FAULHABER

# motion

01.2022

DAS MAGAZIN MIT ANTRIEB

## Das Leben läuft weiter – als man glaubt

75 YEARS OF MOTION

JUBILÄUM

**04** 75 Years of motion
Jeder Anfang braucht einen Antrieb. Unsere Erfolgsgeschichte.

JUBILÄUM

**08** 20 Jahre FAULHABER motion
Spannende Geschichten aus der Antriebswelt. Das nächste Kapitel.

AUTOMATION & ROBOTIK

**12** Smart Farming
Wie ernährt man 10 Milliarden Menschen? „Smart Farming“ ist ein wichtiger Teil der Antwort auf diese existenzielle Frage.

AUTOMATION & ROBOTIK

**16** Dünger-Dosiersystem
Aero-Düngerstreuer bringen den Mineraldünger in der richtigen Menge genau dorthin, wo er benötigt wird.

MEDIZIN

**20** Exoskelett „Autonomyo“
FAULHABER entwickelt All-in-One-Komponentenmotor mit Drehmomentsensor für eine harmonische Interaktion zwischen dem Exoskelett und seinem Benutzer.

OPTIK UND PHOTONIK

**24** Kleine Roboter in Großteleskopen
Kosmische Entwicklungsgeschichten rekonstruieren und die physikalischen Modelle der Galaxiengeburt überprüfen.

TECHNOLOGIE

**28** EM-Verträglichkeit bei Kleinantrieben
EMV beschreibt die Fähigkeit elektrischer und elektronischer Komponenten, in einer bestimmten Umgebung möglichst ohne Störungen neben- und miteinander zu funktionieren.

# Liebe Leserinnen, liebe Leser,

traditionell erscheint die erste Ausgabe unseres Magazins im Frühjahr. Zu dieser Zeit erlebt auch die Landwirtschaft eine arbeitsintensive Hochphase. Zum Beispiel müssen die vor dem Winter ausgesäten Pflanzen mit Dünger versorgt werden – ein Vorgang, der heutzutage zunehmend automatisiert erfolgt. In den neuen Aero-Düngerstreuern des Landmaschinenherstellers RAUCH sorgen FAULHABER Antriebe für ein präzises Streuverhalten und damit eine optimale Nährstoffversorgung. Das ist nachhaltiger Umweltschutz, da nicht mehr gedüngt wird, als die Pflanzen aufnehmen können und so das Grundwasser nicht unnötig mit Nitraten belastet wird.

2022 ist für uns ein besonderes Jahr. Vor 75 Jahren bereitete mein Großvater mit der Gründung der Dr. Fritz Faulhaber Feinmechanische Werkstätten den Weg für unsere heutige international erfolgreiche Unternehmensgruppe. Seine Erfindung der eisenlosen freitragenden Schrägwicklung trug maßgeblich zur Miniaturisierung der Antriebstechnik bei und sorgte für einen enormen Innovationsschub in einer Vielzahl an Anwendungen. Diese kreative Energie und der Pioniergeist prägen uns bis heute und ich bin stolz auf das, was wir gemeinsam mit unseren Mitarbeitern und Partnern im Laufe der Jahre erreicht haben. Aus Mut entsteht Erfolg, das zeigt sich auch an der Entscheidung, 1962 ins europäische Ausland zu expandieren. Daher freut es mich besonders, dass wir in diesem Jahr neben unserem 75. Jubiläum auch 60 Jahre FAULHABER in der Schweiz feiern dürfen.

Und auch in Zukunft gehört es zu unserem Anspruch, für jede lebensverbessernde Innovation die passenden Antriebslösung zu liefern. So konnten wir für das Exoskelett „Autonomyo“ einen innovativen All-in-One-Komponentenmotor mit Drehmomentsensor entwickeln. Sechs Kleinmotoren liefern zusätzliche Kraft, um Menschen mit bestimmten neuromuskulären Krankheiten den Sehnsuchtstraum vom Gehen ohne Krücken zu ermöglichen. Die aktive Gehhilfe unterstützt die geschwächten Muskeln und ermöglicht einen intuitiven Bewegungsablauf, der dem Natürlichen folgt.

Lesen Sie mehr über diese und weitere spannende Themen in dieser Ausgabe der FAULHABER motion – dem Magazin mit Antrieb.

Mit den besten Grüßen

Karl Faulhaber
Geschäftsführer

IMPRESSUM

**Ausgabe 01.2022**

**Herausgeber / Redaktion:**
DR. FRITZ FAULHABER
GMBH & CO. KG
Schönaich · Germany
Tel.: +49 (0)70 31/638-0
Fax: +49 (0)70 31/638-100
E-Mail: info@faulhaber.de
www.faulhaber.com

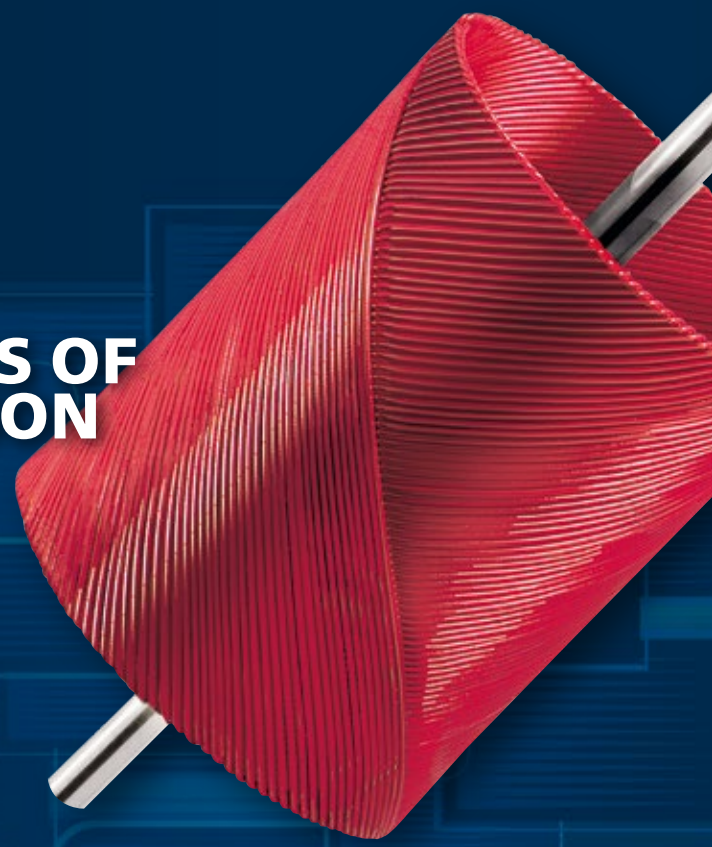
**Gestaltung:**
Werbeagentur Regelmann
Pforzheim · Germany
www.regelmann.de

**Bildnachweise & Copyright:**
Alle Rechte vorbehalten. Die Rechte der verwendeten Grafiken, Bilder und genannten Marken liegen bei den jeweiligen Eigentümern. Das Copyright der Beiträge liegt beim Herausgeber. Eine Vervielfältigung oder elektronische Verarbeitung, auch in Auszügen, ist nur mit ausdrücklicher Zustimmung des Herausgebers gestattet.

**Erscheinungsweise & Abo:**
Die FAULHABER motion erscheint zweimal jährlich und wird Kunden, Interessenten und Mitarbeitern von FAULHABER kostenlos zugestellt.

Die FAULHABER motion gibt es auch digital:
www.faulhaber.com/de/motion

# 75 YEARS OF MOTION



## Jeder Anfang braucht einen Antrieb

Unsere Erfolgsgeschichte beginnt in den späten 1940er Jahren. 1947 gründet der junge Ingenieur Dr. Fritz Faulhaber mit den „Feinmechanischen Werkstätten" sein erstes eigenes Unternehmen. Zu seinen Auftraggebern zählt unter anderem der renommierte Kamerahersteller Voigtländer, für den er Anfang der 50er Jahre mit der „Vitessa" eine Kamera entwickelt, deren Bedienung revolutionär einfach war: Für Auslösevorgang und Filmtransport genügte es, nacheinander zwei Knöpfe zu drücken. Schon zu dieser Zeit spielt er mit der Idee, für den Filmtransport einen Elektromotor zu verwenden. Das Problem: Die aktuelle Technologie erlaubt keine Motoren, die klein genug für den zur Verfügung stehenden Bauraum wären. Aufgeben ist für den leidenschaftlichen Tüftler keine Option, also setzt er sich Mitte der 50er Jahre erneut an seinen Schreibtisch und grübelt darüber nach, wie ein Elektromotor aussehen müsste, der nicht nur in die vor ihm liegende Kamera passt, sondern auch effizient und leistungsfähig genug ist, um mit Batteriestrom den Filmtransport zu bewerkstelligen. Dann hat er eine geniale Idee und innerhalb kürzester Zeit entwickelt er mit der eisenlosen freitragenden Schrägwicklung eine bahnbrechende Antriebstechnologie, die nicht nur sein Kameraproblem löst, sondern auch den Grundstein für die Zukunft der Miniaturisierung in vielen Anwendungsbereichen weltweit legen sollte.

## Trendsetter am Puls der Zeit

Als er seine Erfindung 1958 zum Patent anmeldet und mit der Serienproduktion startet, hätte er sich wohl kaum träumen lassen, dass er damit Anwendungsentwicklern damals wie heute einen bedeutenden Antrieb verleihen sollte. Aber genau das war es, was seine Erfindung so nachhaltig erfolgreich machte – nicht über Nacht – die potentiellen Kunden brauchten Zeit, um die erwachte Phantasie in praktische Anwendungen fließen zu lassen. Doch die Welt hatte auf eine Erfindung wie diese gewartet, die dem globalen Trend zur fortlaufenden Miniaturisierung einen neuen Impuls geben konnte. Eine Entwicklung, die bis heute ungebrochen ist und die wir bei FAULHABER seit 75 Jahren an führender Position vorantreiben. Der kreative und gleichermaßen pragmatische Geist unseres Gründervaters prägt unser Unternehmen bis heute. Wir denken langfristig. Wir beobachten sorgfältig und wir handeln proaktiv – oder wie Dr. Fritz Faulhaber junior, der Sohn des Gründers, es später einmal bescheiden formulierte: „Es ist unsere Philosophie, technologisch der Konkurrenz immer eine Nasenlänge voraus zu sein – aber die Nase sollte nicht einen Meter lang sein."

## Pioniergeist braucht Freiheit

Seit 75 Jahren wird FAULHABER als ein traditionelles Familienunternehmen geführt. Diese Unabhängigkeit gibt uns die Freiheit, unternehmerische Entscheidungen von großer Tragweite zu treffen, ohne den Interessen Dritter wie Investoren oder Anlegern Rechnung tragen zu müssen. Dies ist insbesondere deshalb wichtig, da wir umfangreiche Ressourcen in Grundlagenforschung investieren, um – ganz in der Tradition unseres Gründers – neue Antriebstechnologien für Trends von morgen in der Schublade zu haben, lange bevor uns unsere Kunden danach fragen. Die Fähigkeit zur frühzeitigen Identifikation neuer potentieller Anwendungsgebiete für innovative Antriebssysteme ist einer der Gründe für unseren anhaltenden Erfolg.

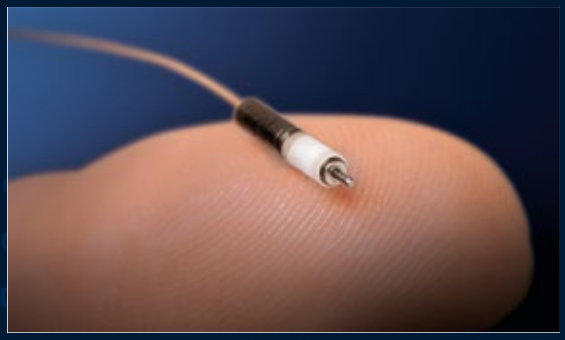
## Wir feiern unsere Familie

75 Jahre FAULHABER – wir sind weit gekommen, aber diese lange Wegstrecke haben wir nicht alleine zurückgelegt. FAULHABER ist heute mehr als ein Familienunternehmen, FAULHABER ist vielmehr eine gewachsene Unternehmensfamilie mit vielen Mitgliedern auf der ganzen Welt. Wir sind bestens miteinander vernetzt und teilen die Leidenschaft für Präzision nicht nur bei der Entwicklung unserer Produkte, sondern auch bei der standortübergreifenden synchronen Produktion. Wir sind stolz, dass wir dieses Jubiläum zusammen feiern können, denn alle haben einen wichtigen Teil zum Erfolg beigetragen. Unser ganz besonderes Augenmerk richten wir auf unseren Standort Croglio in der Schweiz – mit der Gründung von Minimotor S.A. machte FAULHABER 1962 einen wichtigen strategischen Schritt ins traditionsreiche Mekka von Präzision und Feinmechanik – heute feiern wir nicht nur unser 75. Jubiläum, sondern gemeinsam mit unseren eidgenössischen Kollegen gleichzeitig die 60-jährige Präsenz von FAULHABER in der Schweiz.

## Wir wollen Menschen bewegen

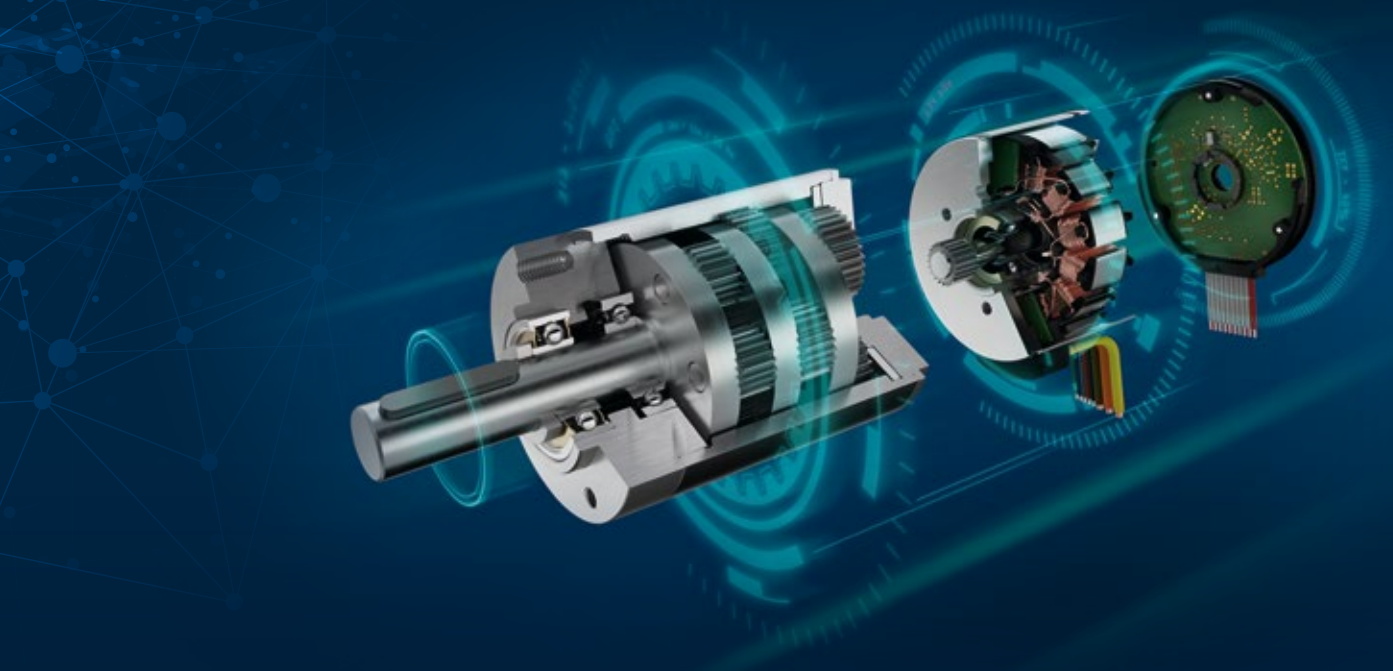
Es war und ist unser Anspruch, dass es für jede technologische Innovation, die helfen kann, das Leben von Menschen zu verbessern, immer eine passende Antriebslösung von FAULHABER geben wird. So war es uns in unserem Bestreben, die Grenzen des technisch Machbaren kontinuierlich zu erweitern. 1998 gelang es, den kleinsten DC-Mikromotor der Welt zu bauen – sein Durchmesser: nur 1,9 mm. Die Fähigkeit, unsere Antriebstechnologie in solch mikroskopische Dimensionen zu verkleinern und selbst bei dieser Größe noch ein nutzbares Drehmoment zu erzeugen, sollte den Grundstein für völlig neuartige Anwendungen im Medizinbereich liefern. Bereits ein Jahr später begann auf dieser Basis die Entwicklung einer motorbetriebenen minimalinvasiven Herzpumpe, die bei Herzoperationen und in der Rekonvaleszenz hilft, Menschenleben zu retten.

Lediglich 1,9 mm im Durchmesser misst der kleinste, serienmäßig gefertigte DC-Mikromotor mit Planetengetriebe.



14 FAULHABER Antriebssysteme trotzten im Lander Philae erfolgreich den harschen Bedingungen von 10 Jahren Reisezeit im Vakuum und Tiefsttemperaturen.

Woher kommen wir, wohin gehen wir? Eine Frage, die wir uns verständlicherweise im Jubiläumsjahr stellen, die aber die Menschheit seit Jahrtausenden beschäftigt. Solcher Erkenntnisgewinn stand nicht nur im Mittelpunkt der Rosetta-Mission als die Raumsonde 2014 dem Kometen 67P/Tschurjumow-Gerassimenko einen Besuch abstattete, sondern auch im Fokus unseres Entwicklerteams, als die Wissenschaftler der ESA es mit einer nie dagewesenen Aufgabe betrauten: Die Entwicklung eines Antriebssystems, das den Lander Philae bei der Landung mit einer Harpune an der Kometenoberfläche verankern sollte. Die Schwierigkeit dabei: Gewährleistung der präzisen Funktion nach 10 Jahren Flug durchs All. Wir wollen nicht behaupten, dass wir diese Aufgabe haben kommen sehen – aber wir waren gut darauf vorbereitet.



## Die Lösung liegt im System

Die Technologieführerschaft im Bereich der Miniatur- und Mikroantriebstechnik verdanken wir unserem Credo, schon heute nicht nur an Lösungen für Morgen, sondern bereits für Übermorgen zu arbeiten. Dabei denken wir nicht nur an das, was mit FAULHABER Kleinstantrieben in Zukunft möglich sein sollte, sondern betrachten alle Systemkomponenten ganzheitlich. Auf diese Weise ist es uns in den vergangenen 75 Jahren immer wieder gelungen, durch innovative Produkte neue Systemlösungen für unterschiedlichste Kunden in einer Vielzahl von Märkten zu entwickeln. Das Vertrauen unserer Kunden in unsere Fähigkeit, zuverlässig kundenspezifische Lösungen für komplexe neue Problemstellungen zu finden, zeichnet unsere Kundenbeziehungen besonders aus. Diese Fähigkeit beruht auf unserer Bereitschaft, enge Partnerschaften mit unseren Kunden einzugehen sowie der innovativen Kraft der Vielfalt, die wir aus unserem internationalen kooperativen Netzwerk ziehen.

## Die Zukunft wartet schon

Nach diesen spannenden 75 Jahren könnten wir eigentlich einen Moment innehalten und voller Stolz auf die erfolgreiche Zeit zurückblicken. Das tun wir auch. Aber nur solange es dauert, einmal kurz durchzuatmen. Denn aus unserer Vergangenheit haben wir gelernt, wie wichtig der Blick in die Zukunft ist – damit wir rechtzeitig zur Stelle sind, wann immer ein Entwickler eine passende Antriebslösung für eine Innovation braucht, die das Potential hat, unser aller Leben etwas besser zu machen.

75.faulhaber.com

## 20 Jahre FAULHABER motion

# Spannende Geschichten aus der
# **Das nächste Kapitel**

In diesem Jahr feiern wir nicht nur 75 Jahre FAULHABER und unser Standort in der Schweiz 60 Jahre. Auch unsere Kundenzeitschrift motion blickt auf 20 Jahre und damit 40 Ausgaben zurück. Als FAULHABER info zur Hannover Messe 2002 gestartet, öffnet sich für die Firmenzeitschrift nun ein neues Kapitel: zukünftig gibt es die motion auch als Online-Magazin. Wir blicken zurück und freuen uns auf die Zukunft.

Pünktlich zur Hannover Messe 2002 ging sie an den Start: die FAULHABER info – eine Kundenzeitschrift, die mehr bieten sollte. Professionell recherchierte und erstellte Berichte über spannende Kundenprojekte aus der ganzen Welt, die Vorstellung innovativer Ideen, Hintergrundinformationen und Blicke über den Tellerrand, sowie Nachrichten und neue Produkte aus dem Hause FAULHABER auf ansprechende Art und Weise präsentiert: dafür stand die info. Insgesamt sind 21 Ausgaben in 11 Jahren zwischen 2002 und 2013 erschienen. Die info erschien traditionell pünktlich zu den großen Messen Hannover Messe im Frühjahr und der SPS im Herbst.

### Geht unter die Haut

Innovation lebt von der Bereitschaft zur Veränderung und dem Beschreiten neuer Pfade. Das gilt auch für unsere Kundenzeitschrift FAULHABER info. Ab und an wird es einfach Zeit für einen Relaunch, der einem Medium ein neues, frischeres Aussehen verschafft oder gar einem kompletten Rebranding unterzieht. Seit der Ausgabe 02.2013 erscheint unsere Kundenzeitschrift daher unter dem Namen FAULHABER motion – das Magazin mit Antrieb – mit noch emotionaleren Bildern und einem modernen Design. Geblieben sind spannende Berichte aus der Antriebstechnik, die wir in Zusammenarbeit mit unseren Kunden realisieren.
Die erste Ausgabe der neuen motion ging sprichwörtlich unter die Haut. Unter der Überschrift „Technik, die unter die Haut geht" berichteten wir über handliche Maschinen, die für Tattoos und Permanent-Make-up zum Einsatz kommen und in denen DC-Kleinstmotoren aus Schönaich auf Grund ihrer Laufruhe besonders geschätzt sind.

# Antriebswelt.

# Antriebsgeschichten

Histoires d'entraînements

Storie di guida

## International ausgerichtet

Von Anfang an erschien die FAULHABER info in Deutsch und Englisch, ab 2008 kam Französisch hinzu und ab 2010 Chinesisch. Inzwischen – das ist auch Ausdruck unserer zunehmend stärkeren globalen Präsenz – erscheint die motion neben diesen Sprachen auch noch in Niederländisch, Italienisch und Polnisch.
Die Berichte, die voller interessanter Details stecken und durch hochwertiges Bildmaterial abgerundet werden, gehen noch einen Schritt weiter. Wir können mit Fug und Recht behaupten: die motion ist überirdisch. Schließlich haben wir bereits über die diversen Projekte berichtet, bei denen FAULHABER Antriebssysteme den Weltraum erobern, sei es als digitaler Assistent an Bord der ISS oder als Teil einer Marsmission. Auch zukünftig werden wir Ihnen einen spannenden, abwechslungsreichen Themenmix präsentierten, der sowohl klassische Industrieanwendungen als auch absolute Innovationen abdeckt.
Bei der Premiere der FAULHABER info in 2002 waren mobile Endgeräte noch in der absoluten Minderheit, erst 10 Jahre später, 2012, erreichten diese mit 10 Prozent erstmals einen nennenswerten Anteil am weltweiten Datenverkehr im Internet. Das ist inzwischen komplett anders: mehr als 55 Prozent aller Seitenaufrufe erfolgten 2021 von mobilen Endgeräten, 2019 überholte das Internet sogar das Fernsehen als Medium Nummer 1.

## Mobil, Modern, Multimedial

Diesem Trend tragen wir Rechnung, indem wir im Jubiläumsjahr unsere FAULHABER Webseite www.faulhaber.com einem Relaunch unterzogen und diese für die Darstellung auf allen Endgeräten weiter optimiert haben. Die neue Webseite besitzt ein modernes, zeitgemäßes Design, die Navigation wurde überarbeitet und bietet mehr Möglichkeiten, sich über Links tiefergehend zu ausgewählten Themen zu informieren. Kontaktaufnahme und Chatfunktion sind von allen Seiten aus einfach erreichbar. Der neue Know-how-Bereich bietet neue weiterführende Inhalte wie How-to-Videos, Application Notes, Tutorials und unsere Webinarbibliothek.
Unser Berechnungs- und Auswahltool FAULHABER Drive Calculator nimmt einen prominenteren Platz auf der Seite ein und steht nun auf allen Seiten parat. Das leistungsstarke und umfangreiche Werkzeug unterstützt bei der Berechnung und Auslegung von Antriebssystemen bestehend aus Motoren, Getrieben, Encodern und anderen Komponenten und hilft, schnell die passende Lösung für Ihre Anwendungsaufgabe zu finden. Klicken Sie auf „Start Drive Calculator“ und überzeugen Sie sich selbst!

związane z napędem

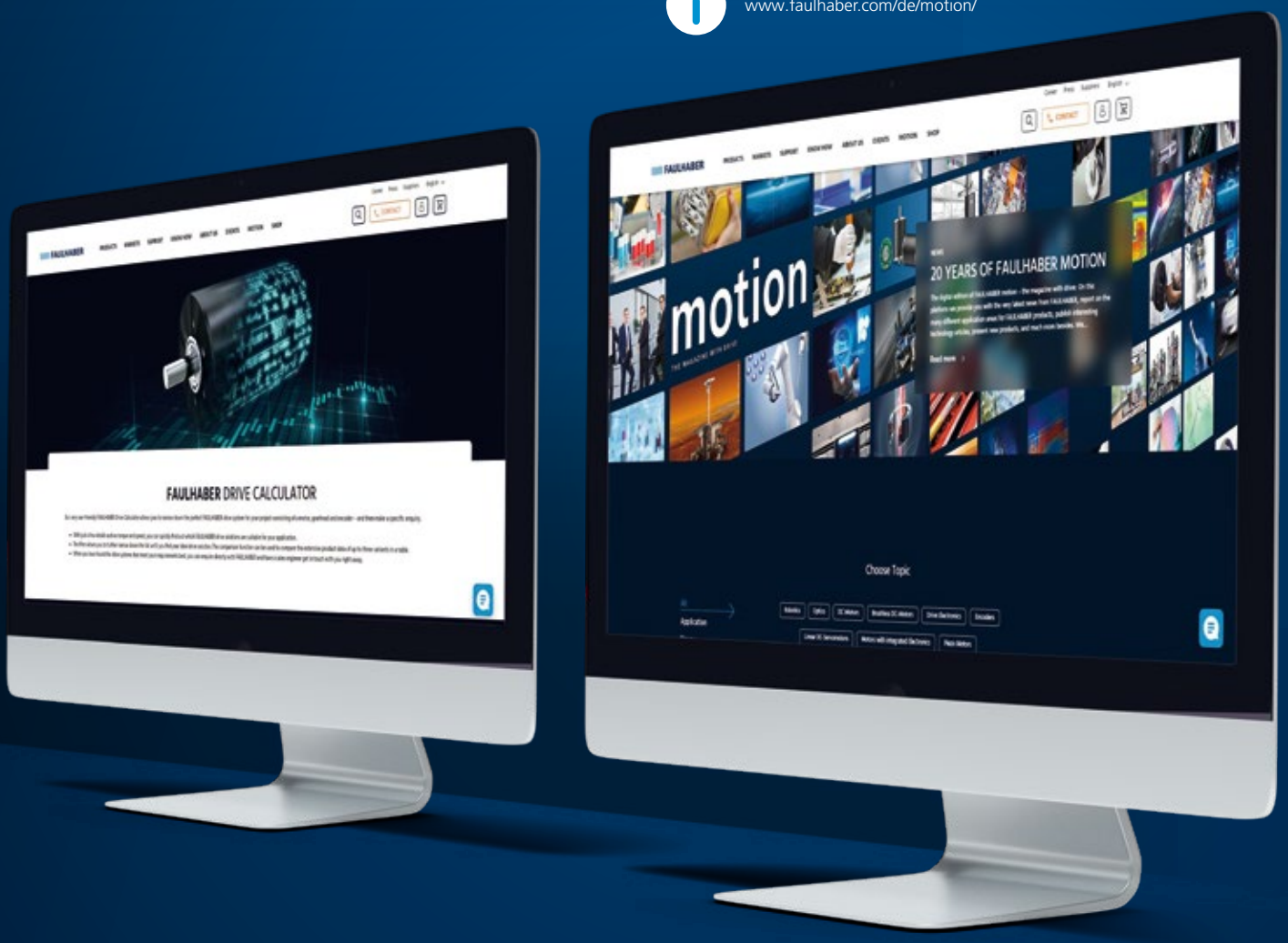
VERHALEN

ie di guida

## Die FAULHABER motion wird digital

Mit dem Launch der neuen Webseite wird auch unsere beliebte Kundenzeitschrift um ein digitales Angebot erweitert. Unter dem Menüpunkt „motion“ finden Sie diese zukünftig als Online-Magazin, das regelmäßig mit neuen spannenden Beiträgen wie Applikationsbeispielen, Produktneuheiten, Interviews, technischen Artikeln und Hintergrundinformationen ergänzt wird. Mittels Filterfunktionen können Sie die Inhalte speziell auf Ihr Interesse anpassen und sich so Ihre personalisierte motion zusammenstellen – so bleiben Sie regelmäßig auf dem Laufenden bei den Themen, die für Sie besonders wichtig sind. Die Printausgabe wird wie gewohnt weiterhin zweimal im Jahr erscheinen und die spannendsten Beiträge in gedruckter Form zusammenfassen.

www.faulhaber.com/de/motion/



# Wie ernährt man 10

„Smart Farming“ ist ein wichtiger Teil der Antwort auf diese existenzielle Frage: Höchste Effizienz in der Nahrungsproduktion, durch gezielten Einsatz neuester Technologie, rechnergestützt und möglichst vollautomatisch. Saatkörner werden einzeln und präzise platziert; Früchte von maschinellen Greifern vorsichtig gepflückt, Dünger und Pflanzenschutzmittel in kleinen Dosen gezielt ausgebracht. Dabei werden viele kleine Elektromotoren benötigt, die zugleich robust und leistungsstark sind.

Quantencomputer, Raumfahrttourismus oder Wasserstofftechnologie – der aktuellste Techno-Hype dreht sich um ständig neue Themen. Seltsamerweise wird dabei die allerwichtigste Branche häufig ignoriert: die Landwirtschaft. Obwohl sie bis heute zuverlässig eine exponentiell wachsende Menschheit ernährt hat. Die Landwirtschaftliche Revolution, die im 18. Jahrhundert begann, hat die Erträge enorm ansteigen lassen. Sie beruht auf der zunehmenden Verwendung von Hochertragssorten, Mineraldünger und chemischen Pestiziden, auf Mechanisierung und großflächiger künstlicher Bewässerung. Diese Eingriffe in die Ökologie blieben jedoch nicht ohne unerwünschte Nebenwirkungen. Alle fundierten Bevölkerungsprognosen sagen voraus, dass die Menschheit in diesem Jahrhundert auf neun bis zehn Milliarden Köpfe anwachsen wird. Die Erde bietet das Potenzial, auch diese große Zahl von Menschen mit ausreichend Nahrung zu versorgen. Die Landwirtschaft steht hier allerdings vor einer riesigen Herausforderung. Ackerbau und Viehzucht müssen mehr produzieren, ohne die lebenserhaltenden

Ressourcen zu gefährden. Fruchtbarer Boden, sauberes Grundwasser und eine intakte Natur sind unsere kostbarsten „Rohstoffe“. Sie müssen unbedingt geschont werden.

## Von der Fläche zur Pflanze

Bisher werden viele wichtige Arbeitsschritte im Ackerbau wie Säen, Düngen und Pflanzenschutzmaßnahmen auf die Fläche bezogen. Wenn man Saatgut oder Pestizide ausbringt, berechnet man die Menge pro Ar oder Hektar; die Maschinen verteilen das Material mit dem entsprechenden Durchsatz. Statt die Pflanze zu stärken, gelangt so zum Beispiel ein Teil des Stickstoffdüngers ins Grundwasser, wo es eindeutig nicht hingehört. Tätigkeiten wie der Rückschnitt von Obstbäumen oder die Ernte empfindlicher Frucht- und Gemüsesorten erfordern aufwendige Handarbeit, während immer mehr Betriebe unter Personalmangel leiden.

Smart Farming nutzt moderne Technologien, um zugleich die Effizienz der Landwirtschaft zu steigern, schonender mit allen Ressourcen umzugehen, Menschen von monotoner Arbeit zu entlasten und höhere Erträge zu produzieren. In diesem Zusammenhang ist auch von Precision Farming, Digital Farming oder e-Farming die Rede. Mit rechnergestützten und vernetzten Abläufen plus maschinellem Lernen und maßgeschneiderten Roboterfunktionen kann man statt der Fläche die einzelne Pflanze in den Blick nehmen.

Je direkter die Maßnahmen auf sie gerichtet sind, desto sparsamer und effizienter können diese eingesetzt werden. So ließe sich etwa die Verwendung von Herbiziden deutlich reduzieren, wenn sie gezielter zur einzelnen Pflanze gelangen. Früchte und Gemüse könnten von Robotern in kontinuierlichen Durchgängen automatisch geerntet werden, immer zum optimalen Reifegrad.

Leichte, autonom arbeitende Feldroboter eröffnen auch eine Chance, die Böden zu schonen. Große Landmaschinen sind heute bis zu zehn Tonnen schwer. Bei einem solchen Gewicht führt jede Fahrt zu dramatischer Bodenverdichtung. Die betroffene Erdschicht kann kaum noch Wasser und Luft aufnehmen, das Bodenleben wird stark beeinträchtigt, Wachstum und Gesundheit der Nutzpflanzen im Bereich der Fahrwege werden ebenfalls in Mitleidenschaft gezogen. Mit Smart Farming kann man zu gesünderen Böden und mehr Biodiversität beitragen.

Gezielter Einsatz von Dünger und Herbiziden reduziert die Bodenbelastung

## Automatisierung im Acker- und Gartenbau

Viele Anwendungen existieren vorerst nur als Studien oder Prototypen. Es gibt Smart Farming aber auch schon in bewährter Praxis, so zum Beispiel bei der gezielten Einzelkornaussaat. Sie wurde ursprünglich für die Forschung und Saatgutzüchtung entwickelt. Die entsprechenden Maschinen können einzelne Saatkörner in genau definierten Abständen ausbringen. Jede Pflanze bekommt genug Platz zum Wachsen, die Fläche wird optimal ausgenutzt. Zugleich wird das kostbare Saatgut mit höchster Sparsamkeit verwendet.
Die modernsten Maschinen verwenden pro Reihe ein Vereinzelungsmodul mit Elektroantrieb. Ein Motor treibt eine mit Schlitzen oder Zähnen versehene Scheibe an, welche die einzelnen Körner zum Auslass befördert. Mit einer intelligenten Steuerung kann der optimale Abstand für jede Art Saatgut genau eingestellt werden; bei Kurvenfahrt lassen sich die unterschiedlichen Radien der einzelnen Reihen kompensieren. Die Zufuhr des Saatguts zu den Scheiben wird mit ebenfalls motorisierten Verschlüssen geregelt.

Immer perfekt gereifte Produkte durch kontinuierliche automatisierte Ernte

Beim Gemüse- und Blumenanbau in Gewächshäusern werden viele Pflanzen zunächst in kleinen Anzuchttöpfen vorgezogen und später in größere Töpfe oder in Beete umgepflanzt. In modernen Gartenbaubetrieben übernehmen Maschinen das Sortieren und Handhaben von Pflanzen und Töpfen. Ihre Maschinenparks haben große Ähnlichkeit mit Anlagen aus industrieller Produktion und Logistik. Man sieht Fließbänder und Rollenbahnen, auf denen Trays mit den Produkten in verschiedenen Stadien transportiert, sortiert und umgetopft werden. Die eingesetzten Greifer unterscheiden sich nur durch die Form ihrer „Finger“ von ähnlichen Vorrichtungen in anderen Branchen. Von Kleinmotoren angetrieben übernehmen sie die automatische Handhabung der einzelnen Töpfe und Pflanzenballen.
Selbstfahrende Erntemaschinen für Früchte und Gemüse haben die Serienreife für den breiten Einsatz noch nicht erreicht, doch die Richtung der technischen Entwicklung ist schon abzusehen: Kamerage-stützte Sensoren erkennen anhand von Farbe und Form den Reifegrad von Erdbeeren oder Paprikaschoten und erfassen deren genaue Position. Der Bordcomputer steuert anhand dieser Daten einen Roboterarm, der mit einer Art Schere und einer Auffangvorrichtung bestückt ist. Die Prototypen dieser Technologie stecken voller Elektromotoren, vom Einzelradantrieb über den Roboterarm bis zur Schneidevorrichtung und dem Sammelsystem für das Erntegut.

## Schlüsseltechnologien Elektrik und Elektronik

„In der herkömmlichen Landwirtschaftstechnik sind mechanische Übersetzungen und pneumatische Antriebe

Moderne Automaten übernehmen das Sortieren und Handhaben der Pflanzen

weit verbreitet“, erklärt Kevin Moser, der bei FAULHABER als Business Development Manager für Anwendungen in dieser Branche zuständig ist. „Für die kleinteiligeren Systeme des Smart Farming sind diese oft zu schwer, zu klobig, mechanisch zu komplex und zu wenig energieeffizient. Wir beobachten deshalb, dass immer mehr elektrische Kleinmotoren verwendet werden, um die Kraft für gezielte Arbeitsschritte zu liefern. Die Antriebe müssen in einer Agrar-Umgebung allerdings meist sehr hohe Anforderungen erfüllen.“

Anders als die traditionellen Großgeräte sind die Maschinen und Komponenten des Smart Farming in der Regel kompakter und leichter. Das heißt, dass die Motoren oft nur wenig Platz bekommen. Trotzdem müssen sie als Antriebe von Säscheiben, Klappen, Greifern, Roboterarmen oder Scheren genug Kraft liefern, um die jeweilige Aufgabe in zahllosen Zyklen zuverlässig zu erledigen. Zugleich sollen sie hocheffizient arbeiten, denn die autonomen Einheiten beziehen ihre Energie meist aus Akkus mit begrenztem Stromvorrat. Außerdem muss die Antriebselektronik in vernetzte Strukturen eingebunden werden können und eine intelligente Steuerung möglich machen.

„Das sind typische Anforderungen an Antriebssysteme der Spitzenklasse; die passenden Antworten gehören bei FAULHABER zum Standard“, sagt Kevin Moser. „Darüber hinaus müssen die Antriebe in der landwirtschaftlichen Umgebung aber auch in höchstem Maße robust sein, damit sie selbst unter härtesten Bedingungen zuverlässig und dauerhaft funktionieren. Große Temperaturschwankungen und starke mechanische Belastungen sind in Landwirtschaft und Gartenbau gang und gäbe. Und dennoch dürfen bei all dem die Kosten nicht aus dem Blick geraten. Wir von FAULHABER können gleich mehrere Geräteserien anbieten, denen dieser Spagat gelingt.“

Moser verweist auf die wartungsfreien bürstenlosen und besonders kompakten DC-Flachmotoren der Serie BXT sowie die äußerst robusten und kosteneffizienten Kupfergraphitmotoren der CXR-Linie. Für die hohe Kraftübertragung unter rauen Bedingungen sind die Getriebe der neuen Serie GPT besonders gut geeignet. Bei höchster Effizienz sind sie ebenfalls extrem robust und damit ideal für landwirtschaftliche Anwendungen. Optionale Inkremental-Encoder ermöglichen eine hochgenaue Positionierung. Für die Vernetzung der Antriebssysteme stehen verschiedene Steuerungen, beispielsweise mit CANopen-Schnittstelle zur Verfügung. „Antriebe von FAULHABER werden bereits im Smart Farming eingesetzt“, berichtet Kevin Moser. „Für anspruchsvolle Anwendungen in diesem Bereich werden sie künftig eine wichtige Rolle spielen.“

www.faulhaber.com/de/maerkte/industrie-automation/

Antriebe in landwirtschaftlicher Umgebung müssen unter widrigen Bedingungen zuverlässig funktionieren

# Keine Spur zu viel Düngen

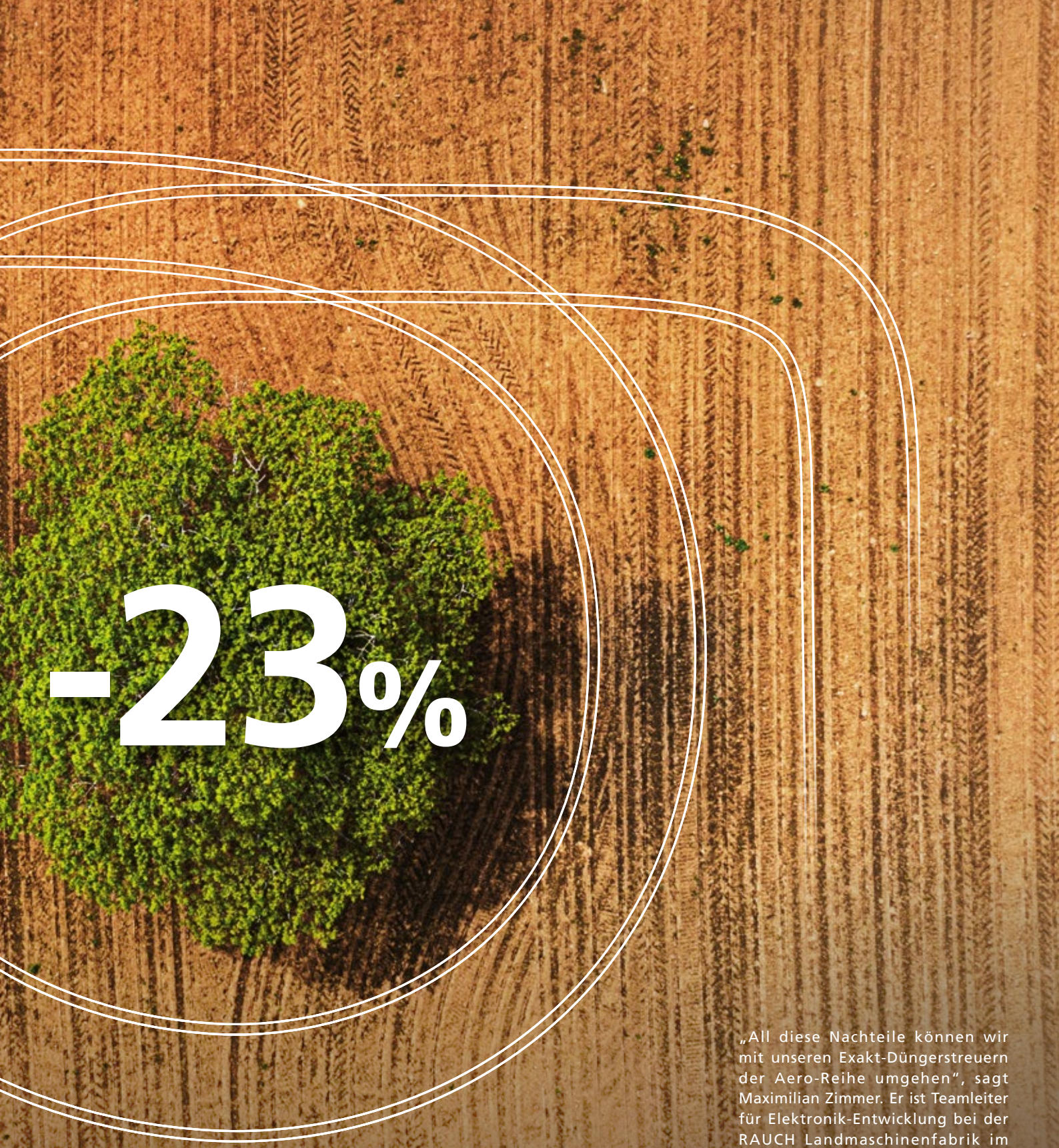
Pflanzen brauchen Stickstoff. Leider können sie dieses allgegenwärtige Element aber nur in Form von löslichen Nitratverbindungen aufnehmen. Überschüssiger Stickstoffdünger gelangt daher leicht ins Grundwasser, wo er äußerst unerwünscht ist. Nicht mehr zu düngen, als die Pflanzen aufnehmen können, ist also praktischer Umweltschutz. Die neuen Aero-Düngerstreuer des Landmaschinenherstellers RAUCH bringen den Mineraldünger in der richtigen Menge genau dorthin, wo er benötigt wird. Motoren von FAULHABER helfen bei der Präzisionsdosierung.

Pflanzen benötigen neben Licht, Wasser und Spurenelementen nur sechs Nährstoffe: Phosphor, Kalium, Magnesium, Kalzium, Schwefel und Stickstoff. Letzterer, mit dem chemischen Symbol N bezeichnet, ist nach der Menge der wichtigste. Er wird unter anderem für die Bildung von Eiweißverbindungen und Chlorophyll sowie für das Wachstum von Trieben und Blättern gebraucht.
Stickstoff ist der Hauptbestandteil der Erdatmosphäre. Dort ist er in seiner elementaren Form (N2) als Gas im Überfluss vorhanden. Dummerweise können die meisten Pflanzen so nichts mit ihm anfangen. Sie können Stickstoff nur durch ihre Wurzeln aus der Erde aufnehmen und benötigen ihn in Form von Ammonium ($NH_{4+}$) oder als Nitrat ($NO_{3-}$).

Nitratverbindungen machen den größten Teil der mineralischen Düngemittel aus, mit denen die moderne Landwirtschaft üppige Erträge erreicht. Zur richtigen Zeit und in der richtigen Menge ausgebracht, können sie von den Pflanzen annähernd vollständig aufgenommen und in Nahrungsmittel und Biomasse verwandelt werden. Nur wenn zu viel Nitrat auf den Äckern landet, gibt es Folgeprobleme. Überschüssiges Nitrat sickert früher oder später mit dem Regen ins Grundwasser.

## Streubild schärfen

Die herkömmliche Methode, um Mineraldünger auf dem Feld zu verteilen, besteht in der Verwendung sogenannter Zweischeibenstreuer: Das Düngemittel fällt aus dem Vorratsbehälter hinter dem Traktor auf zwei waagerecht rotierende Scheiben.



# -23%

Ihre Drehbewegung schleudert die Körner bis zu 25 Meter nach links und rechts, während die Maschine über den Acker fährt. So lassen sich zwar große Flächen in kurzer Zeit düngen, doch die Verteilung erfolgt pauschal und auf die Gesamtfläche berechnet. Das „Streubild“ ist unscharf; bei unregelmäßigen Feldformen, in Kurven und an Wegrändern entstehen unweigerlich Streifen, die zu wenig oder zu viel Dünger abbekommen. Außerdem funktioniert das Schleudern nur mit Düngerkörnern von gleichmäßiger Größe und Qualität zuverlässig.

„All diese Nachteile können wir mit unseren Exakt-Düngerstreuern der Aero-Reihe umgehen“, sagt Maximilian Zimmer. Er ist Teamleiter für Elektronik-Entwicklung bei der RAUCH Landmaschinenfabrik im badischen Sinzheim. „Das Granulat wird hier nicht weitflächig geschleudert, sondern gelangt durch ein Rohrsystem in der richtigen Menge und fein verteilt aufs Feld. Dabei kann die Maschine gezielt Stellen aussparen, an denen kein Dünger benötigt wird.“

## Dosiersystem mit schaltbaren Sektionen

Die Grundlage für solches Präzisionsdüngen ist das MultiRate-Dosiersystem, laut Hersteller „das weltweit erste Dosier- und Verteilsystem für granulierte Dünger zur kleinräumigen und punktgenauen Pflanzenernährung“ für Pneumatik-Düngerstreuer. Es erlaubt, dreißig Streusektionen einzeln zu- und abzuschalten. Zugleich kann die ausgebrachte Menge für jede Sektion einzeln geregelt werden. Damit lässt sich gleichzeitig der Düngerverbrauch pro Fläche um bis zu 23 Prozent reduzieren und der Ertrag erheblich steigern.

Das Düngergranulat gelangt durch dreißig einzelne Rohre zielgenau dosiert auf 1 bis 1,2 Meter breite Streifen auf dem Feld. Hinter der individuellen Zuführung steckt eine ausgeklügelte Technologie: Das Düngemittel wird durch mehrere Trichter zu sechs Dosierwellen mit je fünf Segmenten geführt.

## Motordrehzahl regelt Düngermenge

Jedes Nockenrad-Segment wird von einem bürstenlosen Flachmotor der Reihe 4221…BXT von FAULHABER mit einem kundenspezifischen Sondergetriebe bewegt und kann einzeln angesteuert werden. „Die Drehzahl des Motors regelt die Menge des ausgebrachten Düngers“, erläutert Maximilian Zimmer. „So kann die Maschine zum Beispiel dafür sorgen, dass in einer Kurvenformation die Menge pro Fläche immer gleich ist, obwohl jeder Auslass einen anderen Radius abfährt. Wenn sich bei schrägen Feldgeometrien Reihen überschneiden oder die Maschine an den Wegrand kommt, können einzelne Auslässe automatisch ab- und später wieder zugeschaltet werden. Hier kommt es sehr auf die Dynamik des Motors an. Er muss praktisch ohne Zeitverzug die genau vorgegebene Drehzahl erreichen und ein hohes Drehmoment liefern.“

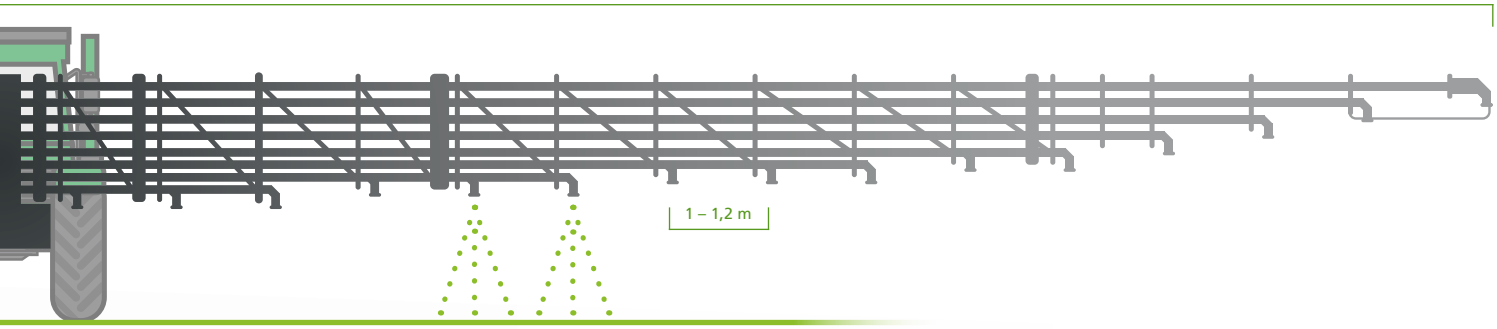
Diese sind CAN-Bus-gesteuert und verfügen über Nockenräder, welche das Granulat in kleine Portionen unterteilen. Danach wird es per Gebläse mit einem Luftstrom beschleunigt und zum Auslass befördert.

30 Streudüsen über 36 m

Diese Leistung stammt aus einem äußerst kompakten Antrieb mit nur 42 Millimeter Durchmesser und einschließlich Getriebe 49 Millimeter Länge, die in robusten Stahl- und Aluminiumgehäusen untergebracht sind. Damit widersteht die Einheit den in der Landwirtschaft unvermeidlichen mechanischen Erschütterungen. Auch Wetterextreme machen ihnen nichts aus: Der Temperaturbereich erstreckt sich von minus 10 bis plus 60 Grad.

Neben dem Dünger kann man mit den Aero-Düngerstreuern auch Zwischensaaten wie Raps oder Senfgras ausbringen. Sie binden Nährstoffe, schützen den Boden und tragen zu seiner Verbesserung bei. Die Qualität des Düngergranulats spielt eine wesentlich geringere Rolle als bei den Scheibenstreuern: Die Maschine kann selbst bei einem hohen Anteil an Bruch und Staub fein dosieren und zielgenau ausbringen.

Der Aero-Düngerstreuer wurde im November 2021 mit dem Umwelttechnikpreis, Kategorie Mess-, Steuer- und Regeltechnik, Industrie 4.0, des Landes Baden-Württemberg ausgezeichnet.




## Variable Bodenqualität berücksichtigen

Das vom FAULHABER-Motor angetriebene MultiRate-Dosiersystem ermöglicht „Precision Farming“ im Sinne des Wortes. Die Fahrgassen – also die Spuren der Traktorräder – werden beim Düngen ebenso ausgespart wie kleine Biotope oder andere nicht-agrarische Flächen, die sich inmitten von Feldern befinden können.
Außerdem kann man die Düngermenge auch exakt an unterschiedliche Böden innerhalb eines Ackers anpassen. „Die Bodenqualität ist kleinteilig in digitalen Applikationskarten verzeichnet“, erklärt Maximilian Zimmer. „Anhand solcher Karten und GPS-Daten kann die Maschinensteuerung die Düngerabgabe vollautomatisch an den Gegebenheiten ausrichten.“

Maximilian Zimmer fasst zusammen: „Diese Präzisionstechnologie schont nicht nur die Umwelt und insbesondere das Grundwasser, sondern senkt auch die Ausgaben. Der Landwirtschaftsbetrieb kommt bei höherem Ertrag mit weniger Dünger aus. Und der kann bei geringerer Granulatqualität auch noch deutlich weniger kosten.“

**FAULHABER BXT**
BÜRSTENLOSE FLACHMOTOREN

www.faulhaber.com/de/maerkte/industrie-automation/
www.rauch.de/duengerstreuer/aero-gt-60-1.html

# Das Leben läuft weiter

Gehen ohne Krücken – das ist für Menschen mit bestimmten neuromuskulären Krankheiten ein Sehnsuchtstraum. Mit dem Exoskelett „Autonomyo“ kann er nun in Erfüllung gehen. Die aktive Gehhilfe unterstützt die geschwächten Muskeln und erlaubt einen intuitiven Bewegungsablauf, der dem natürlichen folgt. Die zusätzliche Kraft kommt aus sechs Kleinmotoren. Um eine harmonische Interaktion zwischen dem Exoskelett und seinem Benutzer zu erleichtern, hat FAULHABER einen innovativen All-in-One-Komponentenmotor mit Drehmomentsensor entwickelt.

# – als man glaubt

Die Medizinwissenschaft unterscheidet mehr als 800 verschiedene neuromuskuläre Krankheiten. Wie der Name sagt, betreffen sie sowohl Nerven als auch Muskeln. Manche wirken sich auf den ganzen Organismus aus, andere betreffen nur bestimmte Körperregionen. Ihrer Vielzahl zum Trotz kommen sie zum Glück nur relativ selten vor. Die betroffenen Patienten leiden häufig an großen Einschränkungen ihrer Beweglichkeit. Denn bei aller Vielfalt der Ursachen und Verläufe haben diese Krankheiten eines gemeinsam: die oft fortschreitende Muskelschwäche (Muskeldystrophie).

„Wenn die Muskelschwäche sich in den Beinen manifestiert, wird das Gehen immer schwerer, und irgendwann funktioniert es ohne Stützen gar nicht mehr", erklärt Mohamed Bouri, Leiter der Forschungsgruppe für Rehabilitation und Assistenzrobotik (REHA Assist) an der Technischen Hochschule von Lausanne in der Schweiz (EPFL). „Die Muskeln funktionieren zwar noch, aber sie bringen nicht mehr genügend Kraft für einen stabilen Stand oder eine eigenständige Beinbewegung der Patienten auf. Das hat natürlich enormen Einfluss auf Bewegungsradius und Lebensqualität. Ähnliches gilt für die Auswirkungen einer halbseitigen Lähmung nach einem Schlaganfall. Unser Ziel war es, diese Einschränkungen so weit wie möglich zu überwinden, und zwar mit Hilfe einer motorisierten Hilfsvorrichtung, bei der auch der Beitrag des Patienten zu seinen eigenen Bewegungen genutzt wird."

## Teilunterstützung in Leichtbauweise

Der Forschungsgruppenleiter verweist auf bisher verwendete Exoskelette mit einer von Humanoiden inspirierten Technologie. Diese Hilfsmittel ermöglichen es Querschnittsgelähmten, ohne Krücken zu gehen, aber sie wiegen mehr als 40 Kilogramm.

Der von REHA Assist entwickelte „Autonomyo" ist mit nur 25 Kilogramm deutlich leichter und arbeitet unter Einbeziehung des geschwächten, aber noch teilweise funktionierenden Bewegungsapparats des Patienten.
Das Gerät ist mit einem Korsett am Rumpf sowie mit Manschetten an den Beinen des Benutzers befestigt. Auf jeder Seite liefern drei Motoren die Kraft, die den Muskeln für die Bewegung fehlt. Je einer ist für Beugung und Streckung von Hüfte und Knie zuständig, ein weiterer Motor für das Knie. Der dritte Motor unterstützt die Abduktion und Adduktion des Beins im Hüftgelenk, also die seitliche Bewegung des Beins von der Körper-Mittelachse weg. Alles in Allem helfen die Motoren dem Patienten, sowohl das Gleichgewicht zu halten als auch aufrecht zu gehen. In einer jüngst durchgeführten klinischen Studie, an der auch gehbehinderte Personen teilnahmen, hat Autonomyo wie vorgesehen funktioniert: Das Exoskelett bot Unterstützung und erlaubte zugleich Bewegungsfreiheit entsprechend den Absichten der Benutzer. Der Bewegungsumfang der Gelenke und die Gangkadenz wurden dabei nicht negativ beeinflusst.

## Rückkopplung von magnetischem Messsystem

Es ist absolut entscheidend, dass das Gerät den Gang entsprechend der Absicht des Benutzers unterstützt. „Der erste Auslöser für eine Positionsänderung – also zum Losgehen – drückt sich in einer kleinen Veränderung der Position der unteren Gliedmaßen aus“, erläutert Mohamed Bouri. „Wir erkennen dies, indem wir die Informationen von einer Trägheitsmesseinheit, acht Lastsensoren an den Fußsohlen und den Encodern der Motoren, die als Gelenkpositionssensoren dienen, miteinander kombinieren. Alle diese Daten tragen zur Unterstützung des Gleichgewichts bei.“ Beim Gehen ist die Interaktion zwischen dem Gerät und seinem Benutzer entscheidend. Ein von FAULHABER entwickelter Drehmomentsensor erfasst diese Wechselwirkung und setzt so die Unterstützungsstrategie präzise um.

„Das Projekt, einen präzisen Drehmomentsensor in einen Motor zu integrieren, begann vor einigen Jahren mit dem Ziel, Anwendungen wie Cobotics (kollaborative Robotik) für sichere Mensch-Roboter-Interaktionen voranzutreiben“, erläutert Frank Schwenker, Gruppenleiter für Advanced Engineering bei FAULHABER. „Mit Autonomyo können wir das Konzept nun zum ersten Mal in einer anspruchsvollen Unterstützungstechnologie-Anwendung umsetzen.“

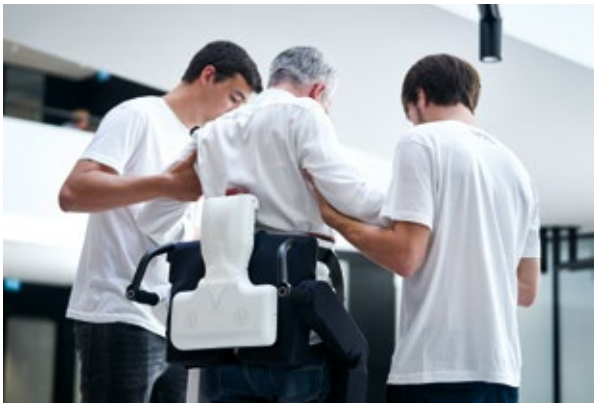
Die herkömmliche Technik zur Drehmoment-Erfassung verwendet Dehnstreifen auf Komponenten, die von der einwirkenden Kraft verformt werden. Ihr konstruktiver Schwachpunkt ist die Klebeverbindung, mit der sie dort aufgebracht sind. Die Entwickler im Advanced Engineering haben sie durch ein hochauflösendes magnetisches Messsystem ersetzt.

„Damit erreichen wir im Messbereich von plus-minus 30 Newtonmeter eine Abweichung von weniger als 1,5 Prozent“, betont Frank Schwenker. „Der Sensor liefert also einen hochpräzisen Wert des Reaktionsmoments in der Gehbewegung.“
Der Wert hat eine zentrale Bedeutung für die Steuerung des Exoskeletts von Autonomyo, in die natürlich zahlreiche weitere Größen einfließen. „Die Anpassung des Geräts an den einzelnen Patienten erfordert eine sehr differenzierte Kalibrierung des Gesamtsystems“, erläutert Mohamed Bouri. „Anhand der verschiedenen Parameter und der Rückkopplung aus der Bewegung errechnet die Software die Steuersignale an die Antriebe. Art und Umfang der Unterstützung durch die Motoren werden dann auf Basis dieser Informationen bestimmt.”

## Antriebsleistung und Entwicklungspotenzial

Die insgesamt sechs Antriebseinheiten pro Gerät stammen von FAULHABER. Ihr Kernstück ist der bürstenlose Motor 3274 BP4 mit 32 Millimeter Durchmesser. In seiner Größenklasse bietet er die höchste Leistung, die auf dem Markt verfügbar ist. Seine Kraft wird von einem Planetengetriebe 42 GPT mit einer speziell für diese Anwendung gefertigten Welle übertragen. Ein magnetischer Encoder IE3 liefert die Positionsdaten an die Steuerung. Der Drehmomentsensor ist in den Getrieben der vier Motoren für die Flexions- und Extensionsbewegungen integriert.
Die Anforderungen an die Antriebseinheiten sind typisch für Kleinmotoren der Spitzenklasse. Große Leistung beim kleinstmöglichen Volumen und Gewicht, Präzision, Zuverlässigkeit und lange Lebensdauer gehören zu den wichtigsten Eigenschaften in dieser Anwendung. „Die Suche nach dem passenden Lieferanten war nicht besonders schwierig“, erinnert sich Mohamed Bouri.

„Wir hatten die Spezifikationen definiert, und da war die Auswahl der in Frage kommenden Motoren schon sehr überschaubar. Die fakultätsübergreifende Astrophysik-Forschungsgruppe unserer Universität arbeitet bereits mit FAULHABER zusammen, sodass sie überzeugende Empfehlungen aussprach, und es bestand bereits eine gute Beziehung. Hinzu kam, dass FAULHABER bereit und in der Lage war, den Drehmomentsensor in kürzester Zeit zu entwickeln. Das war sehr wichtig für unser Projekt.“
Die Komponente gehört vorerst nicht zu den Serienprodukten und wurde bisher nur für die EPFL in kleiner Stückzahl gefertigt. Entwicklungsingenieur Frank Schwenker kann sich aber eine Reihe von weiteren Einsatzgebieten vorstellen: „Die hochauflösende Drehmomentmessung kann in allen haptischen Anwendungen einen großen Mehrwert bringen. Das gilt zum Beispiel für alle Arten von Roboterassistenz im Operationssaal, wo der Chirurg das Instrument führt und die Maschine für Kraft und Präzision sorgt. Der Sensor kann aber auch eine Schutzfunktion übernehmen und zur Drehmomentbegrenzung verwendet werden. Außerdem ist er perfekt für die Dokumentation in der Qualitätssicherung geeignet, überall dort, wo sehr genaue Drehmomentwerte nachgewiesen werden müssen.“

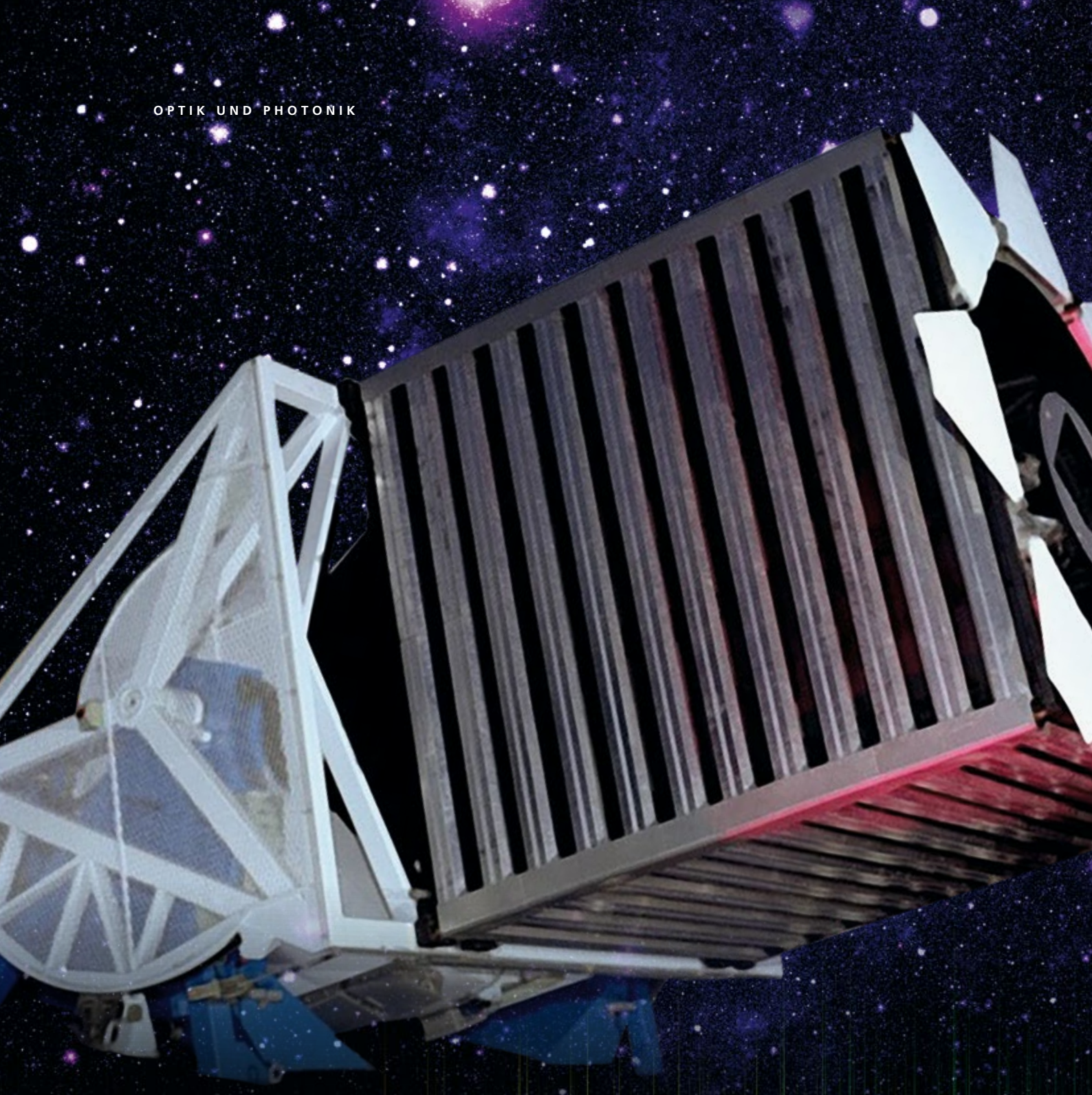


Patient bei der Einweisung

**FAULHABER BP4**
BÜRSTENLOSE DC-SERVOMOTOREN

**FAULHABER 42GPT**
PLANETENGETRIEBE

www.faulhaber.com/de/maerkte/medizin-laborgeraete/
www.epfl.ch/labs/biorob/rehassist/



SDSS steht für „Sloan Digital Sky Survey" und ist ein Kooperationsverbund von Astrophysikern aus der ganzen Welt. Im vergangenen Jahr haben sie bereits die bisher größte 3D-Karte des Universums vorgestellt und damit einen Meilenstein der astronomischen Forschung markiert. Mit zahlreichen Teleskopen und anderen wissenschaftlichen Instrumenten ausgestattet, arbeiten die Forscher ständig an einer ganzen Reihe von Projekten. Das neuste ist SDSS V, das einen weiteren qualitativen Sprung im Verständnis der physikalischen Vorgänge im Weltall ermöglichen soll. Das Vorhaben will die „erste spektroskopische Beobachtung des gesamten Himmels in verschiedenen astronomischen Zeitdimensionen im optischen und infraroten Lichtspektrum" ermöglichen. Insgesamt sollen dabei mehr als sechs Millionen Objekte ins Visier genommen werden.

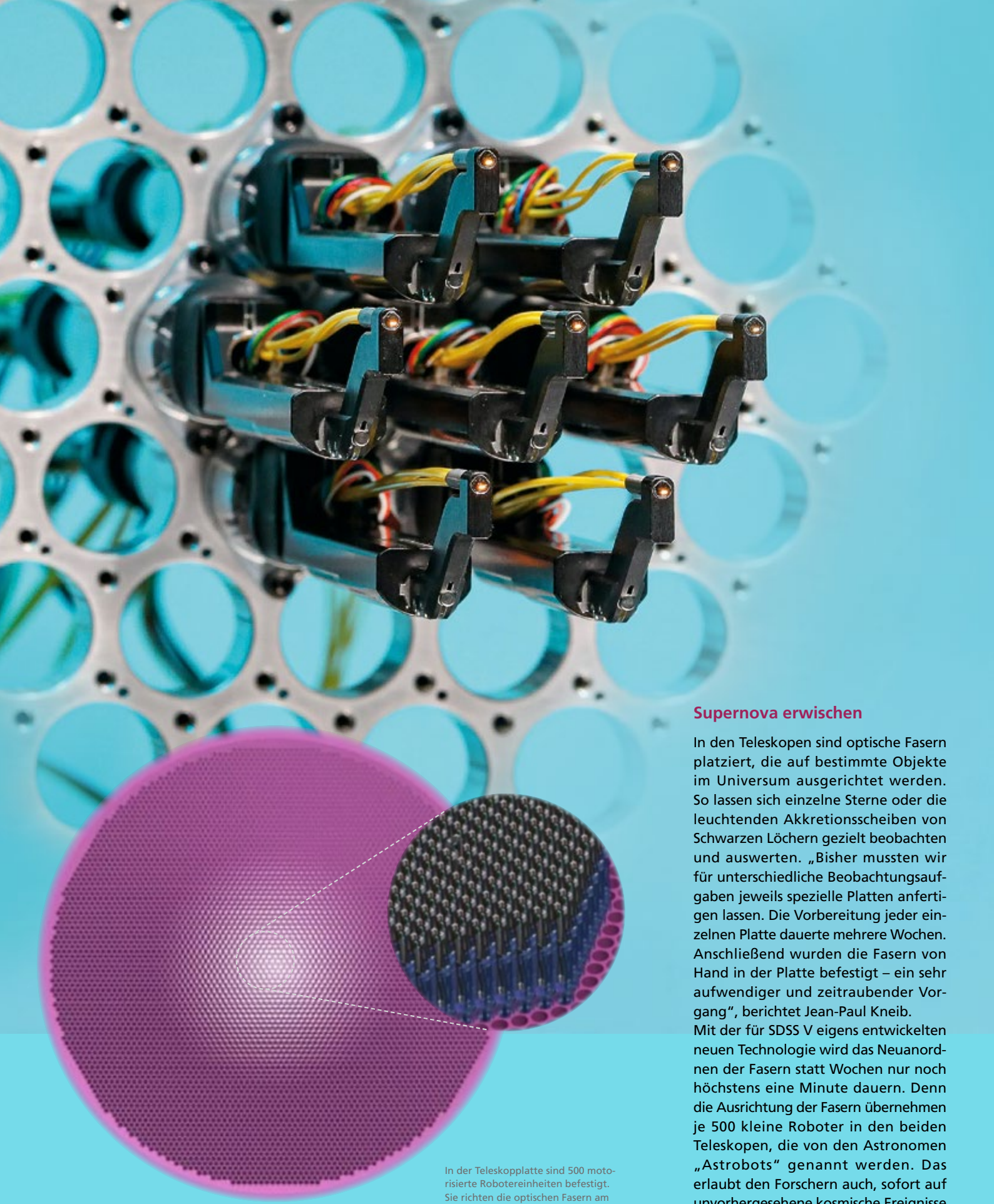
## Wie Planeten entstehen

Zu den Zielen dieser Anstrengung gehört unter anderem die der Rekonstruktion der Geschichte unserer Heimatgalaxie, der Milchstraße. Außer-

# DIE GEHEIMNISSE DES UNIVERSUMS IM FOKUS

Die Aufgabe hat galaktische Dimensionen: Vier Millionen Sterne und 300.000 Schwarze Löcher will SDSS V in den kommenden fünf Jahren beobachten und analysieren. Kosmische Entwicklungsgeschichten rekonstruieren und die physikalischen Modelle der Galaxiengeburt überprüfen. Die hochpräzise Ausrichtung der optischen Einheiten in den Großteleskopen werden je 500 kleine Roboter übernehmen.

dem will man die Entstehung der chemischen Elemente zurückverfolgen, das Innenleben von Sternen entschlüsseln, die Entstehung von Planeten untersuchen und viele der offenen Fragen beantworten, die es im Hinblick auf Schwarze Löcher nach wie vor gibt.
Ein weiterer Aspekt ist die Kartierung der interstellaren Gasmassen der Milchstraße – tausendmal genauer als bisher –, um damit die „selbstregulierenden Mechanismen galaktischer Ökosysteme" zu beschreiben. Die Daten über die Schwarzen Löcher und für die Vermessung der Milchstraße sollen zwei große Teleskope sammeln: Apache Point in New Mexico und Las Campanas in Chile. „Mit der doppelten Perspektive von der nördlichen und der südlichen Hemisphäre können wir am Himmel in alle Richtungen blicken", erklärt Jean-Paul Kneib, Professor für Astrophysik an der Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne in der Schweiz. „Dafür haben wir die beiden Teleskope auch in bisherigen SDSS-Projekten benutzt. Mit SDSS V schaffen wir jetzt einen echten Quantensprung, was die Effizienz der Beobachtung und die Menge der erhobenen Daten angeht."



In der Teleskopplatte sind 500 motorisierte Robotereinheiten befestigt. Sie richten die optischen Fasern am vorderen Fortsatz präzise auf einzelne Beobachtungsobjekte aus.

## Supernova erwischen

In den Teleskopen sind optische Fasern platziert, die auf bestimmte Objekte im Universum ausgerichtet werden. So lassen sich einzelne Sterne oder die leuchtenden Akkretionsscheiben von Schwarzen Löchern gezielt beobachten und auswerten. „Bisher mussten wir für unterschiedliche Beobachtungsaufgaben jeweils spezielle Platten anfertigen lassen. Die Vorbereitung jeder einzelnen Platte dauerte mehrere Wochen. Anschließend wurden die Fasern von Hand in der Platte befestigt – ein sehr aufwendiger und zeitraubender Vorgang“, berichtet Jean-Paul Kneib.
Mit der für SDSS V eigens entwickelten neuen Technologie wird das Neuanordnen der Fasern statt Wochen nur noch höchstens eine Minute dauern. Denn die Ausrichtung der Fasern übernehmen je 500 kleine Roboter in den beiden Teleskopen, die von den Astronomen „Astrobots“ genannt werden. Das erlaubt den Forschern auch, sofort auf unvorhergesehene kosmische Ereignisse zu reagieren.

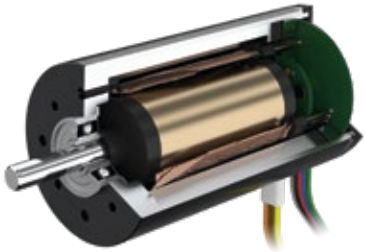
Wenn zum Beispiel andere Teleskope ein aktuelles Ereignis wie eine Sternenexplosion entdecken, kann eines der optischen Elemente praktisch ohne Zeitverzug darauf ausgerichtet werden. Das erlaubt eine detaillierte Analyse der physikalisch-chemischen Abläufe in einer Zeitspanne der Supernova-Entwicklung, die vorher für diese Art von Instrumentarium gar nicht zugänglich war.

## Auf wenige Mikrometer genau

Die Astrobots bestehen jeweils aus zwei längs angeordneten schlanken Zylindern mit einem gebogenen Fortsatz am vorderen Ende. Der hintere, dickere Zylinder ist in der Platte des Teleskops befestigt. Er bildet die Alpha-Einheit und dreht die Zentralachse des Roboters. Auf dieser ist vorn die Beta-Einheit exzentrisch montiert. Sie bewegt die Faserspitzen im gebogenen Ende ebenfalls auf einer Kreisbahn.
Durch die Kombination der beiden axialen Bewegungen können die Faserspitzen innerhalb einer kreisförmigen Fläche beliebig positioniert werden. Jeder Kreis, den einer der Roboter abdeckt, überschneidet sich teilweise mit den Kreisflächen der benachbarten Einheiten. Auf diese Weise lässt sich im Erfassungsbereich des Teleskops jeder Punkt am Himmel automatisch anpeilen.
In jedem Astrobot sind drei optische Fasern angeordnet. Je eine ist für Licht im sichtbaren und im infraroten Spektrum ausgelegt. Eine dritte dient der Kalibrierung. Mit ihrer Hilfe werden die Faserspitzen in drei Schritten auf wenige Mikrometer genau in Position gebracht: In einer ersten Grobausrichtung drehen sich die beiden Motoren, bis die für die Beobachtung vorgesehene Faser mit einer Abweichung von durchschnittlich 50 Mikrometer auf das Zielobjekt gerichtet ist. Eine Kamera im Teleskop, die auf die vorderen Roboterenden schaut, erfasst nun die Spitze der Kalibrierfaser und vermisst ihre Position. In zwei weiteren Annäherungsschritten wird der Roboterkopf dann auf weniger als fünf Mikrometer genau in Position gebracht.

## Schneller forschen

„Da wir mit der automatischen Ausrichtung enorm viel Zeit sparen, können wir viel mehr Objekte beobachten und entsprechend mehr Einzelmessungen vornehmen“, erläutert Jean-Paul Kneib. „Dieser Effekt wird durch die hohe Präzision noch weiter potenziert. Der Durchmesser der optischen Faser beträgt hundert Mikrometer. Der Durchmesser des Lichtpunktes, der von einem beobachteten kosmischen Objekt im Teleskop auftrifft, ist etwa genauso groß. Je exakter diese beiden kleinen Flächen übereinander liegen, desto mehr Lichtausbeute haben wir für unsere Messungen, und desto schneller bekommen wir valide Ergebnisse.“
Die technischen Voraussetzungen für diese extreme Genauigkeit liefern Motoren und Getriebe von FAULHABER sowie die eigens für diese Anwendung entwickelte Mechanik von der FAULHABER-Tochter MPS. Die beiden Roboterachsen werden von bürstenlosen DC-Servomotoren angetrieben, aus der Serie 1218 ... B für die Alpha- und 0620 ... B für die Beta-Achse. Die ersten beiden Ziffern der Typbezeichnung zeigen den Durchmesser der Kleinstantriebe an: zwölf und sechs Millimeter. Ihre Kraft wird von passenden Planetengetrieben in die Robotermechanik übertragen. Sie wurde von MPS entwickelt und gebaut. Integrierte Encoder melden die Drehposition der Motoren an die Steuerung.



**FAULHABER B**
BÜRSTENLOSE DC-SERVOMOTOREN
2-POL-TECHNOLOGIE

## Spielfreie Präzision

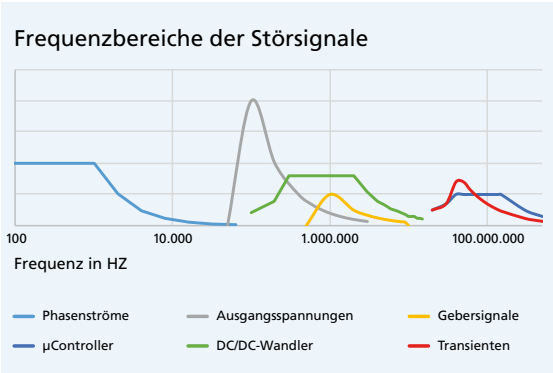
„Um die geforderte Präzision zu erreichen, mussten wir das Spiel im System beseitigen“, erläutert Stefane Caseiro, der bei MPS für das Design der Komponenten verantwortlich war. Dafür haben die Ingenieure unter anderem die übliche Kupplung zwischen den Getriebeschäften und den mechanischen Achsen des Roboters durch Klemmverbindungen ersetzt sowie eine Druckfeder eingebaut, um das Getriebe spielfrei zu machen. „Allein die passende Feder zu finden hat mehrere Monate gebraucht“, erinnert sich der MPS-Ingenieur.
Die Suche nach dem richtigen Partner für diese technische Entwicklung hat das Team von Professor Kneib weniger Zeit gekostet. „Es gibt auf der ganzen Welt nicht mal eine Handvoll Hersteller, die Kleinstmotoren in der geforderten Qualität und Haltbarkeit produzieren können“, sagt der Astrophysiker. „FAULHABER stand selbstverständlich mit auf der kurzen Liste der Firmen, die wir um ein Angebot baten. Mit MPS hatten wir schon bei einem früheren Projekt erfolgreich zusammengearbeitet. Die räumliche Nähe zu diesen Spezialisten ist natürlich auch von Vorteil – von der Hochschule in Lausanne zu MPS in Biel fährt man nur knapp anderthalb Stunden. Neben der hervorragenden Qualität und den guten gemeinsamen Erfahrungen war es ein ganz entscheidendes Argument, dass FAULHABER mit dem Tochterunternehmen MPS alles aus einer Hand liefern kann.“

www.faulhaber.com/de/maerkte/optik-photonik/
www.epfl.ch/labs/lastro/page-106703-en-html/sloan-v/

Die Elektromagnetische Verträglichkeit (EMV) beschreibt die Fähigkeit elektrischer und elektronischer Komponenten, in einer bestimmten Umgebung möglichst ohne Störungen neben- und miteinander zu funktionieren. Bei der Arbeit mit geregelten Antrieben müssen Anwender sie im Blick behalten und sich mit der komplexen Thematik beschäftigen.

# EM-VERTRÄGLICHKEIT

In den 1920er Jahren war es der Konflikt zwischen der bereits etablierten elektrischen Antriebstechnik im städtischen Nahverkehr und der neu aufkommenden Telekommunikation, der zur Entwicklung der Funkentstörung, eines Teilkonzepts der EMV, führte. Elektrische Antriebe sind heute meist geregelt, neben der Energiewandlung enthalten sie also auch die für die Sensorik zur Datenübertragung nötigen Telekommunikationsbauteile. Wegen der Störaussendung der Energiewandlung muss deswegen die nötige Störfestigkeit der Sensorik und Telekommunikation gegeben sein, und das oft auf engstem Raum.

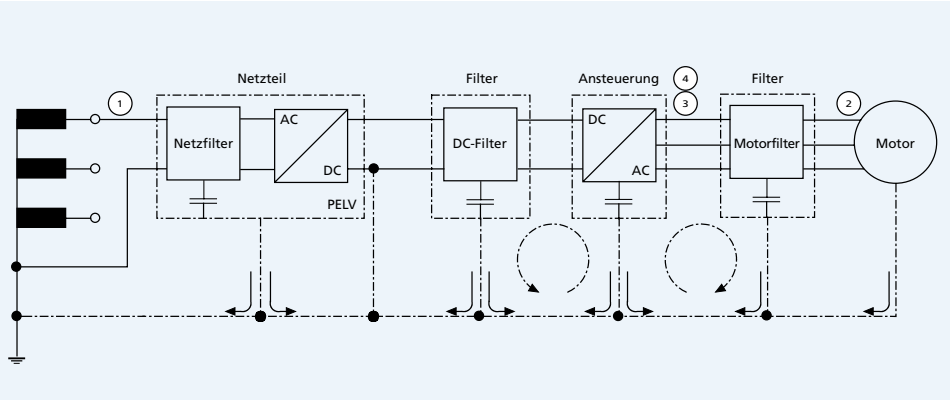



Frequenzbereiche der unterschiedlichen Signale und Störungen im Umfeld eines geregelten Antriebs. Die Auswirkungen sind hier qualitativ bewertet. Endstufen mit PWM sind zwar kompakt, brauchen aber viel Aufmerksamkeit.

## Zertifizierung in der Anwendung

Die Grenzwerte für geregelte elektrische Antriebe sowohl für die Störaussendung als auch für die Störfestigkeit sind heute in der EN 61800-3 festgelegt. Allerdings dient die Norm lediglich als Basis zur Bewertung eines betriebsfertig aufgebauten Antriebs. Wie sich dieser im Endgerät verhält, lässt sich nicht verbindlich vorhersehen. Hier ist der Anwender in der Pflicht, die für seine Applikation gültige Zertifizierung zu erreichen.
In Systemen mit elektrischen Kleinantrieben wird die elektrische Energie meist mehrfach umgeformt. Dabei treten elektrische Wechselgrößen als Spannungen und Ströme mit sehr unterschiedlichen Frequenzen auf, z.B. Schaltvorgänge in der Endstufe, (elektro)magnetische Störfelder beim dynamischen Betrieb oder auch Spannungsschwankungen (Ripple), wenn die Antriebe schalten.

Störpfade für Gleichtakt, Gegentaktstörungen vom geregelten Motor bis hin zum Netz




800-3

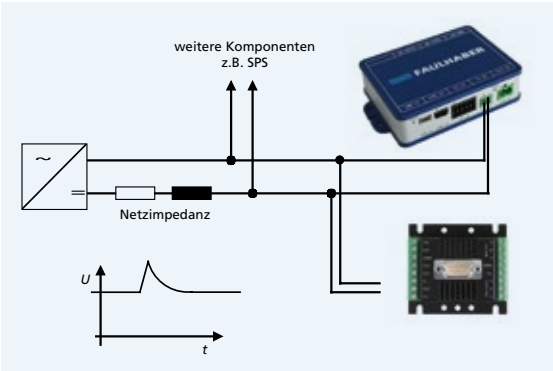
# BEI KLEINANTRIEBEN

Während für Geräte im europäischen Binnenmarkt die EMV-Richtlinie 2014/30/EU gilt, wird die konkrete Bewertung anhand der sogenannten harmonisierten Normen vorgenommen. Eine durch das CE-Zeichen erkennbare Konformität zur EMV-Richtlinie ist verpflichtend für Geräte, sofern sie direkt an Endanwender vertrieben werden. Aber auch bei Geräten, die nicht im europäischen Binnenmarkt in den Verkehr gebracht werden oder für industrielle Weiterverwender bestimmt sind, ist oft ein Nachweis der Konformität erforderlich.

## Grenzwerte für geregelte Antriebe

Für die Bewertung eines betriebsfertig aufgebauten Antriebs, bestehend aus Motor und direkt am Netz betriebenen Umrichter bzw. Motion Controller, bildet die EN 61800-3 die Basis. Sie definiert auch die Regeln für den Messaufbau. Dabei gelten unterschiedliche Quantifizierungen für die Störungen: Im Frequenzbereich von 150 kHz bis 30 MHz werden sie als Störspannung in dB(µV) definiert, im Frequenzbereich von 30 MHz bis 300 MHz als Störleistung in dB(pW) und im Bereich von 30 MHz bis 6 GHz als Störfeldstärke in dB(µV/m).

Der Ansatz geht davon aus, dass niederfrequente Wechselgrößen vor allem als eine der Versorgung eines Netzteils überlagerten Störspannung beobachtet werden. Die pulsierenden Ströme eines geregelten Antriebs könnten dann z.B. den Betrieb einer parallel angeschlossenen SPS beeinträchtigen. Ebenso könnte eine Spannungsspitze in der Versorgung während eines Bremsvorgangs parallel angeschlossene Geräte zur Schutzabschaltung veranlassen. Die Störleistung und Störfeldstärke dagegen beschreiben die nicht an Leitungen gebundene Ausbreitung von elektromagnetischen Feldern.




Galvainsche Kopplung mehrerer Teilnehmer im DC-Netzverbund. Durch rückgespeiste Energie könnten kritische Überspannungen entstehen

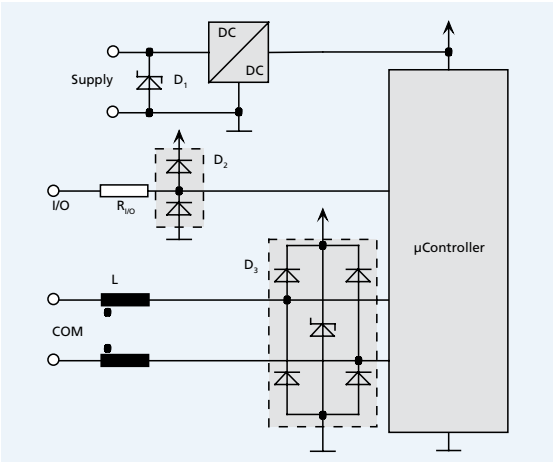
## Störfeldstärke als Herausforderung

Während der Zulassung eines Geräts mit integriertem Kleinantrieb ist die Störfeldstärke oft die größere Herausforderung. Maßnahmen dagegen sind z.B. Filter an den Leistungsausgängen, um hochfrequente kapazitive Störströme zu unterbinden. Meist muss zudem jede Motorleitung vollständig geschirmt sein. Gleiches gilt für die – getrennt davon verlegte – Sensorleitung.

Wichtig ist außerdem, alle leitfähigen Teile über eine sogenannte Funktionserdung leitend zu verbinden, und zwar mit HF-Schirmverbindern. Auf dieser Funktionserdung aufbauend können dann beide Seiten des Schirms flächig aufgelegt werden. Eine reine PE-Schutzerdung genügt in den seltensten Fällen.
Während durch die Funktionserdung und die geschirmten Leitungen die Störfeldstärke wirkungsvoll gedämpft wird, steigt der in der Grundplatte zurückfließende Wechselstromanteil dadurch eher noch an. Fließen diese Wechselströme über das Netz bzw. das Netzteil zum Schaltwandler zurück, steigt unweigerlich der Wechselspannungsanteil auf der Versorgungsleitung und damit die Störspannung. Daher wird oft in der Zuleitung ein zusätzlicher Filter nötig, der die Ausbreitung dieser Ströme begrenzt. Dem Gerätebauer ist freigestellt, ob er einen solchen Filter vor jedem einzelnen Antrieb verbaut – bei Kleinantrieben typischerweise in der 24V- oder 48V-Zuleitung – oder erst vor dem Netzteil auf der AC-Seite. Letzteres spart Kosten, funktioniert aber nur, wenn die Antriebe selbst so ausgelegt sind, dass sie sich nicht gegenseitig stören.

## Störfestigkeit in den Normprüfungen

Für die Störfestigkeit werden verschiedenste elektromagnetische Effekte in den Normprüfungen abgedeckt, wie beispielsweise die Störfestigkeit gegen die Entladung statischer Elektrizität (ESD) sowie gegen hochfrequente elektromagnetische Felder von einem benachbarten Sender, die Störfestigkeit gegen schnelle transiente elektrische Störgrößen (Burst), Stoßspannungen (Surge), z.B. durch Blitzschlag, oder gegen HF-Gleichtaktstörungen auf längeren Sensor- und Kommunikationsleitungen. Eher für direkt am Netz betriebenen Antriebe sind noch Prüfungen bezüglich kurzzeitiger Spannungseinbrüche definiert. Die typischen Spannungsschwankungen von mehreren dynamischen Antrieben an einem DC-Netz dagegen sind nicht wirklich erfasst. Zusätzliche Entstörmaßnahmen können hier gerade beim Kleinantrieb möglichst kurze Leitungen oder Schutzdioden auf der Versorgungsseite sein. Zusätzlich sind Ferritfilter möglich, wie sie z.B. auch auf analogen PC-Monitor- oder Kommunikationsleitungen üblich sind.
Die Hauptherausforderung für die Störfestigkeit der Komponenten sind bei kompakten Antrieben die Encoder. Sie müssen ebenfalls auf minimalem Bauraum untergebracht werden. Selbst in kleinen Encodern kann jedoch ein ausreichender Basisschutz gegen ESD durch kompakte Schutzelemente erreicht werden. Die für die Störfestigkeit angegebenen Feldstärken stellen in der Regel weder im HF- noch im Netzfrequenzbereich ein Problem dar. Störfestigkeit gegen Bursts, also schnelle Transienten, erfordert Filter sowohl auf den Versorgungsanschlüssen als auch auf den Signalleitungen.




Typische Schutzmaßnahmen zur Erhöhung der Störfestigkeit von Versorgungs-, Signal- und Kommunikationseingängen.

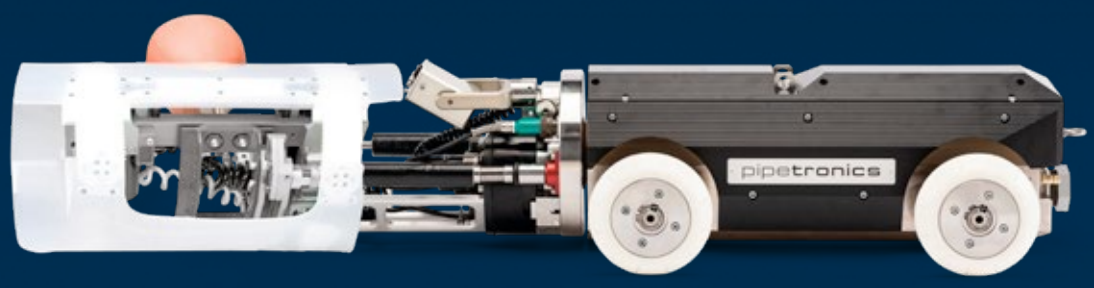
Das ist aber bereits auf den Versorgungsanschlüssen ein Problem, da die Versorgungsspannung typischerweise direkt an die im Encoder integrierten Schaltkreise angeschlossen ist. Ein wirksamer Schutz ist hier nur im Gesamtgerät möglich. Ein vollständiger Schutz direkt in den Encodern gegen Normstörgrößen ist in der Regel nicht nötig. Falls doch, könnte eine Schutzdiode z.B. in einer Adapterplatine verbaut werden.
Das Prüfsignal für leitungsgeführte HF-Störungen nach IEC 61000-4-6 ist größer als das Nutzsignal typischer Encoder. Gleichtaktfilter in einem Encoder bei Motordurchmessern von lediglich noch 20 bis 22 mm sind jedoch nicht realisierbar. Hier muss auf Geräteebene bewertet werden, welche Störgrößen zu erwarten sind. Gegebenenfalls lässt sich die Störfestigkeit mit extern aufgebrachten Ferriten verbessern. Spannungseinbrüche an der Versorgung des Antriebssystems können zur Abschaltung des Systems führen. Abhängig vom Puffer der Encoderversorgung im Motion Controller kann dann bei Spannungseinbrüchen auch der Encoder unterversorgt sein. Inkrementale Encoder verlieren dabei die absolute Positionsinformation und müssen neu referenziert werden.

## EMV-gerechte Auslegung und Dokumentation

EMV bei Kleinantrieben ist also für die Anwender keineswegs trivial. Die Antriebsspezialisten von FAULHABER haben sich deshalb eingehend mit dieser komplexen Thematik beschäftigt. Alle Motion Controller des breitgefächerten Produktportfolios entsprechen den aktuellen EMV-Vorschriften. Nicht nur die Hardware wurde entsprechend optimiert, sondern auch die Dokumentation neu gestaltet, um den Anwender bei der Zertifizierung des eigenen Geräts bestmöglich zu unterstützen.

www.faulhaber.com/de/motion/faulhaber-veroeffentlicht-fachbuch/

# UNTERWELTMEISTER DER ROHRSANIERUNG




Allein in Deutschland sind knapp 600.000 Kilometer Rohrleitungssysteme verlegt. Diese müssen gewartet, gereinigt und gegebenenfalls repariert werden. Früher wurde dazu aufwändig die Straße aufgerissen, wochen- oder monatelange Baustellen waren das Resultat. Heutzutage erledigen das intelligente Rohrsanierungsroboter, während auf der Straße das Leben seinen gewohnten Gang geht. In der nächsten Ausgabe der motion erfahren Sie im Interview mit Pipetronics Geschäftsführer Markus Lämmerhirt, wie das Zusammenspiel von FAULHABER Antrieben und Rohrsanierungsrobotern für saubere Kanäle sorgt.

Ident-Nr. 000.9121.22

**Mehr Informationen:**

faulhaber.com
faulhaber.com/facebook
faulhaber.com/youtubeDE
faulhaber.com/linkedin
faulhaber.com/instagram

**Die FAULHABER motion gibt es auch digital:**