

Das Magazin von maxon motor

driven

1 // 2014



Auf vollen Touren

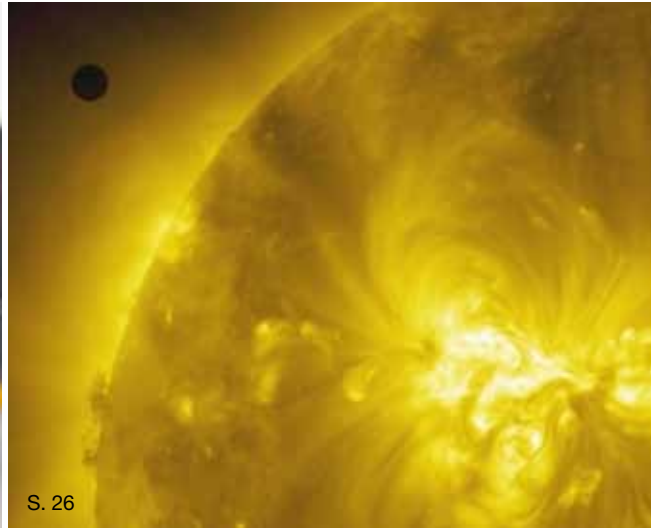
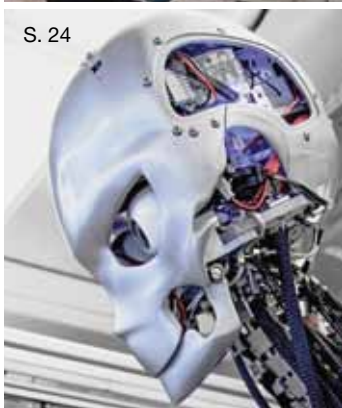
Innovatives für Rennstrecke und Strasse



Roboter Kenshiro hat über 160 Muskeln



Fliegende Autos faszinieren seit langem



The Big Picture
4 Forschungsroboter youBot

News
6 Das Kilogramm neu definieren

Im Fokus
8 Klappe und Action
Mit Nico Müller beim Testrennen der Formel Renault 3.5 in Monza.

15 Gemacht für extreme Bedingungen
John Manchester von Zytex zu den Anforderungen, die der Rennsport an Motoren stellt.

16 «Geschwindigkeit und Ökologie sind kein Widerspruch»
Dominik Stockmann von maxon motor nimmt Stellung zur Zukunft der Automobilität.

19 Auf der Spur bleiben
Fahrerassistenzsysteme sind auf dem Vormarsch. Wenns drauf ankommt, retten sie Leben.

22 Helles Köpfchen
Der FiberCut-Laserschneidkopf hält stets den richtigen Abstand zum Werkstück.

Innovation
24 Kräftig wie ein Manga-Held
Roboter Kenshiro ähnelt einer Trickfigur. Sein grosses Vorbild jedoch ist der Mensch.

Exploration
26 Venus, der heisse Schwesterplanet
470 °C – maxon motor entwickelt Motoren, die auch den Temperaturen auf der Venus trotzen.

Expertise
29 Energieeffizienz bei Kleinstantrieben

Kolumne
32 Das fliegende Auto von morgen ist von gestern
Patrick J. Gyger

Outlook
34 driven 2//2014
Die facettenreiche Welt der Antriebstechnik: Erfahren Sie mehr über die nächste Ausgabe von driven.

Fotos: Cover: Frame Eleven, maxon motor ag, San Diego Air & Space Museum
Seite 3: maxon motor ag

Editorial

Wenn der kleine Motor genauso wichtig ist wie der grosse



Eugen Elmiger, CEO der maxon motor ag

Auf der Rennstrecke zählt jede Kurve. Das Gleiche gilt für die Strasse. Nicht zuletzt deshalb entwickeln Ingenieure für uns Autofahrer immer schlaunere Hilfssysteme. Sei es für eine effiziente Motorleistung, eine bessere Aerodynamik oder mehr Sicherheit. Oft braucht es dazu kleine, verlässliche Antriebe, die auf kleinstem Raum viel Power erzeugen. Erfahren Sie in dieser Ausgabe von driven, wo maxon Motoren im Rennsport und im PKW eingesetzt werden. Ausserdem haben wir für Sie spannende Beiträge aus der Robotik vorbereitet: Kenshiro, ein 1,58 Meter grosser humanoider Roboter, will mit seinen sehnengesteuerten Bewegungen den Menschen verstehen. Und youBot, der Forschungsroboter aus dem Hause KUKA Robotics, will die industrielle Fertigung revolutionieren.

Ich wünsche Ihnen viel Spass beim Lesen.

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

Dr. Rainer Bischoff, Leiter Technologieentwicklung bei KUKA Robotics, über youBot:

«Wir haben youBot eigens für Forschung und Lehre entwickelt. Er wird ohne proprietäre Steuerungssoftware geliefert, dafür mit einem reichen Fundus an Open-Source-Software, einem PC-Board und einer EtherCAT-Schnittstelle zur Antriebselektronik. Forscher und Studierende haben so viel Freiheit, wenn sie neue Algorithmen zur Robotersteuerung entwickeln.»



EC 45 flat treibt youBot an
Ø 22 mm, bürstenlos,
100 Watt, mit Hall-Sensoren

Get The Big Picture!

Volle Konzentration: Nirmal Giftsun (links) und Alexander Moriarty von der Hochschule Bonn-Rhein-Sieg nehmen am Robocup 2013 teil, einem Robotik-Wettkampf, an dem sich 2000 Forscher und Studierende aus aller Welt messen. Sie hoffen auf den Sieg in der Disziplin «Robocup@work». Dazu muss ihr youBot bestimmte Objekte in einem Parcours finden und an den richtigen Ort bringen – alles autonom, nur mithilfe von Sensoren und Algorithmen. In den Gelenken des youBot sitzen Flachmotoren von maxon motor. Sie sorgen für die präzisen und kraftvollen Bewegungen des Roboterarms.

Erfahren Sie mehr:
bigpicture.maxonmotor.ch





Partnerschaft

Das Kilogramm neu definieren

maxon motor hat eine Partnerschaft mit dem Schweizer Institut für Metrologie (Metas) geschlossen. Metas realisiert Masseinheiten wie den Meter oder das Kilogramm. Das Kilogramm soll neu definiert werden, denn dieses ist heute das letzte Mass, das noch auf einem materiellen Artefakt aus dem Jahre 1889 und nicht auf einer Naturkonstanten basiert. Das sogenannte Urkilogramm besteht aus einem 39 x 39 mm

grossen Zylinder aus einer Platin-Iridium-Legierung. Als materielles Objekt verändert es sich über die Jahre hinweg, zum Beispiel durch Ablagerungen von Schmutz oder Abnutzung. 40 solcher Kilogrammprototypen wurden in der ganzen Welt verteilt – auch beim Metas steht einer im Tresor. Bei einem Vergleich der Prototypen wurden Differenzen im Mikrogrammbereich festgestellt. Damit keine Unsicherheiten

über die Masseinheit Kilogramm entstehen, soll es durch eine Naturkonstante bestimmt werden. Dieses Vorhaben soll unter Verwendung von elektrischen Einheiten realisiert werden. In Kooperation mit maxon motor entwickelt das Metas aktuell eine Wattwaage, bei der man mechanische und elektrische Leistung miteinander vergleicht. Die Experimente für die Neudefinition des Kilogramms finden unter Hochvakuumbedingungen statt, was hohe Anforderungen an die Antriebe stellt. In der Wattwaage kommen vakuumtaugliche maxon EC22-Motoren (100 Watt) mit Encoder und die maxon Positioniersteuerung EPOS2 24/5 zum Einsatz. Um die Entstehung von Partikeln zu verhindern, sind die Motoren bürstenlos. Das System ist ein 3-Achsen-Roboter, der verschiedene Bewegungen ausführt, um eine exakte Messung zu erreichen. Die maxon Antriebe sind unter anderem verantwortlich für die präzise Bewegung eines Drehtellers und für die horizontalen sowie die vertikalen Bewegungen unterschiedlicher Bauteile des Messsystems.



In der Wattwaage sitzen vakuumtaugliche EC22-Motoren von maxon motor.

13,63 Sekunden

Der Hennessey Venom GT, das nach Guinness-Buch schnellste (Serien-)Auto der Welt, beschleunigt binnen 13,63 Sekunden von 0 auf 300 km/h. Rekordhalter in Sachen Höchstgeschwindigkeit ist momentan noch der Bugatti Veyron Super Sport mit 431 km/h (das Raketenfahrzeug Thrust SSC schaffte sogar einmal 1190 km/h). Wer schnell fährt, braucht nicht nur spezielle Reifen und viel Benzin, sondern auch jede Menge elektronische Helferlein. maxon Antriebe stecken zum Beispiel in Sicherheits- und Aerodynamiksystemen von Sport- und Personenwagen.

Fotos: Paliphot / Ali Eichenberger, Metas.ch, Hennessey Performance, maxon motor ag

NEUE PRODUKTE

Sensorloser Betrieb

maxon ESCON Module 50/4 EC-S

Das ESCON Module 50/4 EC-S ist für die effiziente Ansteuerung von permanentmagneterngetriebenen bürsten- und sensorlosen EC-Motoren ohne Hall-Sensoren bis rund 200 Watt ausgelegt. Der leistungsstarke 4-Quadranten-PWM-Servocontroller besitzt sehr gute Reglereigenschaften und erlaubt einen grossen Drehzahlbereich bis 120 000 min⁻¹. Er verfügt über umfangreiche Funktionalitäten mit frei konfigurierbaren digitalen und analogen Ein- und Ausgängen, ist für dynamische Antriebslösungen perfekt auf maxon Motoren abgestimmt und kann in den Betriebsmodi Drehzahlregler und Drehzahlsteller betrieben werden. All dies sind ideale Voraussetzungen für den Einsatz in kostensensitiven Applikationen und solchen mit erhöhten Anforderungen an die Zuverlässigkeit, beispielsweise bei medizinischen Geräten zur Atemtherapie und bei Handtools in der Chirurgie oder der Dentalindustrie. Entscheidend hierfür ist die geringere Systemkomplexität durch den sensorlosen Betrieb. Der grosszügige Bereich von Eingangsspannung und Einsatztemperatur erlaubt einen flexiblen Betrieb in vielen Anwendungsbereichen.

Neu dabei:
DCX-Motor 16 S/32 L
GPX-Getriebe 16/
22 spielreduziert/32



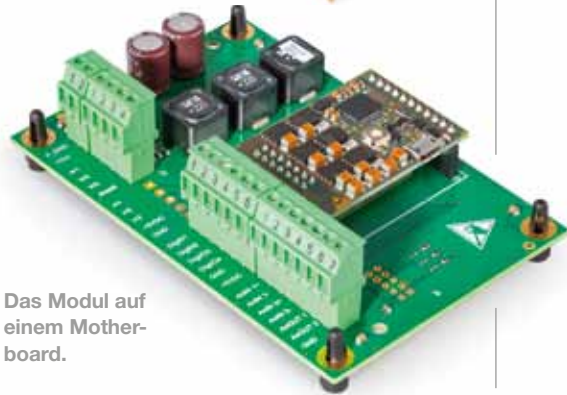
Neue Motoren und Getriebe

Die konfigurierbare Produktfamilie wächst

Zur vollständig konfigurierbaren DCX-Produktfamilie gehören neu die beiden bürstenbehafteten DC-Motoren DCX 16 S (Dauerleistungsbereich bis 9,5 Watt) und DCX 32 L (Dauerleistungsbereich bis 110 Watt). Das DCX-Programm umfasst damit nun insgesamt sieben Motoren mit Durchmessern von 10 bis 35 Millimetern. Auch bei den GPX-Planetengetrieben gibt es zwei neue Grössen: das GPX 16 (Wirkungsgrad bis 90 Prozent, kurze Bauform) sowie das GPX 32 (ein- und zweistufig, kurzzeitiges Drehmoment bis 3,6 Nm). Dazu kommt eine spielreduzierte Version des GPX 22.



maxon ESCON Module 50/4 EC-S

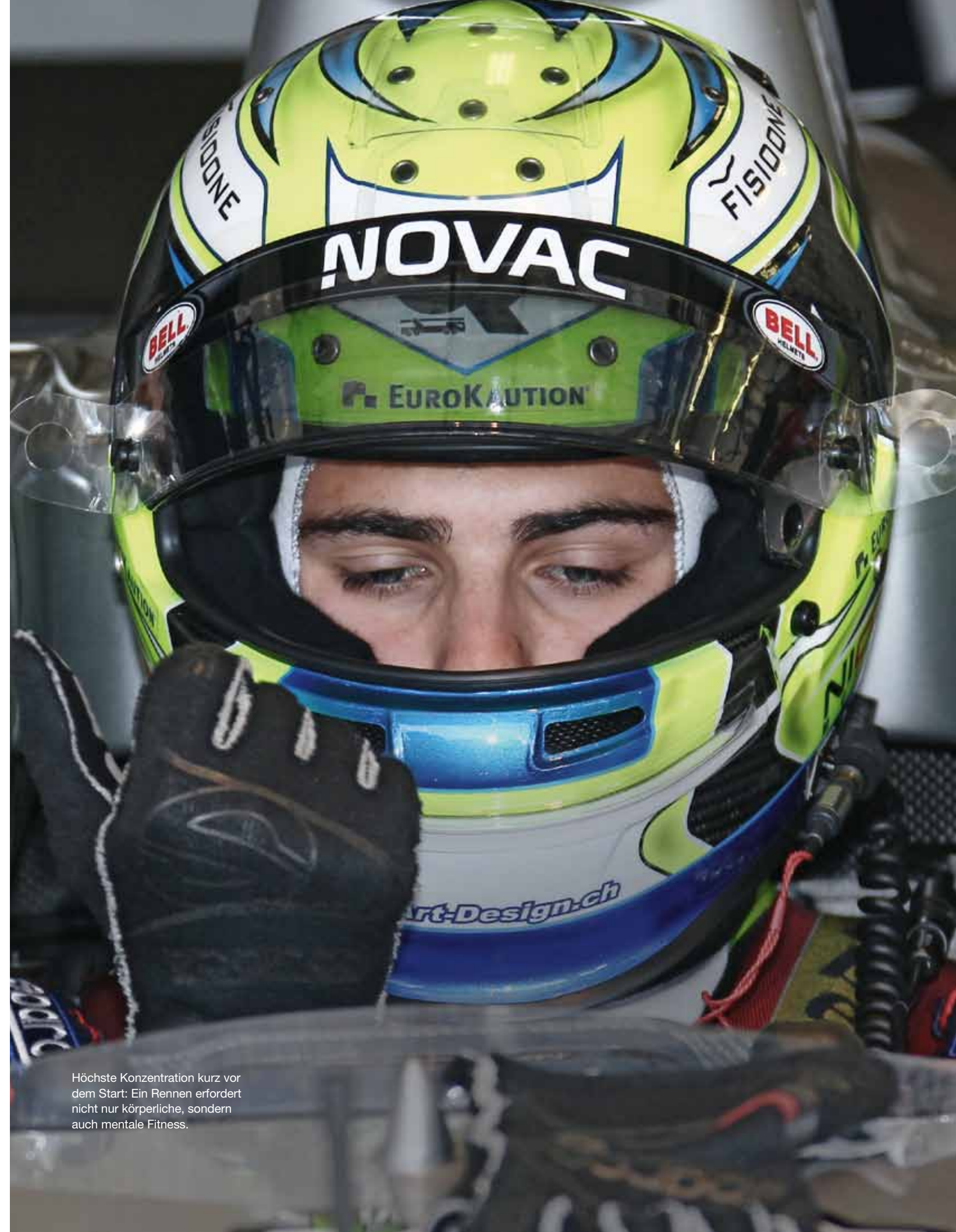


Das Modul auf einem Motherboard.

Klappe und Action

Schnell, kompetitiv, spektakulär: Die Formel Renault 3.5 gilt als ultimates Sprungbrett zur Königsklasse Formel 1. Ambitionierte Piloten haben nicht nur Benzin im Blut, sondern auch maxon Motoren an Bord – zur Steuerung der Drosselklappen im V8-Triebwerk ihrer 530-PS-Boliden.

Text: Andreas Turner



Fotos: Paolo Pellegrini, Nico Müller

Höchste Konzentration kurz vor dem Start: Ein Rennen erfordert nicht nur körperliche, sondern auch mentale Fitness.



Heisse Kurven
Die Strecke des Autodromo Nazionale di Monza ist technisch anspruchsvoll. Vor allem zwei Kurven haben es in sich (siehe rechts). Sie verlangen sehr präzise Beschleunigungs- und Bremsmanöver. Umso wichtiger ist eine zuverlässige Steuerung der Luftzufuhr des Motors über die Drosselklappen.

- ① Riskant: Hier bremsen die vorderen Wagen, während die hinteren noch beschleunigen.
- ② Anspruchsvoll: Hier geraten die Wagen schnell von der Fahrbahn ab.



Laden Sie die Tablet-Ausgabe 1//2014 herunter und erleben Sie ein Rennen aus der Fahrerperspektive. magazin.maxonmotor.ch



Auf einer Highspeed-Rennstrecke wie Monza liegt der Vollgas-Anteil bei rund 70 Prozent.

Höchste Schaltstufe. 260 ... 270 ... 280 ... 285 ... 290 ... Die Geschwindigkeit dringt ins Cockpit wie heisses Badewasser. Der Nacken von Nico Müller ruht schwer am Wannenrand der Sitzschale, denn da ist dieser gleichmässige Druck, der sich wie eine Moorpäckung auf ihn gelegt hat. Seltsamerweise nimmt er auch nach Erreichen der Topspeed-Zone bei rund 310 km/h nicht ab. Das Notwendige führt der 21-Jährige wie bei einer Sauerstoff-Intubation aus: einatmen, ausatmen, Schultern heben, Schultern senken, alles in betonter Ruhe, um die Adrenalinschübe wie durch Überdruckventile abzuarbeiten.

Detonierender Treibstoffnebel

Das Drehzahl-Display zeigt messerscharfe 9000/min, in rasender Taktfolge inhalieren die Kolben des heiser brüllenden V8-Aggregats laufend Frischluft durch die maximal geöffneten Drosselklappen. Der in den Brennräumen entzündete Treibstoffnebel detoniert kontrolliert, was den brachialen Vortrieb erzeugt.

Eine markante Streckenkrümmung, kurz und hart mit dem linken Fuss angebremst, lässt die Fliehkräfte an Reifen, Aufhängung, Chassis und Nackenmuskeln zerrén. Dessen ungeachtet zieht der Wagen unbeirrt und glatt wie die rotierende Klinge einer Abkantmaschine seinen Schnitt durch die mit lockerem Baumbestand versetzte Grünfläche.

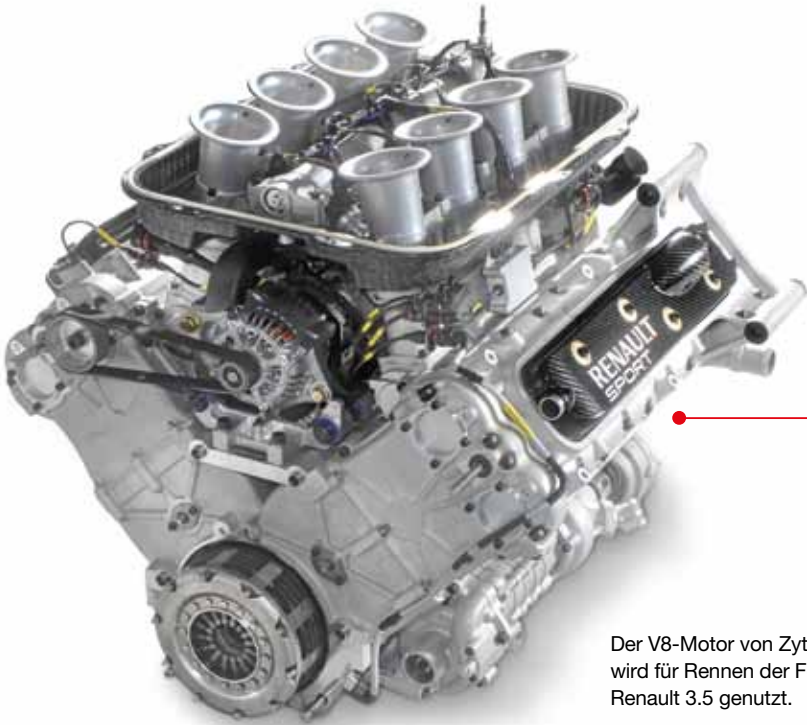
Unverrückbar wie eine Jakobsmuschel saugt sich der Einsitzer dem glatten grauen Faden entlang, der sich am Golfclub Milano vorbei durch den königlichen Park von Monza windet. Der über Flügel und Diffusoren erzeugte Anpressdruck ist jetzt höher als das Eigengewicht des Formel-Renault-3.5-Boliden – so stark, dass die Gesetze einer verdichteten Welt in Kraft treten. Die Lenkung scheint sich unter der Hitze der Belastung bis in die Schultern des Piloten hinauf verschweisst zu haben. Und vor der Parabolica lauert die Karbonbremse scharf wie ein Fallbeil darauf, den jungen Schweizer Rennfahrer mit dreifacher Erdbeschleunigung in die Gurte zu fetzen.

Feintuning

Boxenstopp bei Draco International Racing im Autodromo Nazionale di Monza. «Diese Trainingsrunde hat gepasst, das Auto fühlte sich auf jedem Streckenabschnitt hervorragend an», sagt Nico Müller fast beiläufig. Er lächelt



Nico Müller tauscht Formel-Rennwagen gegen Auto mit Dach Ein glanzvoller Sieg in Monaco, einer in Budapest und der fünfte Schlussrang in der Formel-Renault-3.5-Saison 2013: Nico Müllers Saisonbilanz 2013 fand in der Rennszene viel Anerkennung und verhalf ihm zum nächsten Karrieresprung: Die Saison 2014 wird das Nachwuchstalent als Audi-Werksfahrer in der renommierten Deutschen Tourenwagen Masters (DTM) bestreiten.



Der V8-Motor von Zyték wird für Rennen der Formel Renault 3.5 genutzt.

entspannt. Instinktiv hatte der Berner Oberländer erkannt, noch ehe die tatsächliche Rundenzeit feststand, dass er in der provisorischen Rangliste weit oben erscheinen würde. Bevor er Richtung Dusche verschwindet, gibt er dem Rennleiter zu Protokoll, wo das Set-up des nur 610 Kilo schweren Formel Renaults mit Zyték-Motor noch Feinjustierungen verträgt.

«Am beweglichen Heckflügel und am Pedal Mapping arbeiten wir minutiös, auch wenn wir am Ende weniger als eine Zehntelsekunde pro Runde finden», sagt Draco-Teammanager Simone Giglio. Er erklärt, wie sich die Kennfelder des Gaspedals, die so genannten Pedal Maps, auf Performance und Fahrbarkeit des Motors auswirken. «Es geht immer um das Verhältnis von Drehzahl und Gaspedalstellung. Dieses kann dank Drive-by-Wire, der Drosselklappenregelung auf elektronischem Weg, fast beliebig definiert werden.» Bereits sportliche Serienautos bieten heute die Möglichkeit, eine dynamischere Kennlinie zu wählen. Damit erhält der Fahrer eine andere Rückmeldung vom Motor. Er spricht auf Abruf spontaner an und fühlt sich eher wie ein Renntriebwerk an.

Schmetterlings-Drosselklappen

In den Zyték-Motoren der Formel Renault 3.5 kommen sogenannte «Butterfly»- oder Schmetterlings-Klappen zum Einsatz, die

an einer drehbaren Achse befestigt sind. Bei Vollgas befindet sich die Drosselklappe in senkrechter Position, wobei einflussende Luft ungehindert in den Brennraum gelangt. Bei geschlossener Stellung klappt sie in horizontale Position und unterbricht den Luftstrom.

Die exakte Regulierung des Zyték-Drosselklappensystems wird von einem modifizierten maxon Gleichstrommotor der RE-Serie mit Planetengetriebe übernommen. Alle acht Klappen sind durch einen einzigen Mechanismus miteinander verbunden. Sie schliessen und öffnen sich innerhalb von nur 10 bis 15 Millisekunden – vergleichbar mit dem Blitzlicht eines Fotoapparates. Auf einer Highspeed-Rennstrecke wie Monza liegt der Vollgasanteil bei rund 70 Prozent. In jeder Runde öffnen und schliessen sich die Drosselklappen etwa 100 Mal. Bei einer schnellen Lap Time von 1:35 Minuten verändern sie etwa alle 0,9 Sekunden ihre Position.

Zuverlässig bei extremen Bedingungen

Die anspruchsvollen Einsatzbedingungen – starke Vibrationen und Temperaturen von bis zu 130 Grad Celsius – erforderten spezielle Anpassungen bei Motoren und Getrieben. John Manchester, Operations Director bei Zyték, sagt: «Die Unterstützung



maxon RE 35, 90 Watt
Ø 35 mm, 90 Watt,
Graphitbürsten



maxon GP 32 HP
(High Power)
Ø 32 mm, Planeten-
getriebe 4,0–8,0 Nm

Der Kräftige fürs Extreme

Die extremen Bedingungen des Rennsports können dem bürstenbehafteten DC-Motor maxon RE 35 nichts anhaben. Er bekam spezielle Köcherbürsten, besonderes Epoxy (ein Kunstharz) und ein verstärktes Kommutierungssystem. Für mehr Drehmoment steht dem maxon RE 35 bei der Drosselklappenregulierung des Zyték-Motors das Planetengetriebe GP 32 HP (High Power) mit einer optimierten Abgangswelle zur Seite. Je nach Untersetzung erreicht dieses bis zu 12 Nm.

In der Formel 3.5 herrschen extreme Bedingungen: starke Vibrationen und Temperaturen von 130 Grad Celsius.

Fotos: Paolo Pellegrini, Nico Mueller, Zyték Engineering Ltd, maxon motor ag



Nico Müller war 2013 sehr erfolgreich. Heuer fährt er bei der Deutschen Tourenwagen Masters (DTM).

durch maxon motor in der Test- und Evaluationsphase hat gewährleistet, dass der Motor auch unter widrigen Voraussetzungen einwandfrei und zuverlässig funktioniert.»

In der Vergangenheit hatte Draco International Racing einst Piloten wie Felipe Massa, Pastor Maldonado und Rubens Barrichello unter Vertrag. In anderen Teams brachte Formel Renault 3.5 Top-Piloten wie Sebastian Vettel, Fernando Alonso und Robert Kubica hervor. Vettel ist heute vierfacher Formel-1-Weltmeister, Alonso gewann die Formel-1-Krone zwei Mal.

Dienstschluss für Nico Müller. In Jeans und Poloshirt verabschiedet er sich vom Team und sagt, zum Reporter gewandt: «Einen Rennwagen hat man nur in Vollgas- und Bremsphasen wirklich im Griff.» Während dieser noch über den gehörten Satz nachdenkt, öffnet Nico den Kofferraum seines Mietautos, verstaut seine XXL-Sporttasche und setzt sich ans Steuer, um zum Hotel zurückzufahren. Er fährt gemächlich los, beinahe verdächtig unauffällig. ■■■■

Jede Optimierung lohnt sich, auch wenn es dabei nur um Zehntelsekunden geht.

Wettbewerb

Wer macht das Rennen?



Gewinnen Sie zwei Wochenendtickets für das Formel-1-Highlight «Großer Preis Santander von Deutschland» vom 18. bis 20. Juli 2014 auf dem Hockenheim-Ring. Laden Sie jetzt die Tablet-Ausgabe 1//2014 herunter und machen Sie mit. Teilnahme-schluss ist der 30. Juni 2014. magazin.maxonmotor.ch

Jetzt mitmachen!



Fotos: Paolo Pellegrini, iStockphoto/JestersCap, Zytex Engineering Ltd

Wie gemacht für extreme Bedingungen

In den World-Series-Fahrzeugen von Renault sorgen Motoren von Zytex für Power. John Manchester erklärt, warum sich gerade maxon Antriebe so gut für die Drosselklappen-Verstellung im V8-Motor der Rennautos eignen.

Interview: Anja Schütz

Zytex ist auf Kontrollsysteme für Automobilindustrie, Antriebstechnik, Motorenbau und Hybridtechnologie spezialisiert. Was hat Zytex bekannt gemacht?

Zytex wird mittlerweile als weltweit führend in den Bereichen Motoren und Energierückgewinnungssysteme (ERS) anerkannt. Wir haben alle grossen Rennserien in der Welt beliefert. Die bedeutendsten Entwicklungen der letzten Jahre gelangen uns auf dem Gebiet der ERS. Die Technologie ist bahnbrechend und wird in den kommenden Jahren den Motorsport nachhaltig beeinflussen.

Was ist in Ihren Augen die bedeutendste Entwicklung in der Automobilindustrie der letzten zwanzig Jahre?

Die Entwicklung von Hybrid- und Elektrofahrzeugen führte zu tiefgreifenden Änderungen in der Art der Fahrzeuge, die wir heute und in Zukunft fahren werden. Der Motorsport erfordert eine ständige Entwicklung und Verbesserung der Produkte in sehr kurzen Zeitabständen.

Damit verbunden ist natürlich eine sehr viel schnellere Entwicklung, als dies in der Serienproduktion der Fall ist. Zytex war dadurch in der Lage, in grossen Schritten den Technologietransfer aus dem Motorsport in die Massenfertigung von Produkten im Automobilbau voranzutreiben, wodurch natürlich eine erheblich schnellere Verbesserung der Produkte ermöglicht wurde.

Unterhält Zytex immer noch seinen eigenen Rennstall? Wenn ja, mit welchem Ziel?

Zytex führte ein eigenes Rennteam, einfach um die Entwicklung unserer zahlreichen Produkte im Motorsport besser kontrollieren zu können. Im Moment ist dies allerdings nicht notwendig, und daher haben wir uns entschieden, momentan keinen Rennstall mehr zu unterhalten.

Für die Drosselklappen des V8-Motors aus der Formel Renault 3.5 verwendet Zytex einen Antrieb von maxon. Warum haben Sie sich gerade für ein maxon Antriebssystem entschieden?

Der Einsatz von maxon Produkten bei Zytex begann im Juli 2011. Wir waren tief beeindruckt von der technischen Unterstützung und dem Service, die wir von maxon erhielten. In den Drive-by-Wire-Drosselklappen des Renault-FR3.5-Motors sind die maxon Motoren sehr extremen Umgebungsbedingungen ausgesetzt. Die maxon Leute haben sich mit diesem Problem intensiv beschäftigt und Verbesserungsvorschläge für ihr Produkt unterbreitet, um es optimal an die Anwendung anzupassen. Seit Beginn unserer Zusammenarbeit haben wir sehr gute Beziehungen zu maxon. Mittlerweile verwenden wir maxon Produkte auch in anderen Anwendungen – etwa in der neuen Kupplungssteuerung, die wir in der nächsten Saison einsetzen werden.

Wie sieht Ihrer Meinung nach die automobile Zukunft aus, gerade auch im Motorsport?

Ich glaube, dass die wichtigsten Veränderungen bei Serienfahrzeugen und im Motorsport in der Entwicklung von komplett elektrischen und Hybridantrieben stattfinden werden. Dies wird die Entwicklung alternativer und effizienterer Antriebe begünstigen. ■■■■

John Manchester
Nach seinem Abschluss in Maschinenbau 1979 nahm John Manchester eine Stelle bei Alan Smith Racing Engines an, die später vom Unternehmen Zytex übernommen wurde. 1985 ging John Manchester in die USA und arbeitete für Dick Simon Racing als Ingenieur. Er war sowohl für die Motoren als auch für die Getriebe des IndyCar-Autoprogramms verantwortlich. 1987 kehrte er ins Vereinigte Königreich zu Zytex zurück. John Manchester hat grossen Einfluss auf die Entwicklung des Geschäftsbereichs Zytex Engineering Technology Facility.



«Geschwindigkeit und Ökologie sind **kein Widerspruch**»

Batteriebetriebene Autos für alle, Autos ohne Fahrer und Energieeffizienz im Motorsport – Dominik Stockmann nimmt Stellung zu drei visionären Thesen.

These 1:

Langsam setzt sich die Erkenntnis durch, dass Erdöl zum Verbrennen zu schade ist. 2025 wird es in hochentwickelten Staaten mehr Autos mit Elektro- als mit Verbrennungsmotoren geben. Der Strom kommt aus mitgeführten Batterien oder aus Wasserstoff-Brennstoffzellen.

Das kritische Element bei der Elektromobilität ist heute nach wie vor der Energiespeicher. Die modernsten Batterien, die in Elektroautos gegenwärtig eingesetzt werden, sind Lithium-Ionen-Batterien. Von der Energiedichte von Treibstoffen wie Diesel oder Benzin sind diese Akkus heute aber noch weit entfernt. In einem Liter Benzin steckt die Energie von etwa 10 000 Wattstunden pro Kilogramm (Wh/kg). Heutige Lithium-Ionen-Akkuzellen, wie sie in den besten Elektrofahrzeugen verbaut sind, haben eine Energiedichte von ungefähr 120 Wattstunden pro Kilogramm, also etwa 80 Mal weniger. Aktuell verspricht man sich grosses Potenzial von der Entwicklung von Zink-Luft-Batterien,



Die Technikstudie «Audi urban concept»: Ultra-Leichtbau-Karosserie trifft auf kraftvolle Lithium-Ionen-Batterien.



Dominik Stockmann ist seit 2010 als Leiter Engineering Motoren bei maxon motor tätig. Davor belegte er während zwölf Jahren verschiedene leitende Positionen beim Schweizer Formel-1-Team von Sauber Motorsport. Stockmann war zuerst für die Getriebe- und Fahrwerkkonstruktion zuständig, bevor er als Head of Mechanical Design für alle mechanischen Systeme verantwortlich zeichnete. Weitere berufliche Stationen waren: Projektleiter für Halbleiter-Bestückungsmaschinen bei der ESEC AG, Inbetriebsetzungsingenieur für Wasserkraftwerke bei der Sulzer Hydro AG und Konstrukteur beim Elektrogerätehersteller Leister. Dominik Stockmann ist Maschineningenieur FH und hat einen Executive MBA absolviert.

Fotos: maxon motor ag, 2014 Audi AG

die immerhin eine 10 Mal grössere Energiedichte haben sollen als heutige Lithium-Ionen-Batterien. Da der Wirkungsgrad eines Elektroantriebes mit rund 90 Prozent – im Gegensatz zu nur 30 Prozent für den Verbrennungsmotor – sehr hoch ist, fiel der Vergleich für das Elektrofahrzeug damit schon gar nicht mal so schlecht aus.

Um aber heute mit einem Elektrofahrzeug 500 Kilometer weit zu kommen, braucht es im Moment noch einen etwa 800 Kilogramm schweren Akku. Deshalb wird in der Entwicklung von Elektrofahrzeugen versucht, das durch die Batterien verursachte Zusatzgewicht mit aufwendiger Leichtbauweise zu kompensieren. Hier bietet sich an, verschiedene Technologien und Materialien zu übernehmen, die im Rennsport und in der Raumfahrt entwickelt wurden, etwa extrem leichte und steife Kohlefasern für den Karosseriebau.

Um eine Ablösung von fossilen Energieträgern zu erreichen, müssen also neue Akkutechnologien erforscht, entwickelt und zur Serienreife gebracht werden. Darüber hinaus müssen diese Technologien bezahlbar sein, um sich auch in Grossserien-Fahrzeugen durchzusetzen. Grundsätzlich ist aber anzunehmen, dass sich die Batterie als Energiespeicher gegenüber der Brennstoffzelle durchsetzen wird, da diese noch weit grössere technologische Durchbrüche bräuchte, um wettbewerbsfähig zu sein.

Ob die Mehrheit der Menschen in hochentwickelten Staaten bereits 2025 mit einem Elektroauto unterwegs sind, wird sich zeigen. Eins ist jedoch sicher: Früher oder später wird sich die Elektromobilität durchsetzen.

These 2:

Um das Jahr 2030 wird das Automobil endlich seinem Namen gerecht: Es beschleunigt und bremst selbstständig und findet seinen Weg von alleine. Selbst ans Steuer setzen wir uns nur noch zum Vergnügen.

Selbstfahrende Autos werden schon heute getestet. Google hat ein autonomes Auto entwickelt, das in Kalifornien bereits 600 000 Kilometer auf öffentlichen Strassen zurückgelegt hat. Auch viele der führenden Automobilbauer arbeiten an der Entwicklung solcher Fahrzeuge. Die grösste Herausforderung dabei sind die Kosten. Ein solches Versuchsfahrzeug ist heute nach Schätzungen von Experten mit Sensoren, Software und Hardware im Wert von über 80 000 Schweizer Franken ausgerüstet. Das ist für ein normales Auto natürlich viel zu teuer.

Viele dieser ausgeklügelten Systeme sind in Fahrzeugen der Luxusklasse allerdings bereits heute eingebaut. Sie erkennen beispielsweise die Begrenzungslinien der Fahrspur. Nähert sich das Fahrzeug ungewollt der Begrenzungslinie, hilft das System dem Fahrer mit dezenten Lenkeingriffen auf die Spur zurück oder warnt ihn mittels sanfter Vibrationen des Lenkrads. Darüber hinaus sind Fahrzeuge schon heute in der Lage, den Abstand zum vorausfahrenden Fahrzeug konstant zu halten, Notbremsungen einzuleiten und automatisch einzuparken.

Audi schickte beim legendären «Pikes Peak»-Bergrennen in den USA bereits im Jahr 2010 einen unbemannten Rennwagen auf die Strecke. Die knapp 20 Kilometer lange, abgesperrte Rennstrecke auf den 4301 Meter hohen Gipfel in den Rocky Mountains wurde dabei in 27 Minuten ohne einen menschlichen Eingriff in die Steuerung zurückgelegt. Das entsprach einer durchaus akzeptablen Zeit, lag aber weit weg von der Bestzeit, die bei ungefähr 10 Minuten lag.

Eines Tages werden autonom fahrende Autos aber den Strassenverkehr revolutionieren. Der Grossteil der heutigen Verkehrsunfälle geht auf menschliches Versagen zurück. Dank computergesteuerter Autos wird sich die Zahl der Unfälle deutlich reduzieren.

Zudem werden sich durch die Kommunikation zwischen den Fahrzeugen Staus vermeiden lassen, was auch wirtschaftliche Vorteile bringt.

Das selbstfahrende Auto muss nicht neu erfunden, sondern nur fertig entwickelt und erschwinglich werden. Im Jahre 2030 wird es eine Selbstverständlichkeit sein, dass Fahrzeuge, zumindest auf der Autobahn, komplett autonom verkehren.



Die selbstfahrenden Autos von Google sind mit Laser, Radar, GPS und Kameras ausgestattet.

These 3:
Einerseits gibt es Sportwagen mit Verbrennungsmotoren, die in 13,63 Sekunden auf 300 km/h beschleunigen und damit alle Weltrekorde brechen, andererseits setzt die Autoindustrie immer mehr auf Energieeffizienz und damit auf Elektroautos. Ein Widerspruch, den es immer geben wird.

Seit jeher hat der Mensch das Bedürfnis, Rekorde zu brechen – sei es, als Erster auf einem Gipfel zu stehen oder die Schallmauer zu durchbrechen. Auch in der Automobilentwicklung wurden neue Errungenschaften stets mit neuen Rekorde oder mit Wettbewerben bewiesen. Zu erwähnen ist hier unbedingt die Rekordfahrt von Camille Jenatzy in Frankreich. Jenatzy knackte 1899 mit einem Elektrofahrzeug als Erster die magische 100-km-pro-Stunde-Grenze. Das zeigt, dass Weltrekorde und Ökologie schon vor über 100 Jahren kein Widerspruch waren. Die neusten Supersportwagen, wie der Ferrari

«LaFerrari», der McLaren P1 und der Porsche 918 Spyder, sind alles Hybridfahrzeuge, die erst mit der Unterstützung von Elektromotoren richtig schnell werden. Der Elektromotor hat den Vorteil, dass sofort das maximale Drehmoment ansteht und er den Verbrennungsmotor, der erst bei höheren Drehzahlen das höchste Drehmoment abgibt, optimal ergänzen kann.

Bei Sportwagen werden die gleichen Anstrengungen wie bei gewöhnlichen Personewagen unternommen, um sie energieeffizienter zu machen. Auch im Automobilrennsport, insbesondere in der Formel 1, wird die Energieeffizienz wichtiger. Seit 2009 hat mit dem KERS (Kinetic Energy Recovery System) auch die Hybridtechnologie Einzug gehalten. Das ist zwar zehn Jahre später, als das erste hybride Grossserienauto auf den Markt kam, immerhin geht der Trend aber in die richtige Richtung, auch wenn er noch wenig ausgeprägt ist.

Die Hybridsystemleistung, die aus dem F1-Reglement für die Saison 2014 resultiert, setzt sich aus circa 600 PS aus dem Verbrennungsmotor und 160 PS aus den Elektromotoren zusammen. Um sich noch ausgeprägter auf Energieeffizienz und Elektrifizierung aus-



Camille Jenatzy in seinem Elektroauto, mit dem er als Erster ein Tempo von 100 Kilometern pro Stunde erreichte.

zurichten, müsste das Verhältnis wohl gerade umgekehrt sein – 600 PS Elektromotor zu 160 PS Verbrennungsmotor. Diesen Trend bestätigt die 2014 erstmals ausgetragene Formel-E-Meisterschaft, bei der 100%ige Elektrorennwagen an den Start gehen.

Der Widerspruch zwischen Hochleistungssportwagen, Rennwagen und energieeffizienten Autos ist heute nicht mehr so gross, wie es gelegentlich scheint. Aber solange der Mensch sich in Geschwindigkeitswettbewerben misst und das Bedürfnis hat, Weltrekorde aufzustellen, wird dieser Widerspruch wohl fortbestehen. ■■■

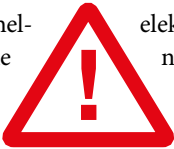


Auf der Spur bleiben

Fahrerassistenzsysteme können Leben retten. Etwa wenn sie den Fahrer aus dem Sekundenschlaf holen.

Fahrerassistenzsysteme in Autos sind Instrumente, die Leben retten können – sei es in Form einer Abstandsregelautomatik, eines Brems- oder Spurhalteassistenten. Letztere, sogenannte Lane-Departure-Warning-Systeme (ldw), warnen den Fahrer, bevor er unbeabsichtigt die Fahrspur verlässt. Dabei helfen unterschiedliche optische Systeme und Computer, die Position des Fahrzeugs in der Fahrspur zu bestimmen. Droht der Wagen von der Spur abzukommen, steuert das System einen Elektromotor im Lenkrad an, der dieses zum Vibrieren bringt und so den Fahrer alarmiert. maxon motor beliefert für diese Anwendung einen Hersteller im Segment der

Oberklasse mit Motoren. Basismotor ist der bürstenbehaftete A-max 16 (Edelmetallbürsten, 2 Watt), der für die Anwendung mit einem Unwuchtgewicht und einer spezifizierten Lagerung modifiziert wurde. Damit die anderen Systeme des Fahrzeugs durch die elektromagnetischen Felder des Motors nicht beeinflusst werden, ist er mit einer speziell auf den Automotive-Bereich ausgerichteten EMV-Entstörung ausgestattet. Die Anforderungen an das kleine Antriebssystem sind hoch: Es soll geräuscharm sein, dynamisch, über eine hohe Leistungsdichte verfügen und kompakt sein – all diese Anforderungen konnte der kleine A-max 16 problemlos erfüllen. ■■■



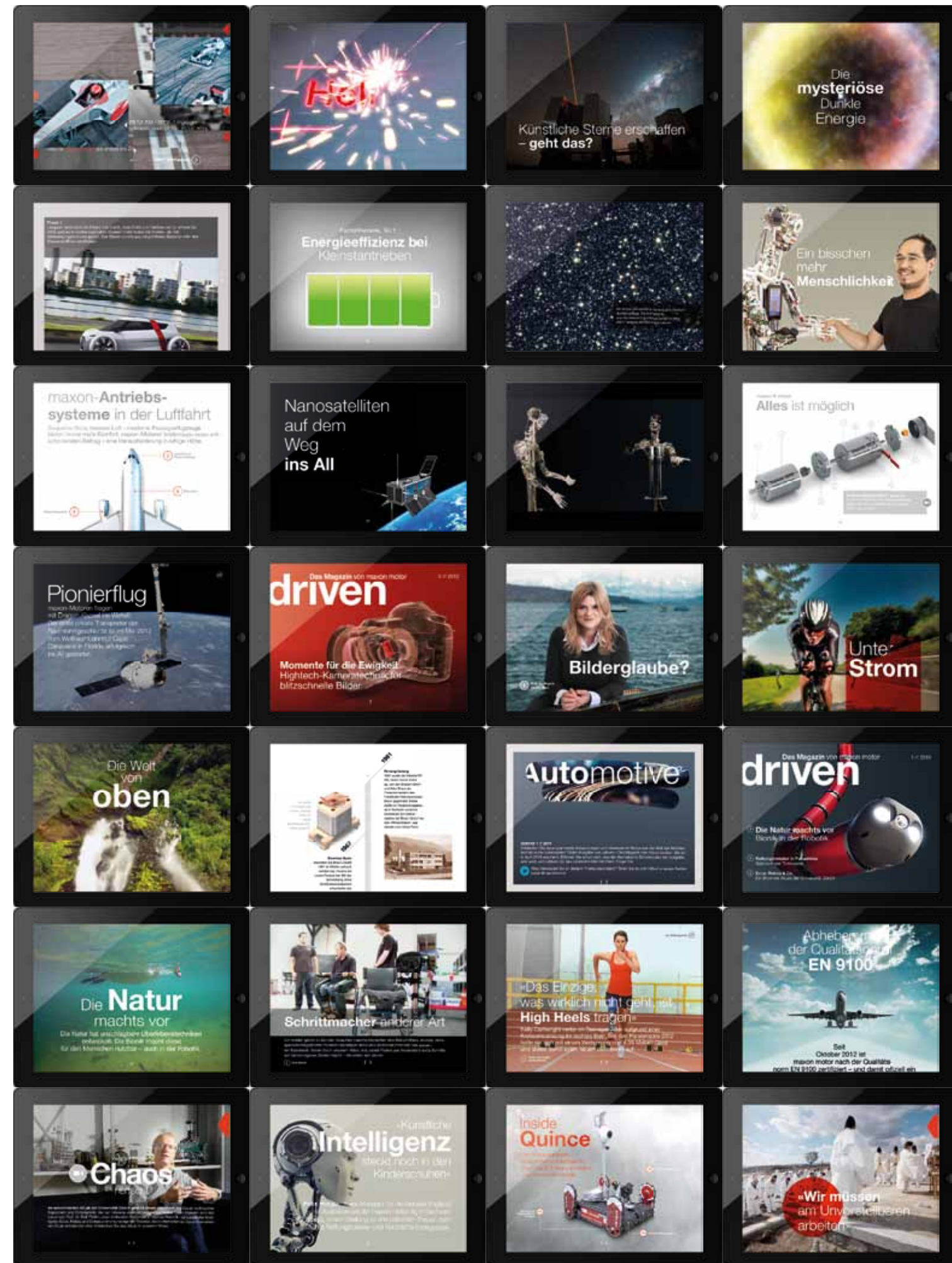
maxon A-max 16
Ø 16 mm, Edelmetallbürsten CLL, 2 Watt, mit Terminals

Fotos: Wikipedia/Mariaorido, Wikipedia/teethdozen, maxon motor ag, iStockphoto/Igor Alecsander

Das Magazin von maxon motor driven

Antriebstechnik in all ihren Facetten, multi-medial und interaktiv: Die Tablet-Ausgaben von driven gibt es kostenlos im Apple App Store und im Google Play Store.

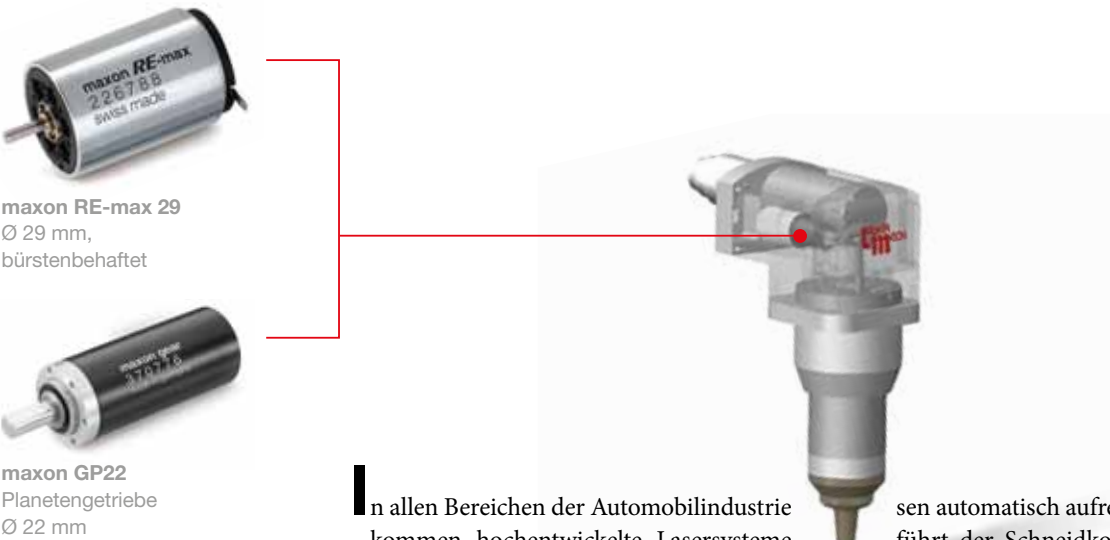
Mehr Infos unter: magazin.maxonmotor.ch



Helles Köpfchen

Der FiberCut-Laserschneidkopf von Laser Mechanisms schneidet Metall wie Butter. Präzis und schnell. Für den richtigen Abstand zwischen Laserdüse und Werkstück sorgen DC-Motoren und Planetengetriebe von maxon.

Text: Deb Setters



Millimetergenau
Für die Laserschneidköpfe der FiberCut-Baureihe werden bürstenbehaftete maxon Motoren des Typs RE-max 29 als Schlüsselkomponenten für die Spitzenabstandsregelung eingesetzt. Sie sitzen im Gehäuse des Schneidkopfs, wie die 3-D-Zeichnung zeigt. Jedes System verwendet ausserdem ein GP22-Planetengetriebe. Der Motor bietet eine hohe Leistungsdichte. Weitere Vorteile sind seine Haltbarkeit und seine lange Lebensdauer. Dank des eisenlosen Kerns ist die elektrische Erosion zwischen den Bürsten und den Kommutationssegmenten gering.

In allen Bereichen der Automobilindustrie kommen hochentwickelte Lasersysteme zum Einsatz, sei es zum Schneiden, Schweißen, Bohren, Anreissen oder zur Oberflächenbehandlung. Solche Anwendungen können mit Lasern aller Art umgesetzt werden, etwa mit CO₂-, Nd:YAG- oder Glasfasertechnologie.
Das Unternehmen Laser Mechanisms aus Novi im US-Bundesstaat Michigan zählt zu den Innovatoren der Branche. Es produziert Komponenten zur Verbesserung von Leistung, Sicherheit und Flexibilität unter Wahrung von Benutzerfreundlichkeit, Effektivität und geringen Kosten. Zu den neusten Entwicklungen des Unternehmens zählt die Produktfamilie «FiberCut™ Laser Cutting Head».
Der FiberCut-Laserkopf kollimiert und fokussiert einen Laserstrahl zum sauberen Schneiden von Metallflächen. Das 3-D-Schneidgerät hat ein geringes Gewicht, um die Trägheitsbelastung des Roboterarms zu minimieren. Die FiberCut-Düse misst mit einer patentierten Sensortechnologie von Laser Mechanisms zudem den erforderlichen Abstand der Spitze vom Werkstück und hält die-

sen automatisch aufrecht. Auf diese Weise führt der Schneidkopf dreidimensionale Schnitte von hoher Genauigkeit aus.

Präzision bei hohen Drehzahlen
Zur FiberCut-Baureihe gehören drei Köpfe: ein gerader, ein rechtwinkliger und ein kompakter Schneidkopf. Sie alle verwenden den bürstenbehafteten maxon DC-Motor RE-max 29 für die Spitzenabstandsregelung. Dazu kommt ein von maxon gefertigtes GP22-Planetengetriebe (19:1). Gerry Hermann, Senior Electrical Engineer bei Laser Mechanisms, sagt: «Hohe Drehzahl ist das wichtigste Merkmal. Und daraus ergibt sich zwangsläufig die Anforderung von Genauigkeit bei hohen Drehzahlen.»
Die Köpfe lassen sich an die meisten Roboterarme anschliessen, die in den Fertigungsstrassen der Automobilindustrie verwendet werden. Die Laser schneiden grosse Karosseriebleche für PKW und LKW sowie kleinere tragende Teile wie Unterbauträger oder Strukturteile für die Tragfestigkeit und Sicherheit des Autos. Um mit dem Tempo von Fertigungsstrecken mithalten zu können,

Fotos: Laser Mechanisms, maxon motor ag



FiberCut-Köpfe werden vor allem in der Autoindustrie eingesetzt, etwa zum Schneiden von Unterbauträgern.

muss die Herstellung zum Beispiel von Unterbauträgern effizient sein. Bei der Montage ist Genauigkeit sehr wichtig.
Der bürstenbehaftete Motor RE-max 29 von maxon bietet eine hohe Leistungsdichte, was für Laser Mechanisms das wichtigste Kriterium war. Weitere Vorteile sind die Strapazierfähigkeit und die lange Lebensdauer des DC-Motors. Dank seines eisenlosen Kerns ist die elektrische Erosion zwischen den Bürsten und den Kommutationssegmenten gering.
200 mm pro Sekunde, 24/7
Der FiberCut kann sich mit bis zu 200 mm pro Sekunde bewegen. Weil sich der untere Teil des Kopfs auf und ab bewegt, um den Abstand zwischen dem Laser und dem zu schneidenden Metallteil konstant zu halten, beträgt der maximale Weg in einer Auf-und-ab-Bewegung nur 25 mm. Dabei wird der FiberCut-Kopf mit Federkraft ausgefahren und durch den DC-Motor zurückgeholt.
Zu den weiteren Funktionen des FiberCut Laser Processing Head zählen eine Linse mit justierbarer Brennweite zur Brennpunkteinstellung sowie ein nockenbetriebenes Antriebssystem mit axialem Kollisionsschutz. Die Köpfe funktionieren mit allen gängigen Glasfaser-Lasersystemen bis 4 kW mit Wellenlängen von 1064/1080 nm. Kabel und Hilfgasleitungen werden innenliegend verlegt, um zu verhindern, dass sie sich bei der Arbeit an Strukturteilen verfangen oder reißen.
Jeder Kopf der Baureihe hat einen versiegelten Strahlengang und ist für einen Rundum-die-Uhr-Einsatz ausgelegt. Das Hauptgehäuse wird mit Trockenluft gereinigt, um das Innere sauber zu halten. Das ist wichtig, um das Eindringen von Verschmutzungen in die Optik oder die Motorkammer zu verhindern. Die in diesem Gerät verbauten maxon Motoren produzieren keine Partikel, die die Optik beschädigen oder zu einer Fehleinstellung der Spitzenabstandsregelung führen könnten. Ein weiterer Vorteil des DC-Motors ist der geräuscharme Betrieb.

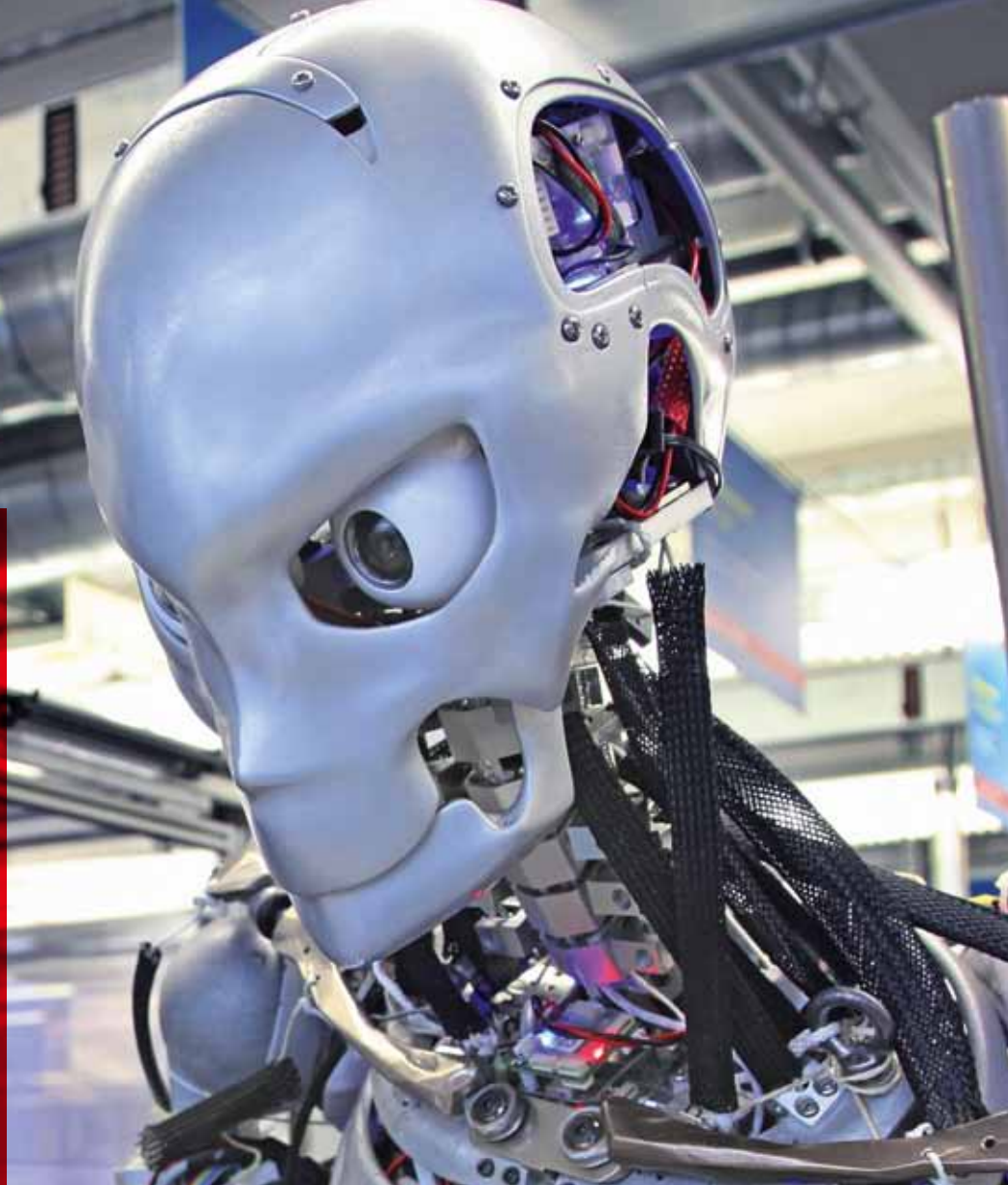
«Eine hohe Drehzahl war für uns das Wichtigste.»

Gerry Hermann, Laser Mechanisms

Kräftig wie ein Manga-Held

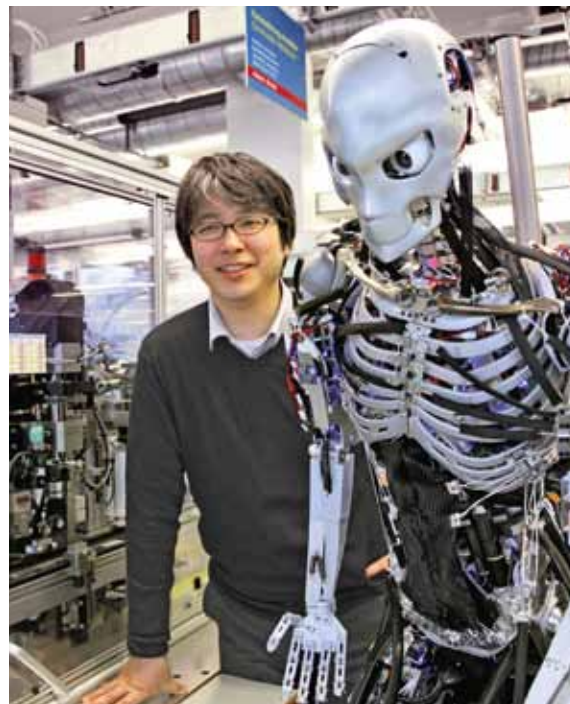
Der 1,58 Meter grosse Roboter hört auf den Namen Kenshiro. Er wurde von der Universität Tokio ins Leben gerufen und hat 160 Muskeln, die über Sehnen von 93 bürstenlosen maxon Motoren gesteuert werden. Der humanoide Roboter ist das beeindruckende Ergebnis jahre-langer Forschung.

Text: Anja Schütz



Der Name Kenshiro ist in Japan durch einen Helden aus einer Manga-Comic-Serie aus den 1980er-Jahren bekannt. Um der menschlichen Anatomie so nah wie möglich zu kommen, verfügt Kenshiro über die wichtigsten menschlichen Muskeln: 50 Antriebe als künstliche Muskeln in den Beinen, 76 im Torso, 12 in der Schulter und 22 im Hals. Damit hat der Roboter die grösste Anzahl an Muskeln, die jemals in einem humanoiden Roboter verbaut wurden.

«Wir wollten die menschlichen Bewegungen verstehen und mit Kenshiro möglichst genau wiedergeben», erklärt Prof. Kei Okada. Kenshiro entspricht mit einer Grösse von 1,58 Metern und einem Gewicht von 50 Kilogramm einem zwölf Jahre alten Jungen.



Fotos: maxon motor ag

Im Bild das Team der Universität Tokio und die verantwortlichen maxon Mitarbeiter (v.l.n.r. oben): Yoshito Ito, Hironori Mizoguchi, Prof. Kei Okada, Kenshiro, Takuma Shirai, Toyotaka Kozuki, Marc Gottenkieny (maxon motor ag). Unten: Yotaro Motegi, Oliver Camenzind (maxon motor ag), Yuki Asano.



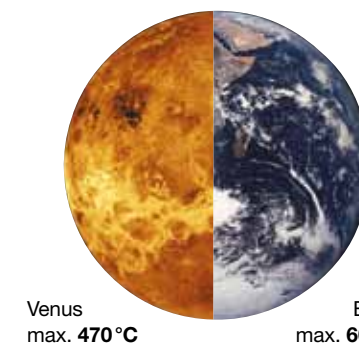
maxon EC 16
Ø 16 mm, bürstenlos,
60 Watt



maxon EC 22
Ø 22 mm, bürstenlos,
100 Watt

Die Forscher des Jouhou System Kougaku Laboratory (JSK) der Universität Tokio haben sich beim Antriebssystem für maxon motor entschieden. Die 160 künstlichen Muskeln von Kenshiro werden von 93 bürstenlosen maxon EC (BLDC) Motoren kontrahiert.

Hohe Dynamik
Für Kenshiro werden die bürstenlosen Motoren EC 16 und EC 22 verwendet. Die elektronisch kommutierten Servomotoren zeichnen sich durch ein günstiges Drehmomentverhalten, hohe Dynamik, einen extrem grossen Drehzahlbereich und eine hohe Lebensdauer aus. Die Motoren verfügen über 60 bis 100 Watt. Da die Motoren im Roboter nicht gekühlt werden können, war zentral, dass sie nur wenig Wärme entwickeln.



Venus, der heiße Schwesterplanet

Die Venus ist der «Schwesterplanet» der Erde – so ähnlich die beiden Planeten bei Durchmesser und Masse sind, umso unterschiedlicher sind sie in ihrer Geschichte und Atmosphäre. Mit Temperaturen von bis zu 470°C ist die Venus eine heiße Hölle. maxon motor entwickelt Motoren, die diese extremen Bedingungen überstehen.

Text: Anja Schütz

Der Planet Venus hat fast die gleiche Größe, Masse, Dichte, Zusammensetzung und Schwerkraft wie die Erde. Doch in dieser Welt herrschen Temperaturen, die ausreichen, um Blei zu schmelzen. Die Venus ist von einer sehr dichten, toxischen Atmosphäre umgeben. Darunter liegt eine verbrannte Welt mit Temperaturen um 470°C und einem Druck, der neunzig Mal höher als auf der Erde ist. Hier findet man solche Drücke nur einen Kilometer unter der Meeresoberfläche. Die Venusatmosphäre besteht hauptsächlich aus Kohlendioxid, mit Wolken aus Schwefelsäuretröpfchen. Ein Blick unter die Wolken zeigt Vulkane und deformierte Gebirgszüge. Die Venus rotiert sehr langsam um ihre eigene Achse und in entgegengesetzter Richtung, wie die meisten anderen Planeten auch. Das bedeutet, dass die Sonne auf der Venus im Westen auf- und im Osten untergeht.

Man könnte meinen, ein Planet mit derart extremen Temperaturen und Drücken sei unmöglich zu erforschen. Doch es ist nicht unmöglich! Mehr als 40 Raumsonden haben die Venus bereits aus der Luft erforscht. So

hat die NASA-Magellan-Sonde in den frühen 1990er-Jahren 98 Prozent der Venusoberfläche erfasst.

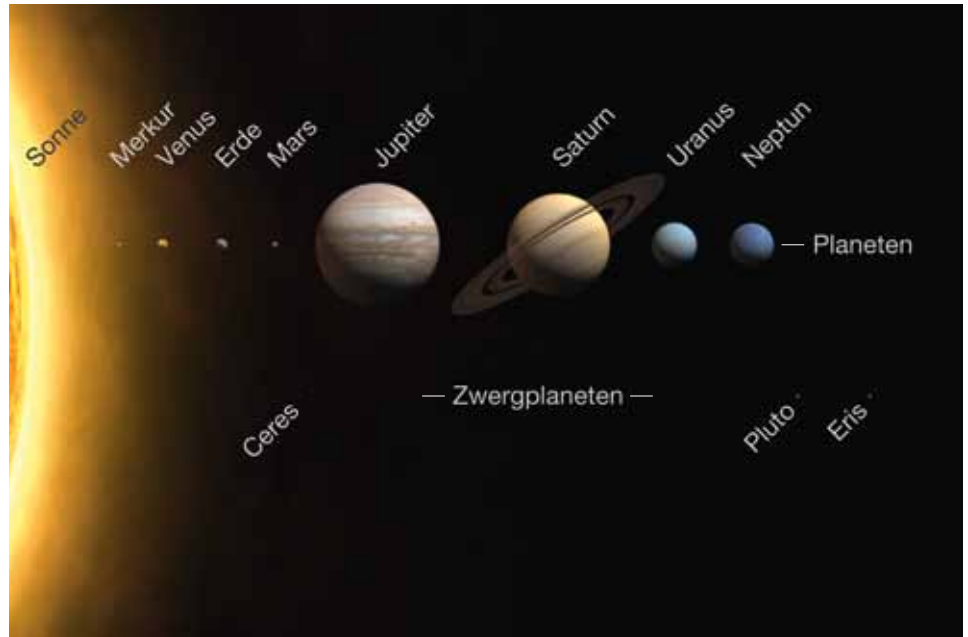
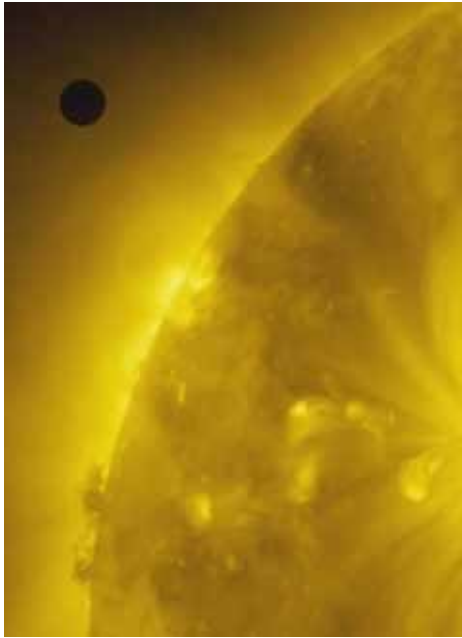
maxon motor und die Venus

Warum sollte man also keinen Motor für die Venus bauen? Die erste Anfrage kam vom Jet Propulsion Laboratory (JPL), welches Satelliten und Raumsonden für die NASA baut und steuert. Um eines Tages die Venus beispielsweise mit einer Sonde erforschen zu können, entwickelte maxon motor folgende Lösung: den UHT, einen Ultrahochtemperaturmotor aus Materialien, die Temperaturen von 500°C und mehr widerstehen können. maxon motor verwendete daher nur Teile aus rostbeständigem Stahl und Keramik – so ist beispielsweise die Wicklung durch ein Keramikteil stabilisiert. Erstes Ziel des Projekts war es, den Betrieb der Antriebssysteme bei über 400°C zu gewährleisten: Bereits im September 2012 hatte maxon motor erfolgreich 420°C getestet. Im nächsten Schritt lief der spezielle Motor

Harte Kerle für alle Umstände: Das sind die Motoren der maxon HD-Serie.

In dieser «Kraterfarm» genannten Aufnahme von 1991 des NASA-Satelliten Magellan sieht man die bizarren Krater auf der Venus. Diese zeugen von enormen vulkanischen Aktivitäten auf dem Planeten.

Fotos: NASA/JPL



Am 5. Juni 2012 schob sich die Venus langsam vor die Sonne. Auf dem Foto (links) erscheint sie als kleiner schwarzer Punkt. Das Bild rechts zeigt sämtliche Planeten unseres Sonnensystems.

dann eine Stunde bei 450 °C. Diese neue Art von Motoren kann in jeglichen Anwendungen, in denen besonders hohe Umgebungstemperaturen herrschen, eingesetzt werden; wie zum Beispiel in Feuerlöschrobotern, in der Tiefbohrtechnik und in der Raumfahrt.

Motoren für Extrembedingungen

Der Venusmotor basiert auf den Heavy-Duty-Motoren (HD) von maxon motor. Von diesem maxon Standardmotor wurden wichtige Komponenten abgeleitet und das bestehende Wissen für die Entwicklung eines hochgradig wärmebeständigen Motors genutzt. Mit dem bürstenlosen EC 22 HD und dem elektronisch kommutierten EC-4pole 32 HD bringt maxon motor Standardmotoren für extreme Betriebsbedingungen auf den Markt. Entwickelt für die höchsten Anforderungen der Tiefbohrtechnik, widerstehen die elektronisch kommutierten Motoren auch den härtesten Bedingungen. Die unterschiedlichen Varianten des EC 22 HD sind für den Betrieb in Luft, im Ölbad oder in Hydraulikflüssigkeit ausgelegt. Die Nennleistung hängt vom umgebenden Medium ab und beträgt durchschnittlich 80 Watt in Luft (220 Watt EC-4pole 32 HD) und aufgrund der erheblich höheren Wärmeabfuhr 240 Watt im Ölbad (480 Watt EC-4pole 32 HD). Sie sind auf Umgebungstemperaturen von über 200 °C (390 °F) und Umgebungsdrücke von bis zu 1700 bar (25 000 psi) ausgelegt.

Eine weitere Anforderung an die Motoren mit 22 mm Durchmesser ist die Fähigkeit, Vibrationen bis zu 25 G sowie Stößen und Schlägen bis zu 100 G zu widerstehen. Das ist das 100-Fache der Erdbeschleunigung. Zum Vergleich: Ein Formel-1-Rennwagen ist etwa 2 G ausgesetzt, ein Kampfflugzeug etwa 13 G. Die HD-Motoren sind hocheffizient und bieten daher die besten Grundvoraussetzungen für batteriebetriebene Anwendungen. So ist beispielsweise der EC-4pole 32 HD ideal für den Einsatz bei extremen Temperaturen, mit starker Vibration oder im Ultrahochvakuum. Deshalb können die Motoren auch in der Luft- und Raumfahrt eingesetzt werden, beispielsweise als Starter für Gasturbinen, in den Generatoren von Düsentriebwerken, zur Regelung von Verbrennungsmotoren und für Erkundungsroboter. Für die Verwendung des Motors in Verbindung mit einem Getriebe bietet maxon das GP 32 HD an, ein leistungsstarkes und robustes Planetengetriebe. ■



Im Ultrahochtemperaturmotor von maxon motor kommen nur Materialien zum Einsatz, die auch Temperaturen von über 500 °C überstehen.



Der bürstenlose EC-4pole 32 HD ist für den Betrieb in Luft oder Öl ausgelegt.

Fachartikelserie, Teil 1

Energieeffizienz bei Kleinstantrieben

Geringer Strombedarf. Erwärmung. Leistungsdichte. Gerade bei Kleinstantrieben spielen diese Faktoren eine wesentliche Rolle, sollen sie energieeffizient betrieben werden.

Text: Jan Braun

Jan Braun

Jan Braun – 1974 geboren in Aschaffenburg (D), Elektrotechnikstudium an der Fachhochschule (HTL) in Biel (CH) – begann seine berufliche Laufbahn mit der Programmierung und Inbetriebnahme von Achterbahnen und grossen Antrieben im Kilowattbereich. Seit nunmehr elf Jahren beschäftigt er sich bei maxon motor ag mit Kleinstantrieben. Er betreute im Verkauf als technischer Sales Supporter Deutschland und die nordeuropäischen Länder und führt nun erfolgreich technische Schulungen für die weltweite Verkaufsorganisation sowie Kundenseminare durch.

maxon motor ag, Schweiz
academy@maxonmotor.com

Energieeffizienz ist nicht nur im Automotive-Bereich, sondern auch bei viel kleineren Motoren ein wichtiger Faktor. Typische Anwendungen sind batterie- und akkubetriebene Geräte oder auch Raumfahrtanwendungen. Beispiele sind Lasernivelliergeräte, motorisierte Golfcaddies, medizinische Power Tools, Insulinpumpen, Roboter, Verpackungsmaschinen oder Brennstoffzellen-Fahrzeuge.

Bei diesen Anwendungen gilt es, die vorhandene elektrische Leistung möglichst gut zu nutzen. Dies bedeutet auch, dass der Antrieb wenig Wärmeverlust aufweist, der Temperaturanstieg also auf ein Minimum reduziert werden kann.

Der Wirkungsgrad einer Antriebskomponente beschreibt die Verluste und wird

vom Verhältnis Ausgangsleistung (Eingangsleistung abzüglich Verlusten) zu Eingangsleistung gebildet. Typische Wirkungsgrade liegen für DC-Motoren optimal bei 80 bis 90 Prozent, für getaktete Regler bei 90 bis 98 Prozent, bei Planetengetrieben pro Stufe bei etwa 90 Prozent und bei Schneckengetrieben bei weniger als 40 Prozent.

Energieeffizienz-Aspekte beim Motor

Die Energieumwandlung wird durch die Drehmomentkonstante k_M und die Drehzahlkonstante k_n beschrieben. Dabei ist zu beachten, dass die Drehzahlkonstante k_n der Kehrwert der Drehmomentkonstanten k_M ist. Die gesamte Umwandlung kann also durch k_M ausgedrückt werden.

Nicht die gesamte elektrische Eingangsleistung wird in mechanische Leistung umgewandelt. Nach Abzug des Spannungsabfalls aufgrund des elektrischen Widerstands bleibt die induzierte Spannung U_i übrig. Ebenfalls wird nicht die gesamte erzeugte mechanische Leistung an der Motorwelle zur Verfügung stehen.

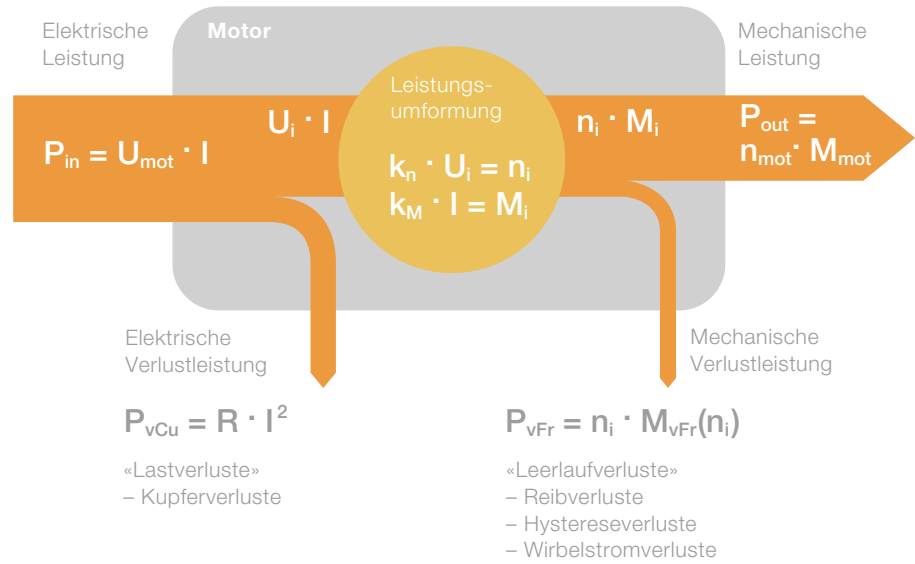
Die elektrische Verlustleistung ist der Teil der elektrischen Leistung, welche nicht in mechanische Leistung umgewandelt wird. Sie ist durch die Verluste aufgrund des Laststroms, also durch Stromwärme- oder Kupferverluste, gegeben und ändert sich mit dem Quadrat des Stroms (Last). Die mechanische Verlustleistung nach der Leistungsumwandlung beinhaltet die Reibung in Lagern und



Der motorisierte Golfcaddy hat dank der speziell entwickelten Hochleistungsmotoren von maxon motor jede Menge Kraft und Leistung.

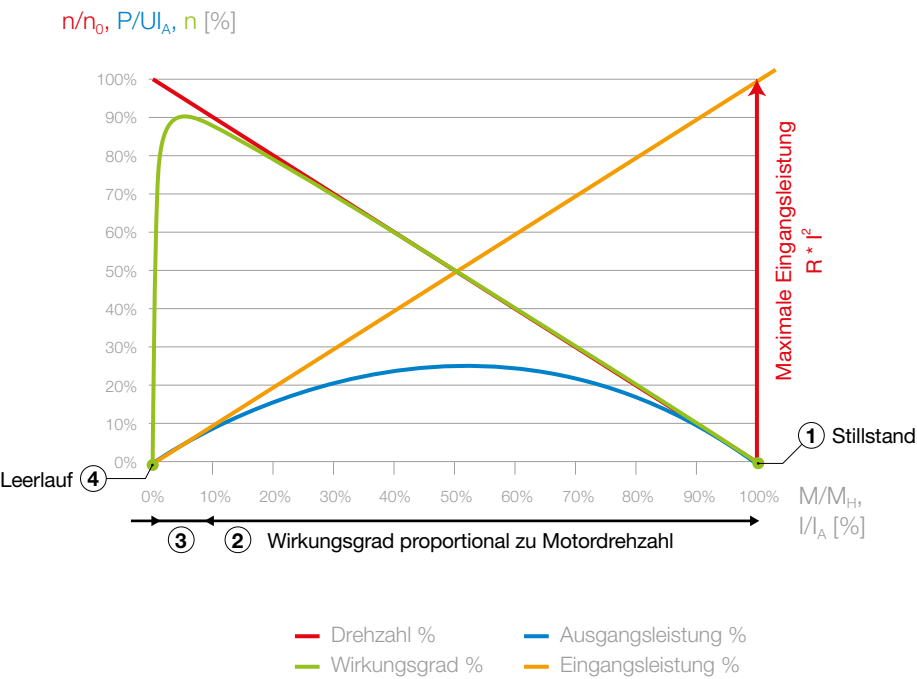
Verlustmodell im Motor

Die Grafik zeigt, wie Verluste im Motor entstehen.
Annahme: Die Leistungsumwandlung selbst ist verlustfrei.



Wirkungsgraddiagramm eines Motors

Zur besseren Darstellung sind alle Parameter normalisiert und als Prozentsatz des Maximalwertes angegeben. Die Kurven gelten für eine fixe Speisespannung.



- ①: Im Stillstand bei Drehzahl null ist der Wirkungsgrad und somit auch die Ausgangsleistung null, jedoch das Drehmoment maximal.
- ②: Bei im Vergleich zur Reibung hohen Abgangsdrehmomenten ist der Wirkungsgrad proportional zur Motordrehzahl bei konstanter Spannung – erkennbar an der Überdeckung der Drehzahl-Drehmoment-Kennlinie mit der Wirkungsgradkennlinie.
- ③: Bei sinkendem Abgangsdrehmoment wird die Reibung immer wichtiger und dominiert schliesslich. Der Wirkungsgrad wird somit kleiner.
- ④: Im Leerlauf ist der Wirkungsgrad null, da kein Drehmoment abgegeben wird und der Motor die ganze Leistung absorbiert, um Reibung und Eisenverluste zu überwinden. Der Leerlaufstrom I_0 beschreibt diese Leerlaufverluste.

Fotos: maxon motor ag, NASA/JPL

Bürsten sowie Eisenverluste, die mathematisch ähnlich wie eine drehzahlabhängige Reibung behandelt werden können. Wirbelstromverluste treten bei bürstenlosen DC-Motoren – auch EC-Motoren genannt – auf. Der im EC-Motor rotierende Magnet induziert im Rückschluss des Stators Wirbelströme. Bürstenlose maxon EC-Motoren trumpfen dafür mit einer höheren Lebensdauer und sehr hohen Drehzahlen auf, welche beispielsweise bei Maniküre- und Pediküregeräten verlangt werden. Leider nehmen aber auch die Wirbelströme mit zunehmender Drehzahl zu.

Motor im Leerlaufbereich

Bei Anwendungen, welche hauptsächlich im Leerlauf oder nahe dem Leerlaufbereich betrieben werden – wie zum Beispiel Spiegelantriebe von Lasernivelliergeräten –, ist die Reduktion der mechanischen Reibung und Eisenverluste essenziell. Diese kann durch die Wahl kleinerer Lager, sprich des kleinstmöglichen Motors, und durch den Einsatz von Edelmetall- statt Graphitbürsten reduziert werden. Bei tiefen Drehzahlen hilft der Einsatz von Regler und Sensor statt eines mechanischen Antriebs, die mechanische Reibung weiter zu reduzieren.

Besonders wenige Eisenverluste bieten hier maxon DC-Motoren mit eisenloser Wicklung und kleine 2-polige EC-Motoren, auch bürstenlose DC-Motoren genannt.

Motor im Stillstandbereich

Wird der Motor im Stillstandbereich – das heisst bei maximalem Drehmoment – betrieben, ist die Verlustleistung durch die elektrischen Verluste gegeben. Dies, weil bei Drehzahl null entsprechend auch die Ausgangsleistung null ist. Die gesamte aufgenommene elektrische Leistung wird durch die Kupferverluste in Wärme umgewandelt, was den Motor im Stillstand zu einer grossen Heizung macht. Im Motordiagramm entspricht dies der vertikalen roten Linie ganz rechts. Reibung und Eisenverluste sind nicht vorhanden, da sich der Motor nicht dreht.

Wirkungsgrad in der Praxis

Ein hoher Wirkungsgrad bei Nennspannung ist vor allem ein gutes Verkaufsargument. Jedoch muss berücksichtigt werden, dass der Wirkungsgrad von der jeweiligen Speisespannung des Motors abhängt. Da der Anlaufstrom im Verhältnis zum Leerlaufstrom mit zunehmender Spannung viel mehr ansteigt, nimmt auch der Wirkungsgrad mit zunehmender Spannung zu. Weiter ergibt sich, dass der Wirkungsgradverlauf bei tiefer Spannung viel stärker vom Motordrehmoment abhängt als bei hoher Speisespannung. Um die Verluste im Motor abzuschätzen und in Berechnungen zu berücksichtigen, ist es besser, anstatt des Wirkungsgrades den Leerlaufstrom heranzuziehen.

Bei batteriebetriebenen Anwendungen wie beispielsweise motorisierten Golfcaddies kommt es nicht nur auf die kleine Verlustleistung an. Ebenso wichtig sind die gute Ausnutzung der zur Verfügung stehenden Spannung und der möglichst geringe Stromverbrauch. Ziel ist somit, die Wicklung optimal auszulegen, damit sie wenig Strom konsumiert, um eine möglichst lange Akkudauer zu erreichen.

Bei Anwendungen in Handgeräten wie medizinischen Power Tools sollte deren Verlustleistung, sprich die Erwärmung, möglichst klein bleiben. Schon Temperaturen ab 50 °C werden vom Nutzer als sehr heiss empfunden. Weitere Anwendungen sind gekennzeichnet durch ein geringes Leistungsangebot – ein gutes Beispiel ist der Mars-Rover. Diese benötigen deshalb Antriebe mit einer hohen Leistungs- oder Drehmomentdichte, einem kleinen Gewicht sowie kleinen Abmessungen.

Fazit

«Auch Kleinvieh macht Mist. Nur riecht der Mist etwas anders.» Oder anders gesagt: Auch bei Kleinstantrieben kommt es auf die Energieeffizienz an. Die Aspekte konzentrieren sich aber weniger auf die Einsparung von Energie als auf geringen Strombedarf, geringe Erwärmung und hohe Leistungsdichte.

Im nächsten Teil des Fachartikels «Energieeffizienz bei Kleinstantrieben» wird detailliert beschrieben, wieso auch die geeignete Ansteuerung von Motoren und eine effiziente Mechanik wichtig für den Energieverbrauch eines Antriebs sind.



Eisenloser maxon DC motor RE 25



Bürstenloser maxon DC motor EC-max 30



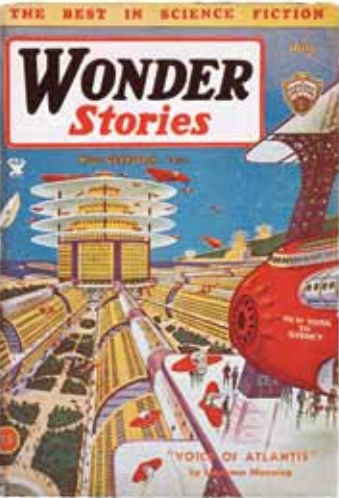
Der Mars-Rover benötigt Antriebe mit einer hohen Leistungs- oder Drehmomentdichte, einem kleinen Gewicht sowie kleinen Abmessungen.

Das fliegende Auto von morgen ist von gestern

Text: Patrick J. Gyger



Illustration eines Zeitschriftencovers von Frank R. Paul (1934).



Patrick J. Gyger ist ein Schweizer Historiker. Er ist Direktor von le lieu unique, einem nationalen Zentrum der Künste in Nantes, Frankreich. Von 1999 bis 2010 war er Direktor des Maison d'Ailleurs in der Schweiz, eines Museums für Science Fiction und Utopien, wo er über dreissig Ausstellungen kuratierte (von denen die meisten international gezeigt wurden) und zahlreiche Veröffentlichungen hervorbrachte. Er ist der Autor von «Flying Cars: The Extraordinary History of Cars Designed for Tomorrow's World» (Haynes, 2011).



«Die Welt ist so, wie wir sie kennen und wie sie immer gewesen ist: Jeder vergisst, dass sie anders sein könnte oder jemals anders war, als sie heute ist.» – John Crowley

Einer der Nachteile des Lebens im Stadtzentrum ist der lange Weg zum nächsten Flughafen, der im Normalfall in den Aussenbezirken liegt. Kein Wunder, dass die Stadt von morgen diese Unbequemlichkeit zu beheben versucht. Nehmen wir beispielsweise Aerotropolis: Der Autor des Konzepts wollte eine «neue urbane Form» fördern, «bei der Flughäfen im Zentrum liegen und die Städte um sie herum wachsen». Doch der Name Aerotropolis hat einen altmodisch-retrofuturistischen Klang und weckt Erinnerungen an den Pulp der 1930er-Jahre (beispielsweise bei Frank R. Paul oder Arthur C. Radebaugh): massive Türme über schwebenden

Strassen. Tatsächlich ist die Idee von fliegenden Maschinen inmitten der Stadt alles andere als neu. Wenige erinnern sich heute daran, dass man Mitte der 1930er-Jahre im Zentrum von Manhattan fliegen konnte: Der Downtown Skyport war einer Elite vorbehalten, liess jedoch bereits erahnen, dass Flugreisen schon bald für alle zugänglich sein würden. Im Laufe des 20. Jahrhunderts konzipierten von den Träumen des Industriezeitalters erfüllte, Science-Fiction-beseelte Erfinder zuhauf Fluggeräte für den Privatgebrauch und dachten auch darüber nach, wie diese die Stadt formen würden. Vor dem Zweiten Weltkrieg begannen Magazine, die Idee eines fliegenden Autos in jeder Garage zu popularisieren. Herr und Frau Schmidt würden den Luftraum genauso erobern, wie sie die Autobahn erobert hatten. Und so schien es, als 1937 das erste echte fliegende Auto auf den Markt kam: Waldo Watermans «Arrowbile». In der boomenden Nachkriegswirtschaft

stellten sich verschiedene Erfinder erfolgreich derselben Herausforderung. Die auffälligsten Beispiele waren das «Airphibian» von Robert Fulton (1946), der «ConvAirCar 118» von Theodore Hall (1947), und der «Aerocar» von Moulton Taylors (1949). Doch diese Projekte wurden als zu riskant erachtet – technisch, finanziell und juristisch –, um erfolgreich zu sein. Ihre Macher wollten Maschinen wahr werden lassen, die die Gesellschaft für vorstädtische Fantastereien hielt. Heute könnten durch die Verwendung moderner Verbundwerkstoffe und Informationstechnologien neue Projekte flügge werden. Und sicherlich würden einige von ihnen beanspruchen, das erste richtige fliegende Auto zu sein. Der «Skycar» von Paul Moller ist schon seit Jahrzehnten in Arbeit. Das Modell «Transition» von Terrafugia soll 2014 in Produktion gehen, während der Senkrechtstarter «TF-X» für 2020 geplant ist. Auch die NASA hat mit dem Gedanken an private Luftfahrzeuge gespielt, als Lösung für die Probleme der Überlastung an Luftverkehrsschwerpunkten und von Highways. Doch erst müssen Financiers und die Öffentlichkeit noch überzeugt werden, und die amerikanische Leidenschaft für Autos hat sich bisher noch nicht auf Privatflugzeuge ausgeweitet.

Ganz gleich, was passiert: Die fliegenden Autos der Zukunft müssen von einem Profi geflogen werden oder voll automatisiert sein. Und man wird sie nicht nur leiten, sie werden überwacht oder gar ferngelenkt sein. Ausserdem wird es fürchterlich teuer sein. Es wird also nicht ganz dem Bild von der absoluten Bewegungsfreiheit entsprechen, wie sie es sich die Visionäre der Technik und Science Fiction in der Mitte des 20. Jahrhunderts ausmalten. Jenes fliegende Auto als Mittel der persönlichen Befreiung von Fahrplänen und Verkehrsstaus, angetrieben durch Atomenergie, das unsere urbanen Landschaften radikal transformiert, bleibt Symbol einer Zukunft, die uns einst versprochen wurde, doch die niemals sein wird. Es wird weiter den Luftraum zwischen mächtigen Wolkenkratzern füllen, über automatischen Restaurants, rollenden Gehwegen und Armeen von Dienstrobotern, bevor es im Hinterhof unserer Fantasie landet.

Fotos: Todd B. Kimmell Archives/Arthur C. Radebaugh, Mario Del Curto, Keystone/The Granger Collection/Frank R. Paul, San Diego Air & Space Museum, Terrafugia



In den 1940er-Jahren sorgte der ConvAirCar 118 für Aufsehen.

Das Flugauto «Transition» soll 2014 in Produktion gehen.





Outlook 2 // 2014 Der perfekte Mensch

Entdecken Sie neue spannende Anwendungen und interessante Storys aus der Welt der Antriebstechnik in der kommenden Ausgabe von «driven – Das Magazin von maxon motor», die am 4. November 2014 erscheint.



Was interessiert Sie an diesem Thema besonders? Teilen Sie es uns mit auf unserem Twitterkanal @maxonmotor.

Impressum

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

Geschäftsleitung: Eugen Elmiger,
Dr. Ulrich Claessen, Norbert Bitzi,
Peter Grütter

Projektleitung: Michel Riedmann
Chefredaktion: Anja Schütz

Realisation: Infel Corporate Media,
Militärstrasse 36, CH-8004 Zürich
Redaktion: Michael Frischkopf,
Simona Stalder, Marcel Leibacher
Gestaltung: Peter Kruppa (Art
Director), Sebastian Mutti
Bildredaktion: Diana Ulrich,
Matthias Jurt

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

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

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

Sprachen: Deutsch, Englisch
Auflage: 11 000 (dt.), 4000 (engl.)

Copyright: © 2014 by maxon motor
ag, Sachseln. Nachdruck nur mit
schriftlicher Genehmigung.

Fotos: iStockphoto / Malvugin



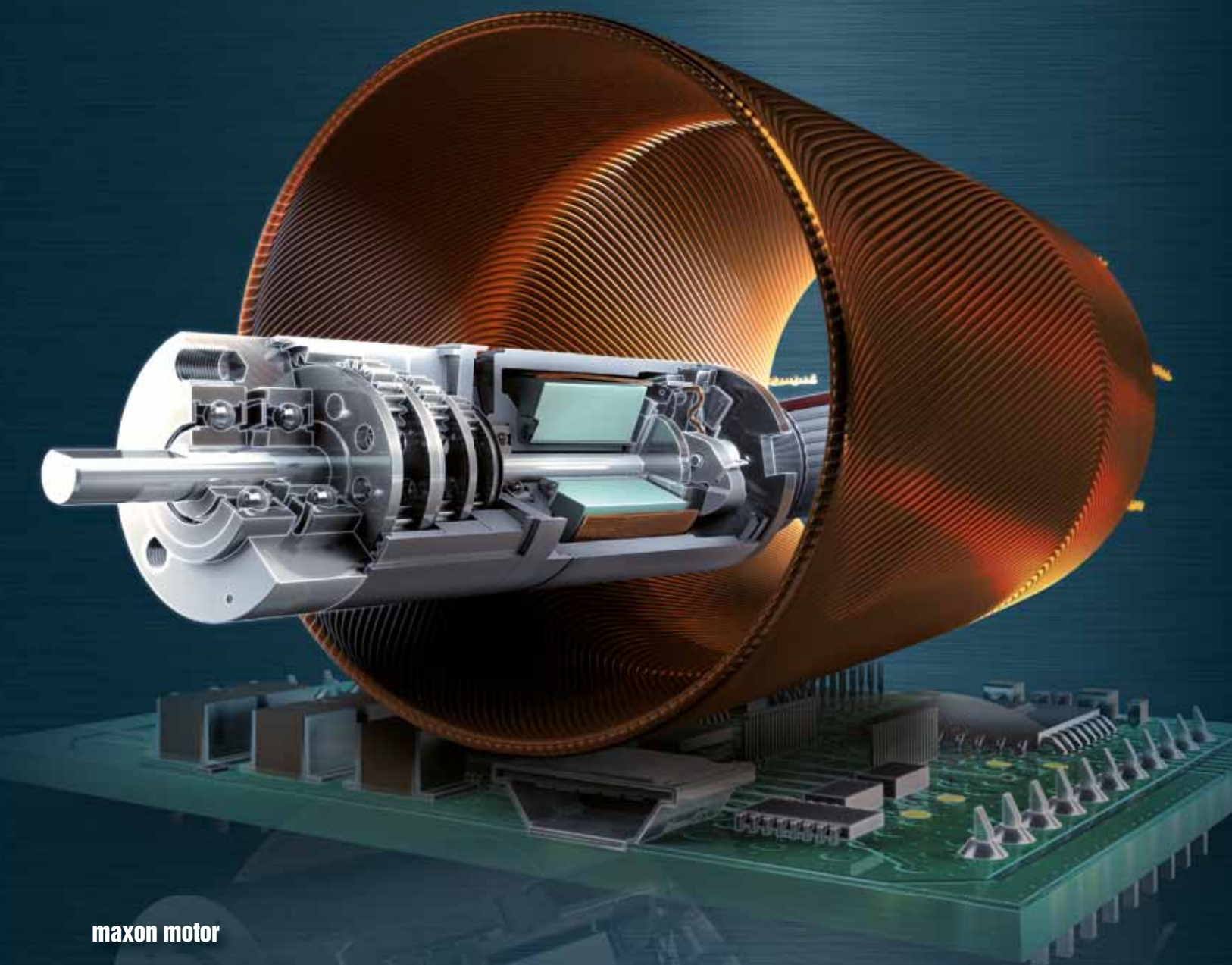
maxon X drives

Konfigurieren Sie Ihren Antrieb.

DC-Motor, Getriebe, Encoder. Mit neuen Grössen haben Sie noch mehr Möglichkeiten.
dcx.maxonmotor.com

www.maxonmotor.com

maxon motor
driven by precision



maxon motor

Effiziente Antriebslösungen.

Bürstenbehaftete und bürstenlose DC-Motoren mit über 90% Wirkungsgrad, Getriebe, Steuerungselektronik. Wir finden den Antrieb für Ihre individuellen Bedürfnisse.

www.maxonmotor.com

maxon motor

driven by precision