaftliche Resultate zur Erde gesendet. Dann ist ihm ein Sandsturm zum Verhängnis geworden. Im Sommer 2018 ist der Kontakt abgebrochen. Nun hat die NASA offiziell das Ende der Mission verkündet. Die Ingenieure bei maxon sind ein wenig traurig, aber auch stolz. Denn im Opportunity waren 35 DC-Motoren verbaut, die ihre Aufgaben bravourös meisterten.



Neue Vertriebsgesellschaften

Direktbetreuung für Israel und Südostasien

maxon motor baut sein weltweites Vertriebsnetz aus und hat dafür zwei neue Vertriebsgesellschaften gegründet. Dies betrifft einerseits den Wirtschaftsraum Südostasien, wo maxon bereits seit Anfang der Neunzigerjahre durch den exklusiven Vertriebspartner Servo Dynamics Pte Ltd in Singapur vertreten ist. Diese Partnerschaft ist nun auf ein neues Level gehoben worden. Gemeinsam haben die Parteien die Vertriebsgesellschaft Südostasien gegründet, womit maxon motor nun die Kunden in Singapur, Malaysia, Indonesien, Thailand, Vietnam, Hongkong oder den Philippinen direkt bedienen kann.
Gleichzeitig hat das Unternehmen eine Vertriebsgesellschaft in Israel gegründet und dazu einen Standort in Caesarea, nördlich von Tel Aviv, eröffnet. Bereits in der Vergangenheit waren israelische Kunden in der Lage, maxon Produkte über Partner vor Ort zu beziehen. Neu erhalten israelische Kunden Support durch maxon Spezialisten und profitieren vom weltweiten Netzwerk der maxon Gruppe mit acht Produktionsstandorten sowie mehreren Forschungs- und Entwicklungszentren.

Zahl

1897

Damals, vor 122 Jahren, wurde eine Maschine zur Herstellung von Zuckerwatte erfunden und zum Patent angemeldet – und zwar ausgerechnet von einem Zahnarzt. Seither wird diese Süssigkeit weltweit an Jahrmärkten und Volksfesten genossen. In einer Zuckerwattemaschine wird Zucker erhitzt, verflüssigt und mit Zentrifugalkraft wieder abgekühlt und zu hauchdünnen Fäden gesponnen. In vielen solchen Maschinen findet man Antriebe des britischen Unternehmens Parvalux, das seit 2019 zur maxon Gruppe gehört.

Fotos: maxon motor; Choe Hyeonsu/shutterstock

NASA/DLR

InSight hämmert

Für einmal ist es kein Rover, sondern eine stationäre Sonde, die auf dem Mars für Aufsehen sorgt. Der InSight-Roboter der NASA landete am 26. November 2018 auf dem Roten Planeten. Kurz danach öffneten DC-Motoren von maxon die zwei Solarpanels, womit die Energiezufuhr gesichert war und die Arbeit beginnen konnte. InSight ist mit zwei Hauptinstrumenten ausgestattet. Das erste ist ein Seismometer, das mögliche Beben auf dem Mars misst. Das zweite ist eine Wärmesonde, die sich bis zu fünf Meter in den Boden hämmert und vom Deutschen Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR) entwickelt worden ist. Dieser Bolzen gräbt sich mithilfe eines Schlagmechanismus in die Marserde – angetrieben durch einen DCX-Motor von maxon. Wie schnell er vorwärtskommt, hängt auch stark von der Bodenbeschaffenheit ab. Diese ist offenbar nicht ideal, denn bereits beim ersten Hämmerzyklus ist der Bolzen auf ein Hindernis gestossen. Doch die DLR-Verantwortlichen sind zuversichtlich, dass es weitergeht und der Bolzen seine Tiefe erreichen wird.

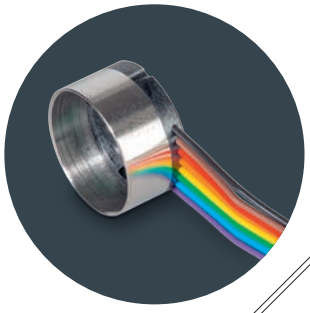
Neue Produkte

EC 60 flat Power up
Ø 60 mm, 200 W, bürstenlos

EC 60 und EC 90 flat Power up

Viel mehr Leistung durch Luftzufuhr

Die beliebten bürstenlosen Flachmotoren mit Durchmessern 60 und 90 Millimeter haben ein neues Design erhalten. Dadurch ergibt sich auch eine signifikante Leistungssteigerung von bis zu 100 Prozent. Sowohl die EC 60 flat als auch die EC 90 flat sind neu als Power-up-Varianten erhältlich – entweder mit offenem Rotor oder mit einem aufgesetzten Ventilator. Durch die optimierte Kühlung des Motors bringt der EC 60 flat nun 200 Watt. Und der EC 90 flat erreicht sogar 600 Watt. Die Flachmotoren sind besonders für Anwendungen geeignet, wo wenig Platz vorhanden ist und trotzdem eine hohe Leistung des Antriebs benötigt wird. Zum Beispiel bei Logistikanwendungen wie Bandantrieben oder unbemannten Fahrzeugen.



ENX EASY XT
Ø 10 und 16 mm

ENX EASY XT

Der Encoder für extreme Bedingungen

Die Familie der ENX-Encoder erhält Zuwachs durch drei Versionen des ENX EASY XT in den beiden Durchmessern 10 und 16 Millimeter. Zudem ist der ENX 16 EASY XT auch als Absolut-Singleturn-Encoder erhältlich. Die neuen Encoder-Varianten sind ursprünglich speziell für die hohen Anforderungen in Aerospace-Anwendungen entwickelt worden und jetzt für alle Kunden erhältlich. Sie besitzen einen erweiterten Temperaturbereich von –55 bis +125 Grad Celsius. Zudem eignen sich die isolierten Einzellitzenkabel dieser Encoder perfekt für die Kabelführung in platzkritischen Situationen. Die magnetischen ENX-Encoder von maxon motor überzeugen durch ihre robuste Bauart sowie hohe Signalqualität und sind dadurch perfekt für Positionieraufgaben geeignet. Sie lassen sich im maxon Online Shop mit den bürstenbehafteten DC-Motoren der DCX-Reihe sowie den bürstenlosen EC-4pole und EC-i Motoren kombinieren und nach Wunsch konfigurieren.

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

shop.maxonmotor.ch

Fotos: NASA/JPL; maxon motor

Links: Immer mehr Bewegung: In einem pakistanischen Restaurant servieren Roboter den Gästen das bestellte Essen. Ein Gag, der viel Aufmerksamkeit erzeugt. Rechts: Neuartigen E-Skates, die 2018 präsentiert worden sind. Ob sie sich als Fortbewegungsmittel in den Städten durchsetzen, wird sich zuerst noch zeigen müssen.

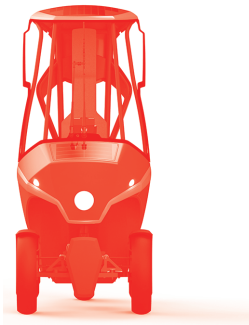
Fotos: MIRZA/AFP/Getty Images; Krisztian Bocsi/Bloomberg via Getty Images

leise Revolution

Menschen nutzen immer öfter elektrische Power, um sich fortzubewegen oder Güter zu transportieren. Keine Frage: Die E-Mobility ist auf dem Vormarsch und wird unser Leben auf die eine oder andere Art verändern.

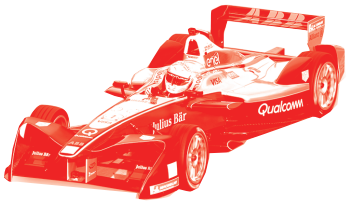
Fotos: Jeffrey Greenberg/UIG via Getty Images; STR/AFP/Getty Images

Links: Alles wird elektrifiziert: Was einmal Muskelkraft benötigt hat, wird heute von elektrischen Antrieben übernommen. Dazu gehören E-Skateboards, die vor allem in den USA einen regelrechten Boom erleben. Rechts: Segway-artige Gefährte dagegen sind inzwischen auf der ganzen Welt anzutreffen, so wie beispielsweise in China, wo Sicherheitsbeamte damit patrouillieren.



Das Ein-Personen-Auto

Gut möglich, dass die urbane Mobilität der Zukunft aus einer Mischung von Fahrrad und Auto besteht. Das jedenfalls glauben die Schweizer Entwickler, die hinter dem BiCar stehen. Dieses dreirädrige Elektrogefährt schützt den Fahrer vor Wetter, ist mit 45 km/h schnell genug für die Stadt und kann wie ein kleines Motorrad fast überall geparkt werden. Ab Sommer 2019 wird eine kleine Auflage von rund 50 Stück unterwegs sein, ein Jahr später soll die Serienproduktion beginnen. Der BiCar ist mit Solarpanels ausgestattet. Dadurch muss das Gefährt nicht ständig an die Steckdose. Bereits sind mehrere Städte interessiert, den BiCar als Sharing-Fahrzeug einzusetzen. Per App würde der jeweils nächste Standort angezeigt. So entsteht ein flexibles Mobilitätssystem, und grosse Autos mit nur einer Person am Steuer könnten bald der Vergangenheit angehören.



Strom im Blut

Schnell geht auch elektrisch. Das beweist die Rennserie Formel E seit 2014. Auch wenn sie nach wie vor im Schatten der Formel 1 steht, gewinnt sie doch zunehmend an Popularität. Nicht zuletzt dank attraktiver Rennstrecken in Grossstädten wie Hongkong, Paris, Berlin oder New York. Die Rennautos erreichen Spitzengeschwindigkeiten von 225 km/h, wobei Tempo alleine nicht über den Sieg entscheidet. Genauso wichtig ist es, energieeffizient zu fahren, ansonsten ist die Batterie bereits vor dem Ziel leer. Mit der Durchführung dieser Rennen wollen die Organisatoren auf die Vorzüge der Elektromobilität aufmerksam machen.

Elektrische Trittfahrt

Vor allem in Städten sind elektrische Kickboards momentan der absolute Renner. Verschiedene Unternehmen wie das Start-up Lime bieten sie zum Mieten an, was besonders von Pendlern rege genutzt wird, um von der Bahnstation zum Büro zu gelangen. Aber auch Touristen greifen häufig zu den E-Scootern, denn die Mietpreise sind relativ tief. Doch gerade Fussgänger ärgern sich immer häufiger über die kleinen Flitzer, wenn sie ungenutzt im Weg stehen. Zudem gibt es gerade bezüglich Batterien und Robustheit noch Spiel nach oben. Sicher ist: Es handelt sich um eine spannende Entwicklung, die man im Auge behalten muss.

Roboterhunde als Postboten

Der wachsende Logistikmarkt für die letzte Meile ist hart umkämpft. Gleich mehrere Start-ups und Grossunternehmen testen derzeit verschiedene Lieferroboter, welche die Ware direkt zum Endkunden vor die Türe bringen sollen. Amazon und Starship Technologies arbeiten mit dreiachsigen Gefährten. Continental dagegen setzt auf vierbeinige Hunde-Roboter, die mit einem autonomen Transporter in Quartiere gefahren werden, wo sie dann in alle Richtungen ausschwärmen. Noch gibt es einige technologische Hindernisse zu bewältigen. Doch schon bald könnten Lieferroboter zum Alltag gehören.

Hallo Minibar!

Warum braucht es in einem Hotel eigentlich in jedem Zimmer eine Minibar? Diese Frage hat sich das deutsche Unternehmen Robotise gestellt. Die Antwort heisst: Jeeves, ein mobiler Service-Roboter, der Getränke, Snacks und weitere Produkte auf Bestellung an die Zimmertüre liefert. Die verschiedenen Schubladen des Roboters sind für kalte, aber auch heisse Lebensmittel geeignet. Jeeves navigiert selbstständig durch die Hotelkorridore und kann sogar Aufzug fahren. Nun, das mit dem Aufzug funktioniert wegen fehlender Schnittstellen nicht überall, weshalb der Robo vielleicht bald auch eine Hand erhält. Ansonsten aber herrscht bei Robotise das Motto: «Einfachheit ist der Schlüssel».

Power in den Pedalen

E-Bikes erobern die Welt – trotz anfänglicher Skepsis bei vielen Fahrradfahrern, die lieber auf Muskelkraft setzen. Eine technische Entwicklung jagt die nächste, und immer mehr Personen nutzen E-Bikes zum Pendeln oder in ihrer Freizeit. In Deutschland zum Beispiel sind 2017 über 700 000 E-Bikes verkauft worden – 19 Prozent mehr als im Jahr zuvor. Und in der Schweiz war 2017 jedes vierte verkaufte Fahrrad ein E-Bike. Gut möglich, dass es das Fortbewegungsmittel der Zukunft ist – zumindest in Städten. Ein schönes Beispiel ist Paris. Die Verkehrsbehörde der Stadt will dieses Jahr 20 000 E-Bikes anschaffen und vermieten. So soll die Luftverschmutzung bekämpft werden, und gleichzeitig bleiben die Pariser fit.

Fotos: ShareyourBiCar; Fabrizio Russo/Unsplash; PRESSLAB/Shutterstock; Continental AG; Robotise; maxon motor

Auch mit E-Bikes lassen sich Städte erkunden. Dafür muss aber der Motor leicht sein. Beim nur 3 Kilogramm schweren maxon BIKEDRIVE ist dies zum Glück der Fall. Der Heckmotor ist zusammen mit Akku und Powergrip Teil eines Nachrüstkits, mit dem sich ein normales Fahrrad spielend in ein kräftiges E-Bike verwandeln lässt. Weitere Produkte für den Elektrofahrrad-Markt sind bei maxon bereits in der Planung.

Auf den Punkt gebremst

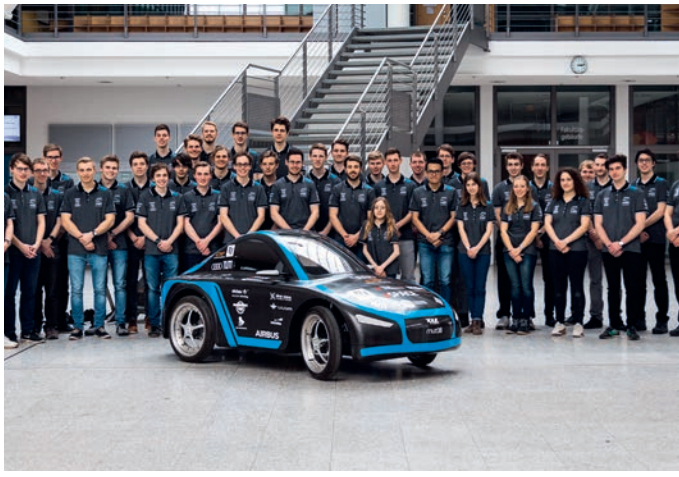
Fotos: TUfast

Es war ein schöner Moment für das Team TUfast. Am Shell Eco-Marathon 2018 musste es beweisen, dass sein autonomes Fahrzeug sicher und zuverlässig bremsen kann. Die Studierenden der Technischen Universität München stellten sich wie alle Teams der Herausforderung: Ihr Auto hatte die Aufgabe, selbstständig auf ein Parkfeld zu navigieren und möglichst nah an einem davorliegenden blauen Block zu stoppen. Als zusätzliche Schwierigkeit lag das Feld auf einer abfallenden Strecke. TUfast schaffte es dennoch – als einziges Team des Wettbewerbs. Für ihre motorbetriebene Bremse setzten die Entwickler einen maxon DC-Motor mit angebautem Keramikgetriebe ein. Eine ESCON-Steuerung sorgte für die präzise Drehzahlregelung.

Effizienz steht über allem

Am Shell Eco-Marathon treten mehr als 100 Teams mit dem Ziel an, ein möglichst effizientes Fahrzeug zu entwickeln und damit verschiedene Disziplinen zu gewinnen. In der Kategorie Urban Concept, in der auch die 40 Studierenden der TU München mitmachen, muss das Auto stadttauglich sein. Das heisst unter anderem: Platz für Gepäck bieten, mit Beleuchtung ausgestattet sein und eine aufrechte Sitzposition für den Fahrer bieten.

Ein ganzes Jahr lang hat das Team TUfast sein erstes autonomes Fahrzeug entwickelt und versucht, das Beste aus dem Auto herauszuholen. Der Leiter Antrieb, Benedikt Köberlein, sagt: «Das wichtigste Kriterium ist die Effizienz. Für alle Komponenten gilt: Das Gewicht muss niedrig und die Verluste verschwindend sein.» Da die Entwicklungszeit sehr kurz ist, setzt das Team auf das Prinzip «Keep it simple» und auf die Erfahrung der Sponsoren, die mit Wissen zur Seite stehen. «Sonst wäre es nicht möglich.» Am Ende gab's dafür den Erfolg in der oben genannten Disziplin sowie die Auszeichnung «Vehicle Design Award».



TUfast Eco Team

Das TUfast Eco Team bietet Studierenden der Technischen Universität München praktische Erfahrungen im Bereich der Elektromobilität. Die Mitglieder entwerfen und bauen jedes Jahr ein hocheffizientes Elektroauto. Im Jahr 2016 stellte das Team den Weltrekord für das effizienteste Elektroauto auf – mit 1232 km/kWh.

Höhere Anforderungen an den Antrieb

Auch dieses Jahr ist TUfast am Shell Eco-Marathon in London mit dabei. Und die Ziele sind hoch gesteckt: Das Team strebt den Titelgewinn sowohl in der Effizienzkategorie «Urban Concept Battery Electric» als auch in der autonomen Kategorie an. Erneut kommen Antriebe von maxon zum Einsatz. Neben der Bremse jetzt auch für die Lenkung. «Die Anforderungen an die Präzision sind hier nochmals höher. Zudem wird der Motor dauerhaft belastet», sagt Köberlein. Als Lösung wählten er und seine Kollegen einen bürstenlosen DC-Motor mit Spindelgetriebe und einer passenden Steuerung.

Die jungen Entwickler sind überzeugt, die autonome Fahrleistung von 2018 am diesjährigen Wettbewerb zu übertreffen. Bis es so weit ist, wird es wohl noch viele stressige Momente vor dem Bildschirm und in der Werkstatt geben. Doch die Mühe lohnt sich, wie Benedikt Köberlein sagt: «Im Endeffekt überwiegt der Spass, den wir alle haben.»

Mehr Berichte über elektrische Rennfahrzeuge auf unserem Blog:

www.drive.tech

Auf dem Weg zum E-Mobility

Das Universum von maxon motor bestand einst aus Kleinmotoren. Heute zählen neben den DC-Motoren auch Getriebe, Motorcontroller, Mastercontroller und Sensoren zum Komponentenspektrum. Sie bilden die Basis, um komplexe Systeme in verschiedenste Applikationen zu integrieren. Das ist die Zukunft des Antriebsspezialisten.

Motor
Das Herzstück jedes Antriebssystems ist der Motor. Ob klein oder gross, kurz oder lang, mit oder ohne Bürsten, eisenlos oder eisenbehaftet: maxon bietet eine enorme Fülle an Motoren an – und hat immer ein offenes Ohr für Spezialwünsche. Gerade im Bereich der E-Mobility sind oft kundenspezifische Lösungen gefragt.

Sensoren
liefern der Steuerung Daten über die Geschwindigkeit des Motors und die Position der Motorwelle. Dank der hohen Signalauflösung ist Motion Control in höchster Präzision möglich.

Präzisionsgetriebe
sorgen dafür, dass die Kraft des Motors nochmals um ein Vielfaches gesteigert wird. Auch im Bereich der E-Mobility müssen die Getriebe langlebig, leise und robust sein – maxon ist für solche Ansprüche die beste Wahl.

Steuerung
Sie versorgt den Motor mit Strom und Spannung. Die Strom-, Drehzahl- und Positionierregler von maxon sind optimal auf verschiedenste DC- und EC-Motoren ausgelegt. Mit CANopen oder EtherCAT ist eine zuverlässige Vernetzung möglich.

Mastercontroller
bilden das übergeordnete «Gehirn» eines Antriebssystems. Präzise und blitzschnell erteilen sie die Befehle an die einzelnen Motorsteuerungen und verarbeiten ihre Daten. Vielfältige Anschluss- und Konfigurationsmöglichkeiten lassen keine Wünsche offen.

Akkus / Batteriemanagementsystem
E-Mobility und Steckdosen – das passt nicht zusammen. maxon hat deshalb eigene Akkus im Angebot (siehe Artikel auf Seite 20) und sogar ein eigenes Batteriemanagementsystem (BMS) entwickelt.

Apps
Wie bereits beim BIKEDRIVE, dem Nachrüstkit für Fahrräder, will maxon auch künftig Apps für Smartphones konzipieren.
Die Steuerung von Antriebssystemen im Bereich der E-Mobility soll so kinderleicht werden.

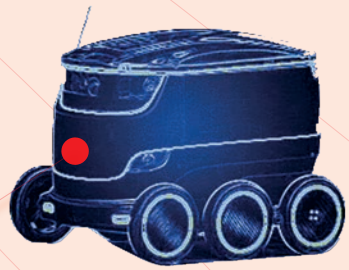
Illustrationen: Meike Herkersdorf Fotos: maxon motor

- System

Mehr zu maxon Systemen auf

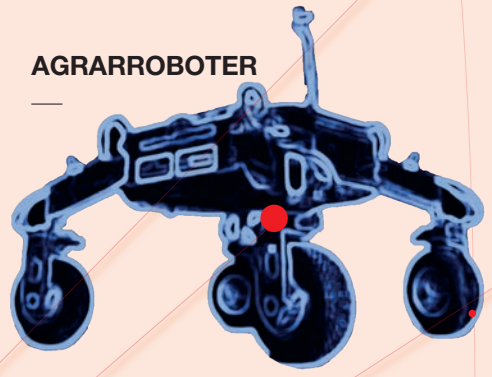
systeme.maxonmotor.ch

LIEFERDROHNEN

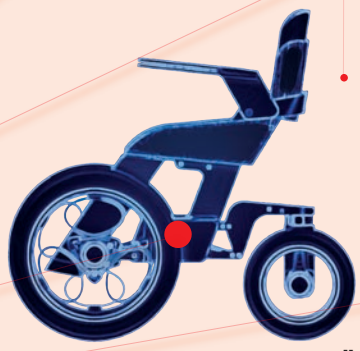


AUTONOME LIEFERROBOTER

AGRARROBOTER



E-BIKE-ANTRIEBE



ELEKTRISCHE ROLLSTÜHLE

E-SCOOTER

energy to go

Von der Taschenlampe bis zum Tesla: Ohne Akku ist man aufgeschmissen. Auch maxon hat seit einiger Zeit eine kleine, aber feine Werkstatt für die Herstellung von Lithium-Ionen-Akkus.

Im Bereich der Elektromobilität geht ohne sie gar nichts: Akkus. Sie liefern den «Saft» für unzählige Fahrzeuge und Anwendungen, die ihren Reiz gerade dadurch gewinnen, dass sie nicht ständig an der Steckdose hängen müssen. Auch wenn die Batterietechnik in den vergangenen Jahrzehnten grosse Fortschritte gemacht hat, erscheint uns ein Akku oft etwas «altmodisch» im Vergleich zur modernen Hightech-Elektronik. Beispiel: Der Mikroprozessor eines Smartphones ist in der Lage, innerhalb von Sekunden Milliarden von Rechenoperationen auszuführen. Aber bis der Akku aufgeladen ist, dauert es Stunden. Auch was das Gewicht betrifft, stehen Akkus an der Spitze aller verbauten Komponenten. Der Konsument mag sich darüber ärgern – aber es liegt einfach in der Natur der Sache, dass Energiespeicher und die darin ablaufenden chemischen Reaktionen nicht dermassen miniaturisiert werden können, wie wir es aus

Fotos: maxon motor / Adrian Venetz

der Welt der Halbleiterindustrie kennen. Im Alltag haben wir es mit verschiedenen Akkutypen zu tun:

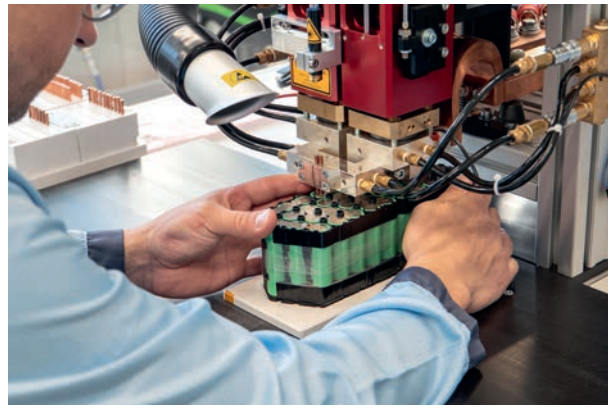
- günstige Alkalinebatterien, zum Beispiel in Fernbedienungen und Uhren
- Nickel-Cadmium-Akkus, ähnlicher Einsatz wie Alkalinebatterien, aber wiederaufladbar
- Lithium-Ionen-Akkus, zum Beispiel in Kameras, Bohrmaschinen und elektrischen Autos
- Lithium-Polymer-Akkus, zum Beispiel in Smartphones und Tablets. Lithium-Polymer-Akkus sind eine spezielle Bauform von Lithium-Ionen-Akkus. Speziell deshalb, weil sie dank der Verwendung eines gelartigen statt flüssigen Elektrolyten sehr flach gebaut werden können. Allerdings sind sie empfindlicher als Lithium-Ionen-Akkus.

Auch wenn Lithium-Akkus heute das Mass aller Dinge sind, sind gewisse Nachteile unübersehbar. Wohl jeder hat schon Bilder von Smartphones oder Elektroautos gesehen, deren Akku in Brand geraten oder gar explodiert ist – ein Horrorszenario. Weltweit wird deshalb fleissig an neuen Akkutypen und -technologien geforscht. Das Ziel: Grösse, Gewicht, Ladezeit und Preis von Akkus zu senken und die Sicherheit zu erhöhen. Kommt hinzu, dass die Elemente Lithium und Kobalt als Hauptbestandteile vieler Akkus nicht unbegrenzt zur Verfügung stehen.

Ein möglicher Nachfolger sind Magnesium-Akkus. Auf diese Technologie fokussiert sich ein Forschungsprojekt des Karlsruher Instituts für Technologie (KIT) und des Helmholtz-Instituts in Ulm. «Eine Magnesiumbatterie hätte im Vergleich zu konventionellen Lithium-Ionen-Batterien entscheidende Vorzüge», schreibt das KIT in einer Pressemitteilung. «Magnesium als Anodenmaterial ermöglicht eine höhere Energiedichte und wäre viel sicherer.» Ein weiterer Vorteil: Magnesium kommt als Rohstoff etwa 3000 Mal häufiger als Lithium vor und ist erst noch einfacher rezyklierbar. «Kommt Europa bei der Entwicklung zügig voran, könnten Magnesiumbatterien ausserdem dabei helfen, die Dominanz der asiatischen Produzenten von Batteriezellen zu vermindern und eine konkurrenzfähige Batteriefertigung in Europa zu etablieren», schreibt das KIT weiter. Ein weiterer Kandidat für sogenannte Solid-State-Akkus (Feststoffakkumulatoren) besteht – man höre und staune – aus Glas. Das darin vorkommende Natrium gehört zu den häufigsten Elementen. Solche Akkus mit Spezialglas als Elektrolyt sollen sich innerhalb von Minuten aufladen lassen und grössere Sicherheit bieten als brennbare Lithium-Ionen-Akkus. Bis eine solch neue Batterietechnologie zur Marktreife gelangt und die Lithium-Ionen-Akkus endgültig verdrängt, dürften allerdings noch einige Jahre vergehen.

Mehr technische Fachberichte auf unserem Blog:

www.drive.tech



maxon entdeckt die Welt der Akkus

Der Antriebsspezialist maxon als Akkuhersteller? Das ist keine Zukunftsmusik, sondern bereits Realität. Angefangen hat die Reise in die Welt der Energieversorgung mit der Entwicklung des BIKEDRIVE – eines Nachrüstkits, das aus einem normalen Fahrrad ein E-Bike macht. Nachdem es zu Schwierigkeiten mit dem Zulieferer der Akkus gekommen war, entschied sich maxon, den Akku selbst herzustellen. Das ist allerdings einfacher gesagt als getan. Denn die Herstellung von Akkus erfordert Ingenieurkunst, Fachwissen und Betriebsmittel. «Für uns ist es ein relativ neues, aber sehr spannendes Themengebiet», sagt Benny Keller von maxon advanced robotics & systems (mars).

Ein Akku besteht aus mehreren Einzelzellen, die typischerweise eine Spannung von 3,7 Volt liefern. Je nach Verschaltung dieser Einzelzellen ergeben sich verschiedene Werte für den Akku. Sind Batterien in Serie geschaltet, summiert sich die Spannung. Sind sie dagegen in einer Parallelschaltung angeordnet, erhöht sich die Kapazität. Solche Einzelzellen zu einem Paket zu «schnüren», erfordert Geschick und Fachwissen. «Zudem muss man viele Sicherheitsnormen erfüllen», erklärt Benny Keller. Nach dem fachgerechten Kleben und Verschalten der Einzelzellen ist ein Akkupaket noch nicht fertig. Nötig ist auch ein Batteriemanagementsystem (BMS). Diese Elektronik wird meist in Form einer Platine im Gehäuse des Akkus untergebracht. Die Spezialisten von maxon haben ein eigenes BMS entwickelt und hergestellt. Das BMS sorgt dafür, dass die einzelnen Zellen gleichmässig belastet und aufgeladen werden. Dies ist entscheidend für die Lebensdauer von Akkus. Auch unter dem Aspekt der Sicherheit ist ein BMS nötig. Es verhindert beispielsweise, dass der Akku bei zu grosser Kälte oder Wärme belastet oder geladen wird.

Klar: Als Neuling in der Akkuszene kann man nicht von heute auf morgen eine Serienproduktion hochfahren. Für die Herstellung von Prototypen und kleineren Stückzahlen ist die Werkstatt in Giswil aber hervorragend ausgerüstet. Bei grösseren Stückzahlen greift maxon auf die Hilfe von renommierten Herstellern im süddeutschen Raum zurück. Die Einsatzmöglichkeiten von maxon Akkus liegen naturgemäss im Bereich der Elektromobilität und Robotik.

Robo in der Rebe

Im Bordeaux-Gebiet von Frankreich sorgen Roboter von Vitirover Solutions dafür, dass der Wein natürlich gut wird. Sie mähen autonom Gras und Unkraut zwischen den Rebstöcken und machen dadurch Pestizide überflüssig. Damit die Roboter das hügelige Gelände meistern können, haben sich die Entwickler von Mars-Rovern inspirieren lassen.

Fotos: iStock/Instamatics; Vitirover

Weitere Berichte über autonome Roboter auf unserem Blog:

www.drive.tech

Der Vitirover ist nur 70 Zentimeter lang und knapp 20 Kilogramm schwer. Er schneidet das Gras und Unkraut mit einer Geschwindigkeit von 300 Metern in der Stunde.

Das Weinbaugebiet um Saint-Émilion in Frankreich ist weltberühmt und von Tradition durchsetzt. Schon die Römer betätigten sich hier als Winzer, wobei sie von den heutigen Hilfsmitteln in der Landwirtschaft nur träumen konnten. Denn für die aufwändige Pflege der Weinberge werden inzwischen Roboter eingesetzt. Auch der Vitirover gehört dazu, der vom gleichnamigen Unternehmen in Saint-Émilion entwickelt worden ist. Dabei handelt es sich um einen völlig autonomen Rasenmäher, der durch Solarenergie angetrieben wird. Etwa zwanzig dieser Roboter-Mäher sind bereits in den Weinbergen vor Ort im Einsatz. Und Vitirover liefert dieses Jahr weitere 200 Roboter unter anderem für den Einsatz entlang von Eisenbahnschienen oder in Photovoltaikanlagen. Der Hauptvorteil des Roboters ist, dass er umweltfreundlich ist und zu biologischem Wein beiträgt. Denn durch seinen Einsatz in den Weinbergen werden Pestizide wie Glyphosat überflüssig. Ausserdem schont der Roboter den Boden, indem er die Verdichtung vermeidet, die durch Traktoren oder Pferde verursacht werden kann.

Enge Zusammenarbeit mit der ESA

Die Entwicklung des Roboters, der über zwei Hektar Land mähen kann, war nicht einfach. Denn es stellte sich heraus, dass der instabile Boden in den Weinbergen der Oberfläche des Mars sehr ähnlich ist. Deshalb hat Vitirover bei der Erstellung der ersten Designspezifikationen gemeinsam mit der Europäischen Weltraumorganisation (ESA) die Designs aller Roboter überprüft, die für Marsmissionen entwickelt worden sind. «Das hat uns sehr geholfen, weil wir keine terrestrischen Roboter finden konnten, die unseren Spezifikationen so nahe kamen», sagt Xavier David Beaulieu, CTO von Vitirover. Er gründete das Unternehmen 2010 gemeinsam mit Arnaud de la Fouchardière, nachdem er das Familienunternehmen (Château Coutet in Saint-Émilion) übernommen hatte und mit der Herausforderung konfrontiert worden war, das Wachstum von Gras und Unkraut unter seinen Reben zu kontrollieren. Inzwischen ist Vitirover ein international führender Innovator im Bereich des hochpräzisen Weinbaus und beschäftigt rund zehn Mitarbeiter.

Der Roboter bewegt sich im steinigen, oft abfallenden Gelände und wird im Schnitt alle 12 Sekunden mechanischen Belastungen ausgesetzt. Entsprechend hoch waren die Anforderungen an die Motorisierung. Die mechatronischen Lösungen sind das Ergebnis einer mehr als achtjährigen Partnerschaft zwischen Vitirover und mdp – maxon Frankreich. Der Roboter wird von vier DC-Motoren angetrieben, einem in jedem Rad. Es handelt sich um bürstenbehaftete Antriebe DCX 22 L, die maximale Leistungsdichte auf kleinstem Raum bieten. Sie sind sehr effizient, was im Batteriebetrieb wichtig ist. In Kombination mit einem Getriebe GP 32 C ermöglicht diese Lösung dem Mäher, die Belastungen der Räder aufzunehmen und das für die Traktion erforderliche Drehmoment zu liefern. «Für den Antrieb war das Problem der Radialbelastung der Radachse nicht einfach zu lösen, aber wir haben es schliesslich geschafft», sagt Xavier David Beaulieu.

Gekapselt in Aluminium-Glockengehäuse

Die grösste Herausforderung lag jedoch anderswo: bei den drei Klingen, die von DC-Motoren der Baureihe DCX 32 L angetrieben werden. Denn durch die starke Belastung wurden die Kugellager der Motoren jeweils beschädigt, was zu Ausfällen führte. Die Ingenieure von maxon entwickelten schliesslich ein Aluminium-Glockengehäuse als nachhaltigen Schutz. Kevin Schwartz, der bei mdp für das Vitirover-Projekt verantwortlich ist, sagt: «Unsere Rolle besteht nicht nur darin, Elektromotoren zu liefern, sondern Komplettlösungen, die den Bedürfnissen des Kunden entsprechen.»

Die super-hand!

Foto: Philipp Schmidli/maxon motor

Bionicman ist ein Superheld der anderen Art. Seine futuristische Handprothese verleiht ihm übermenschliche Kräfte. Damit verhilft er Kindern mit einer Beeinträchtigung zu mehr Selbstvertrauen – und coolen 3D-gedruckten Händen.

Michel Fornasier wirft sich sein blaufunkelndes Cape über und ist nicht länger ein gewöhnlicher Mensch mit Alltagsproblemen und Einschränkungen. Er verwandelt sich in sein Alter Ego Bionicman, hat unbegrenzte Kräfte, kann fliegen und sogar die Zeit zurückdrehen.

Ja, er ist es wirklich. Bionicman! «Das Kostüm sorgt für diese spezielle Magie. Wenn ich vor Schulkindern stehe, dann sind sie überzeugt, dass der echte Bionicman vor ihnen steht. Das ist einfach ein wahnsinnig schönes Gefühl.» Doch Michel Fornasier zieht sich seinen Superhelden-Anzug nicht über, um sich gut zu fühlen. Er hat eine Mission. Er ist angetreten, um das Selbstvertrauen der Kinder zu stärken und ihnen zu zeigen, dass sie mit körperlicher Beeinträchtigung nicht besser oder schlechter als andere Kinder sind. Bionicman kämpft für Toleranz und gegen Mobbing. Fornasier ist ohne rechte Hand zur Welt gekommen und weiss, wovon er spricht. Nie hat er sich beeinträchtigen lassen, hat früh gelernt, die Schuhe selber zu binden, und ist inzwischen sogar einen Marathon gelaufen. Warum auch nicht?

Michel Fornasier trägt seit etwas mehr als vier Jahren eine bionische Handprothese. Der Schweizer hat sich zum Ziel gesetzt, Kinder auf spielerissche Art an das Thema «Menschen mit körperlicher Beeinträchtigung» heranzuführen. Dies tut er unter anderem mit seinem Alter Ego Bionicman.

Von Spiderman zu Bionicman

Seit rund vier Jahren besitzt er eine myoelektrische Handprothese von Touch Bionics, ein Hightech-Gerät mit sechs integrierten maxon Motoren, das 25 Bewegungsmuster bereithält. «Die Prothese hat mir in vielerlei Hinsicht den Alltag erleichtert, auch wenn sie nur 15 Prozent der menschlichen Hand ersetzen kann. Ich fahre damit Fahrrad, Scooter und kann mit beiden Händen auf der Tastatur schreiben. Und nur schon das Smartphone mal mit der rechten Hand zu halten, ist ein wunderbares Gefühl.»

Früher fragten ihn die Kinder: «Verleiht dir die Hand Superkräfte?» Am Anfang verneinte Fornasier. Nach und nach jedoch sagte er: «Wer weiss?» So bildete sich langsam die Idee für Bionicman. Fornasier wandte sich an den Comiczeichner David Boller, der in den USA für Marvel und DC gearbeitet hatte und auch schon Spiderman zeichnete. Gemeinsam kreierten sie die ersten Geschichten von Bionicman, der den Menschen in verschiedenen Situationen zu Hilfe eilt. Oft spielt dabei eine körperliche Beeinträchtigung eine Rolle. «Es geht mir darum, auf spielerische Art darauf hinzuweisen, dass es Menschen mit Beeinträchtigung gibt, die aber so behandelt werden wollen wie alle anderen.» Inzwischen ist der erste Comic-Sammelband erschienen, ein zweiter Teil soll Ende 2019 auf den Markt kommen.

3D-gedruckte Prothesen für Kinder

Während Bionicman für die moralische Unterstützung sorgt, hilft Fornasier mit modernster Technik. 2016 hat er dafür die Charity-Organisation «Give Children a Hand» gegründet, der er sich mit viel Herzblut widmet. In enger Zusammenarbeit mit der ETH Zürich und dem Wyss Institut werden bezahlbare Handprothesen

Auszug aus dem ersten Bionicman-Comicband. Mehr dazu auf:

bionicman-official.com

für Kinder entwickelt, deren Komponenten aus dem 3D-Drucker kommen. 25 Kinder sind aktuell mit einer Prototyp-Prothese ausgestattet und geben laufend Feedback für Verbesserungen. «Kindern ist die Optik oft wichtiger als die Funktionalität», sagt Michel Fornasier und lacht. «Die Prothese soll vor allem cool aussehen.»

Bionicman wirbt für den Cybathlon

Es gibt noch viel zu tun: Ingenieure müssen Prothesen weiterentwickeln, und die Gesellschaft muss Menschen mit Beeinträchtigungen ebenbürtig behandeln. Dafür kämpft Bionicman. Und dafür steht auch der Cybathlon-Event, der 2016 stattgefunden hat und 2020 erneut in Zürich über die Bühne geht (siehe Kasten). Kein Wunder, ist Michel Fornasier Ambassador des Cybathlons: «Ich teste in erster Linie neue Aufgaben für den Handprothesen-Parcours und gebe mein Feedback an die Verantwortlichen: Was ist schwierig, was könnte man anders gestalten?» Zudem rührt er für den Cybathlon kräftig die Werbetrommel. «Es ist ein toller Event, denn hier geht's um Menschen und nicht um Behinderung.» Fornasier zeigt sich auch beeindruckt vom Ehrgeiz, den die Ingenieure und Piloten an den Tag legen. «Die Entwicklungen, die daraus entstehen, kommen am Ende den Nutzern zugute.»

Michel Fornasier wird es sich nicht nehmen lassen, auch 2020 an vorderster Front am Cybathlon mitzufiebern. Und so bilden der Cybathlon und Bionicman ein unschlagbares Team, das gesellschaftliche Tabus bricht und Brücken zwischen Menschen mit und ohne Beeinträchtigung baut.

maxon unterstützt den Cybathlon 2020

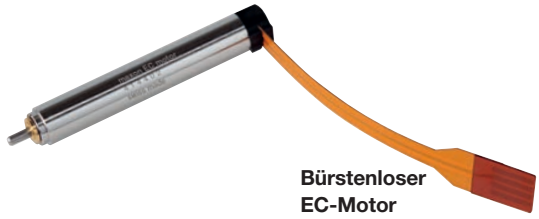
Am Cybathlon treten Menschen mit körperlichen Behinderungen (Piloten) in Parcours gegeneinander an – unterstützt von modernsten technischen Assistenzsystemen. Die zweite Austragung des Events findet am 2. und 3. Mai 2020 in Zürich statt. Die Piloten und mit ihnen die Entwicklerteams messen sich in sechs Disziplinen: virtuelles Rennen mit Gedankensteuerung, Fahrradrennen mit elektrischer Muskelstimulation (FES), Geschicklichkeitsparcours mit Armprothesen, Hindernisparcours mit Beinprothesen, Parcours mit robotischen Exoskeletten, Parcours mit motorisierten Rollstühlen. Hinter dem Cybathlon steckt die Eidgenössische Technische Hochschule Zürich (ETH). Sie bietet mit dem Event auch eine Plattform, um den Austausch zwischen Technologieentwicklern, Menschen mit Behinderungen und der Öffentlichkeit zu fördern. maxon motor unterstützt den Event erneut – dieses Mal als Presenting Partner. Mehr auf: **cybathlon.com**

Die Mitwirkenden

maxon
BIKEDRIVE
Nachrüstkit

Heckmotor, 50 Nm
Akku, max. 500 Wh
Powergrip, 3 Stufen

⟶ E-Mobility, S. 15



Bürstenloser
EC-Motor
EC 4

⟶ Operationsroboter, S. 28

DC-Motor maxon
DCX 22 L

⟶ Robo in der Rebe, S. 22

Drehzahl-
und Stromregler
ESCON

⟶ Auf den Punkt gebremst, S. 16

Fotos: maxon motor

Mit Gefühl durch dick & dünn

Das Start-up NISI Limited entwickelt derzeit einen kleinen Operationsroboter, der über natürliche Körperöffnungen eingeführt wird und sich erst im Bauchinnern entfaltet. Die Ingenieure belasten die Komponenten dafür bis an ihre Grenzen und darüber hinaus.

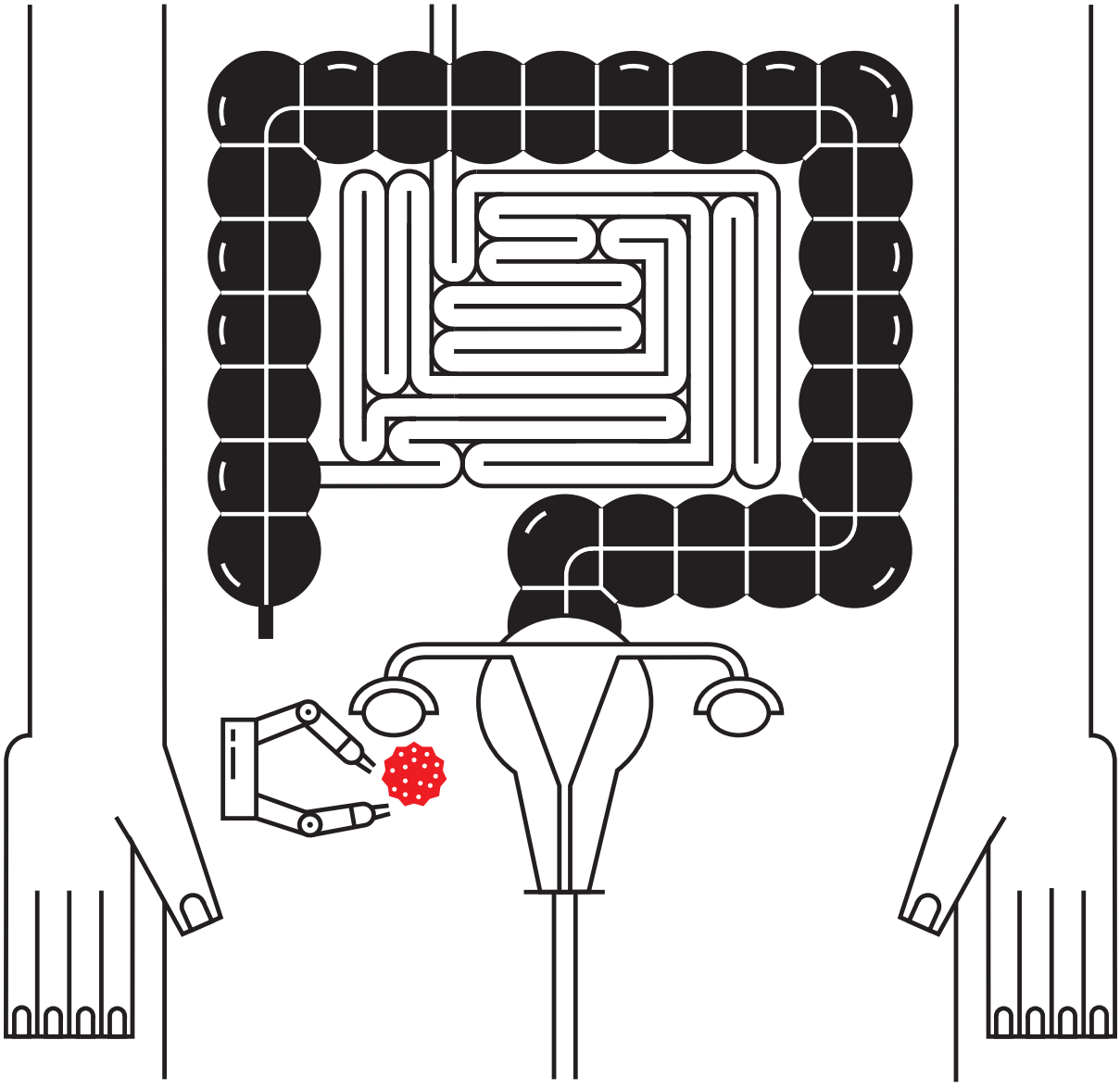
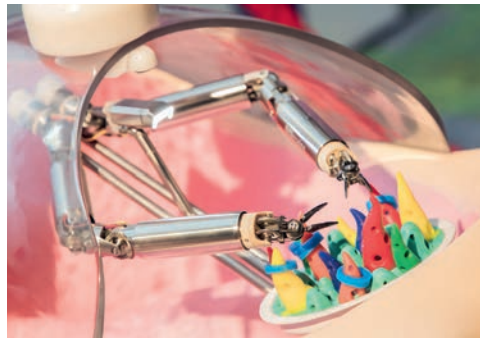


Illustration: Anita Allemann Fotos: NISI robotics

Mehr Berichte über Medizintechnik auf unserem Blog:

www.drive.tech



Der NISI-Operationsroboter wurde im Sommer 2018 bereits erfolgreich bei Tieren eingesetzt.

In der Medtech-Welt sind derzeit viele erstaunliche Entwicklungen zu beobachten. Auch die Welt der Operationsroboter könnte bald auf den Kopf gestellt werden. Denn im Sommer 2018 verkündete das in Hongkong ansässige Start-up NISI, dass es eine Serie von gynäkologischen Operationen in lebenden Schweinen durchgeführt habe. Das klingt im ersten Moment nicht aussergewöhnlich. Ist es aber. Denn die Chirurgen verwendeten für diese Eingriffe einen kleinen Operationsroboter, den sie rektal eingeführt hatten. Eine medizinische Weltpremiere, so das Unternehmen.

NISI ist 2012 gegründet worden und arbeitet unter anderem mit den Universitäten von Hongkong und Cambridge zusammen, um ein Robotiksystem zu entwickeln, das komplexe minimalinvasive Eingriffe im Bauch- und Beckenbereich ermöglicht, ohne sichtbare Narben zu hinterlassen. «Wir wollen der weltweit führende Experte in nichtinvasiver Robotertechnologie werden», so Dr. Corinna Ockenfeld von NISI. Die erfolgreichen Eingriffe im Sommer 2018 haben das Medtech-Start-up beflügelt. Bis 2021 möchte man erste Operationen an Menschen durchführen.

Die Idee hinter dem NISI-Chirurgiesystem sieht wie folgt aus: Der Operationsroboter wird über eine natürliche Körperöffnung eingeführt, meistens durch den After oder die Vagina. Auf diese Weise ist nur ein kleiner Schnitt im Innern des Körpers notwendig, um mehrere robotische Instrumente in den Bauchbereich einzuführen – wohingegen bei bisherigen Systemen mehrere Einschnitte benötigt werden für jeweils ein einzelnes Instrument. Die Vorteile der neuen Technologie: weniger Blutverlust während der Operation, weniger Wundkomplikationen, kürzere Genesungszeit für den Patienten und keine sichtbaren Narben.

Der Roboter selbst verfügt über zwei kleine Arme, die sich im Innern des Körpers entfalten und von einem Chirurgen via Konsole gesteuert werden. Die zwei Roboterarme werden mit Mikromotoren von maxon angetrieben und verfügen über bis zu zehn Freiheitsgrade. Das System ist zudem mit hochauflösenden 2D- und 3D-Kameras ausgestattet und liefert ein haptisches Feedback an den Operateur, damit dieser fühlt, was am anderen Ende passiert, und dadurch mit höchster Präzision arbeiten kann.

Um Operationsroboter auf ein neues technisches Level zu heben, bedarf es mehr als hervorragender Techniker und Ingenieure. Auch Qualitätskomponenten sind ein Schlüsselelement. NISI testet deshalb verschiedene Konzepte und Kombinationen von Komponenten. «Wir haben vor, die technischen Grenzen der Medizin und Robotik zu verschieben», so Dr. Corinna Ockenfeld. Bezüglich der Motoren heisst das: kleinste Baugrösse bei höchster Leistungsdichte. «Wir arbeiten eng mit maxon zusammen, tauschen uns wöchentlich aus und schätzen die Unterstützung, die wir in den letzten Jahren erhalten haben. Die Zusammenarbeit ist sehr produktiv und für beide Seiten äusserst wertvoll.»

In den Prototypen des Operationsroboters kommen bisher verschiedene bürstenlose DC-Motoren der EC-Reihe zum Einsatz – mit Durchmessern von 4 bis 8 Millimetern. Zudem passende Planetengetriebe. Beide Partner treiben die Präzisionsantriebe an ihre Limits und betreiben sie teilweise über den nominalen Vorgaben. Allerdings werden die BLDC-Motoren auch spezifisch massgeschneidert. Sie erfordern eine hohe Leistungsdichte, müssen strengste Qualitätsstandards erfüllen, gegenüber Körperflüssigkeiten abgedichtet und künftig auch biokompatibel sein.

Nun geht es darum, das gesamte System weiter zu verkleinern, die Motoren noch dynamischer zu machen und den Arbeitsbereich des Roboters zu vergrössern. «Wir kümmern uns um jedes kleinste Detail und gehen die technischen Probleme mit innovativen Lösungsansätzen an», sagt Dr. Corinna Ockenfeld. NISI nähert sich Schritt für Schritt der Vision, dass nichtinvasive operative Eingriffe ohne Narben eine Selbstverständlichkeit in der Medizin werden.

Im Reinen

Die neuen zertifizierten Reinräume von maxon am Hauptsitz in der Schweiz – vor und nach dem Einzug der ersten Montageplätze.

Die Medizintechnik verzeiht keine Fehler. Deshalb entstehen Mikromotoren von maxon in zertifizierten Reinräumen. Der Aufwand für den Bau solcher Spezialräume ist nicht zu unterschätzen.

Reinräume sind in verschiedensten Branchen nötig – etwa in der Medizin, Lebensmitteltechnologie und Halbleiterindustrie. Dass in Reinräumen Elektromotoren produziert werden, scheint dagegen ungewohnt. Genau dies aber tut maxon seit Anfang 2019 im neu gebauten Innovation Center in der Schweiz. Auf über 1200 Quadratmetern sind hier Reinräume entstanden, in denen unter anderem Antriebssysteme unter strengen Hygienevorschriften hergestellt werden. Doch wozu?

Klar: Um einen kräftigen Motor zu bauen, der beispielsweise in der Industrieautomation zum Einsatz kommt, braucht es zwar Ingenieurkunst, präzises Arbeiten und eine saubere Umgebung – aber noch lange keinen Reinraum. Vielmehr entstehen in den neuen Reinräumen die Winzlinge aus dem Hause maxon: Motoren mit einem Durchmesser von wenigen Millimetern. Solche Antriebe kommen vor allem in der Medizintechnik zum Einsatz. Zwar ist maxon bereits heute ein starker Partner, wenn es um Antriebe in der Medizin geht, man denke beispielsweise an Insulinpumpen oder chirurgische Handgeräte. Doch der Schweizer Antriebsspezialist rüstet sich mit den neuen Reinräumen für noch diffizilere und filigranere Anwendungen – die Rede ist von implantierbaren Antriebssystemen wie beispielsweise Herzpumpen.

Monatelange Planung

«Einen zertifizierten Reinraum zu planen, war für uns eine neue und spannende Herausforderung», sagt Christian Kunde, Projektleiter bei maxon medical. Der Aufwand war enorm. «Etwa 15 Monate steckten wir gemeinsam mit externen Fachleuten in die Planung.»

In der Tat: Auf den ersten Blick sind es einfach saubere, durch Glas voneinander abgetrennte Räume mit vielen Montageplätzen und Mikroskopen. Die ganze Technik spielt sich sprichwörtlich hinter den Kulissen ab: In den Zwischenwänden und in der Decke reiht sich Rohr an Rohr, erstrecken sich kilometerlange Kabelstränge.

Nötig ist all die Technik unter anderem, um in den Reinräumen einen höheren Luftdruck zu erzeugen. Das Prinzip dahinter: Wird die Schleuse zu einem Reinraum geöffnet, strömt stets saubere Luft nach aussen – und verhindert so das Eindringen von dreckiger Luft. Eine «Todsünde» wäre es deshalb, alle Türen einfach offen stehen zu lassen. Damit dies gar nicht erst passieren kann, verfügen Reinräume über Schleusen, in denen der Luftdruck etwas tiefer ist als drinnen, aber immer noch höher als normal. Moderne Technik verhindert es, dass die beiden Ein- und Ausgänge einer Schleuse gleichzeitig geöffnet sind. «Gespräche zwischen Tür und Angel sind in Reinräumen also nicht möglich», sagt Christian Kunde lachend.

Die Partikelkonzentration in der Luft wird im Minutentakt gemessen. Neben den Reinräumen verfügt maxon neu auch über einen sogenannten GMP-Bereich (good manufacturing practice). Hier wird nicht nur die Partikelkonzentration gemessen, sondern auch die mikrobiologische Kontamination von Oberflächen und der Luft mit Keimen, Bakterien oder Pilzen – auch dies wieder mit Blick auf künftige Anwendungen in der Hightech-Medizin mit implantierbaren Kleinstantrieben.

Luft wird ständig «verdünnt»

Reinräume gibt es in verschiedenen Zertifizierungsklassen. Die Reinräume von maxon gehören noch zur «angenehmen» Sorte. Heisst: Die Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter müssen zwar vor und während der Arbeit verschiedene Massnahmen treffen – zum Beispiel ein Haarnetz tragen und spezielle Kleidung anziehen –, sie befinden sich aber nicht in einer völlig anderen Welt. In der Nanotechnologie, Pharmazie oder in der Halbleiterfertigung ist das anders. Hier sehen die Mitarbeiter teils aus, als befänden sie sich auf einem anderen Planeten. Auch die Technik, um die Partikelkonzentration möglichst tief zu halten, unterscheidet sich. In den Reinräumen von maxon strömt ständig gefilterte Luft hinein. Diese «durchwirbelt» die bestehende Luft, welche dann wieder abgeführt und gefiltert wird. Durch diesen ständigen Austausch wird die Luft sozusagen «verdünnt», was ihre Partikelkonzentration angeht. Eine andere, etwas aufwändigere Technik, die beispielsweise in Operationssälen zum Einsatz kommt, nennt man Verdrängungsströmung oder englisch «laminar flow». Hier strömt gefilterte Luft von oben nach unten, und das Ziel ist es nicht, die Luft aufzuwirbeln, sondern Partikel gar nicht erst im Raum «schweben» zu lassen.

Fotos: Adrian Venetz/maxon motor

Serie Bürstenlose Motoren mit genuteter Wicklung Teil I

Der Einfluss hoher Induktivität auf das Drehzahlverhalten

Bürstenlose Motoren mit genuteter Wicklung – also mit Eisenkern – sind zwar kräftig, weisen aber eine hohe Induktivität auf. Wie sehr weichen die Daten solcher Motoren vom idealen linearen Verhalten ab? Darum geht es in diesem Artikel.

Urs Kafader,
Leiter technische Ausbildung,
maxon motor

Foto: maxon motor

Im Gegensatz zu den klassischen eisenlosen maxon Motoren haben die maxon Flachmotoren und die EC-i Motoren eine Wicklung mit Eisenkern. Dies ergibt einen höheren Magnetfluss der Wicklung, und der Motor wird stärker. Allerdings verlangsamt die hohe Induktivität aufgrund des Eisenkerns die Reaktion des Stroms. Bei hohen Drehzahlen können sich Abweichungen vom einfachen linearen Verhalten der Motoren mit eisenloser Wicklung, z.B. maxon DCX und ECX SPEED Motoren, ergeben. Davon handelt Teil 1 dieser Betrachtung. In Teil 2 im nächsten «driven» geht es dann um den Effekt der magnetischen Sättigung im Eisenkern bei hohen Strömen. Beide Effekte sind im schematischen Diagramm der **Abbildung 1** zusammengefasst, welches man auch im maxon Katalog findet. Die beiden Artikel bezwecken, ein besseres Verständnis für die auftretenden Effekte und die praktischen Auswirkungen zu schaffen.

Elektrische Zeitkonstante und Kommutierung

Die Motorwicklung stellt eine induktive und resistive Last dar, und der Motorstrom wird exponentiell gedämpft anwachsen, wenn eine Spannung angelegt wird. Das exponentielle Verhalten ist durch die elektrische Zeitkonstante, τ_el, charakterisiert, die sich einfach aus der Anschlussinduktivität Lmot geteilt durch den Anschlusswiderstand Rmot des Motors berechnet, $\tau_{el}=L_{mot}/R_{mot}$. Der maximale Strom am Ende ist durch das Ohm'sche Gesetz gegeben, $I_{end}=U_{mot}/R_{mot}$.

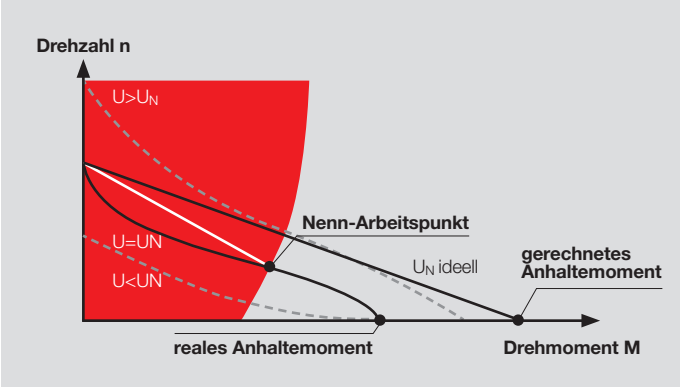


Abbildung 1 Schematische Darstellung der Effekte (aus dem maxon Katalog). Teil 1 dieses Artikels behandelt die Effekte bei hoher Drehzahl im linken Teil. Teil 2 befasst sich mit den Effekten in der rechten Hälfte des Diagramms.

Bürstenlose Motoren werden elektronisch kommutiert, d.h., der Strom in jeder Phase wird ein- und ausgeschaltet. **Abbildung 3 (S. 36)** zeigt den idealen Stromverlauf bei Blockkommutierung in den drei Phasen. Dies dient als Grundlage zur Spezifikation der maxon Motoren.

Die Induktivität bewirkt, dass der Wicklungsstrom nicht so abrupt ändern kann, wie es die **Abbildung 3 (S. 36)** andeutet. Wie viel Zeit wird in jedem Kommutierungsintervall für den Stromanstieg benötigt?
Berechnen wir die Dauer eines Kommutierungsintervalls und vergleichen diese mit der elektrischen Zeitkonstanten. Klar ist: je höher die Motordrehzahl, umso kürzer das Kommutierungsintervall. Zur Berechnung nehmen wir einen extremen Fall, die Leerlauf-Drehzahl bei Nennspannung n_0. Die Anzahl Kommutierungsintervalle pro Motorumdrehung ist sechsmal die Anzahl Polpaare p. Während 1 Minute ergeben sich $6p \cdot n_0$ Kommutierungsschritte. Somit ist die Dauer eines Kommutierungsschritts $\Delta t_{comm}=(60\ s/min)/(6p \cdot n_0)$.

Die Ergebnisse für verschiedene Motordesigns sind in der **Tabelle (S. 37)** zusammengefasst.

Die ersten beiden Motoren in der Tabelle haben eine eisenlose maxon Wicklung mit tiefer Induktivität. Entsprechend sind die elektrischen Zeitkonstanten sehr kurz und – am wichtigsten – bedeutend kürzer als das Kommutierungsintervall. Somit kann sich der volle Strom in jedem Kommutierungsschritt ausbilden. Beim ECX SPEED Motor ist die Situation nicht ganz so komfortabel wie beim EC-max 40 aufgrund der extrem hohen Leerlauf-Drehzahl des Ersteren.
Die letzten drei Motoren in der Tabelle sind Multipol-Motoren mit genuteten Wicklungen. Der Eisenkern erhöht die Induktivität und damit die elektrische Zeitkonstante auf Werte gegen 1 ms. Andererseits

werden die Kommutierungsintervalle sehr kurz wegen der hohen Anzahl Polpaare. Tatsächlich sind die Kommutierungsintervalle bedeutend kürzer als die elektrische Zeitkonstante. Daraus resultiert, dass der Strom sich nicht voll ausbilden kann, und der Motor wird schwächer. Der Effekt ist ähnlich wie eine Kommutierung, die nicht perfekt eingestellt ist und eine höhere Leerlauf-Drehzahl und eine steilere Kennlinie ergibt. Dies ist in **Abbildung 1 (S. 35)** durch die gestrichelten Linien im roten Dauerbetriebsbereich dargestellt.
All diese Phänomene sind bei höheren Drehzahlen ausgeprägter, d.h. nahe bei Leerlauf und bei höherer Versorgungsspannung.

Praktische Aspekte

Im maxon Katalog werden drei Punkte auf der Drehzahl-Drehmoment-Kennlinie spezifiziert: Leerlauf, Nennarbeitspunkt und Anlauf. Diese Arbeitspunkte werden unter Berücksichtigung der bisher beschriebenen Effekte berechnet. Wir haben gesehen, dass die grössten Abweichungen auftreten, wenn die Intervalle bei Blockkommutierung sehr kurz werden, also bei hohen Motordrehzahlen. Typisch wird somit die Leerlauf-Drehzahl am stärksten beeinflusst und gegen höhere Werte verschoben. Bei der Angabe der Drehzahl-Drehmoment-Kennlinie und ihrer Steigung wird eine gerade Linie zwischen Leerlauf-Drehzahl (welche zu hoch ist) und Anahaltemoment angenommen. Somit wird der Nennarbeitspunkt unterhalb dieser Linie zu liegen kommen **(vgl. Abbildung 1 [S. 35] und 4 [S. 36])**.
In den meisten praktischen Anwendungen und für die Motorauswahl können wir die im maxon Katalog aufgeführte Regel anwenden: «Bei den Flachmotoren ist vor allem der Dauerbetrieb interessant. Dort kann die Kennlinie durch eine Gerade zwischen der Leerlauf-Drehzahl und dem Nennarbeitspunkt angenähert werden. Für diese erreichbare Kennliniensteigung gilt angenähert: $\Delta n/\Delta M \approx (n_0 - n_N)/M_N$.»
Berechnen wir dies als Beispiel für den Motor EC-i 40 High Torque 50 W. Wir erhalten eine Kennlinienstei-

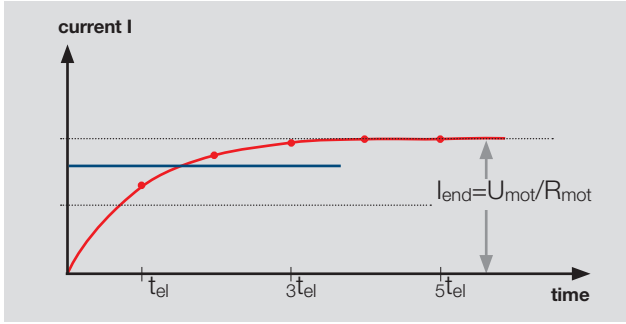


Abbildung 2 Strom als Funktion der Zeit in einer Wicklung bei fester angelegter Spannung. Es braucht etwa 1,5 elektrische Zeitkonstanten, um das blaue Stromniveau zu erreichen.

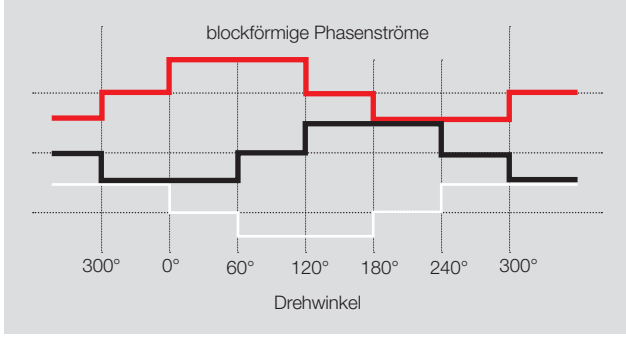


Abbildung 3 Phasenströme bei Blockkommutierung (aus dem maxon Katalog) für eine vollständige Kommutierungssequenz.

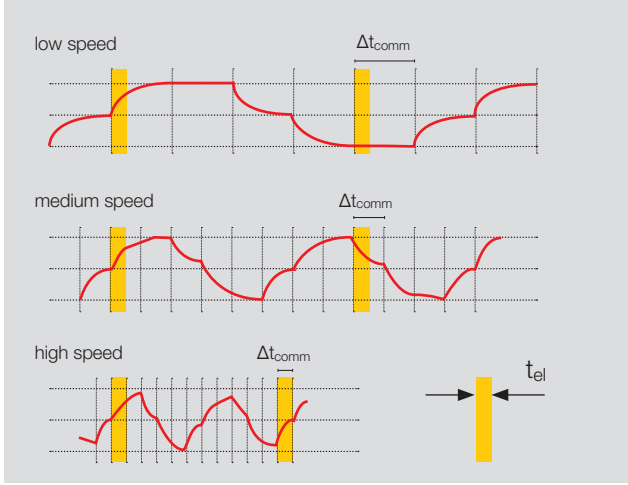


Abbildung 4 Strom in einer Phase bei Blockkommutierung bei verschiedenen Drehzahlen einschliesslich des Effekts der Stromverzögerung aufgrund der elektrischen Zeitkonstanten. Je kürzer das Kommutierungsintervall, umso kleiner der mittlere Phasenstrom.
Hinweis Diese sehr schematische Darstellung gilt für eine feste Versorgungsspannung und vernachlässigt Effekte aufgrund eines Stromregelkreises und einer getakteten Endstufe.

maxon EC Motor Typ	Wick-lung, Rotor	L_{mot} (mH) R_{mot} (Ω) Polpaare	t_{el} (ms)	Δt_{comm} (n_0)			t_{mech} (ms)
ECX SPEED 22 M HP, 80 W	eisenlos, innen	0.0133 mH 0.172 Ω 1	0.077 ms	<	0.18 ms (55 $kmin^{-1}$)	<<	2.39 ms
EX-max 40, 70 W	eisenlos, innen	0.186 mH 1.35 Ω 1	0.13 ms	<<	1.25 ms (8 $kmin^{-1}$)	<<	8.8 ms
EC-i 30, 75 W HT	genutet, innen	0.39 mH 0.38 Ω 4	1 ms	>	0.31 ms (8 $kmin^{-1}$)	<>	0.72 ms
EX-i 40, 70 W HT	genutet, innen	0.512 mH 0.591 Ω 7	0.87 ms	>	0.19 ms (7.5 $kmin^{-1}$)	<>	0.64 ms
EX flat 45, 70 W	genutet, aussen	0.966 mH 1.74 Ω 8	0.55 ms	>	0.2 ms (6.3 $kmin^{-1}$)	<<	11 ms

Tabelle Vergleich der elektrischen und mechanischen Zeitkonstanten mit der Dauer des Kommutierungsintervalls bei Leerlauf-Drehzahl für verschiedene bürstenlose maxon EC-Motoren.

gung von etwa 16.2 min^{-1}/mNm, was bedeutend höher ist als der Katalogwert von 6.48 min^{-1}/mNm. Als Konsequenz bräuchte man beispielsweise etwa 32 V Spannung, um 5000 min^{-1} bei 100 mNm zu erreichen, anstelle der 27 V, wenn der ideelle Katalogwert der Kennliniensteigung gelten würde.

Was man daraus lernen kann

Vorsicht bei der Auslegung von Motoren mit genuteten Wicklungen für hohe Drehzahlen. Sie könnten mehr Spannung benötigen als gedacht.

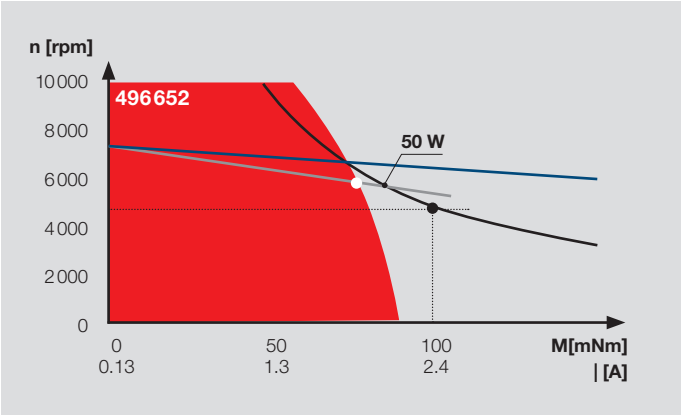


Abbildung 5 Betriebsbereichsdiagramm des Motors EC-i 40 High Torque. Blaue Linie: Katalog Drehzahl-Drehmoment-Kennlinie. Graue Linie: direkte Verbindung zwischen Leerlauf und Nennarbeitspunkt (dunkelgrau). Weisser Punkt: Arbeitspunkt bei 100 mNm und 5000 min^{-1}.

Bei tiefen Drehzahlen kann man problemlos die spezifizierten Motordaten verwenden.
Zusatzbemerkung: Bei Sinus-Kommutierung (FOC oder feldorientierte Regelung) dürfte die hohe Induktivität einen viel kleineren Einfluss haben, da der Strom graduell verändert wird und nicht so abrupt wie bei Blockkommutierung. (Allerdings habe ich das nie überprüft.)

Bewegungsverhalten – mechanische Zeitkonstante

Die elektrische Zeitkonstante der klassischen eisenlosen maxon Wicklung ist bedeutend kürzer als die mechanische Reaktion der Motoren (typisch einige ms, **Tabelle**). Für die meisten praktischen Anwendungen kann man deshalb sagen, dass der Strom ohne Verzögerung anliegt und die Bewegung damit ausgeführt wird. Das Drehmoment wird sofort wirksam und unterstützt die hohe Dynamik des Motors.
Die Motoren mit der kleinsten mechanischen Zeitkonstanten finden sich in der Baureihe maxon EC-i High Torque. Die Dynamik ergibt sich aus einer Kombination von hohem Drehmoment – erzeugt durch die eisenbehaftete Wicklung und die starken Magneten im Rotor – und der tiefen Massenträgheit des Rotors. Unglücklicherweise weist die genutete Wicklung eine elektrische Zeitkonstante auf, die in derselben Grössenordnung wie die mechanische Zeitkonstante liegt. Somit wird das dynamische Verhalten durch die Zeit verzögert, die der Strom braucht, um anzusteigen; es ist schwierig, den Strom schnell genug in die Wicklung zu kriegen. Zusätzlich können Sättigungseffekte das maximal erreichbare Drehmoment einschränken **(vgl. Teil 2 dieser Artikelserie),** und die resultierende mechanische Zeitkonstante ist länger als die ideale Angabe in der Spezifikation.
Die zweite Lektion: Nimm die mechanische Zeitkonstante nicht für bare Münze. Es gibt noch andere Effekte, die einen Einfluss haben; nicht zuletzt die Massenträgheit der Last.

Der Wurm ist drin

Von der Diplomarbeit zum Start-up: Fünf junge Techniker wollen mit einem neuen Ansatz einen Sanierungsroboter für Abwasserkanäle auf den Markt bringen – und lassen sich dazu von der Natur inspirieren.

Der Regenwurm ist ein Bewegungstalent. Ausgestattet mit einer komplexen Ring- und Längsmuskulatur, ist er in der Lage, sowohl vorwärts als auch rückwärts zu kriechen. Dieses perfekte Bewegungskonzept der Natur sollte sich auch in der Robotik einsetzen lassen, dachte sich ein junger Techniker aus Österreich, als er 2014 seine Diplomarbeit in Angriff nahm. 2016 schloss das inzwischen fünfköpfige Team die Arbeit erfolgreich mit einem funktionstüchtigen Prototyp eines Roboters ab, der sich wie ein Regenwurm bewegte. Das Konstrukt bestand aus mehreren Segmenten mit veränderbaren Durchmessern. Es wurden jeweils nur jene Teile bewegt, die verkleinert sind und somit nicht den Boden berührten. Es folgten mehrere Innovationspreise und Berichte in den Medien, dann meldeten sich erste interessierte Investoren. «Der Schritt in die Selbstständigkeit war danach nur mehr ein kleiner», sagt Matthias Müller, der inzwischen Geschäftsführer des Start-ups Foccus Innovation ist.

Lösungen durch Brainstormings

Ihrem Ziel sind die jungen Männer bedeutend nähergekommen. Inzwischen haben sie einen ersten Prototyp eines Rohrsanierungsroboters für den kommerziellen Einsatz gebaut, der für die grabenlose Sanierung

Fotos: Foccus Innovation

von Kanälen eingesetzt werden kann. Und bis Ende 2019 soll ihr Produkt bereits auf den Markt kommen. Natürlich, es hat auch technische Probleme gegeben, «aber die haben wir meist sehr rasch und effizient in Brainstormings miteinander gelöst», so Müller. Die grössere Hürde seien Zulieferer gewesen, die zu viel versprochen oder sogar falsche Ware geliefert hätten. «Ein Grossteil der Unternehmen hatte kein Interesse an einem Start-up mit schwer kalkulierbarem zukünftigem Absatz.»

Mehr als 12 Antriebe pro Roboter

Durch einen Tipp sind die Entwickler auf maxon gestossen. Dort haben sie sich für das Young Engineers Program (YEP) gemeldet und sind angenommen worden. Jetzt verwenden sie für die Antriebe in ihrem Roboter ausschliesslich maxon Produkte – teils Standardantriebe, teils Sonderanfertigungen. Matthias Müller sagt: «Durch das gute Kraft/Grössen-Verhältnis der Elektromotoren ist es uns möglich, ein solch kleines und doch so kräftiges Arbeitsgerät zu realisieren.» Mehr als 12 Antriebe stecken im Regenwurm-Roboter. Meist sind es Kombinationen aus bürstenbehafteten oder bürstenlosen DC-Motoren sowie GPX-Planetengetrieben und Encodern. Hinzu kommen einige Controller. Für die Entwickler des Sanierungsroboters sind vor allem Produkteigenschaften wie hohe Langlebigkeit, Präzision und eine kompakte Baugrösse entscheidend.

Das Start-up hat von maxon in Österreich konzeptionelle Unterstützung erhalten. «Zudem hat uns maxon leihweise Elektromotoren für Testzwecke zur Verfügung gestellt. So konnten wir verschiedene Konzepte überprüfen und unsere Antriebe richtig auslegen.»

Das Team hat bereits viele Herausforderungen gemeistert und dafür unzählige Wochenenden und Nächte geopfert. Nun muss sich der «Regenwurm» von Matthias Müller und seinen Kollegen im Markt der Kanalsanierungsroboter einen Platz erkämpfen. Sie sind überzeugt, dass ihr System viele Vorteile gegenüber bestehenden Lösungen bietet. Etwa einen geräuscharmen Betrieb. Aber auch eine neuartige Steuerung, die dem Benutzer ein Vibrationsfeedback und hochauflösende 4K-Bilder liefert. In einer ersten Phase sollen ausgewählte Kunden das Produkt ausführlich testen. Und danach soll der Regenwurm-Roboter regelmässig durch die Abwasserkanäle der Nachbarschaft kriechen.

Das Team des Start-ups Foccus Innovation mit seinem Kriechroboter.

«maxon hat uns Elektromotoren für Testzwecke zur Verfügung gestellt.»

Matthias Müller, Geschäftsführer Foccus Innovation

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

Ein Fossil als Freund

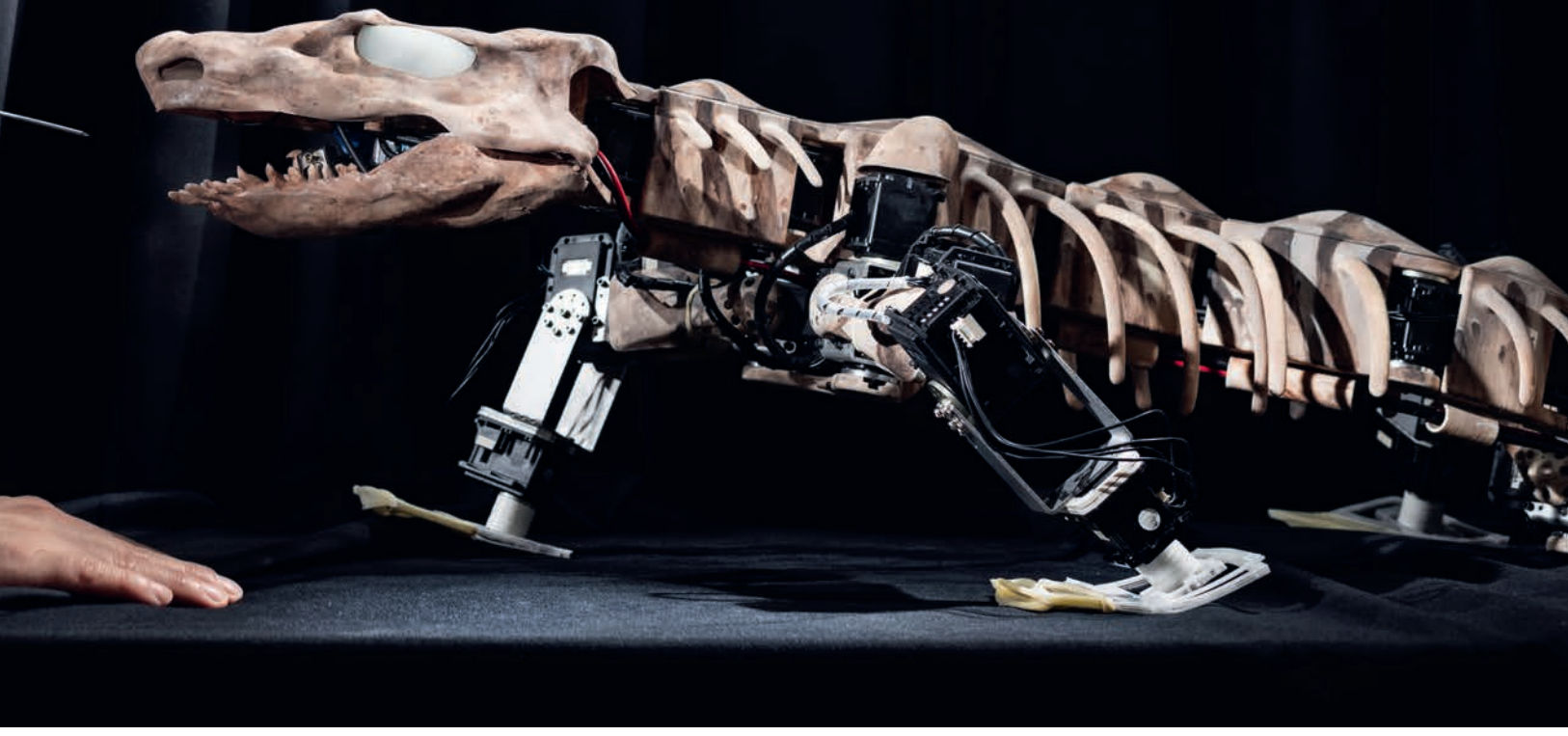
Einen Tier-Roboter zum Laufen zu bringen, ist nicht so einfach, wie es aussieht. Um die Bewegungen der Gelenke zu koordinieren und flüssige Bewegungsabläufe zu erreichen, bedarf es fortschrittlicher Technik und sorgfältiger Beobachtung von echten Lebewesen. Aber was tut man, wenn das Tier seit 300 Millionen Jahren ausgestorben ist?

Foto: Fred Merz/lunc

Dies ist die Geschichte des *Orobates pabsti*, eines frühen Tetrapoden, der bereits Millionen von Jahren vor den Dinosauriern lebte. Sein fossiles Skelett wurde 2004 in Deutschland gefunden. Der hervorragende Erhaltungszustand der versteinerten Knochen, nahezu vollständig und beweglich, wurde zudem von fossilen Fussspuren ergänzt, die ebenfalls in der Region entdeckt wurden. Dies half Ingenieuren wie mir im Biorobotik-Labor der EPFL (in Zusammenarbeit mit Tomislav Horvat und Auke Ijspeert) und einem grossartigen Team von Biologen (unter der Leitung von John Nyakatura an der Humboldt-Universität zu Berlin), die Bewegungsabläufe des Tieres mit Hilfe eines Roboters nachzuvollziehen.

Doch warum ist die Fortbewegung des Orobates von Bedeutung? Orobates ist ideal dazu geeignet, die Entwicklung der Landwirbeltiere (einschliesslich des Menschen) nachzuvollziehen. Diese Tiere stellen den Übergang von einer amphibischen Lebensweise zum Leben an Land dar und waren in der Lage, auch ihre Eier an Land zu legen. Das siedelt sie im evolutionären Stammbaum zwischen den Amphibien und höher entwickelten Tieren wie Reptilien, Vögeln und Säugetieren an. Ob Orobates an Land laufen konnte oder nicht, kann von entscheidender wissenschaftlicher Bedeutung sein. Etwa um der Debatte darüber, zu welchem Zeitpunkt die Tiere das Land besiedelten, neue Impulse zu geben. Bewegungsexperimente mit lebenden Tieren sind schwierig, mit einem ausgestorbenen Tier sind sie unmöglich. Wir mussten also einen Weg finden, die Fortbewegung des Orobates objektiv nachzuvollziehen. Wir sahen in Computersimulationen ein geeignetes Werkzeug, aber Beinbewegungen sind schwer zu simulieren. Intervallartige Stösse der Beine auf den Boden, Kontaktreibung und die Gesamtdynamik des sich bewegenden Körpers des Orobates erforderten eine Validierung in der realen Welt. Daher haben wir das fossile Skelett des Orobates anhand eines physischen Roboters nachgebildet. Dieser Roboter war eine skalierte Version des Fossils, d.h., dass die Grösse des Tieres im Massstab fast verdoppelt wurde. Die Gewichtsverteilung und andere dynamisch relevante Parameter wie die Geschwindigkeit, mit der sich der Roboter bewegen sollte, wurden gründlich analysiert, um sowohl von biologischer als auch von technischer Relevanz zu sein.

Mit dem fertigen Roboter konnten wir eine Reihe möglicher Gangarten testen, mit denen Orobates sich vermutlich zu Lebzeiten fortbewegt hat. Wir haben andere lebende Tiere beobachtet, deren Morphologie dem



Kamilo Melo wuchs in Duitama und Bogotá in Kolumbien auf. Heute lebt er in Renens im Kanton Waadt. Er studierte Elektrotechnik und Maschinenbau und promovierte in Robotik. Nach seiner Postdoktorandenstelle an der EPFL Lausanne arbeitet und forscht er mittlerweile für sein eigenes Robotikunternehmen KM-RoBoTa.

Orobates ähnelt, darunter einen Salamander, einen Kaiman, einen Leguan und einen Skink. Uns fiel auf, dass ihre Gangarten sich je nach Körpergrösse, dem Bewegungsumfang der Wirbelsäule und der Beinrotation beim Schreiten unterscheiden. Diese Eigenschaften schaffen einen Bereich, in dem die Daten der lebenden Tiere und die möglichen Gangarten des Roboters verglichen werden konnten. Wir haben eine Reihe von Gangarten getestet, um den stabilsten und effizientesten Gang zu finden, der Kraftmuster verwendet, die denen der lebenden Tiere ähneln und die zu den erhaltenen Spuren passten. Dabei zeigte sich, dass die wahrscheinlichsten Gangarten des Orobates denen eines Kaimans recht nahe kamen. Dies deutete darauf hin, dass ihre Fortbewegung im Gegensatz zu bisherigen Annahmen eher fortgeschritten war.

Praxistests in Afrika

Die Tests mit dem Roboter waren eine grossartige Erfahrung. Er wirkte lebendig. Die Steuerung der Maschine erforderte die Lösung von Problemen in Verbindung mit inverser Kinematik und Dynamik sowie die Koordination der Bewegung von Beinen und Wirbelsäule. Um ein flüssiges Bewegungsbild zu erzielen, sendet der integrierte Computer des Roboters etwa 100-mal pro Sekunde Befehle an die Motoren. Die verwendeten Aktoren werden dabei von einem leistungsstarken und effizienten maxon Motor angetrieben. Zum Einsatz kamen 28 Aktoren, fünf pro Bein und acht in der Wirbelsäule. Selten wurden mit einem so komplexen und dem biologischen Vorbild so ähnlichen Roboter all diese unterschiedlichen Bewegungen über eine Steuerung umgesetzt.

Unsere Erfahrung aus der Konstruktion und Steuerung von Spreizgangrobotern («Sprawling Posture Robots») floss mit in den Bau des Orobates-Roboters ein. Nach der wissenschaftlichen Auswertung des Salamander-Roboters «Pleurobot» (siehe «driven»-Magazin 2018) liessen wir uns auch von den Gangarten und Morphologien von Nilkrokodilen und Waranen inspirieren, um zwei unserer Roboter zu bauen und zu testen. Wir arbeiteten auch mit der BBC bei der Produktion von Naturdokumentationen in Afrika zusammen. In der Doku «Spione im Tierreich» sind unsere Roboter am Ufer des Nils inmitten wildlebender Tiere zu sehen. Diese Roboter überlebten zwei Drehwochen unter extremen Einsatzbedingungen und lieferten uns wertvolle Erkenntnisse im Hinblick auf eine robuste Konstruktion für komplexe Praxisszenarien. Das gilt etwa für die K-Rock-Roboter für den Katastropheneinsatz. Aufgrund ihrer Haltung können sie niedrige Gänge durchqueren. Sie sind zudem schwimmfähig und können sich in überschwemmten Gebieten voller Trümmer und Hindernisse fortbewegen.

Die Entwicklung dieser Roboter, zunächst gemeinsam mit dem Biorobotik-Labor an der EPFL, jetzt in meinem privaten Unternehmen KM-RoBoTa (Teil des YEP-Programms von maxon und eines der Startups des maxon Innovation Lab in Lausanne), legt die Messlatte für die belastbare Konstruktion tierähnlicher Roboter höher – für Roboter also, die von echten Tieren und deren Bewegungsabläufen inspiriert sind und die viel Potenzial für wissenschaftliche oder für technische Anwendungen bieten.

Antriebe der Zukunft

Fortschritte in der Robotik wie diese führen dazu, dass wir darüber nachdenken, welche Antriebsmechanismen wir derzeit einsetzen. Die aktuelle Technologie macht uns schnell – aber wir können nicht gleichzeitig schnell und effizient hohe Trägheiten überwinden (Stösse, explosive Bewegungen usw.). Zur Erhöhung des Drehmoments nutzen wir Getriebe, die die Transparenz der Bewegungssteuerung durch Trägheit und Reibung beeinflussen und die Antriebsübertragungsleistung herabsetzen. Neue Wege zur Schaffung besserer Antriebe in verschiedenen Grössenordnungen führen oft zur Belastung durch sperrige Peripheriesysteme, zur Verringerung der Leistungs- und Drehmomentdichte oder zu einem hohen Energiebedarf, der Ableitungsanforderungen übersteigt.

Schritt für Schritt entwickeln wir eine bessere Antriebstechnik. Aber wir sind noch weit davon entfernt, unseren Robotern die gewünschten realen, tierähnlichen Fähigkeiten zu verleihen. Zumindest im Vergleich zu dem, was tierische Muskeln zu leisten imstande sind. Es liegt noch ein langer, aber spannender Forschungsweg vor uns.

Quellenverzeichnis
John A. Nyakatura*, Kamilo Melo*, Tomislav Horvat*, Kostas Karakasiliotis, Vivian R. Allen, Amir Andikfar, Emanuel Andrada, Patrick Arnold, Jonas Lauströer, John R. Hutchinson, Martin S. Fischer und Auke J. Ijspeert. Reverse-engineering the locomotion of a stem amniote. Nature 565, 351–355; 2019. *Gleichberechtigte Autorenbeiträge.
DOI: 10.1038/s41586-018-0851-2

Wettbewerb

In welcher Stadt findet der Cybathlon 2020 statt?

DESIGN AWARD 2018

Zu gewinnen gibt es einen E-Scooter Ninebot von Segway mit einer Spitzengeschwindigkeit von 20 Kilometern pro Stunde.

Senden Sie die Antwort per E-Mail an:
driven@maxonmotor.com

Teilnahmeschluss ist der 31. Juli 2019
Die Gewinner werden informiert. Mitarbeiter von maxon motor sind von der Teilnahme ausgeschlossen. Über den Wettbewerb wird keine Korrespondenz geführt. Der Rechtsweg ist ausgeschlossen.

---

www.drive.tech

Schauen Sie doch mal bei unserem Blog vorbei!

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

Zum Beispiel dieser Beitrag über einen schwerelosen Roboterassistenten an Bord der Internationalen Raumstation ISS.

Fotos: Segway, maxon motor

In Reih und Glied

Diese Wicklungen im neuen Reinraum von maxon in Sachseln sind bereit für den Einsatz. Bald verrichten sie ihren Dienst in bürstenlosen Mikro-Motoren mit einem Durchmesser von lediglich 6 Millimetern. Besonders in der Medizintechnik sind solche Winzlinge gefragt. Der Kupferlackdraht für diese Wicklungen hat einen Durchmesser von weniger als 0,07 Millimetern – und ist damit etwa so dünn wie ein feines menschliches Haar.

Foto: Adrian Venetz/maxon motor