

# antriebstechnik

WISSEN SCHAFFT IDEEN

07-08 Juli/August 2024

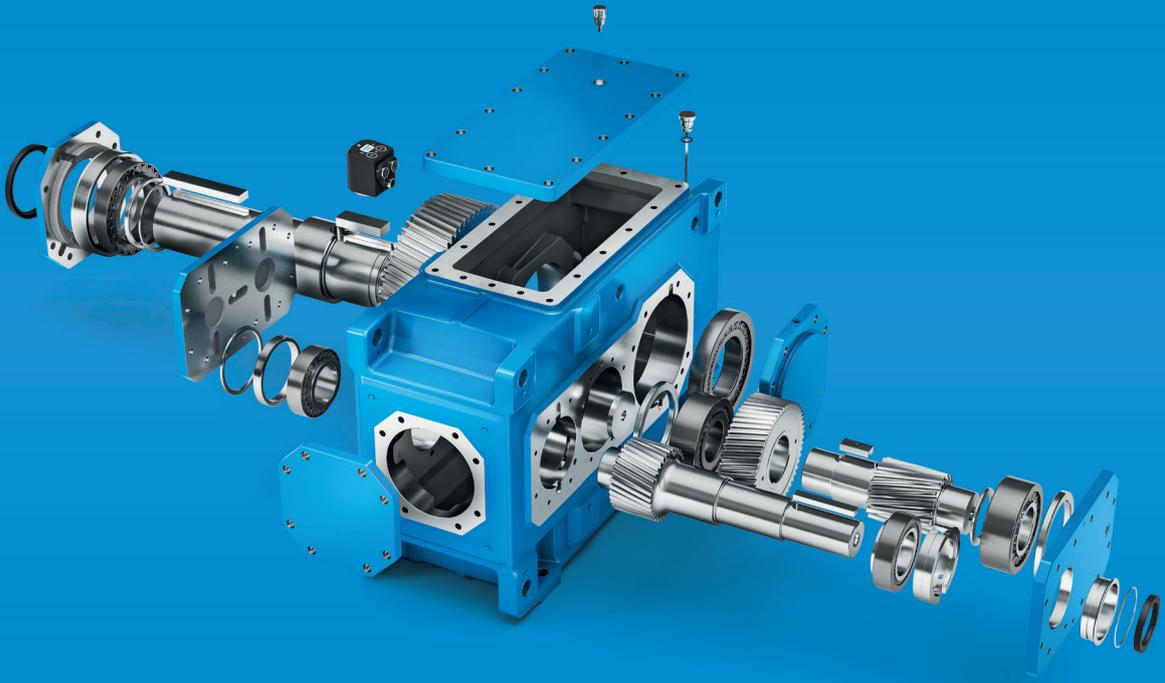
€ 16,50

Organ der Forschungsvereinigung Antriebstechnik e.V.

## PRÄZISIONSLAGER

Value Added Products  
im Heavy-Duty-Betrieb





ORIGINAL  
SERVICE.



[flender.com](https://flender.com)

**FLENDER**

# UMWELTSCHUTZ LOHNT SICH

Liebe Leserinnen, liebe Leser,

Umweltschutz wird als Wirtschaftszweig immer wichtiger. Mit Gütern und Leistungen für den Umweltschutz haben Produzierendes Gewerbe und Dienstleistungssektor in Deutschland im Jahr 2022 einen Umsatz von 107,5 Mrd. Euro erzielt. Ein Plus von 16,9 Prozent im Vergleich zum Vorjahr! Das geht aus einer aktuellen Erhebung des Statistischen Bundesamtes hervor. Auch in den Themen unserer täglichen Online-Berichterstattung spiegelt sich dies wider. Effizienz und Nachhaltigkeit sind Dauerthemen. Geht es um große Antriebe für die energieintensive Industrie, steht außer Frage: Moderne Antriebstechnik und ihr intelligenter Betrieb tragen wesentlich zur Energieeffizienz bei. Beispiele sind da Schüttguthandling oder die Stahl- und Baustoffindustrie. Auch im Kleinen spielt Energieeffizienz eine Rolle.

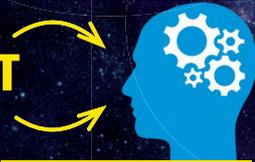
Jede Maßnahme hat in der Summe eine große Wirkung, etwa in der Gepäcklogistik an Flughäfen. Die Industrie ist auf dem richtigen Weg und mehr Wettbewerb ist hier wünschenswert, um den Wandel zu einer nachhaltigeren Industrie zu beschleunigen. Da wundert es nicht, dass 2022 gut drei Viertel der umweltbezogenen Umsätze von Betrieben des Verarbeitenden Gewerbes erwirtschaftet wurden. Immerhin 81,3 Mrd. Euro. Und es verwundert auch nicht, dass der Maschinenbau mit 23,3 Mrd. Euro der Vorreiter ist, gefolgt von der Herstellung von elektrischen Ausrüstungen mit 11,8 Mrd. Euro. In Sachen nachhaltiger Energieeffizienz gibt es natürlich auch in dieser Ausgabe einiges zu entdecken.

Viel Vergnügen bei der Lektüre wünscht

Ihr Felix Berthold  
f.berthold@vfmz.de



WISSEN  
SCHAFFT  
IDEEN



Newsletter

Der **E-Mail-Service**  
für Anwender  
aus dem gesamten Umfeld  
mechanischer und  
elektrischer Antriebstechnik.

**Aktuelle Nachrichten**  
rund um mechanische,  
thermische und elektrische  
Antriebstechnik,  
sowie deren Steuerungen  
und Regelungen.

The screenshot shows the newsletter layout with the following sections:

- UNSER LESETIPP**: An article titled "Startschuss für 5G-Einsatz in der Industrie" with a sub-headline "Bei dem neuen Standard wird momentan noch viel über Smartphones und Privat-Anwendungen diskutiert, aber gerade im industriellen Einsatz kann 5G seine vielen Vorteile voll ausspielen." and a "Weiterlesen" link.
- Anzeige**: Advertisement for "Hannover Messe Halle 22, Stand D43" by **SCHAEFFLER**.
- Anzeige**: Advertisement for "Getriebe machen die Automobilfertigung smart" by SEW-Eurodrive, mentioning support for the Aachen e.GO factory.
- Anzeige**: Advertisement for "VISIT MOOG EXPERTS HALL 23, BOOTH A19/4, APRIL 1-5, 2019" by **MOOG**.

IMMER  
AKTUELL  
INFORMIERT

Jetzt  
kostenlos  
anmelden!



[http://bit.ly/VFV\\_Newsletter](http://bit.ly/VFV_Newsletter)

# INHALT

## EDITORIAL

03 Umweltschutz lohnt sich

## SOFTSTARTER

06 **STANDPUNKT** Simulation für Perfektion im Antrieb

07 Menschen, Märkte, Unternehmen

## ELEKTRISCHE ANTRIEBSTECHNIK

### STEUERN UND AUTOMATISIEREN

16 Automation bringt Koffer in Fahrt

### ELEKTROMOTOREN

18 Nervenkitzel? Aber sicher!

### UMRICHTERTECHNIK

20 Wenn's schnell drehen muss

## MECHANISCHE ANTRIEBSTECHNIK

### KUPPLUNGEN UND BREMSEN

22 Überlastschutz in der Lebensmittelproduktion

### ANTRIEBSELEMENTE

24 **INNENTITEL** Elektrostatische Aufladung von Polyurethan-Zahnriemenantrieben

### HYDRAULIK UND PNEUMATIK

28 „Diese Miniaturisierung war in Europa bis dahin unbekannt“



18

ANZEIGE



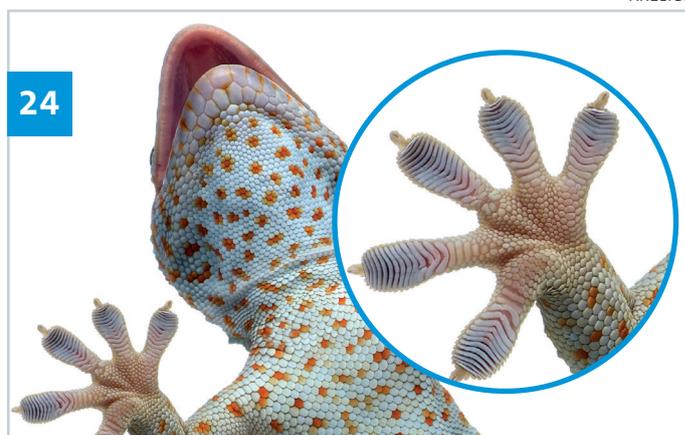
## TITELBILD

Rodriguez, Eschweiler



20

ANZEIGE



24

## INNENTITEL

Breco Antriebstechnik, Porta Westfalica

## KOMPONENTEN UND SOFTWARE

30 Schlangenlinien bändigen Wirbelströme

## SPECIAL

### HEAVY DUTY

- 10 **TITEL** Starke Komponenten für schwere Maschinen
- 32 Optimiert für effizientes Schüttgut-Handling
- 34 Walzenbrecher effizient antreiben

## FORSCHUNG UND ENTWICKLUNG

36 Future-E-Drive: Das Getriebe der Zukunft in der Validierung

## SERVICE

27 Impressum



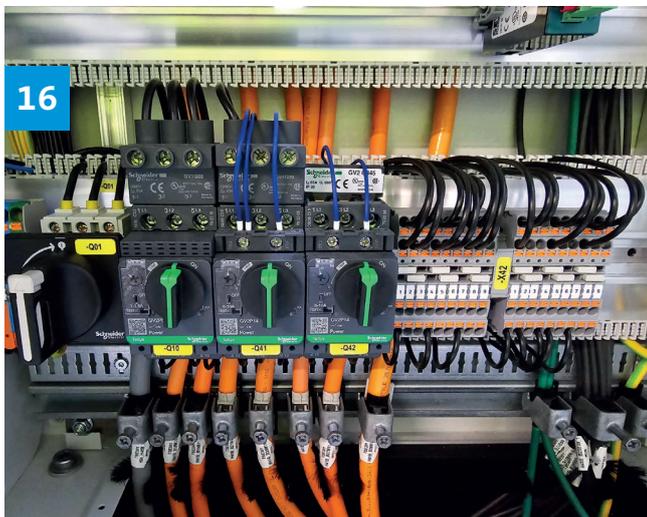
## MEIN TIPP

Schüttgut ist ein Begriff, der sich auf so unterschiedliche Materialien wie Bruchstein und Mandelmehl anwenden lässt. Wie man für eine solche Bandbreite von Anwendungen maßgeschneiderte und energieeffiziente Lösungspakete anbieten kann, lesen Sie ab Seite 32.

*Miles Meier, Chefredakteur, m.meier@vfmz.de*



30



16

# ENEMAC

## Maschinentechnik

# Robust.

**Sicherheitskupplungen** für anspruchsvolle Einsätze: korrosionsgeschützt oder aus Edelstahl. Effektiver Überlastschutz für die Lebensmittel-, Medizin- und Pharmaindustrie. Wir beraten Sie gern!



- **Antriebstechnik**
- **Made in Germany**
- **Seit 1981**

Tel. +49 6022 71070  
[info@enemac.de](mailto:info@enemac.de)  
[www.enemac.de](http://www.enemac.de)

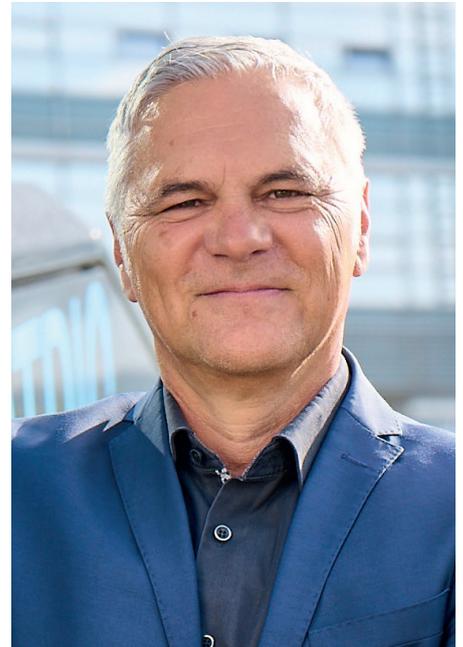
TIME-TO-MARKET VERKÜRZEN

# SIMULATION FÜR PERFEKTION IM ANTRIEB

Simulationen helfen im Betrieb bei der Einschätzung des Maschinenzustands. Darüber hinaus sind sie auch wertvolle Unterstützer im Konstruktionsprozess. Simulationen können gerade bei Effektivitätssteigerungen sehr wertvolle Dienste liefern. Bei Baumüller sind Simulationen auf dem Weg zur optimalen Antriebslösung nicht mehr wegzudenken.

**A**ls Herzstück jeder Maschine ist der Antrieb eine wichtige Stellschraube für Effizienz, Produktivität und Zuverlässigkeit. Die Optimierung der einzelnen Komponenten ist bereits auf einem sehr hohen Niveau, so dass weitere Potenziale vor allem in der Auswahl der Komponenten und der Optimierung ihres Zusammenspiels liegen. Hier setzt die Simulationstechnik an. Mit Hilfe der Antriebsimulation dimensionieren wir den Antriebsstrang individuell für die Anforderungen des jeweiligen Prozesses und der jeweiligen Maschine. Denn bereits bei der Dimensionierung entscheidet sich, ob alle Potenziale hinsichtlich Effizienz- und Kostenoptimierung sowie Verfügbarkeit ausgeschöpft werden können. Besonders Maschinen mit komplexen, nicht-linearen Bewegungen wie Exzenter, Kniehebel oder Anwendungen mit Energiespeichern profitieren von der Simulation. Die gesamte Time-to-Market verkürzt sich, wenn Fehler frühzeitig erkannt werden oder kritische Einstellungen einfach und ohne Risiko getestet werden können. In den von uns durchgeführten Projekten hat sich gezeigt, dass durch die Simulation des Antriebsstrangs Kosteneinsparungen von teilweise über 30 Prozent erzielt werden

können. Darüber hinaus ermöglicht die geschickte Auswahl der Motoren aus dem Portfolio eine deutlich höhere Taktzahl der Maschine und damit eine höhere Produktivität. Mit dem Digitalen Zwilling können Maschinen zudem virtuell abgebildet werden. Wir unterstützen unsere Kunden mit Antriebsmodellen für MATLAB und Simulink und zusätzlich mit der Erweiterung unserer Inbetriebnahme-Software ProDrive, sowie der Simulations-Software ProSimulation, mit der die Simulationstechnik in der gewohnten Umgebung nutzbar wird und Maschinen ebenfalls virtuell in Betrieb genommen und optimiert werden können. Dadurch erhöht sich automatisch die Produktivität der Maschine, da Fehleinstellungen, die einen direkten Einfluss auf die Produktqualität haben, sichtbar gemacht und vermieden werden können. Wir betrachten bei der Auslegung der gesamten System-Topologie den Energieverbrauch und bieten Möglichkeiten, die Anschlussleistung und damit den CO<sub>2</sub>-Footprint zu reduzieren. Maschinen und Anlagen lassen sich so bezüglich der Energieeffizienz bewerten und optimieren. Unsere Kunden nutzen die Simulationstechnik bei der Realisierung von Neuprojekten und bei der Optimierung



„MIT SIMULATIONSTECHNIK SIND NOCH WESENTLICHE POTENZIALE FÜR DEN MASCHINENBAU ZU HEBEN

Markus Jaksch,  
Leiter technischer Vertrieb  
bei Baumüller

und Weiterentwicklung bestehender Anlagen sowie im Service oder zu Schulungszwecken. Wir unterstützen mit der entsprechenden Software und unserem Know-how durch Beratung und Workshops. Wie beginnen bereits sehr früh im Engineering-Prozess, auch mit Simulationstechnik, zusammen mit unseren Kunden die optimale Antriebslösung zu entwickeln.

[www.baumueller.com](http://www.baumueller.com)

## PHOENIX CONTACT: NEUER VORSITZENDER ZUM JAHRESENDE



Ende Dezember 2024 wird Frank Stührenberg (r.), Vorsitzender der Geschäftsführung von Phoenix Contact und CEO, nach 33 Jahren im Unternehmen in den Ruhestand treten. Seine Nachfolge übernimmt Dirk Görlitzer (l.), seit 2020 Geschäftsführer und Chief Operating Officer (COO). Um einen reibungslosen Übergang zu gewährleisten, teilen sich Frank Stührenberg und Dirk Görlitzer bereits ab dem 1. Juli den Vorsitz der Geschäftsführung. Auch in Zukunft wird Frank Stührenberg der Phoenix Contact-Gruppe als Aufsichtsratsvorsitzender der neu gegründeten Phoenix Contact E-Mobility Holding SE verbunden bleiben. Der studierte Elektrotechniker Dirk Görlitzer ist seit 1994 bei Phoenix Contact tätig. Seine Laufbahn führte ihn vom Produktmanager über die Führung der Business Area Industrial Components and Electronics (ICE)

bis in die heutige Geschäftsführung von Phoenix Contact. Nach dem Ausscheiden von Frank Stührenberg werden der Geschäftsführung von Phoenix Contact neben Dirk Görlitzer (Vorsitz und CEO) weiterhin die bisherigen Mitglieder Torsten Janwlecke (COO), Ulrich Leidecker (COO), Frank Possel-Dölken (CDO) und Axel Wachholz (CFO) angehören.

[www.phoenixcontact.com](http://www.phoenixcontact.com)

## „TOLLE LEISTUNG IM KRISENJAHR“



Für das Geschäftsjahr 2023 verzeichnet die Maxon Gruppe einen Umsatzrückgang von 6,1 Prozent auf 664,4 Mio. Schweizer Franken (circa 692,44 Mio. Euro), gegenüber einem Umsatz von 707,7 Mio. Schweizer Franken im Jahr 2022. Durchschnittlich ist Maxon in den letzten fünf Jahren immer noch um rund vier Prozent pro Jahr gewachsen. Dies sei eine „tolle Leistung in diesem Krisenjahr“, so Dr. Karl-Walter Braun, Hauptaktionär und Präsident des Verwaltungsrates der Maxon Gruppe. Trotz des Umsatzrückgangs investiert das Unternehmen weiter stark in Forschung und Entwicklung: 2023 waren es 53,6 Mio. Schweizer Franken, was 8,1 Prozent des Umsatzes entspricht und ein Plus von 0,8 Prozent gegenüber dem Vorjahr bedeutet. Absolut wurden die F&E-Ausgaben um 2,1 Mio. Schweizer Franken erhöht. Weitere 33,6 Mio. Schweizer Franken wurden in Maschinen und Anlagen investiert, um die Wettbewerbsfähigkeit weiter zu steigern.

[www.maxongroup.com](http://www.maxongroup.com)

Driving the world

**SEW**  
EURODRIVE

## Standard neu definiert



### Standardumrichter MOVITRAC® advanced

Der kompakte Allrounder passt sich mit seinem skalierbaren Funktionspaket ideal an Ihre Ansprüche an und eröffnet so viele Einsatzmöglichkeiten.

Ihre Vorteile auf einen Blick:

- Sie sparen Zeit: Auto-Inbetriebnahme in wenigen Sekunden
- Sie vermeiden Fehler: durchgängig steckbare Einkabeltechnik
- Sie sind flexibel: Regelung von Asynchron- und Synchronmotoren ohne/mit Geber
- Sie bleiben offen: Kommunikation mit gängigen Steuerungssystemen



## NEUE FERTIGUNGSSTRASSE VERKÜRZT LIEFERZEIT



Im Europäischen Vertriebszentrum (EDC) in Tilburg/Niederlande nimmt NSK eine moderne Fertigungsstraße in Betrieb. Mit einer Investitionssumme von rund 1,6 Mio. Euro beschleunigt NSK die Belieferung der Kunden in Deutschland, Frankreich, Italien und anderen europäischen Märkten. Mit der Investition in moderne und hochpräzise

Trenntechnik verbessert NSK das Serviceniveau für die im Maschinenbau sehr häufig verwendeten Baureihen auf dem europäischen Festland und intensiviert seine Lieferfähigkeit. Am Standort Newark/UK betreibt NSK bereits eine ähnliche Anlage. Im EDC in Tilburg können die erfahrenen Produktions-Spezialisten von NSK Europe Linearführungen ablängen, die Schienen mit Fasen versehen und ihre Enden für eine Montage in Reihe vorbereiten. Außerdem können sie die Vorspannung der Linearführungen ändern, Schlitten auf den Schienen montieren, kundenspezifische Lasermarkierungen aufbringen und die Produkte abschließend reinigen. Darüber hinaus bietet NSK in Tilburg einen speziellen Verpackungsdienst an, der Beschädigungen während des Transports zuverlässig verhindert. Bei voller Kapazität wird die ISO 9001-zertifizierte Anlage eine Produktionsleistung von mehr als 1.000 Stück pro Woche erreichen. Sie wird Mitte Mai 2024 in Betrieb genommen.

[www.nskeurope.de](http://www.nskeurope.de)

## VERNETZEN SIE SICH MIT

# antriebstechnik



[www.antriebstechnik.de](http://www.antriebstechnik.de)



[digital.antriebstechnik.de](http://digital.antriebstechnik.de)



[www.antriebstechnik.de/facebook](http://www.antriebstechnik.de/facebook)



[www.antriebstechnik.de/twitter](http://www.antriebstechnik.de/twitter)



[www.antriebstechnik.de/linkedin](http://www.antriebstechnik.de/linkedin)



[www.antriebstechnik.de/xing](http://www.antriebstechnik.de/xing)

## FLENDER FEIERT 125 JAHRE ZUKUNFT



Für den Antriebstechnikspezialisten Flender ist der 125. Geburtstag vor allem ein Grund, in die Zukunft zu schauen. Denn dank dieses Blicks in die Zukunft ist Flender zu dem geworden, was es heute ist: Einer der Marktführer für Antriebstechnik in Windenergie und industrieller Produktion und Vorreiter in der industriellen

Transformation und für nachhaltiges Wirtschaften. „Wir sind und waren schon immer eine große Flender-Familie. Egal wo auf der Welt, ob Mitarbeitende, Kunden, Lieferanten, Partner, Eigentümer – heute fühlen wir uns alle als Flenderaner. Ich bin unglaublich stolz, Teil dieses Teams zu sein und mit euch gemeinsam die Energiewende voranzutreiben. Denn ohne Antriebstechnik und Flender bewegt sich nichts auf dieser Welt“, sagte Flender-CEO Andreas Evertz (Bild) auf der großen Jubiläumsparty Anfang Juni am Hauptstandort in Bocholt. Eingeladen hatte das Unternehmen alle Mitarbeitenden der Standorte Bocholt, Mussum und Voerde. Dazu Vertreter von Kunden und Lieferanten, Verbänden, der Politik und Partnern aus der Region. Rund 2.500 Gäste waren gekommen und erlebten einen spektakulären Abend. Zu den Gästen gehörte auch NRW-Ministerpräsident Hendrik Wüst. Er betonte Flenders Bedeutung für die gesamte Region als einer der größten Arbeitgeber.

[www.flender.com](http://www.flender.com)

## PFAS-ALTERNATIVEN FÜR DEN MITTELSTAND



Ein Verbot von PFAS-Chemikalien wird aktuell heiß diskutiert. Aufgrund potenzieller Gefahren der „Ewigkeitschemikalien“ ist mit einem Verbot für viele Anwendungen zu rechnen. Das Kunststoff-Zentrum SKZ plant darum den

Aufbau eines ZIM-Innovationsnetzwerkes, um auch kleinen und mittelständischen Unternehmen die Chance zu geben, rechtzeitig Alternativmaterialien – insbesondere für technische Komponenten – zu entwickeln. „Für dieses Netzwerk sind wir auf der Suche nach circa zehn interessierten kleinen und mittelständischen Unternehmen. Im Netzwerk sollen dann öffentlich geförderte Projekte entstehen, bei denen die Ziele der Unternehmen im Fokus stehen. Gemeinsam wollen wir innovative Lösungsansätze für PFAS-freie Alternativen für technische Komponenten und Anwendungen finden“, erklärt Dr. Andreas Köppel, Gruppenleiter Materialentwicklung am SKZ. Ein Netzwerkmanagement wird sowohl die Organisation als auch die Beratung und Abwicklung der Forschungs- und Entwicklungsprojekte übernehmen. Die Unternehmen werden bei der Findung innovativer Ideen durch die wissenschaftliche Expertise des SKZ unterstützt. Ein aus dem Netzwerk entstandenes Projekt (Förderung beispielsweise über das Zentrale Innovationsprogramm Mittelstand) ermöglicht es Unternehmen, Förderzuschüsse zu beziehen und neue Entwicklungspartnerschaften aufzubauen.

[www.skz.de](http://www.skz.de)

## MASCHINENBAU SCHWÄCHELT



Im Mai lagen die Bestellungen im Maschinenbau laut VDMA um real 27 Prozent unter ihrem Vorjahreswert. Dabei fiel der Rückgang im Inland mit minus 44 Prozent deutlich stärker aus als die Ordereinbußen im Auslandsgeschäft,

welche der Branchenverband mit 16 Prozent beziffert. Aus den Euro-Ländern kamen 12 Prozent weniger Aufträge, aus den Nicht-Euro-Ländern waren es 17 Prozent. Im weniger schwankungsanfälligen Drei-Monats-Zeitraum März bis Mai 2024 lagen die Bestellungen um real 13 Prozent unter dem Vorjahreswert. Das Inland verbuchte 25 Prozent weniger Aufträge, aus dem Ausland kamen 8 Prozent weniger Bestellungen. Die Euro-Länder trugen mit einem Minus von 11 Prozent zu diesem Ergebnis bei, mit 6 Prozent die Nicht-Euro-Länder. Wie VDMA-Konjunktur-experte Olaf Wortmann erläutert, lasse sich ein großer Teil des aktuellen Rückgangs auf einen Basiseffekt zurückführen: Im Mai 2023 habe es außerordentlich viele Aufträge für Großanlagen aus dem Inland gegeben. „Zudem spüren wir jedoch gerade in Deutschland nach wie vor eine ausgeprägte Investitionsschwäche, während der Rückgang im Ausland eher mit den üblichen Schwankungen auf Monatsbasis erklärt werden kann“, so Wortmann. [www.vdma.org](http://www.vdma.org)

## SENSORIK ERWARTET LEICHTES WACHSTUM



Die Sensorik- und Messtechnik-Branche verzeichnet im ersten Quartal 2 Prozent mehr Umsatz als im Vorquartal. Dies ergab die vierteljährliche Umfrage des AMA-Verbands unter seinen 450 Mitgliedern. Die Auftragseingänge stiegen zum Jahresbeginn um 9 Prozent gegenüber

dem Vorquartal. Die Branche entwickelte sich mit diesen Ergebnissen positiv. Das spiegelt sich in der Erwartung der Mitglieder des Verbands wider, die für das zweite Quartal mit einem Umsatzplus von 2 Prozent rechnen. „Die positiven Ergebnisse unserer Umfrage zeigen, dass die Sensorik- und Messtechnik derzeit stabil und zukunftsorientiert aufgestellt ist,“ sagt Thomas Simmons, Geschäftsführer des AMA-Verbands. „Unsere Mitglieder bleiben optimistisch und erwarten auch im zweiten Quartal ein leichtes Wachstum. Sensoren sind nun mal ein unverzichtbarer Bestandteil technischer Innovationen und der Digitalisierung.“

[www.ama-sensorik.de](http://www.ama-sensorik.de)

# Zahnriemen

[unsere große Liebe!]

Der neue  
**BRECOroll**  
[nahezu reibungslos & kurz vorm Abheben]

Zahnriementechnik aus Porta Westfalica. Das ist Bewegung.  
Mehr unter [www.breco.de](http://www.breco.de)







**RODRIGUEZ**<sup>®</sup>  
Precision in Motion<sup>®</sup>

GROSSWÄLZLAGER IN DER FÖRDERTÉCHNIK

## STARKE KOMPONENTEN FÜR SCHWERE MASCHINEN

Das ist eine wirklich große Nummer: Ein Großwälzlager von Rodriguez mit einem Durchmesser von 4,5 m sorgt für Bewegung im nordafrikanischen Tagebau. Ein Standard-Präzisionslager passte weder zu den speziellen Dimensionen der eingesetzten Maschinen noch zu den Umgebungsbedingungen. Aber Rodriguez, der Eschweiler Experte für Wälzlager und Lineartechnik, fand eine kundenspezifische Lösung für die Aufgabe.

**Martin Stremmel**, Produktmanager Großwälzlager  
und Schwenktriebe, Rodriguez GmbH

**B**aumaschinen und Anlagen in der Schwerindustrie müssen viel aushalten. Auch bei hohen oder sehr niedrigen Temperaturen sollen sie reibungslos funktionieren. Sie müssen Schmutz, Staub und Nässe widerstehen, hohe Lasten tragen und möglichst lange und störungsfrei ihren Dienst tun. Entsprechend robust und zuverlässig sollten die verbauten Komponenten sein und dazu den Dimensionen und Einsatzorten der Maschinen angepasst. Lösungen „von der Stange“ reichen hier oft nicht aus.

Für einen Kunden aus dem Bereich Fördertechnik, der mit der größten marokkanischen Tagebaugesellschaft zusammenarbeitet, konstruierte Rodriguez besondere Präzisionslager für den geplanten Einsatz in den schweren Maschinen.

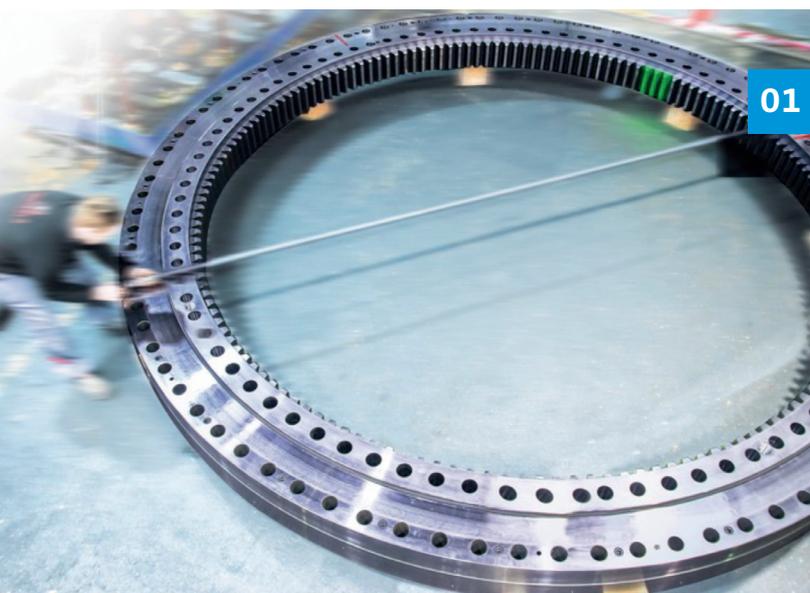
Diese Großgeräte sind in den Minen und im Hafen hohen Temperaturunterschieden, starkem Schmutz und korrosiven Medien ausgesetzt – und das 24 Stunden am Tag, sieben Tage die Woche. Damit trotzdem alles reibungslos läuft, sorgen die in den Geräten und Anlagen verbauten Wälzlager für Bewegung. Standardlager kamen in diesem Fall nicht in Frage. Gesucht wurde deshalb ein leistungsstarker Lieferpartner, der sich auch mit ungewöhnlichen Baugrößen und besonderen Umgebungsbedingungen auskennt.

Bei der Auslegung von Maschinen und Komponenten in der Hafen- und Fördertechnik müssen nicht nur der zur Verfügung stehende Platz und die Größe der Schiffe, sondern auch die Ei-

genschaften des Transportguts berücksichtigt werden, das über teilweise weite Strecken transportiert werden muss. Bei der Schiffsbe- und -entladung ist zudem Schnelligkeit ein wichtiger Faktor, um wettbewerbsfähig zu bleiben und kosteneffizient zu agieren. Deshalb laufen inzwischen viele Arbeitsschritte nahezu vollständig automatisiert ab. Das gilt auch für die Förderanlagen in den Minen des marokkanischen Unternehmens. Der Abraum muss zuverlässig beseitigt werden, ebenso muss der sichere und zügige Weitertransport des Förderguts gewährleistet sein.

## HERAUSFORDERND: EINSATZORT UND UMWELT

Hier kommt Rodriguez mit seinen Value Added Products ins Spiel. Für das Projekt in Marokko lieferte das Unternehmen individuell gefertigte Großwälzlager als Ersatzteile für verschiedene Tagebau-Großgeräte wie Schaufelradbagger, Bandbrücken und Absetzer. Absetzer schütten beispielsweise den durch die Förderung entstandenen Abraum zu Halden auf. Bei den vier Großwälzlagern für Absetzer und Bandwagen handelt es sich um Rollendrehverbindungen mit einem Außendurchmesser von beeindruckenden 4.500 mm – mit einem Standardlager würde man hier nicht weit kommen. Zwei Großwälzlager sind zudem in Materialumschlaggeräten sowie Schiffsbe- und -entladern am zugehörigen Seehafen im Einsatz. Hier wird Schüttgut transportiert und gelagert, in diesem Fall vor allem Phosphat aus der Mine.



## MASSGESCHNEIDERTE LÖSUNG MADE IN EUROPE

Auch im Bereich Großwälzlager bietet Rodriguez neben seinem Standard-Sortiment Value Added Products an – auf den jeweiligen Kunden zugeschnittene Systemlösungen.

Auf Basis seiner hochwertigen Kugel- und Rollendrehverbindungen sowie Zahnkränzen konnte Rodriguez auch für die Anwendung in Marokko ein passgenaues Großwälzlager entwickeln, das zudem nach internationalen Vorgaben produziert wurde.

## „ MIT VALUE ADDED PRODUCTS INTERNATIONAL PUNKTEN

Dazu gehört, die Komponente(n) für jede neue Anforderungssituation des Endkunden (Tagebaubetreiber, Minengesellschaften, Stahlwerke) zu prüfen und gegebenenfalls auch anzupassen. „Gerade bei individuellen Anpassungen können wir auch international punkten“, erläutert Geschäftsführer Gunther Schulz. Das technische Know-how und die Qualität überzeugen: Dem Kunden war es wichtig, ein Bauteil „made in Europe“ baugleich zum Erstausrüster zu erhalten.

Im Fall des Marokko-Auftrags berechneten die Experten von Rodriguez zunächst die Laufbahnen, Verzahnungen und Schraubverbindungen entsprechend den Anforderungen des Endkunden: Welche Lasten sollen übertragen werden? Welche speziellen Dreieigenschaften müssen erfüllt sein? Gibt es Beschränkungen im Bauraum oder Besonderheiten in der Umgebung der Lagerung? Welche Ansprüche werden an die Lebensdauer des Großwälzlagers gestellt? Nach den daraus ermittelten Vorgaben wurden die Lager passgenau gefertigt. Auch die Lieferung, der Einbau und die technische Abstimmung vor Ort gestalteten sich reibungslos, so der Kunde.

## INTERNATIONALE ERFAHRUNG

Letzten Endes war bei diesem Projekt nicht allein die technische Kompetenz gefragt. Da der Endkunde in Marokko sitzt, wurden alle Gespräche über die Niederlassung von Rodriguez in Frankreich in der landesüblichen Sprache geführt. Die Vertrautheit mit Kultur und Sprachen des Vertriebslandes trägt wesentlich zur Kundenzufriedenheit bei, wie ein Partner von Rodriguez vor Ort betont: „Wir sind zu 100 Prozent zufrieden. Unsere Ansprechpartner in der französischen Niederlassung machen die teilweise

technisch sehr anspruchsvolle Kommunikation einfach – Konzernsprache des Endkunden sowie auch der Techniker vor Ort ist Französisch. Bei weiteren Fragen ist außerdem immer jemand persönlich ansprechbar, zum Beispiel zu Materialzeugnissen oder vorbeugender Wartung der Komponente.“ Zurzeit plant der Endkunde größere Instandhaltungsmaßnahmen. Auch bedingt durch ein starkes Erdbeben in Marokko im September 2023 stehen noch etliche Revisionen und Bauteilerneuerungen an, bei denen Rodriguez als technischer Lieferpartner in Frage kommt.

## GROSSWÄLZLAGER NACH MASS

Das Beispiel zeigt: Rodriguez kann mit seinen kundenspezifischen Systemlösungen passgenau die Anforderungen der jeweiligen Anwendung erfüllen. Dank individuellem Engineering und eigener Fertigungskapazitäten ist Rodriguez in der Lage, flexibel zu reagieren und Prototypen auch kurzfristig zu produzieren oder baugleiche Ersatzteile für bestehende Maschinen zu liefern, wie in diesem Fall die Rollendrehverbindungen für die Tagebau-Großgeräte. Passende Drehverbindungen und andere Großwälzlager sind mit Innen- oder Außenverzahnung (bis Modul 30), Zahnriemen- oder schrägverzahnt oder als korrosionsgeschützte Versionen erhältlich – bis zu einem Durchmesser von 6.100 mm bietet Rodriguez ein breites Sortiment und maßgeschneiderte Lösungen für viele verschiedene Anwendungen an.

Bilder: Rodriguez / evannovostro – stock.adobe.com

[www.rodriguez.de](http://www.rodriguez.de)

### DIE IDEE



„Robust und zuverlässig sollten die hier benötigten Großwälzlager sein und dazu den Dimensionen und schwierigen Einsatzorten der Maschinen angepasst. Als Spezialist für Value Added Products konnten wir die besonderen Anforderungen voll erfüllen. Dank individuellem Engineering und eigener Fertigungskapazitäten war es uns möglich, die Lager kurzfristig als baugleiche Ersatzteile zu liefern.“



Martin Stremmel, Produktmanager Großwälzlager und Schwenktriebe, Rodriguez GmbH, Eschweiler

**01** Für die besonderen Dimensionen von Baumaschinen bietet Rodriguez Lösungen jenseits des Standards an, zum Beispiel Großwälzlager in Größen bis zu einem Durchmesser von 6.100 mm

**02** Dank eigener Fertigungskapazitäten kann Rodriguez flexibel reagieren und Prototypen oder Ersatzteile auch kurzfristig produzieren

**03** In Tagebau-Großgeräten sorgen widerstandsfähige Großwälzlager von Rodriguez rund um die Uhr für Bewegung

**04** Rodriguez bietet ein breites Sortiment an Drehverbindungen und maßgeschneiderten Lösungen für viele verschiedene Anwendungen an



## NOCH HÖHERE LEISTUNG



Die Firma JVL aus Dänemark stellt einen neuen integrierten Hochleistungsservomotor vor: Mit einer Nennleistung von 4,5 kW bei 3000 U/min und einem dreifachen Spitzendrehmoment steigert der MAC4500 die Leistung der MAC-Motorenreihe, die bereits Nennleistungen von 140 W bis 3 kW abdeckte. In Großbritannien ist der Motor mit umfassender

Anwendungsunterstützung bei Mclennan erhältlich. Die neue 4,5-kW-Variante wird über einen M23-Steckverbinder mit 3 x 400 V AC versorgt und liefert ein konstantes Drehmoment von 14,3 Nm und ein Spitzendrehmoment von 38 Nm. Der Motor hat eine Länge von 330 mm und verfügt über einen 130-mm-Motorflansch zur Montage. Der bürstenlose 3-Phasen-Servomotor mit Hallsensor-Kommutierung sorgt für ein gleichmäßiges Drehmoment mit präziser Positions- und Geschwindigkeitssteuerung durch einen Absolutwertgeber mit 8.192 Impulsen pro Umdrehung. Es stehen zwei RS422-Kanäle für Encoder In/Out und optional für SSI-Encoder oder absolute Multiturn-Encoder zur Verfügung; zusätzlich können 6 I/O-Punkte für die Positionserfassung oder SPS-Funktionen genutzt werden.  
www.jvl.dk

## FÜR HIGHSPEED-ANWENDUNGEN OPTIMIERT



Basierend auf der bewährten ROBA-DS Stahllamellenkupplung hat Mayr Antriebstechnik eine gewichtsoptimierte Variante aus Aluminium entwickelt. Im Vergleich zur Stahlausführung ist der

Außendurchmesser der neuen Kupplung um bis zu 10 mm reduziert. Je nach Bauform und Größe liegen Masse und Massenträgheit bei 40 bis 60 Prozent der Stahlausführung. Die Leistungsdichte dagegen bleibt unverändert. Die Kupplung ist für Hochgeschwindigkeits-Anwendungen bestimmt und kann zum Beispiel im Bereich der Prüfstandstechnik eingesetzt werden. Entscheidendes Kriterium der Kupplungen von Mayr ist, dass sie kompakt und leistungsdicht sind. Auch Ausführungen aus Stahl müssen sich bereits durch eine geringe Masse und Massenträgheit auszeichnen und dabei hohe Drehzahlen bis 30.000 U/min erreichen. Dazu kommen eine präzise Fertigung mit wenig Schnittstellen sowie eine hohe Laufruhe und Wuchtgüte.  
www.mayr.com

## SYNCHRON-RELUKTANZMASCHINEN FÜR HÖHEREN WIRKUNGSGRAD



Ben Buchele entwickelt Synchronreluktanzmaschinen zur Erreichung höherer Energieeffizienzklassen. In einem Forschungsprojekt für Automobilprüfstände entwickelt und erprobt das Unternehmen derzeit eine Synchronreluktanzmaschine. Erste Ergebnisse zeigen: Die Technologie ist aussichtsreich, um einen besseren Wirkungsgrad zu erreichen, auch bei begrenztem Bauraum. Die Ausblasgeschwindigkeit in einem Querstromfahrtwindgebläse für Fahrtwindsimulationen sollte bei dem Projekt von 160 km/h auf 180 km/h gesteigert werden – bei gleichbleibender Baugröße des Motors (160) und der Auslegung auf die Energieeffizienzklasse IE4. Mehr Leistung verlangt in der Regel mehr Bauraum, der jedoch begrenzt war. Erforderlich war somit eine energieeffiziente, kompakte und leistungsstarke Antriebslösung, für die Ben Buchele die Synchronreluktanzmaschine vorschlug. „Die ersten Prüfergebnisse

des Prototyps sind vielversprechend“, berichtet Bastian Kohlmann, Forschung und Entwicklung bei Ben Buchele. „Bisher werden Wirkungsgrad, Bemessungspunkte, Drehmoment und Drehzahl wie vorgesehen erreicht.“  
www.benbuche.de

**ATEK**  
ANTRIEBSTECHNIK

  
RIETSCHOTEN  
ELEPHANT BRAKES

 **ATEK**  
DRIVE SOLUTIONS  
BRAKES · GEARS · MOTORS

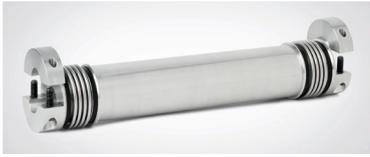
Die Deutsche van Rietschoten & Houwens GmbH und die ATEK Antriebstechnik Willi Glapiak GmbH sind am 20.06. 2024 zur ATEK DRIVE SOLUTIONS GmbH verschmolzen. Jahrzehntelange Erfahrung in den Bereichen Getriebe und Bremsen wird auf diese Weise am Standort Rellingen gebündelt und um zusätzliche Expertise im Bereich der Servomotoren erweitert.

**PRÄZISION. ZUVERLÄSSIGKEIT. EFFIZIENZ.**  
**ATEK DRIVE SOLUTIONS**

Der Lösungsanbieter für den kompletten Antriebsstrang mit Bremsen, Getrieben und Motoren.

www.atek.de · +49 (0) 4101 7953 0 · info@atek.de

## PRÄZISION UND HYGIENE



Kupplungen von R+W erfüllen die hohen Hygienestandards der Lebensmittelproduktion und tragen zur Sicherheit und Qualität der

Produkte bei. Die robuste Konstruktion und Verwendung von lebensmittelechten Materialien verringert Kontaminationsrisiken. Ein Beispiel ist die BKS-Metallbalgkupplung aus rostfreiem Edelstahl, die sich für hohe Temperaturen und den Kontakt mit aggressiven Medien eignet. Die Kupplung ermöglicht eine spielfreie Drehmomentübertragung von 15 bis 500 Nm und kann Wellenverlagerungen ausgleichen. Ein Anwendungsbeispiel ist die präzise Steuerung von Füllventilen bei der Abfüllung von pasteurisierten Fruchtsäften oder anderen Flüssigkeiten. In Schneideanlagen für Müsliriegel sorgt die ZAE-Gelenkwelle für eine gleichmäßige Portionierung der Endlosstrang-Erzeugnisse. Ihre kardanische Innenabstützung fängt das Eigengewicht des Zwischenrohrs ab und kann große Achsabstände von bis zu 6 m überbrücken. Die Gelenkwelle deckt einen Drehmomentbereich von 10 bis 800 Nm ab. Dank der halbierten Nabenbauweise kann sie leicht montiert und demontiert werden, was die Wartung erleichtert.

[www.rw-kupplungen.de](http://www.rw-kupplungen.de)

## FREQUENZUMRICHTER MIT FUNKTIONALER SICHERHEIT



Bonfiglioli präsentierte sich Ende Mai auf der SPS Italia mit aktuellen Produkten und Lösungen. Es wurden verschiedene mechatronische Komplettsysteme gezeigt – speziell entwickelt für Anwendungen in der Intralogistik, der Verpackungsindustrie, Holzverarbeitung sowie Industrierobotik. Auch IIoT-Lösungen für das Condition Monitoring oder Predictive Maintenance bildeten einen Schwerpunkt.

Bei den Frequenzumrichtern stand die Baureihe Axiavert im Fokus, die zahlreiche erweiterte funktionale Sicherheitsfunktionen enthält und durch hohe Präzision in vielen Anwendungen und Prozessen überzeugt. Der Frequenzumrichter ist nicht nur sehr dynamisch und leistungsfähig, sondern unterstützt auch eine Vielzahl von Feldbusprotokollen. Im Parma wurde der Frequenzumrichter in zwei hybriden Systemen gezeigt. Im ersten wurde er mit einem BMD-Servomotor, im zweiten mit einem BMS-Servogetriebemotor kombiniert; beide zeichnen sich durch die Verwendung der innovativen Einkabeltechnologie aus und werden im PTP- oder Master/Slave-Modus gesteuert. Die hohe Auflösung der auf den BMS- und BMD-Motoren angebrachten Encoder ermöglicht eine sehr hohe Positioniergenauigkeit. Laut Hersteller eignen sie sich für anspruchsvolle Anwendungen im Bereich Bewegung, Etikettieren und Abfüllen.

[www.bonfiglioli.com](http://www.bonfiglioli.com)

**Brems-Chopper**

[www.kimo.de](http://www.kimo.de)

**Bremsgeräte**

**KIMO®**  
Antriebstechnik

**Spannungssteller**

**Sanftanlauf- und Sanftauslaufgeräte**

**Rückspeisefähige Frequenzumrichter**

## SCHRITTMOTOR MIT UL-/CSA-ZERTIFIZIERUNG

Nanotec erweitert seine Produktpalette um den High-Torque-Schrittmotor ASA5618. Dieser ist UL-/CSA-zertifiziert und erfüllt hohe Sicherheitsstandards. Mit einem Haltemoment von 140 bis 230 Ncm bei 56 mm Flanschgröße (NEMA23) eignet sich der Stepper beispielsweise für Achsantriebe von Werkzeugmaschinen oder robotergestützte Anwendungen in der Chirurgie. Für hohe Positioniergenauigkeit sorgt der integrierte Encoder, der sowohl in inkrementeller als auch in Multiturn-Version zur Verfügung steht. Der IP65-Schutz macht den ASA5618 resistent



gegen äußere Einflüsse wie Staub, Wasser oder extreme Temperaturen und stellt sicher, dass er seine Vorteile auch in rauen Umgebungen zuverlässig ausspielt. Der Motor ist den Längen 88 und 109,5 mm erhältlich.

[www.nanotec.de](http://www.nanotec.de)

**CANTONI**  
**MOTOR**



**CUSTOMIZATION IS OUR STANDARD**



e.g. special motor for roller tables  
with IC410 cooling (100Nm, 250 rpm)

**ELECTRIC MOTORS**  
from **0,04kW** up to **7000kW**

[WWW.CANTONIGROUP.COM](http://WWW.CANTONIGROUP.COM)

## GEPÄCKFÖRDERANLAGEN AM FLUGHAFEN

## AUTOMATION BRINGT KOFFER IN FAHRT

Zwischen Check-in und Gepäckausgabe: Im neuen Terminal 3 des Flughafen Frankfurt werden neue Maßstäbe für Flugreisen gesetzt – das gilt auch für die Gepäckbeförderung. Dabei kommt es entscheidend auf die Automatisierung an. Ein Familienunternehmen aus dem hessischen Egelsbach hat sich auf die Entwicklung automatisierter Fördersysteme und Produktionsanlagen spezialisiert und setzt auch bei diesem Großprojekt auf Kabel- und Verbindungstechnik eines führenden Anbieters.

**D**ie Waage kennt kein Pardon: 20,5 kg wiegt der Koffer – erlaubt sind aber nur 20 kg. Die freundliche Dame am Check-in-Schalter drückt dennoch ein Auge zu, im nächsten Moment wird das Gepäck von einem Förderband geschluckt. Am Zielort dann der Nervenkitzel: Ist mein Koffer angekommen? Was zwischen Check-in und der erfolgreichen Gepäckausgabe passiert, können viele Passagiere nur erahnen. Tausende Koffer werden in Windeseile über die Flughafenförderbänder transportiert, sortiert und zum richtigen Flugzeug transportiert. Aufwendige Technik sorgt dafür, dass alles reibungslos funktioniert.

Wie die genauen Abläufe sind, weiß Anton Pajonk. Der Ingenieur hat im Jahr 1992 das Unternehmen Seap Automation gegründet, das sich auf Industriebetriebe und vor allem auf Flughäfen sowie die Automobilindustrie spezialisiert hat – „überall wo etwas be- oder gefördert wird“, sagt der Gründer. Erfolgreiche Großprojekte führte er schon für viele namhafte Kunden durch, darunter der Flughafen Frankfurt, Daimler AG, Flughafen Zürich, Opel, Miele, BMW oder das Smart-Werk in Hambach. Sein aktueller Auftrag ist der bisher größte: Die Gepäcklogistik im neuen Terminal 3 des Flughafen Frankfurt. Mit einer Geschwindigkeit von bis zu 2,5 m/s wird das Gepäck über Förderbänder durch den

Bauch des Terminals bewegt. Das Projekt liegt voll im Zeitplan, dank gutem Projektmanagement und guter Produktverfügbarkeit durch Partner wie Lapp.

## VERLÄSSLICHE LÖSUNGSPARTNER

Hohe Qualität, Flexibilität, familiengeführt und eine starke Kundenbindung sind für Pajonk die Gründe für den Erfolg. Schon bei der Modernisierung des Terminal 1 und 2 in Frankfurt war das Unternehmen sowohl in Großprojekten als Generalunternehmer als auch als Unterauftragnehmer beteiligt. Den Neubau des Terminal 3 setzt Seap Automation nun gemeinsam mit dem jahrelangen Mechanik-Partner Beumer Maschinenfabrik aus Beckum um.

Gemeinsam mit verschiedenen Partnern hat das Unternehmen Hand in Hand an der erfolgreichen Umsetzung gearbeitet. So stammt die Automatisierungstechnik zum Teil von Schneider Electric. Große Automatisierer wie Schneider Electric oder Siemens liefern in der Regel die Kabel für die Energieversorgung und Datenvernetzung gleich mit. Nicht so in Terminal 3 und auch nicht bei anderen Projekten, an denen Seap Automation beteiligt ist. Seit der Gründung des Unternehmens, also seit 30 Jahren, bestellt das Unternehmen den größten Teil seiner Kabel beim Stuttgarter Familienunternehmen Lapp, das durch hohe Qualität der Produkte, kurzfristige Lieferfähigkeit und einen partnerschaftlichen Beratungsansatz überzeugen kann.

**Bernd Müller**, freier Journalist im Auftrag der Lapp GmbH, Stuttgart





01



02

**01** Einige hundert Kilometer Kabel werden am Ende für die Antriebs- und Automatisierungstechnik der Gepäckförderanlage installiert

**02** Schaltschrank für ein Gepäckfördersystem mit Motorschutzschaltern und Ölflex Servo- und Steuerleitungen von Lapp

## STARKSTROM-EINSPEISEKABEL JUST-IN-TIME

„Die Zusammenarbeit mit dem Verbindungsspezialisten beim Projekt im Terminal 3 könnte nicht besser sein“, sagt Julia Pajonk, Mitglied der Geschäftsleitung und Prokuristin der Seap Automation, die das Unternehmen in den nächsten Jahren übernehmen wird. Lapp liefert viele Kilometer Kabel nach einem engen Zeitplan pünktlich auf die Baustelle. Durch Dutzende Lieferanten kommt es dort jedoch zu dichtem Gedränge, weshalb Lkws durch die Aufsicht nur nach einem festen Zeitplan auf das Gelände gelassen werden. Verpassen Fahrerinnen oder Fahrer ihr Zeitfenster, müssen sie wieder zurück zum Lieferanten und es einige Tage später erneut versuchen. Dadurch verzögern sich die Arbeiten. Ein Zwischenlagern von Baumaterial auf dem Gelände ist nicht möglich.

Vor allem für die NYCWY Starkstrom-Einspeisekabel muss die Lieferung just-in-time erfolgen. Diese Kabel besitzen vier Adern à 120 mm<sup>2</sup> Querschnitt und sind so dick wie ein Unterarm. Eine Kabeltrommel wiegt mehrere Tonnen und lässt sich nicht so einfach auf der Baustelle in einer Ecke abstellen. „Lapp hat alle Termine eingehalten, es gab noch nie Probleme“, berichtet Julia Pajonk.

Seap Automation hat bis jetzt circa 85 km Kabel bestellt – aus unterschiedlichen Produktfamilien, jeweils in diversen Varianten, etwa mit oder ohne Schirmung oder als besonders flexible Ausführung. Ein großer Teil entfällt auf Ölflex Servo- und Steuerleitungen. Hinzu kommen Unitronic Daten- und Etherline-Netzwerkleitungen. Zunehmend werden für das Unternehmen auch konfektionierte Patchkabel und Sensor-Aktor-Leitungen interessant. Davon haben sie bisher insgesamt 2.100 Stück bestellt. „Das ist aber erst der Anfang“, sagt Marc Ehinger, Account Manager bei Lapp, der den Kunden betreut, „am Ende werden es einige hundert Kilometer Kabel sein.“

Bilder: Lapp

[www.lapp.com](http://www.lapp.com)

### DIE IDEE



„Seap Automation wird auch in Zukunft zu Kabeln von Lapp greifen. Denn neben der Qualität der Produkte und der verlässlichen Logistik überzeugt uns Lapp immer wieder durch planerisches Geschick und Unterstützung in kniffligen Situationen, etwa wenn spontan Teile nachbestellt werden müssen. Wir wurden bisher immer perfekt beraten.“

Anton Pajonk, Gründer und Geschäftsführer der SEAP Automation GmbH in Egelsbach



## Der neue SmartMotor™ Class 6 D-Style

- » Vollintegrierter Servomotor
- » Dezentrale Antriebstechnik
- » Kompakt und maßgeschneidert
- » Batterieloser Multiturn-Absolutwertgeber
- » Erweiterter Betriebstemperaturbereich

[www.moog.de](http://www.moog.de) | [info.mm@moog.com](mailto:info.mm@moog.com)

**MOOG**

# NERVENKITZEL? ABER SICHER!



Wer das Gefühl des freien Flugs gefahrlos erleben will, ist beim Indoor Skydiving gut aufgehoben. Die erforderlichen hohen Luftgeschwindigkeiten und Volumenströme werden in vielen Windtunneln von Carbon-Ventilatoren von EVG Lufttechnik erzeugt. Die leistungsstarken Motoren und Frequenzumrichter für die Ventilatoren stammen von ABB.

**D**er Traum vom Fliegen hat im Laufe der Menschheitsgeschichte viele Generationen und Kulturen in jedem Winkel unseres Planeten in den Bann gezogen. Mit dem Trend Indoor Skydiving ist er heute für alle in greifbare Nähe gerückt.

Indoor Skydiving wird als Sport und Freizeitvergnügen in vertikalen Windkanälen ausgeübt. Die Geschichte dieser Windtunnel reicht mehr als 70 Jahre zurück, als sie als Einrichtung für militärische Trainingszwecke und als Testkanal für die Luft- und Raumfahrt genutzt wurden.

Ein bekannter Hersteller von Indoor-Skydiving-Anlagen ist die TTE GmbH, die Anlagen mit Windgeschwindigkeiten zwischen 240 km/h und 330 km/h auf der ganzen Welt baut. Die leistungsstarken Ventilatoren für ihre Windtunnel bezieht TTE von der EVG Lufttechnik GmbH. Neben den Ventilatoren stellt EVG dem Unternehmen die Nachleiter, die (Einström-)Düse, Motoren und Frequenzumrichter sowie bei Bedarf weiteres Zubehör zur Verfügung. EVG zählt zu den Pionieren in der Indoor-Skydiving-Branche. Der erste deutsche Indoor-Skydiving-Tunnel wurde im Jahr 2008 schon mit EVG-Axialventilatoren ausgestattet.

**Michael Spuck**, Produktmanager AC Drives, ABB Motion Deutschland

## ABB LIEFERT DIE ANTRIEBE

Die erforderlichen leistungsstarken Motoren und Frequenzumrichter für den Antrieb und die Drehzahlregelung der Skydiving-Ventilatoren liefert ABB Motion. An den Ventilatoren werden üblicherweise Motoren für die Prozessindustrie aus dem ABB-Standardprogramm mit Leistungen zwischen 250 kW und 900 kW eingesetzt.

Der Technologiekonzern liefert seit 2019 die Antriebe für die Carbon-Ventilatoren des Unternehmens. EVG-Vertriebsleiterin Alexandra Behrens beschreibt die Anforderungen an die Motoren und Frequenzumrichter: „Beide müssen langlebig sein und perfekt harmonisieren. Unseren Kunden aus dem Ausland ist zudem wichtig, dass die Motoren von Lieferanten stammen, die international einen Namen haben wie ABB. Die Motoren- und Umrüsterlieferanten müssen außerdem Zertifizierungen wie UL, CSA und NEMA vorweisen können.“

Ein gemeinsames Projekt von TTE und EVG hat die Region Savoie in Frankreich um eine Attraktion reicher gemacht. In der Nähe von Chambéry wurde mit „Windalps“ ein attraktiver Indoor-Skydiving-Windkanal errichtet, der Nervenkitzel und Komfort gleichermaßen verspricht. Der Windtunnel mit Blick auf das Bauges-Massiv eignet sich für Einsteiger und Profis gleichermaßen und wird auch für internationale Wettbewerbe genutzt.



01



02

**01** An den EVG-Ventilatoren, im Bild beim Windtunnel Windalps, werden Motoren für die Prozessindustrie von ABB eingesetzt

**02** Mithilfe der Ultra-Low Harmonic Drives ACS880-37 lässt sich die Drehzahl der Ventilatoren an die jeweilige Fluglast anpassen

Windalps bietet den Besuchern nicht nur einen Flug im Windtunnel, sondern auch Entspannung im angrenzenden Wellnessbereich. Aufgrund der baulichen Nähe des Windtunnels zum Wellnessbereich war der Faktor Lautstärke mit ausschlaggebend für die Auftragsvergabe. TTE kann in diesem Punkt mit dem TT45 ProFly in Double-Loop-Bauweise punkten. Der moderne Windtunnel – laut TTE der leiseste auf dem Markt – macht dabei keine Abstriche bei Leistung und Effizienz.

Der Windalps-Windkanal ist mit vier Motoren für die Prozessindustrie von ABB mit je 400 kW Leistung ausgestattet. Sie treiben vier EVG-Skydiving-Ventilatoren mit Carbonschaufeln mit einem Durchmesser von 3,35 m an, die Luftgeschwindigkeiten von mehr als 300 km/h erzeugen.

## ULTRA-LOW HARMONIC DRIVES REGELN MOTOR

Die Motoren für den Windalps-Windkanal sind zentral in den Ventilatoren verbaut. Sie sind umkapselt, damit der Wind mit möglichst geringem Widerstand an ihnen vorbeiströmen kann. Vier Ultra-Low Harmonic Drives ACS880-37 von ABB regeln die Motoren und sorgen dafür, dass es zu keinen Problemen mit Oberwellen kommt. Diese Frequenzumrichter reduzieren Oberschwingungen auf unter 3 % ohne zusätzliche Komponenten wie externe Filter oder spezielle Ausrüstungen. Sie beinhalten eine Komponente zur Verringerung von Oberschwingungen, einschließlich einer aktiven Einspeiseeinheit und eines integrierten Oberschwingungsfilters.

Mithilfe der Frequenzumrichter lässt sich die Drehzahl der Ventilatoren an die jeweilige Fluglast anpassen, die sich aus der Anzahl und dem Gewicht der „fliegenden“ Personen ergibt. In einem großen Windtunnel können nämlich bis zu 30 Personen gleichzeitig fliegen. Der ACS880-37 erfüllt auch die hohen Anforderungen an die Sicherheit, die solche Anwendungen stellen. Der Industrial Drive verfügt standardmäßig über die Funktion „Sicher abgeschaltetes Drehmoment“ (STO), die mit Not-Aus-Tastern an der Anlage verdrahtet werden kann.

„Die Qualität bei ABB stimmt und die Ersatzteilverfügbarkeit auch. Die Firma ist für die Langlebigkeit ihrer Produkte auf dem Markt bekannt. Der technische Support steht ebenfalls in der ersten Reihe“, so die EVG-Vertriebsleiterin. Für seine Indoor-Skydiving-Ventilatoren hat EVG spezielle Carbonschaufeln entwickelt, die in Leistung, Effizienz und Strömungsqualität die Anforderungen der Windtunnel erfüllen. Sie bieten wichtige Vorteile: Die Ventilatoren laufen schneller an und lassen sich auch schneller abbremsen. Die Carbonschaufeln sind außerdem robuster als Flügel aus Stahl und erfordern weniger Antriebsenergie. Der sehr hohe Wirkungsgrad der Ventilatoren von nahe 90 % und die niedrigen Schallwerte resultieren aus der Geometrie der Schaufeln, die speziell auf Skydiving ausgelegt sind.

Die Skydiving-Ventilatoren von EVG erzeugen einen Volumenstrom von bis zu 2 Millionen m<sup>3</sup>/h. Alexandra Behrens erläutert: „Durch die besonders leichten und stabilen Carbonschaufeln können wir ein breites Leistungsspektrum bei unseren Ventilatoren anbieten. Neben ihrer Leistungsfähigkeit und betrieblichen Flexibilität zeichnen sie sich durch hohe Laufruhe aus. Die Drehzahl kann kurzfristig verändert werden. Die Ventilatoren werden in verschiedenen Größen und Baureihen zur Verfügung gestellt, mit denen sich Flugkammern in verschiedenen Größen einfach realisieren lassen.“

Indoor Skydiving wird heutzutage von vielen Menschen auch als ambitionierter Sport betrieben, der mehrere Disziplinen umfasst. Diese sind nicht nur spannend anzuschauen, sondern würden sich – so der französische Fallschirmspringerverband – auch perfekt für Olympia eignen. Dessen Antrag auf Aufnahme in die Olympischen Spiele 2024 in Paris ist gescheitert, aber wer weiß, was die Zukunft für das Indoor-Skydiving noch bereithält.

Bilder: ABB; TTE; EVG Lufttechnik

[www.abb.de](http://www.abb.de)

## DIE IDEE

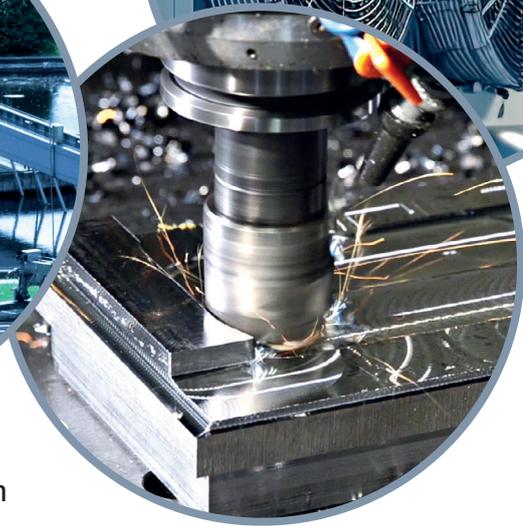


„Die von uns eingesetzten Motoren und Frequenzumrichter müssen langlebig sein und perfekt harmonieren. Unseren Kunden aus dem Ausland ist zudem wichtig, dass die Motoren von Lieferanten stammen, die international einen Namen haben wie ABB. Die Motoren- und Umrichterlieferanten müssen außerdem Zertifizierungen wie UL, CSA und NEMA vorweisen können.“

Alexandra Behrens,  
Vertriebsleiterin, EVG Lufttechnik,  
Eberdingen-Hochdorf

DRIVE- UND FILTERTECHNOLOGIE

# WENN'S SCHNELL DREHEN MUSS



In Hochgeschwindigkeitsapplikationen müssen Motoren 100.000 U/min oder mehr liefern. Für diese Anforderungen stellt ein bekannter Systemanbieter für Automatisierung nun neue Highspeed-Umrichter zur Verfügung. Dank Ausgangsfrequenzen bis 2.000 Hz und der passenden Sinusfiltertechnik eignen sie sich für einen hocheffizienten Betrieb von Bearbeitungsspindeln, Turbogebläsen oder -kompressoren, Gasturbinen, Expander oder Vakuumpumpen.

Tim Schöllmann, Redakteur,  
KEB Automation, Barntrup

**O**b in Kläranlagen, der Pharmazie oder in der Lebensmittelherstellung: High-Speed-Umrichter sind überall dort gefordert, wo Motoren mit besonders hohen Drehzahlen laufen. Mit den neuen Combivert F6 High-Speed Drives hat sich KEB Automation dem angenommen und stellt einen Umrichter für die Regelung sämtlicher Motorenarten vor. „Unsere neuen High-Speed Drives sind mit einer Leistung bis 450 kW, Ausgangsfrequenzen bis 2.000 Hz und Schaltfrequenzen bis 16 kHz State of the Art im Bereich der Hochgeschwindigkeitsanwendungen“, sagt Fabian Fischer, Teamleiter Applikationsvertrieb bei KEB.

Auf welche Leistungsmerkmale im individuellen Fall besonderer Wert gelegt werden sollte und wie Maschinen und Anlagen reibungslos in Betrieb genommen werden, erörtern Kunden mit dem Team von KEB. Außerdem werden Anwender, die bereits die Vorgängerversion einsetzen, beim Umstieg auf die neue Generation unterstützt.

Die Kombination von F6 Drives und den Combiline Z2 Sinusfiltern schafft leistungsfähige Systemlösungen mit aufeinander abgestimmten Komponenten. Die Ausgangsfilter bestehen dabei aus einer Motordrossel und einem Kondensator und sind durch das Baukasten-Prinzip flexibel an verschiedene Anwendungen anpassbar. Für Motoren, die weniger empfindlich sind, ist die Motordrossel separat erhältlich. Auch bei der Montage der Filter im Schaltschrank haben Maschinen- und Anlagenbauer viele Freiheiten. Die High-Speed-Filter der Z2 Serie haben einen Wirkungsgrad von mehr als 99,9 Prozent und reduzieren die oberwellenbehafteten Verluste im Motor erheblich. Fischer erläutert: „Nicht zuletzt wird das EMV-Verhalten des Gesamtantriebs durch die Filter verbessert und Leitungslängen von über 100 Metern werden ermöglicht.“

Im Vergleich zu Multilevel-Umrichtern überzeugt das System aus Drive Controller und Sinusfilter durch einen höheren Systemwirkungsgrad und einer erhöhten Performance im Feldschwähebereich. Die Kosten sind dabei vergleichbar oder sogar niedriger.

## DIE IDEE



„Unsere Drive Controller Combivert F6 sind Frequenzumrichter und Servoantrieb in einem und decken den Leistungsbereich von 2,2 kW bis 450 kW ab. Sie regeln unterschiedlichste Motortechnologien, ob geberlos oder mit Geber. Mit hohen Schaltfrequenzen bis 16 kHz und Ausgangsfrequenzen bis 2.000 Hz liefern sie die nötige Performance für Highspeed-Anwendungen.“

Fabian Fischer,  
Teamleiter Applikationsvertrieb,  
KEB Automation, Barntrup

riger. Das individuell anpassbare Zusammenspiel von High-Speed Drive und Sinusfilter sorgt in der Praxis nicht nur für eine präzise Antriebsregelung und eine hohe Energieeffizienz, es erhöht auch spürbar die Lebensdauer von Turbogebläsen, Radialverdichtern und vielen weiteren Anwendungen.

## GERINGE ROTORERWÄRMUNG, HOHE EFFIZIENZ

Turbogebläse zählen zu den klassischen Einsatzbereichen der Drives. Dafür gibt es gute Gründe. Da Turboblöwer nicht selten unter rauen Umgebungsbedingungen arbeiten, werden die Leiterplatten in den kompakten Antrieben optional mit einer 3C3-Schutzlackierung versehen. Außerdem wird durch eine spezielle Softwarefunktion das Magnetlager auch nach einem Netzausfall aktiv gehalten.

Die hohen Schaltfrequenzen der High-Speed-Umrichter gepaart mit den Sinusfiltern stellen sicher, dass sich der Rotor nur minimal erwärmt und Verluste drastisch reduziert werden. Kosteneinsparungen lassen sich darüber hinaus durch die integrierte und gerberlose maximale Drehzahlüberwachung (SMS) und sicher begrenzte Drehzahl (SLS) erzielen. Praktisch sei auch das Multi-Feldbus-Interface, es ermögliche eine einfache Einbindung in Prozessleitsysteme, so Fischer.

Auch der Antrieb von Spindeln mit verschiedenen Werkzeugen ist ein Fall für die Combivert F6 High-Speed-Drives, da sie ein hohes Drehmoment über die ganze Drehzahlbandbreite realisieren. Auch bei dieser Anwendung sind die gerberlose Positionierung sowie die Drehzahlsteifigkeit bis 120.000 U/min gute Argumente für die neue High-Speed-Lösung. Daneben wird die Ausnutzung des Reluktanzmoments bei Synchronmaschinen mit asymmetrischer Reaktanz (zum Beispiel IPM-Motoren) ermöglicht. Die Multi-Geber-Schnittstelle sowie alle Betriebsarten im Standardbaukasten bieten ein hohes Maß an Flexibilität.

## SIMULATION UND VIRTUELLE INBETRIEBNAHME

Für alle Hochgeschwindigkeits-Applikationen bietet KEB Simulationmöglichkeiten und virtuelle Inbetriebnahmen mithilfe des digitalen Zwillings an. Hierfür wird unter anderem Matlab/Simulink eingesetzt. Die Software ist ein etablierter Standard, um komplexe, dynamische Systeme zu modellieren und zu simulie-

**Aufeinander abgestimmt: Combivert F6 High-Speed Drives und Sinusfilter-technologie**



ren. Anhand der vorliegenden Motordaten lassen sich so zuverlässige Vorhersagen treffen – unter anderem zum statischen und zeitlichen Verlauf der Geschwindigkeit oder der Spannung. Durch die umfangreichen Simulationmöglichkeiten können kostspielige Praxistests entfallen.

Darüber hinaus nutzt KEB die virtuelle Antriebsauslegung mittels Hardware-in-the-Loop (HIL). Auf Grundlage der Motor-, Sinusfilter- und Umrichterdaten wird die Inbetriebnahme vorab simuliert, ohne dass reale Komponenten dafür benötigt werden. Variationen der systembezogenen Parameter sind so ohne Risiken möglich und die fertige Parametrierung steht bei der nachfolgenden realen Inbetriebnahme bereits zur Verfügung.

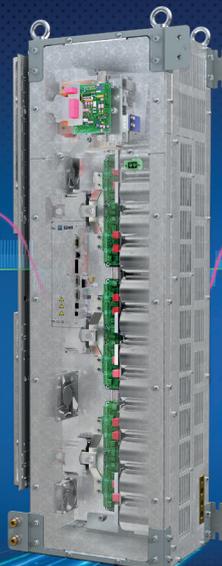
Flüssigkeits- und luftgekühlte Versionen der High-Speed-Umrichter bis 450 kW sind serienreif verfügbar. Der Weg dorthin war kein einfacher, weiß Fischer: „Speziell die vom Markt geforderten hohen Umgebungstemperaturen mit 55 Grad Celsius Vorlauf-temperatur bei den flüssigkeitsgekühlten Geräten haben uns vor Herausforderungen gestellt, da wir eine hohe und sichere Verfügbarkeit der Geräte durch die Verwendung von Standardbauteilen sicherstellen wollten. Am Ende hat sich die Arbeit gelohnt, weil wir eine leistungs- und strapazierfähige Lösung anbieten können, die unseren Kunden echte Mehrwerte bietet.“

**Bilder:** KEB Automation; Aufmacher: v.l. Fotolia - Andreas Prott, Alfred Jäger, Александр Марченко - stock.adobe.com (generiert mit KI)

[www.keb-automation.com](http://www.keb-automation.com)

Geräteserie SD4M

## Der Frequenzumrichter mit Multilevel-Technologie



- Drei-Level-Technologie
- Für Turbokompressoren und -verdichter
- Regelung von IPM-Motoren, Asynchron- und Synchronmotoren

[www.sieb-meyer.de](http://www.sieb-meyer.de)

**SIEB & MEYER** 

SICHERHEITSKUPPLUNG FÜR INDIREKTE ANTRIEBE

# ÜBERLASTSCHUTZ IN DER LEBENSMITTELPRODUKTION

Sicherheitskupplungen leisten einen wertvollen Beitrag, um Maschinenteile im Falle eines Falles vor Zerstörung zu bewahren. Im Lebensmittelbereich müssen auch diese Maschinenteile den hygienischen Anforderungen genügen. Der Hersteller Enemac entwickelt hier Lösungen, die in komplexen Anwendungen eingesetzt werden.



Iris Jakob M. A., Geschäftsführerin, Enemac GmbH, Kleinwallstadt

Die Lebensmitteltechnik ist ein facettenreicher und komplexer, für die Grundversorgung essentieller Industriezweig, welcher sich mit der Herstellung, Verarbeitung und Qualitätssicherung von Nahrungsmitteln befasst. Innerhalb dieses breiten Spektrums nimmt die Rostfrei-Technologie eine bedeutende Rolle ein. Die Verwendung rostfreier Materialien in lebensmittelverarbeitenden Anlagen und Ausrüstungen ist entscheidend, um die Hygiene- und Qualitätsstandards zu gewährleisten und gleichzeitig deren Langlebigkeit zu erhöhen.

## ANPASSUNGSFÄHIG UND EFFIZIENT

In diesem Technologiesegment bewegt sich der Antriebstechnikspezialist Enemac seit nun mehr als 40 Jahren. Immer wieder ergeben sich hier kundenseits spezielle Anforderungen an die Produkte des Herstellers.

So auch im Falle eines Lebensmittel-Verpackers, der eine Lösung für die Absicherung einer Becherabfüllmaschine suchte.

Becherabfüllmaschinen sind eine unverzichtbare Komponente in der modernen Nahrungsmittelindustrie. Sie ermöglichen eine effiziente und präzise Abfüllung von Lebensmitteln in Becher oder andere Behältnisse verschiedener Größen und Materialien. Sie spielen eine entscheidende Rolle bei der Automatisierung von Abfüllprozessen, was nicht nur die Produktionsgeschwindigkeit erhöht, sondern auch die Genauigkeit und Konsistenz der Abfüllung verbessert.

Die Vielseitigkeit von Becherabfüllmaschinen ermöglicht es, eine breite Palette von Lebensmitteln abzufüllen, darunter Flüssigkeiten wie Joghurt, Ge-

tränke und Saucen, halb feste Produkte wie Pudding und Obststücke, sowie feste Produkte wie Salate, Snacks und Süßwaren. Durch die Anpassungsfähigkeit an unterschiedliche Verpackungsgrößen und -typen können Becherabfüllmaschinen den Anforderungen verschiedener Produkte gerecht werden und gleichzeitig die Effizienz in der Produktionslinie maximieren.

Wird im Abfüllprozess ein Becher beschädigt oder unpräzise positioniert, kann dies den gesamten Betriebsablauf stören oder gar unterbrechen. Ebenso entsteht ein erhebliches Kontaminations-

## 14 VERSCHIEDENE BAUGRÖSSEN BIETEN HOHE FLEXIBILITÄT

Risiko, das zu Rückrufaktionen des Herstellers führen kann, was hohe Kosten erzeugt. Im weiteren Verlauf kann auch die Mechanik der Maschine beschädigt werden.

## RISIKO MINIMIEREN

Um Schäden solcher Art zu verhindern und den weiteren Betrieb der Maschine zu stoppen, wurde im Antriebsstrang eine rostfreie Enemac Sicherheitskupplung aus Edelstahl vom Typ ECG\_ES eingesetzt. Eine Sicherheitskupplung überträgt generell das Drehmoment bis zu einem voreingestellten Ausrückmoment. Wird dieses Moment überschritten, etwa durch eine Blockade im Abfüllprozess, trennt sie An- und Abtrieb voneinander, so dass keine Kräfte mehr übertragen werden.

Die ECG\_ES bietet eine zuverlässige Lösung für Ausrückmomente zwischen 2 und 900 Nm. Mit 14 verschiedenen Baugrößen und zwei Bauformen – mit und ohne Axialsicherung – bietet dieses Produkt maximale Flexibilität und Anpassungsfähigkeit.

Enemac bietet eine große Auswahl an Sicherheitskupplungen aus Edelstahl für Anwendungen in der Medizin-, Lebensmittel-, Getränke- und Chemietechnik. Alle Produkte sind:

- Robust und langlebig: Gefertigt aus hochwertigem, rostfreiem Edelstahl, um eine lange Lebensdauer und hohe Leistungsfähigkeit im Hygienebereich zu gewährleisten



Für hygienerelevante Anwendungen ist dieser Überlastschutz aus Edelstahl geeignet



## HILFE BEI AUSLEGUNG UND AUSWAHL

Für anspruchsvolle Anwendungen ohne direkten Kontakt mit Nahrungsmitteln, stehen korrosionsgeschützte Sicherheitskupplungsvarianten für direkte und indirekte Antriebe (Ketten- und Zahnriemenantriebe) zur Verfügung. Im Bereich der Drehmomentbegrenzer für direkte Antriebe kann je nach Anforderung zwischen Elastomer- und Metallbalganbau gewählt werden.

Der benutzerfreundliche Enemac Produktkompass auf der re-launchten Website hilft bei der Auslegung und Auswahl der für den Anwender spezifisch gewünschten Sicherheits- oder Wellenkupplung.

Bilder: Enemac

[www.enemac.de](http://www.enemac.de)

### DIE IDEE



„Enemac ist Experte bei Drehmomentbegrenzung und Überlastschutz. Insbesondere die Absicherung von direkten und indirekten Antrieben in anspruchsvollen Bereichen ist unser Spezialgebiet. Um den besonderen Hygieneanforderungen der Lebensmittel-, Pharma- und Medizintechnik gerecht zu werden, entwickeln unsere Konstrukteure Sicherheits- und Wellenkupplungen speziell für diese Anwendungen. Wir beraten unsere Kunden nicht nur bei der Auswahl, sondern bieten auch schnellen Service im Betrieb.“

Iris Jakob, Geschäftsführerin,  
Enemac, Kleinwallstadt

- **Vielseitigkeit:** Mit einem Temperaturbereich von  $-30^{\circ}$  bis  $+150^{\circ}\text{C}$  sind diese Kupplungen für eine breite Palette von Umgebungen geeignet, von extremen Kälte- bis zu heißen Betriebsbedingungen
  - **Zuverlässige Sicherheit:** Die Absicherung erfolgt rein mechanisch, unabhängig von Stromausfällen innerhalb von Sekundenbruchteilen zwangstrennend
  - **Einfache Reinigung:** Alle Teile sind rostfrei und können so im Prozess mit gereinigt werden
  - **Einfacher Neustart der Maschine:** Enemac Sicherheitskupplungen sind selbststeinrastend und können ohne Demontage, bei langsamem Anfahren des Motors weiter genutzt werden
- Auch für die Wellenverbindung hat Enemac verschiedene Antriebsselemente aus Edelstahl im Portfolio. Ob Metallbalgkupplung, Elastomerkupplung oder Distanzkupplung, der Antriebspezialist hält eine Lösung parat.

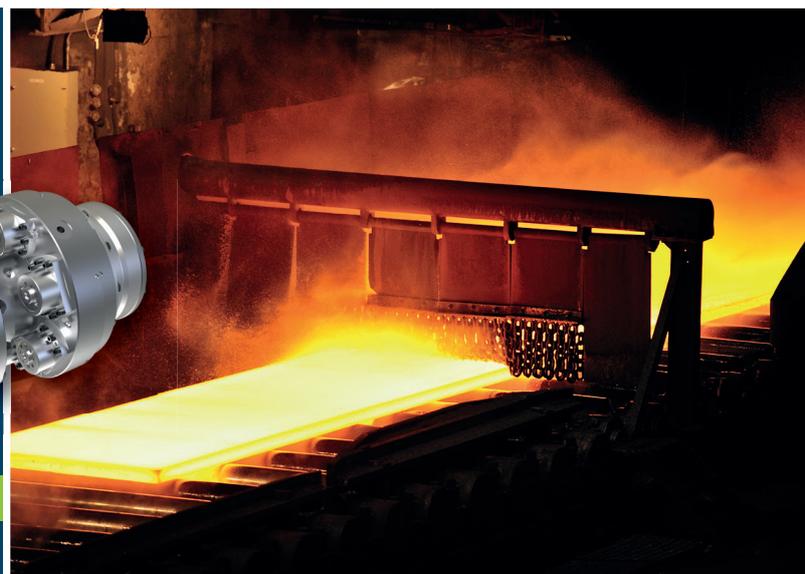
Alle Enemac Wellenkupplungen sind spielfrei, einfach zu montieren und demontieren. Die Vorteile der Metallbalgkupplung liegen im großen Betriebstemperaturbereich von  $-40^{\circ}$  bis zu  $+350^{\circ}\text{C}$ , sowie der hohen Torsionssteife. Die Elastomerkupplung wirkt schwingungsdämpfend und elektrisch isolierend. Zudem gleicht sie hohen axialen sowie lateralen Versatz bei Drehzahlen von bis zu  $29.000\text{ min}^{-1}$  aus.

## Heute schon ausgerastet?

EAS®-High-Torque Sicherheitskupplungen: Der präzise, zerstörungsfreie Überlastschutz für Schwermaschinen

  
Ihr zuverlässiger Partner

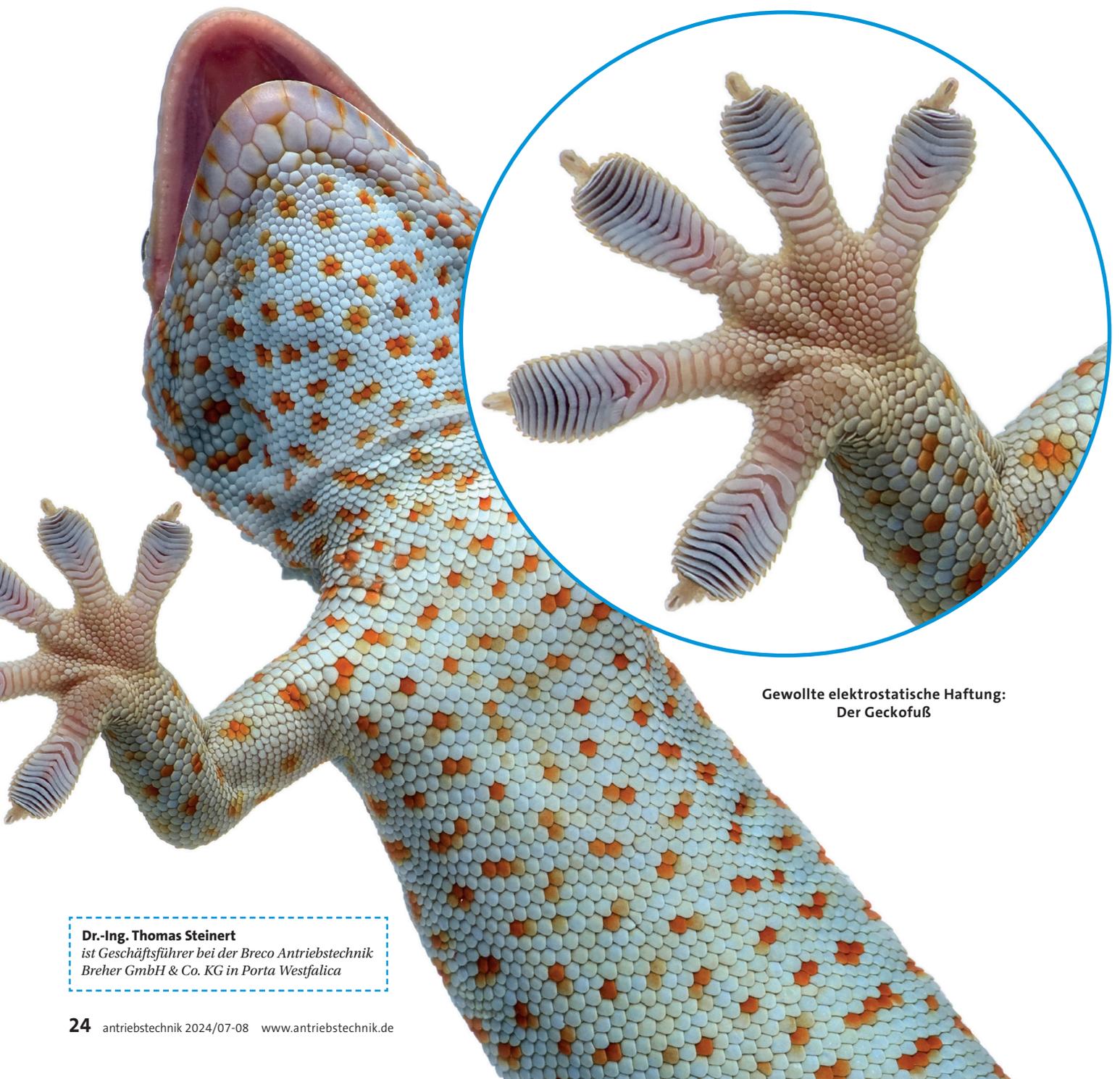
 [www.mayr.com](http://www.mayr.com)



# ZAHNRIEMEN

ANTRIEBSELEMENTE

## ELEKTROSTATISCHE AUFLADUNG VON POLYURETHAN-ZAHNRIEMENTRIEBEN



Gewollte elektrostatische Haftung:  
Der Geckofuß

**Dr.-Ing. Thomas Steinert**  
ist Geschäftsführer bei der Breco Antriebstechnik  
Breher GmbH & Co. KG in Porta Westfalica

Zahnriemen können sich elektrostatisch aufladen. Daraus möglicherweise resultierende Lichtbogenentladungen sind potenziell ein Gefährdungsfaktor.

Bei dem Zahnriemenhersteller Breco hat man sich Gedanken gemacht und erforscht, wie groß die Gefahr ist und wie sie bekämpft werden kann. Die Ergebnisse zeigen die Bedeutung von antistatischer Ausrüstung für Zahnriemen.

Das Phänomen der elektrostatischen Aufladung ist seit den alten Griechen bekannt. Es wurde bereits um 550 v. Chr. von Thales von Milet an Bernstein beobachtet und beschrieben.

Für die Bildung elektrostatischer Aufladung sind zwei Voraussetzungen erforderlich. Zum einen muss ein triboelektrischer Effekt wirken, d. h. zwei Körper mit unterschiedlicher Elektronenaffinität müssen mechanisch in Wechselwirkung stehen, sich zum Beispiel aneinander reiben, wobei Elektronen von einem auf den anderen Körper übertragen werden. Zum anderen muss mindestens einer der beiden Körper ein Nichtleiter sein, so dass sich die gebildete Potentialdifferenz nicht durch Stromfluss ausgleichen kann. Die Nichtleiter-Eigenschaft ist beim Werkstoff Polyurethan gegeben.

Bei einem Zahnriemen kann die Aufladung durch den Zahneingriff Riemen/Scheibe, durch Abstreifer und durch Führungsschienen entstehen, siehe Bild 01. Der Zahneingriff ist insbesondere bei höheren Drehzahlen durch den reibungsbehafteten Ein-zahnvorgang des Riemenzahn in die Scheibenzahnlücke ein starker „Erzeuger“ von Aufladung und führt nicht, wie man denken könnte, durch die leitfähige Zahnscheibe zum Ladungsabfluss. Üblicherweise entsteht auf dem Riemen ein Elektronenüberschuss, d. h. negative Aufladung.

### FOLGEN ELEKTROSTATISCHER AUFLADUNG

Im täglichen Leben haben elektrostatische Aufladungen zwei Auswirkungen, die es zu berücksichtigen gilt:

Die gegenseitige elektrostatische Aufladung zweier Körper führt zu Anziehungskräften. Hierdurch haften zum Beispiel Kunststoffspäne an der elektrisch nichtleitenden Pulverbeschichtung von Schleifmaschinen. Plotterhersteller nutzen den Effekt, um Papier flächig auf dem Maschinentisch festzuhalten. Der Gecko nutzt elektrostatische Aufladungen, um auf glatten Flächen senkrecht nach oben gehen zu können.

Übersteigt die Potentialdifferenz infolge elektrostatischer Aufladung einen Schwellwert, den man Durchschlagspannung nennt, dann kommt es zu einem schlagartigen Ladungsausgleich in Form eines Lichtbogens.

Man kennt diese Entladungen aus gelebter Erfahrung: Bei unheilvoller Kombination von Schuhsohlen- und Teppichbodenmaterial oder Hosen- und Sockenmaterial bilden sich Ladungsanhäufungen, die bei Überschreiten der Durchschlagspannung mit einem kleinen Blitz in die Haut abgeleitet werden.

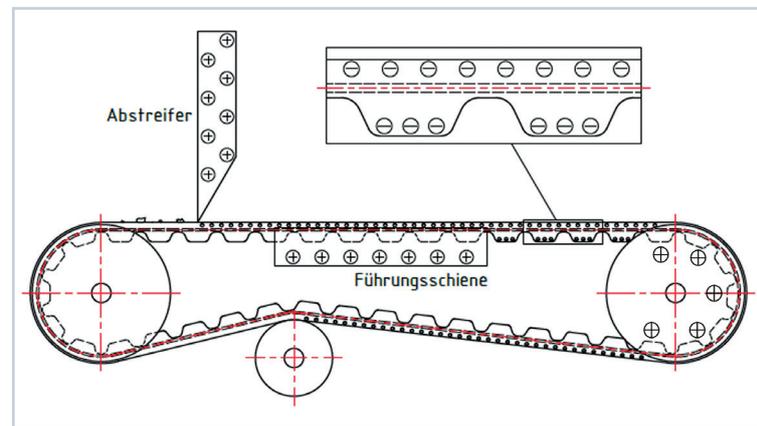
Auch im technischen Umfeld sind solche Blitz-Entladungen unerwünscht. In der Leiterplattenfertigung können sie zur Beschädigung empfindlicher elektronischer Bauteile füh-

ren, siehe Bild 02. Ferner bergen sie die Gefahr der Entzündung einer brandgefährdeten oder explosionsfähigen Atmosphäre.

### MÖGLICHKEITEN DER VERMEIDUNG ELEKTROSTATISCHER AUFLADUNG

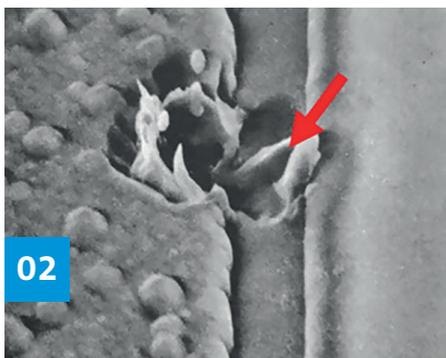
Es gibt zwei Wege, auf denen elektrostatische Aufladungen bekämpft werden können. Der eine besteht in der Verbesserung der Abgabe von Elektronen. Dies kann durch höhere Luftfeuchtigkeit (wird in Spinnereien häufig angewendet), durch Beblasung mit ionisierter Luft oder durch leitfähige Spannrollen erreicht werden. Bei Zahnriementrieben ist der kontinuierliche Übertrag immer neuer Elektronen durch den Ein-zahnvorgang jedoch so stark, dass diese Maßnahmen nur geringe Wirkung zeigen.

Wirksamer ist die antistatische Ausrüstung der Zahnriemen, die Verbesserung der Beweglichkeit der Elektronen auf der Riemenoberfläche durch Erhöhung der elektrischen Leitfähigkeit des Riemenmaterials in Kombination mit elektrisch leitfähigen Zugträgern. Dies verhindert lokale Ansammlungen von Elektronen, verteilt die Ladungen, vergrößert dadurch die abgebende



01 Entstehung von elektrostatischer Aufladung eines Zahnriemens

Widerstände und elektrostatische Aufladungen ausgewählter Breco-Zahnriemen				
Polyurethan	Härte [Shore A]	Zugträger	Widerstand rückenseitig	elektrostatische Aufladung
TPU ST1	92	Stahl verzinkt 0,9 mm	342·10 <sup>9</sup> Ω	-2.120 V
TPU ST2	85	Stahl verzinkt 0,9 mm	156·10 <sup>9</sup> Ω	-1.280 V
TPU AS1	92	Stahl verzinkt 0,9 mm	383·10 <sup>6</sup> Ω	-62 V
TPU AS7	92	Stahl verzinkt 0,9 mm	59,1·10 <sup>3</sup> Ω	30 V
TPU AS9	85	Stahl verzinkt 0,9 mm	53·10 <sup>6</sup> Ω	-32 V
TPU ST1	92	Aramid 0,9 mm	585·10 <sup>9</sup> Ω	< -50.000 V
TPU AS1	92	Aramid 0,9 mm	15·10 <sup>9</sup> Ω	-42.800 V



02



03



04

Oberfläche und zeigt bei Zahnriementrieben sehr gute Wirkung. Zahnriemen werden elektrisch leitfähig durch:

- Beimischung leitfähiger Partikel (Leitruß, metallische Fasern, Carbo-Nanotubes):  
 $R < 10^5 \Omega$ , man spricht von „elektrischer Leitfähigkeit“. Achtung: Diese Beimischung führt in der Regel zu einem Nachhärten des Polyurethans!
- Beimischung leitfähiger Polymermoleküle als Masterbatch:  
 $10^5 \Omega < R < 10^9 \Omega$ , man spricht von „antistatischen Eigenschaften“.
- Aufbringen leitfähiger Beschichtungen, z. B. eines leitfähigen Gewebes:  $R < 10^5 \Omega$ .

Die Wirkung der beigemischten Additive hängt stark von ihrer Konzentration ab. Unterhalb einer kritischen Konzentration  $K_c$  ist praktisch keine Leitfähigkeit feststellbar – es findet keine Netzwerkbildung (Perkolation) der leitfähigen Partikel statt. Bei Erreichen von  $K_c$  steigt die Leitfähigkeit sprunghaft auf einen Endwert an. Bei weiterer Erhöhung der Konzentration ändert sich die Leitfähigkeit nur noch wenig, die mechanischen Eigenschaften des Riemens (Reiß- und Abriebfestigkeit) nehmen hingegen stark ab. Die Crux besteht also darin, die richtige Konzentration zu finden und durch Gleichverteilung der Leitpartikel im gesamten Riemen sicherzustellen.

Die Angst vor Lichtbogenentladungen hat in den vergangenen Jahren bei der Spezifikation von Zahnriemen zu einer regelrechten Treibjagd hin zu immer niedrigeren Widerstandswerten geführt. Dass dies technisch nicht sinnvoll ist, zeigen wir im folgenden Kapitel.

## ANTISTATISCHE EIGENSCHAFTEN AUSGEWÄHLTER BRECO-ZAHNRIEMEN

Breco-Zahnriemen bestehen im Wesentlichen aus einem lasttragenden Zugträger und dem Matrixwerkstoff Polyurethan, aus dem in einem Extrusionsvorgang Riemenrücken und Zähne geformt werden. Als Zugträgerwerkstoffe kommen Stähle und Aramide zum Einsatz. Um den Zusammenhang von Material, dem sich einstellenden Widerstand und der elektrostatischen Aufladung im Betrieb darzustellen, wurden Zahnriemen 50 AT10 der Länge 2 m auf dem Prüfstand untersucht. Die Drehzahl lag bei 1.000 1/min, die Vorspannkraft bei 600 N. In der Tabelle sind in den linken drei Spalten zunächst die Polyurethane, deren Härte und die verbauten Zugträger aufgeführt. In der TPU-Bezeichnung bedeutet ST „Standard“, AS „Antistatisch ausgerüstet“. Die Standardmaterialien sind mit Widerstandswerten im  $G\Omega$ -Bereich praktisch Nichtleiter. Bei den verschiedenen AS-Materialien werden Widerstände im  $k\Omega$ - bis  $M\Omega$ -Bereich erreicht. Die nichtleitenden Aramidzugträger führen erwartungsgemäß stets zu höheren Gesamtwiderstandswerten.

Die elektrostatische Aufladung erfolgte ausschließlich durch den Einzahnvorgang beim Lauf. Als Messgerät wurde ein Keyence SK H050 verwendet. Der Messfleckdurchmesser entsprach der

**02** Durch Lichtbogenüberschlag beschädigte Leiterbahn auf einer Platine, Kraterdurchmesser circa 10  $\mu\text{m}$

**03 + 04** Messaufbau zur Ermittlung der elektrostatischen Aufladung von Zahnriemen

Riemenbreite von 50 mm. Die Messungen erfolgten bei 21 °C Raumtemperatur und 20 % relativer Luftfeuchte.

Die Ergebnisse lassen sich wie folgt zusammenfassen:

- Der Betrieb eines Zahnriemens bewirkt auch ohne schleifende Kontakte zu Abstreifern oder Kunststoffführungen elektrostatische Aufladungen, die zu Lichtbogenentladungen führen können. Die diesbezügliche Sorge der Maschinenhersteller ist also berechtigt.
- In Kombination mit einem leitfähigen Zugträger führt jede Form von antistatischer Ausrüstung des TPUs zu Aufladungswerten „nahe Null“, auch wenn der Widerstand des Riemens zwischen  $10^8 \Omega$  und  $10^9 \Omega$  liegt.
- Aramid-Zugträger sollten bei aufladungskritischen Anwendungen unbedingt vermieden werden.

Fotos: Breco / Stockphoto Eric Isselée

[www.breco.de](http://www.breco.de)

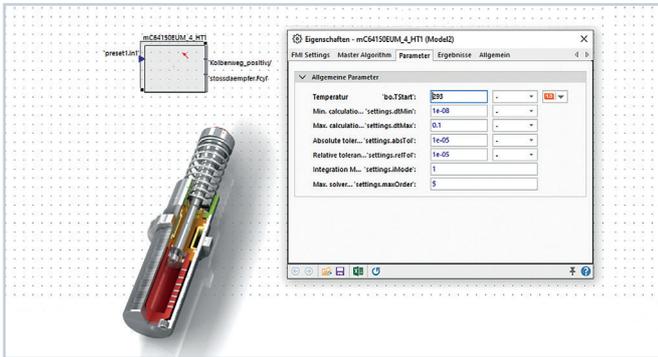
### DIE IDEE



„Zahnriemen können sich elektrostatisch aufladen, was zu Risiken führen kann. Breco hat mit seiner großen Erfahrung in der Herstellung Lösungen entwickelt, welche die Aufladungswerte sehr niedrig halten können. Sehr wichtig ist es in dieser Hinsicht, auf Aramid als Material für Zugträger zu verzichten.“

Dr.-Ing. Thomas Steinert,  
BRECO Antriebstechnik  
Breher GmbH & Co. KG

## DATEN FÜR MEHR SIMULATION IN DER KONSTRUKTION



Die ACE Stoßdämpfer GmbH bietet Konstrukteuren nun auch Daten von digitalen Zwillingen zur Integration in virtuelle Modelle an – neben Konfigurations- und Berechnungssoftware sowie CAD-Daten und Simulationen. Damit stellt das Unternehmen laut eigenen Angaben als erster Anbieter von Industriestoßdämpfern Kunden FMUs (Functional Mockup Units) zur Verfügung. Physikalische Modelle des Dämpfers können dadurch in kundeneigene Simulationsmodelle integriert werden. Dies ist gerade bei Sonderdämpfern interessant, da das Unternehmen auch Prototypen als digitale Zwillinge schnell bereitstellen kann. Zur Verwendung der FMUs ist eine Simulationssoftware mit FMI (Functional Mockup Interface) erforderlich, wie etwa Simulink und Adams. Auf Anfrage bietet ACE zudem an, Daten für alle Stoßdämpfer im Katalog auszuleiten und Kunden bereitzustellen. Dabei sind die FMUs mit dem physikalischen Verhalten aus den Bereichen Hydraulik, Thermik und Mechanik der Industriestoßdämpfer ausgestattet.

[www.ace-ace.de](http://www.ace-ace.de)

## ANTRIEBSSYSTEME VIRTUELL TESTEN



Mit einer Bibliothek für Matlab Simulink ermöglicht Faulhaber jetzt die Simulation des dynamischen Verhaltens seiner Antriebssysteme. Mit nur wenigen Klicks können verschiedene Antriebe ausprobiert werden. Die Simulationssoftware bietet dafür eine Blockdia-

grammumgebung mit grafischer Oberfläche, in der Simulationen mit virtuellen Modellen ohne Programmieraufwand erstellt werden können. In der Bibliothek sind alle bürstenlosen DC-Motoren des Herstellers mit den passenden Encodern und Motion Controllern hinterlegt. Zusammenhänge lassen sich mit mathematischen Gleichungen beschreiben. Im Modell werden dann diese Gleichungen für die Teilsysteme miteinander verbunden, genau wie die Einzelteile bei der Montage eines physischen Motors. Die Bibliothek wird online bereitgestellt und ergänzt vorhandene Werkzeuge wie den Drive Calculator. Sie kann zur Auswahl eines Antriebssystems oder zur modellbasierten Einbindung in die Anwendung verwendet werden. Darüber hinaus kann die Simulation auch genutzt werden, um einen digitalen Zwilling des Antriebs zu erstellen und diesen für Funktionen in IoT- und Industrie 4.0-Anwendungen zu nutzen.

[www.faulhaber.com](http://www.faulhaber.com)

## IMPRESSUM

### antriebstechnik

erscheint 2024 im 63. Jahrgang,  
ISSN 0722-8546 / ISSN E-Paper: 2747-7991

#### REDAKTION

**Chefredakteur:** Miles Meier (mm),  
Tel.: 06131/992-208,  
E-Mail: [m.meier@vfmz.de](mailto:m.meier@vfmz.de)  
(verantwortlich i.S.d. § 18 Abs. 2 MStV)

#### Redakteur:

Felix Berthold, M.A. (be),  
Tel.: 06131/992-204, E-Mail: [f.berthold@vfmz.de](mailto:f.berthold@vfmz.de)

#### Redaktionsassistent:

Melanie Lerch, Tel.: 06131/992-261,  
Petra Weidt, Tel.: 06131/992-371,  
E-Mail: [redaktionsassistent\\_vfv@vfmz.de](mailto:redaktionsassistent_vfv@vfmz.de),  
(Redaktionsadresse siehe Verlag)

#### GESTALTUNG

Anette Fröder, Sonja Daniel, Conny Grothe

#### SALES

Andreas Zepig,  
Tel.: 06131/992-206,  
E-Mail: [a.zepig@vfmz.de](mailto:a.zepig@vfmz.de),  
Oliver Jennen

#### Auftragsmanagement:

Heike Rauschkolb,  
Tel.: 06131/992-241, E-Mail: [h.rauschkolb@vfmz.de](mailto:h.rauschkolb@vfmz.de)

Anzeigenpreisliste 2024, gültig ab 01.10.2023

#### LESERSERVICE

vertriebsunion meynen GmbH & Co. KG,  
Große Hub 10, 65344 Eltville, Tel.: 06123/9238-266  
Bitte teilen Sie uns Anschriften- und sonstige  
Änderungen Ihrer Bezugsdaten schriftlich mit  
(Fax: 06123/9238-267, E-Mail: [vfv@vertriebsunion.de](mailto:vfv@vertriebsunion.de)).

#### Preise und Lieferbedingungen:

Einzelheftpreis: € 16,50 (zzgl. Versandkosten)  
Jahresabonnement Inland: € 160,- (inkl. Versandkosten)  
Jahresabonnement Ausland: € 175,- (inkl. Versandkosten)  
Abonnements verlängern sich automatisch um ein  
weiteres Jahr, wenn sie nicht spätestens vier Wochen vor  
Ablauf des Bezugsjahres schriftlich gekündigt werden.

#### VERLAG

Vereinigte Fachverlage GmbH  
Lise-Meitner-Straße 2, 55129 Mainz  
Postfach 100465, 55135 Mainz  
Tel.: 06131/992-200  
E-Mail: [info@vfmz.de](mailto:info@vfmz.de), [www.vereinigte-fachverlage.de](http://www.vereinigte-fachverlage.de)  
Handelsregister-Nr.: HRB 2270, Amtsgericht Mainz  
Umsatzsteuer-ID: DE149063659  
Ein Unternehmen der Cahensly Medien

#### Geschäftsführer:

Dr. Olaf Theisen, Matthias Niewiem

#### Gesellschafter:

P.P. Cahensly GmbH & Co. KG,

Karl-Härle-Straße 2, 56075 Koblenz

#### Verlagsleiter:

Dr. Michael Werner, Tel.: 06131/992-401

#### Chef vom Dienst:

Dipl.-Ing. (FH) Winfried Bauer

#### Leitende Chefredakteurin:

Dipl.-Ing. (FH) Nicole Steinicke

#### Head of Sales:

Carmen Nawrath

Tel.: 06131/992-245, E-Mail: [c.nawrath@vfmz.de](mailto:c.nawrath@vfmz.de)  
(verantwortlich für den Anzeigenteil)

#### Vertrieb:

Sarina Granzin, Tel.: 06131/992-148,  
E-Mail: [s.granzin@vfmz.de](mailto:s.granzin@vfmz.de)

#### DRUCK UND VERARBEITUNG

Westdeutsche Verlags- und Druckerei GmbH  
Kurfürstenstraße 4 - 6, 64546 Mörfelden-Walldorf

#### DATENSPEICHERUNG

Ihre Daten werden von der Vereinigte Fachverlage GmbH

gespeichert, um Ihnen berufsbezogene, hochwertige Infor-

mationen zukommen zu lassen. Sowie möglicherweise von

ausgewählten Unternehmen genutzt, um Sie über berufs-

bezogene Produkte und Dienstleistungen zu informieren.  
Dieser Speicherung und Nutzung kann jederzeit schriftlich  
beim Verlag widersprochen werden ([vertrieb@vfmz.de](mailto:vertrieb@vfmz.de)).

Die Zeitschrift sowie alle in ihr enthaltenen Beiträge und  
Abbildungen sind urheberrechtlich geschützt. Mit der  
Annahme des redaktionellen Contents (Texte, Fotos,  
Grafiken etc.) und seiner Veröffentlichung in dieser  
Zeitschrift geht das umfassende, ausschließliche, räum-  
lich, zeitlich und inhaltlich unbeschränkte Nutzungsrecht  
auf den Verlag über. Dies umfasst insbesondere das Recht  
zur Veröffentlichung in Printmedien aller Art sowie  
entsprechender Vervielfältigung und Verbreitung, das  
Recht zur Bearbeitung, Umgestaltung und Übersetzung,  
das Recht zur Nutzung für eigene Werbezwecke, das  
Recht zur elektronischen/digitalen Verwertung, z. B. Ein-  
speicherung und Bearbeitung in elektronischen Systemen,  
zur Veröffentlichung in Datenbanken sowie Datenträger  
jedweder Art, wie z. B. die Darstellung im Rahmen von  
Internet- und Online-Dienstleistungen, CD-ROM, CD und  
DVD und der Datenbanknutzung und das Recht, die vor-  
genannten Nutzungsrechte auf Dritte zu übertragen, d. h.  
Nachdruckrechte einzuräumen. Eine Haftung für die Rich-  
tigkeit des redaktionellen Contents kann trotz sorgfältiger  
Prüfung durch die Redaktion nicht übernommen werden.  
Signierte Beiträge stellen nicht unbedingt die Ansicht der  
Redaktion dar. Für unverlangt eingesandte Manuskripte  
kann keine Gewähr übernommen werden. Grundsätzlich  
dürfen nur Werke eingesandt werden, über deren Nut-  
zungsrechte der Einsender verfügt, und die nicht gleichzei-  
tig an anderer Stelle zur Veröffentlichung eingereicht oder  
bereits veröffentlicht wurden.

#### Datenschutzerklärung:

[ds-vfv.vfmz.de](mailto:ds-vfv.vfmz.de)

Es gelten die allgemeinen Geschäftsbedingungen.



Mitglied der Informations-Gemeinschaft  
zur Feststellung der Verbreitung von  
Werbeträgern e.V. (IVW), Berlin.

Aktueller und ehemaliger  
Geschäftsführer am Main:  
v. l. Jürgen Prochno (seit 2005)  
und Eugen Rautenberg  
(1979 bis 2005)

45 JAHRE LEE IN DEUTSCHLAND

## „DIESE MINIATURISIERUNG WAR IN EUROPA BIS DAHIN UNBEKANNT

Im Juli 1979 wurde die Firma Lee Hydraulische Miniaturkomponenten GmbH als deutsche Vertriebsniederlassung der US-amerikanischen The Lee Company in Frankfurt gegründet. Anlässlich des 45-jährigen Jubiläums sprechen der ehemalige Geschäftsführer Eugen Rautenberg und der heutige Jürgen Prochno über die Vergangenheit und Zukunft mikrofluidischer Lösungen.

**Herr Rautenberg, Sie haben die Lee GmbH mitbegründet. Wie kam es dazu?**

**EUGEN RAUTENBERG:** The Lee Company gab es zu diesem Zeitpunkt in den USA bereits seit mehr als 30 Jahren als erfolgreichen Zulieferer in der Luft- und Raumfahrt. Auch in England und Frankreich hatte man bereits Niederlassungen gegründet. Im deutschsprachigen Raum wurde Lee jedoch nur durch einen Importeur und Distributor in der Schweiz vertreten. Der damalige globale Vertriebsleiter, Jim Stamos, erkannte jedoch, dass es angesichts der aufkommenden kooperativen europäischen Luftfahrtprojekte ein enormes Potenzial für unsere Produkte auf dem deutschen Markt gab. Somit entschied man sich für eine eigenständige Niederlassung, die im Sommer 1979 in einem Zweizimmer-Büro im Frankfurt gegründet wurde. Dort arbeiteten

damals lediglich eine Innendienstmitarbeiterin und meine Wenigkeit als Geschäftsführer und Außendienst in Personalunion.

**Wie etablierten Sie das „Start-up“ im deutschen Markt?**

**RAUTENBERG:** Am Anfang hatten wir im deutschsprachigen Raum nur eine Handvoll relevanter Kontakte aus der Luftfahrt- und Wehrtechnik. Das sollte sich natürlich ändern, wir wollten in weiteren Branchen Fuß fassen, hatten Ende der 1970er beispielsweise bereits unser Lee EFS Portfolio für die Medizintechnik in den USA aufgebaut. Und somit war es zu Beginn das reine Klinkenputzen. Die Prognose für die Luftfahrt traf ein: Wir waren in einer Vielzahl der bekanntesten europäischen Flugzeuge dieser Zeit mit unseren Ventilen und Plugs vertreten, zum Beispiel im Fahrwerk des Tornados oder der Transall.

Was überzeugte die ersten Anwender?

**RAUTENBERG:** Dass man Ventile und Plugs in dieser Winzigkeit und mit so geringem Gewicht herstellen konnte, war in Europa bis dahin unbekannt. Das sind neben der Robustheit natürlich die entscheidenden Faktoren bei der Wahl der Komponenten für Hydrauliksysteme in der Luftfahrt. Somit war es zwar schwierig, den initialen Kontakt herzustellen, wenn wir jedoch vor Ort ins Gespräch kamen, erschloss sich das Potenzial in Sachen Leichtbau und Zuverlässigkeit schnell.

**JÜRGEN PROCHNO:** In unserem hochspezialisierten Gebiet der Miniaturhydraulik und Fluid-Control-Lösungen braucht es den direkten Kontakt von Ingenieur zu Ingenieur, um über die technischen Herausforderungen auf Augenhöhe zu diskutieren. Bei Lee arbeiten deshalb seit jeher ausschließlich Ingenieure im Vertrieb.

Wie hat sich der Geschäftsführerwechsel damals gestaltet?

**PROCHNO:** Ich bin im Jahr 1993 zu Lee gekommen, mit der Aufgabe, das aufkommende Industrie- und Maschinenbau sowie Automotive-Geschäft auszubauen. Damals kam beispielsweise ABS auf, das uns in die Karten spielte. In den Jahren zuvor hatten wir bereits unsere Produkte für die Medizintechnik und die Printing-Industrie etabliert. In den 90ern entwickelten wir Ventile für den robusten Einsatz unter widrigsten Bedingungen, von der Schwerindustrie bis zu Land- und Baumaschinen. Ich war zuvor im Bereich Verpackungsmaschinen als Konstrukteur tätig und hatte die entsprechende Expertise in diesem Bereich. **RAUTENBERG:** Mit dieser Erweiterung unseres Portfolios ging es in Deutschland anschließend steil bergauf. Als Jürgen dazu stieß, waren wir die beiden einzigen Vertriebs-Mitarbeiter. Insofern war es für mich nur logisch, dass er mein Nachfolger als Geschäftsführer wurde. Wir hatten bis 2005 zwölf Jahre sehr eng zusammengearbeitet und gemeinsam die Werte vertreten für die Lee steht.

Welche Werte sind das?

**PROCHNO:** Wir stehen seit Firmengründung für maximale Qualität. Unsere Produkte sind zu 100 Prozent funktionsgeprüft. Unser Maschinenpark ist einzigartig hinsichtlich der Fertigungstiefe. Wir machen in unseren Produktionsstätten in Westbrook, Connecticut, alles selbst. Somit können wir als Vertriebsingenieure vollkommen von unseren Produkten überzeugt sein – und unsere Kunden können sich sicher sein, dass sie exzellente Ventile, Plugs, Siebe, Blenden oder Pumpen erhalten. **RAUTENBERG:** Und in Richtung der Mitarbeiter steht die Firma Lee schon immer für eine große Nähe zur Belegschaft. Beispielsweise erhalten alle US-Mitarbeiter seit dem vergangenen Jahr eine Krankenversicherung – in den USA ist das absolut keine Selbstverständlichkeit.

Sie waren fast ihr ganzes Arbeitsleben bei Lee. Warum?

**RAUTENBERG:** Das Prinzip der offenen Tür herrscht im gesamten Konzern, von der Niederlassung bis zum Büro der CEO unseres Mutterkonzerns, Marietta S. Lee. Über allem schwebt eine große Menschlichkeit. Wenn es mal nicht optimal lief, hat das Unternehmen und auch die Inhaberfamilie immer alle Hebel in Bewegung gesetzt, um Stellenabbau zu umgehen. Und das honorieren die Mitarbeiter: Unternehmenszugehörigkeiten von mehr als 30 Jahren sind absolut keine Seltenheit bei Lee, sowohl in den Tochtergesellschaften rund um den Globus als auch in den USA. Wir beide sind das beste Beispiel. Ich war mehr als 25 Jahre bis zur Rente dabei. Jürgen wird voraussichtlich sogar die 35 Jahre bei Lee vollmachen.

# Mikrohydraulik

**LEE-Komponenten lösen kritische Probleme, die von der Hydraulik heute an Gewicht und Platzbedarf gestellt werden.**

The Lee Company. Seit 40 Jahren die einzige Autorität in der Mikrohydraulik. Wir bieten Komponenten von 2,5 mm bis 12,7 mm Durchmesser mit einem Gewicht von 0,1 – 5,0 g. Für Systemdrücke bis 550 bar. Wir helfen dem Konstrukteur die Gewichts- und Platzanforderungen zu erfüllen, die gefordert werden.

**Die Bausteine**  
Sieben Grundsteine: Stopfen, Drosseln, und diverse Ventile – alle zum Einbau mit dem kostensparenden Expansionsprinzip.

- LEEPLUG** Stopfen. Die beste Art, Bohrungen zu verschließen. Für Prüfdrucke bis 2.200 bar. Ohne O-Ringe, Dichtungen, Gewinde oder Verklebung.
- LEEJET** Präzisionsdrosseln. Mit Einzel- oder Mehrfachlöchern. Mehr als 700 Standardmodelle. Von 200 – 2.200.000 l ÖHM Drosselboiwert.
- LEECHEK** Rückschlagventile. Ein- und Zweirichtung. 11 Standardmodelle. 9–400 LÖHM.
- LEEPRI** Druckkontrollventile als Ein- oder Zweirichtung. 135 Standardmodelle. Durchfluß entspr. 200 und 400 LÖHM. Öffnungsdrucke von 1,5 bis 240 bar.
- LEE** Drosselrückschlagventile. 154 Standardmodelle. In Drosselrichtung von 40 bis 20.000 LÖHM. Von 12 – 470 LÖHM freier Durchfluß.
- LEE** Rückschlag-Drosselventile. 42 Standardmodelle. In Durchflußrichtung von 1.000 – 10.000 LÖHM. Gegenrichtung gesperrt.
- LEE FLOSERT** Mergenventile. 42 Standardmodelle. Konstanter Volumenstrom von 0,4 – 20 l/min über einen Druckbereich von 7 bis 210 bar.

**Ruhige Hände**  
Man braucht schon eine besondere Art von Einstellung um Produkte solcher Präzision und Zuverlässigkeit herstellen zu können. Wir haben die Bearbeitung auf modernsten Maschinen kombiniert mit sorgfältiger manueller Montage durch ausgebildete Fachkräfte. Mehr noch, wir nehmen uns die Zeit zu 100%iger Endkontrolle und Einzelabnahme. Diese Art von Sorgfalt gewährleistet die hohe Zuverlässigkeit und lange Lebensdauer für die unsere LEE-Komponenten bekannt sind.

**Das Rad nochmal erfinden?**  
Kein anderer Hersteller als LEE ist in der Lage, Sie besser mit den richtigen Hydraulik-Komponenten in Standard- oder Sonderausführung zu beliefern. Um mehr zu erfahren, fordern Sie bitte, kostenlos unser Technisches Hydraulik-Handbuch an. Eine notwendige Lektüre für den Konstrukteur von Hydrauliksystemen. Heute ebenso wie morgen.

LEE Innovationen im Detail:  
LEE, Hydraulische Miniaturkomponenten (Druck, Rückfließen, Siebe, 33-30)  
Postfach 10 02 56  
0-80027-7878 (toll-free)  
Tel. 0 661 / 73 51 33  
Fax 0 661 / 73 51 33  
In 1-888-461-  
Vorkaufskontrollsysteme der  
The Lee Company  
Westbrook, CT, USA  
für Deutschland, Österreich, Schweiz

Westbrook, Los Angeles, Chicago, Dallas, London, Frankfurt, Versailles

**Kennziffer 118 eintragen**

Anzeige für Mikrohydraulik Ende der 80er-Jahre

Und so ist das Unternehmen über Jahrzehnte organisch gewachsen.

**PROCHNO:** Wir sind natürlich nicht so schnell gewachsen wie manch anderes Familienunternehmen aus den USA mit einer ähnlichen Gründungsgeschichte. Aber das meine ich überhaupt nicht negativ. Alles bei Lee steht auf einem gesunden Fundament, das Ziel ist der nachhaltige Unternehmenserfolg. Man hat sich beispielsweise auch sehr stark mit der Akquisition von weiteren Firmen zurückgehalten. Der Zukauf des Pumpenherstellers Ventus vor zwei Jahren war eine große Ausnahme. Mit diesem eher konservativen Ansatz fährt das Unternehmen jedoch sehr gut und bietet Kunden wie Mitarbeitern eine langfristige Sicherheit.

Welche weitere Entwicklung erwartet Lee in Deutschland?

**PROCHNO:** Deutschland bietet für Lee nach wie vor großes Potenzial. Die Luft- und Raumfahrt hat wieder einen größeren Stellenwert in Deutschland, auch im Bereich Wasserstoff gehören viele deutsche Unternehmen zu den Innovationsführern. Und in unseren Brot- und Butterbranchen – Medizintechnik, Automotive und dem Maschinenbau – besteht nach wie vor eine große Nachfrage nach unseren mikrofluidischen Lösungen.

INTERVIEW PETER BECKER (BECKER STORYTELLING) IM AUFTRAG DER LEE GMBH, SULZBACH (TAUNUS)

Bilder: Lee

www.theleeco.com



Taskin Ciddi, Projektmanager Snakeline,  
Bomatec AG, Höri (Schweiz)

## EFFIZIENZ UND LEISTUNGSDICHTE

# SCHLANGENLINIEN BÄNDIGEN WIRBELSTRÖME

Permanentmagnete werden im Zuge der Energiewende als Schlüsselkomponenten für Hochgeschwindigkeits- und Hochleistungsanwendungen immer wichtiger. Damit einher geht das Streben nach einer immer höheren Leistungsdichte und Effizienz. Diese Entwicklung stellt Hersteller von Permanentmagnetmotoren jedoch vor eine große Herausforderung: Wirbelstromverluste. Die Entstehung von Wirbelströmen in der Magnetmasse führt zu einer erheblichen Wärmeentwicklung und Leistungsverlusten. Ein Schweizer Unternehmen hat nun eine ebenso elegante wie nachhaltige Lösung dafür gefunden.

Die Bomatec AG aus der Schweiz hat ein innovatives Magnetdesign für Hochleistungsmotoren entwickelt und patentieren lassen. Die sogenannten Snakeline-Magnete wurden speziell dazu entworfen, um mit Wirbelströmen verbundene Verluste zu verringern. Im Vergleich zu herkömmlich laminierten Magneten bieten die Magnete signifikante Verbesserungen hinsichtlich Effizienz und Leistungsfähigkeit.

Eine der größten Herausforderungen bei der Verwendung von laminierten Magneten ist der aufwendige Produktionsprozess mit hohen Herstellungskosten. Im Gegensatz dazu bieten Snakeline-Magnete nun eine kosteneffizientere Lösung: Sie ermöglichen eine effektivere Handhabung der Wirbelströme, ohne indes die strukturelle Integrität und Leistungsfähigkeit der Motoren zu beeinträchtigen. Dies macht sie zu einer interessanten Alternative für Hochleistungsmotoren in der Industrie.

### SERPENTINEN-MAGNETDESIGN

Snakeline-Magnete bestehen durch ihre effiziente Herstellung: Mit Schneiden und Füllen sind bei ihnen lediglich zwei automatisierte Schritte erforderlich – im Gegensatz zu einem traditionellen monolithischen Magneten. Der Magnet wird bei dieser Technologie nicht physisch in einzelne Magnetsegmente zerlegt, vielmehr werden durch Drahterodieren Bahnen in Form einer Serpentine geschnitten.

Ein weiterer Trumpf sind flexible Magnetdesigns, was kundenspezifische Segmentierungen für komplexe Anwendungen ermöglicht. Insbesondere bei der Assemblierung von Rotorpaketen mit Magneten können die Arbeitsschritte im Vergleich zu segmentierten Magneten drastisch reduziert werden. Da der Schnitt in einem fertigen Magneten vorgenommen wird, ist das Verfahren problemlos auf verschiedene Designs anwendbar. Der Prozess muss daher nicht komplett neu konzipiert werden, um verschiedene Magnete effizient herzustellen. Der Snakeline-Magnet wird ohne zusätzliche Materialien hergestellt, was zu deutlichen Kosteneinsparungen führt – bei gleichzeitiger Reduzierung des Arbeits- und Zeitaufwands.

Bomatec kooperiert hierbei eng mit Forschungs- und Entwicklungspartnern, um Wirbelstromverluste in Permanentmagneten mit komplexer Geo-

metrie und spezielle Maßnahmen zur Verlustreduzierung genauer zu untersuchen. So werden zum Beispiel zusammen mit der Hochschule Flensburg innovative Lösungen entwickelt und die Technologie weiter vorangetrieben.

## ERWÄRMUNGSPROBLEM GELÖST

Betrachtet man die Temperaturabhängigkeiten der magnetischen Eigenschaften von Hochleistungspermanentmagneten, so stellt man fest: Höhere Temperaturen wirken sich negativ auf die Eigenschaften des Permanentmagneten aus. Werden Temperaturlimits überschritten so führt dies zu einer Schwächung der Permanentmagnete.

Um Wirkungsgrade und Leistungsdichten zu erhöhen, ist eine Reduktion der Rotortemperaturen in vielen Fällen zwingend notwendig. Zum einen kann dies durch eine verbesserte Kühlung erfolgen, was rotorseitig durchaus eine Herausforderung darstellt. Zum anderen kann der Wärmeeintrag in den Rotor reduziert werden. Beim Wärmeeintrag in den Rotor spielen neben dem Wärmeeintrag durch Konvektion und Strahlung aus dem Stator auch Rotorverluste eine Rolle. Bei permanentmagneterregten Synchronmaschinen sind an dieser Stelle insbesondere Verluste durch Nutharmonische, Wicklungsharmonische und umrichterbedingte Verluste zu nennen. Letztere sind in vielen Fällen die größte rotorseitige Verlustquelle bei permanentmagneterregten Synchronmaschinen. Während eine Reduktion der umrichterbedingten Verluste durch Verwendung einer Motordrossel oder durch Multilevel-Umrichter durchaus möglich ist, werden meist konstruktive Maßnahmen am Rotor vorgenommen. Dazu gehören eine verstärkte Blechung des Rotors und die Segmentierung der Permanentmagnete. In besonderen Fällen kann auch eine leitfähige schirmende Hülse auf dem Rotor hilfreich sein.

## MAGNET-RECYCLING IST NACHHALTIG

Aktuelle Untersuchungen der Hochschule Pforzheim haben gezeigt: Ein Recycling von segmentierten Magneten ist derzeit nicht möglich. Organische Rückstände des Segmentierungsklebers wirken sich so negativ auf die magnetischen Eigenschaften des recycelten Materials aus, dass eine ausreichende Qualität des Recyclingmaterials nicht gewährleistet werden kann. Angesichts dieser Herausforderungen für eine kreislauforientierte Wirtschaft bieten sich jedoch aussichtsreiche Alternativen wie die neuartigen Snakeline-Magnete an.

Die Forschungsarbeit von Bomatec erstreckt sich zudem auf umweltfreundliche und energieeffiziente Produkte. Vor dem Hintergrund des von der EU-Kommission verabschiedeten Critical Raw Materials Acts kann die Snakeline-Technologie einen wichtigen Beitrag zu einer grünen Kreislaufwirtschaft leisten.

In diesem Zusammenhang konzentriert sich ein Konsortium aus Industriepartnern und Forschungseinrichtungen auf den Aufbau einer Kreislaufwirtschaft für Seltenerdminerale, die ein wesentlicher Bestandteil vieler Alltagsprodukte und Zukunftstechnologien sind. Die Mitglieder nutzen hierfür das HPMS-Verfahren (Hydrogen Processing of Magnet Scrap). Ungefüllte Snakeline-Magnete könnten diese Herausforderungen meistern: Denn bereits in der Designphase konstruiert Bomatec die Magnete kundenspezifisch und recyclinggerecht.

## MIT MAGNETEN ZUKUNFT GESTALTEN

Bomatec ist ein zuverlässiger Partner für Hightech-Produkte und Innovationen in der Magnettechnik – für Anwendungen in Automotive, Medizintechnik, E-Mobility, Erneuerbare Energien oder der industriellen Automation. Zu der Diversifikationsstrategie des Unternehmens gehört auch der Ausbau der Präsenz in Asien, insbesondere in Malaysia, da sich der Inselstaat in den letzten



Der Serpentinausschnitt des Snakeline-Magneten erzeugt zwei Dimensionen isolierender Linien im Teil, was eine Wirbelstromreduzierung bewirkt

Jahren zu einem aufstrebenden Zentrum für Technologie und Innovation entwickelt hat. Mit einer wachsenden Zahl von Ingenieuren und Technikern und einem günstigen Geschäftsumfeld ist das Land zu einem attraktiven Ziel für Unternehmen geworden, die ihre Präsenz in der Region ausweiten möchten. Zusätzlich zu dieser Diversifizierungsstrategie verfügt Bomatec über umfangreiche Expertise in der Montage von Magnetassemblies sowie in der Herstellung von kunststoffgespritzten Magneten.

Mit seiner 30-jährigen Erfahrung in der Magnettechnologie ist Bomatec in der Lage, hochwertige und maßgeschneiderte Lösungen für die Magnetherstellung anzubieten. Von der Konzeptualisierung bis zur Umsetzung arbeitet das Unternehmen dabei eng mit Kunden zusammen, um deren spezifischen Anforderungen zu erfüllen und innovative Lösungen zu entwickeln. Diese Expertise in der Magnetmontage ergänzt die Unternehmensstrategie in Malaysia und stärkt seine Position als Anbieter von Magnettechnologien weltweit.

Bilder: Bomatec

[www.bomatec.com](http://www.bomatec.com)

### DIE IDEE



„Durch den Einsatz von Dauermagneten mit der Snakeline-Technologie der Firma Bomatec gelang es der Firma Fischer ihre Hochleistungs-Sägemotoren zu verbessern. Mit der Reduzierung der Verluste im Dauermagnet konnte eine stabilere Temperaturentwicklung auch im Überlastfall erreicht werden. Somit kommt es bei starker Überlast des Motors nicht zur Entmagnetisierung der Dauermagneten, wodurch ein großer Arbeitsbereich des Sägemotors garantiert werden kann.“

Johannes Söhner, Fischer  
Elektromotoren GmbH, Billigheim

FÖRDERN UND TRANSPORTIEREN

# OPTIMIERT FÜR EIN EFFIZIENTES SCHÜTTGUT-HANDLING

Sand über einen Gurtförderer, Getreide mit einem Becherwerk zu transportieren: An die Antriebstechnik stellt dies hohe Anforderungen. Die Motorleistung, Energieeffizienz und anspruchsvolle Umgebungsbedingungen sind zu berücksichtigen. Darüber hinaus gelten nicht selten spezielle Hygieneanforderungen, wie etwa in der Lebensmittelindustrie. Einer der weltweit größten Hersteller von Getriebemotoren zeigt, was passgenaue Antriebslösungen im Schüttgut-Handling leisten können.

**Jörg Niermann**, Marketingleiter,  
Nord Drivesystems, Bargteheide

**E**s gehört neben Stückgut zu den Hauptkategorien in der Logistik und macht einen nicht unbeträchtlichen Anteil der Waren auf Straße, Wasser und Schiene aus: Schüttgut. Unter Schüttgut versteht man jede Art von loser Ware, die geschüttet werden kann. Dazu gehören Baustoffe wie Sand, Kies und Zement, aber auch Rohstoffe wie Kohle, Erze und Salze sowie Lebensmittel wie Getreide, Zucker und Mehl.

Allein die Vielfalt der Stoffe macht deutlich: Schüttgut stellt besondere Anforderungen an den Transport und die Intralogistik. Für die verschiedenen Arten des Schüttgut-Transports bietet Nord Drivesystems maßgeschneiderte Antriebslösungen. Ob es um das Lagern, Fördern, Wiegen und Dosieren oder das Be- und Entladen geht – der Spezialist unterstützt Anlagenbetreiber mit optimierten Antriebslösungen. Dabei profitieren Kunden auch von dem fundierten Anwendungs-Know-how und dem weltweiten technischen Support.

## GURTFÖRDERER, BECHERWERK UND CO.

Drei Transportsysteme sind im Schüttgut-Handling besonders relevant: Gurtförderer, Becherwerke und Schneckenförderer. Im Folgenden soll näher auf die spezifischen Vorteile dieser Fördertechnologien eingegangen werden.

Gurtförderer ermöglichen den wirtschaftlichen Transport von großen Massen über lange Distanzen von bis zu mehreren Kilometern. Endlos umlaufende Fördergurte, die auf Tragrollen laufen, dienen dabei gleichzeitig als Trag- und Zugmittel. Die Bänder können horizontal, steigend oder fallend angeordnet sein.

Zum vertikalen Transport von Schüttgütern über große Förderhöhen werden Becherwerke (Elevatoren) eingesetzt. Das Schüttgut wird in Elevatorbechern zumeist senkrecht, in besonderen Fällen auch leicht geneigt gefördert. Gezogen werden die Becher von einem endlosen Gurt.



Eine kostengünstige und zuverlässige Lösung zum Fördern und Dosieren von Schüttgut sind Schneckenförderer. Sie können auch bei hohen Massenströmen unter rauen Bedingungen eingesetzt werden. Das grundlegende Prinzip basiert auf einer rotierenden, in einem U-Profil oder einem geschlossenen Zylinder gelagerten Schraubenwelle. Dadurch kann das Schüttgut über eine bestimmte Distanz horizontal, vertikal oder schräg transportiert werden. Die Rotation erfolgt durch energieeffiziente, direkt montierte Antriebe, die im Vergleich zu den herkömmlichen Bandantrieben weniger Reibverluste aufweisen. Aufgrund der speziellen Konstruktion der Schneckenförderer kann das Material bereits beim Transport genau dosiert, gemischt, getrocknet, gekühlt oder erhitzt werden.

Für alle diese Transportsysteme bietet Nord maßgeschneiderte Antriebe an. Der Antrieb muss dabei anwendungsspezifisch ausgelegt werden – im Hinblick auf die gewünschten Materialfördermengen und -eigenschaften sowie die Umgebungs- und Betriebsbedingungen. So wird sichergestellt, dass das Antriebssystem optimal auf die Anwendung abgestimmt ist. Unterschiedliche Schüttgüter erfordern dabei unterschiedliche Konstruktionen, die auf kundenindividuelle Antriebe angewiesen sind. „Mit unserer Erfahrung und Branchenkenntnis können wir hier unsere Kunden bestmöglich unterstützen“, betont Gernot Zarp, Geschäftsführer Vertrieb bei Nord.

## ROBUSTE TECHNIK FÜR HOHE ANSPRÜCHE

Die Schüttgutindustrie ist von anspruchsvollen Umgebungsbedingungen geprägt, darunter große Temperaturschwankungen, abrasive Umgebungsmedien oder raue Betriebsbedingungen. Hier eingesetzte Antriebssysteme müssen daher entsprechend widerstandsfähig sein.

Bei Anwendungen, bei denen es zur Entwicklung brennbarer Stäube kommt, besteht außerdem Explosionsgefahr. Spezielle Ausführungen von Motoren und Getriebemotoren mit Explosionsschutz stehen hierfür im Portfolio von Nord zur Verfügung. Bei Anwendungen im Lebensmittelbereich werden außerdem besondere hygienische Anforderungen gestellt.

Neben der verlangten Robustheit sollen Antriebe im Schüttgut-Handling außerdem möglichst energieeffizient arbeiten. Sie sollen leicht zu warten sein, sehr zuverlässig arbeiten und eine lange Lebensdauer erreichen.

## ALLES AUF EINANDER ABGESTIMMT

„Um für diese sehr unterschiedlichen Anforderungen Antriebssysteme zusammenstellen zu können, greifen wir auf unseren umfangreichen Baukasten zurück“, so Zarp. Dieser umfasst Komponenten wie Frequenzumrichter, Motoren, Getriebe, Kupplungen und Bremsen. Dazu gehören auch Lüfter, Fundamentrahmen und Rücklaufsperrn. Alle Komponenten werden für die Lösung individuell aufeinander abgestimmt.

Basis für viele Anwendungen ist ein Getriebe aus dem umfangreichen Portfolio der Maxxdrive-Industriegetriebe. Die grundsätzlich in einteilige Blockgehäuse verbauten Getriebe sind in elf Baugrößen mit Drehmomenten von bis zu 282.000 Nm erhältlich und können im Direktanbau oder IEC-Motoranbau montiert werden. Für kleinere Anwendungen kommen Getriebemotoren zum Einsatz, welche hinsichtlich der Energieeffizienz optimiert sind. Für den Transport von Lebensmitteln gibt es außerdem eine hygienische Ausführung im Washdown-Design.



Industriegetriebemotor im Blockgehäuse als Antrieb eines Gurtförderers

## ENERGIEEFFIZIENT UND ZUKUNFTSSICHER

Antriebe von Nord bieten eine hohe Betriebszuverlässigkeit, eine lange Lebensdauer, einfache Wartungsmöglichkeiten sowie einen niedrigen Energiebedarf. Damit tragen sie dazu bei, die Betriebskosten zu senken und den CO<sub>2</sub>-Ausstoß zu verringern. Die Systemlösungen erfüllen zudem die Anforderungen von Industrie-4.0-Anwendungen und ermöglichen durch die integrierte SPS-Funktionalität ein Condition Monitoring und Predictive Maintenance. Damit erhöhen die Antriebe die Anlagenverfügbarkeit und reduzieren Nebenzeiten.

Bilder: Nord Drivesystems

[www.nord.com](http://www.nord.com)

### DIE IDEE

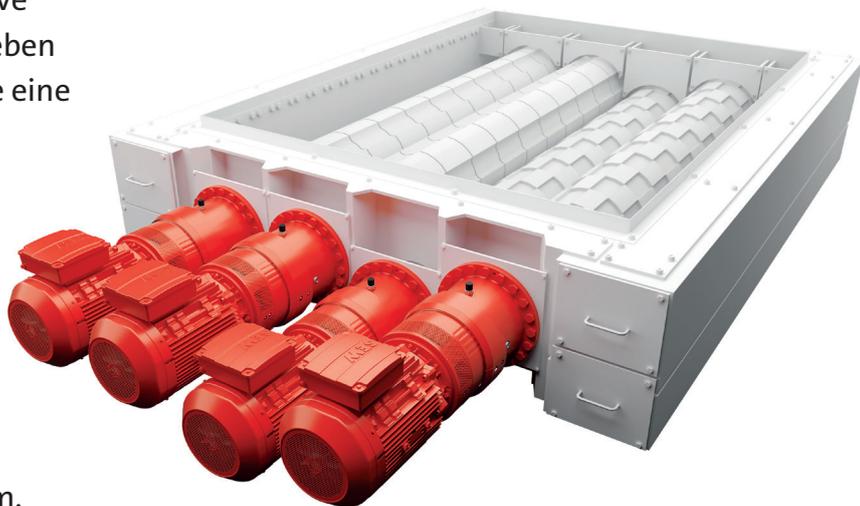


„Im Industry Sector Management von Nord sind wir mit den Anforderungen der Schüttgutbranche bestens vertraut und entwickeln mit unseren Kunden maßgeschneiderte Lösungen, die eine kraftvolle Performance mit einfacher Handhabung und Energieeffizienz verbinden.“

Gernot Zarp, Geschäftsführer Vertrieb, Getriebebau Nord GmbH & Co. KG, Bargteheide

# WALZENBRECHER EFFIZIENT ANTREIBEN

Mit der Generation P2.e hat SEW-Eurodrive sein Portfolio an Industrie-Planetengetrieben erweitert. Kompaktheit, Flexibilität sowie eine hohe thermische Grenzleistung machen die Getriebe zu einer hervorragenden Lösung für dauerbetriebene Schwerlastanwendungen mit beengtem Bauraum. Für Brecheranlagen in der Baustoffindustrie sind solche Antriebslösungen zunehmend gefragt, da sie neben hohen Drehmomenten auch hohe Drehzahlen bereitstellen – und das auf engstem Raum.



Die Planetengetriebe der Baureihe P2.e des Bruchsaler Antriebsspezialisten SEW-Eurodrive ist in den Bau-Größen P.002e bis P.052e für den Drehmomentbereich von 24,8 bis 124 kNm verfügbar. Als zwei- oder dreistufiges und reines koaxiales Planetengetriebe konzipiert, deckt es einen großen Übersetzungsbereich von 15,2 bis 332 ab und macht damit hohe Abtriebsdrehzahlen realisierbar.

Durch die bezogen auf die kompakte Bauform hohe Drehmomentdichte ist der Einsatz des Getriebes in Anwendungen mit beengtem Bauraum möglich. Das trifft beispielsweise auf die Brecher in der Grundstoff- und Bauindustrie zu. Dort sind Brecherwalzen meist sehr eng angeordnet, damit sie Gesteinsbrocken immer mit dem richtigen Materialdurchsatz auf die richtige Körnung zerkleinern können. Das bedeutet: Die zugehörigen Antriebe müssen dicht an dicht mit einem sehr kleinen Bauraum auskommen. Hier sind Antriebslösungen gefragt, die trotz enger Platzverhältnisse die entstehende Wärme abführen können.

Bei der Baureihe P2.e gibt es daher bei der Option Direktmotoranbau einen in die Motorschnittstelle integrierten Lüfter, womit eine hohe thermische Grenzleistung erzielt werden kann. Dieser eigens entwickelte Lüfter saugt radial Luft an, beschleunigt diese und erzeugt einen kühlenden Luftstrom mit hohem Durchsatz. Neben der hohen Leistungsdichte hat die Baureihe somit auch eine herausragende thermische Grenzleistung.

Der Direktanbau der DR.-Drehstrommotoren erspart den sonst üblichen Motoradapterflansch und ist daher besonders platzsparend. Die kombinierbaren Motoren bieten feine abgestufte Leistungsklassen bis 200 kW und eine große Vielfalt an Optionen. Darüber hinaus erfüllt der Motorbaukasten alle vorgeschriebenen Wirkungsgradklassen sowie länderspezifischen Vorschriften. Für den Anbau von NEMA- oder IEC-Motoren stehen optional entsprechende Motoradapter und Antriebsdeckel zur Verfügung.

Die hohe Betriebssicherheit der Generation P2.e hilft Anlagestillstände zu vermeiden. Das Getriebe ist so ausgeführt,

dass zwei Hohlräder in einem gemeinsamen Gehäuse untergebracht sind. Dadurch entfällt eine zusätzliche Flanschverbindung zwischen den Hohlrädern der Zwischen- und Abtriebsstufe, sowie die damit verbundene Dichtfläche. Das Risiko einer möglichen Ölleckage während des Betriebs an diesem hochbelasteten Querschnitt wird dadurch systembedingt ausgeschlossen. Darüber hinaus sorgt die Direktlagerung der Planetenräder für eine hohe Lagerlebensdauer: Die vollrolligen Zylinderrollenlager sind ohne Außenlagerringe direkt in die Planetenringe eingesetzt.

Bild: SEW-Eurodrive

[www.sew-eurodrive.de](http://www.sew-eurodrive.de)

## DIE IDEE



„Die Getriebe der Generation P2.e vereinen Leistungsfähigkeit und Verfügbarkeit mit der Flexibilität des Motorbaukastens von SEW-Eurodrive. In engen Bauräumen, in denen kein Stirnradgetriebe eingesetzt werden kann, ist das Planetengetriebe P2.e die optimale Antriebslösung. Für Kunden ergeben sich so neue Möglichkeiten bei der Optimierung ihrer Anlagen.“

Kai Man, SEW-Eurodrive GmbH & Co KG, Bruchsal

Christian Rüttling, SEW-Eurodrive GmbH & Co KG, Bruchsal

## LÖSUNGEN FÜR DIE MOBILE ELEKTRIFIZIERUNG



Schaeffler stellte auf der iVT Expo in Köln sein erweitertes Portfolio für den Off-Highway-Sektor vor. Im Fokus waren Systeme zur Elektrifizierung und Digitalisierung mobiler Land- und Baumaschinen sowie für die Fördertechnik. Die Elektromotoren von Schaeffler bieten als Traktionsantrieb oder Nebenaggregat in Off-Highway-Maschinen eine hohe Zuverlässigkeit bei gleichzeitiger Wartungsfreiheit.

Die steigende Nachfrage nach Hochvoltsystemen und einem kompakten Design bedient das Unternehmen mit innovativen Lösungen auf Basis der Flachdraht-Wellenwicklung, auch „Wave Winding“ genannt. Durch einen hohen Kupferfüllgrad, reduzierte Eisen- und Magnetverluste und eine verbesserte Wärmeabfuhr wird eine kompakte Bauweise erzielt. Die leistungsstarken Antriebslösungen ermöglichen im Off-Highway-Segment den Umstieg von Verbrennungs- auf Elektromotoren und tragen somit zur CO<sub>2</sub>-Reduktion bei. [www.schaeffler.com](http://www.schaeffler.com)

## PRÄZISIONSGETRIEBE IN MASS CUSTOMISATION



Mass Customisation kombiniert die Vorteile von Individualisierung und Massenproduktion. Das Ergebnis sind maßgeschneiderte Lösungen mit einem hohen Maß an Performance, Wirtschaftlichkeit und Verfügbarkeit. Nabtesco hat sich das Produktionskonzept zu eigen gemacht. Insbesondere die Getriebe der Baureihen Neco (Servogetriebe mit Vollwelle), Neco HT (High-Torque-Getriebe für den Schwerlasteinsatz) und RD-C (Hohlwellengetriebe mit drei Anbauvarianten) verfügen über ein hohes Maß an Modularität.

Durch Kombinationen standardisierter Elemente entsteht ohne viel Aufwand eine Vielzahl an definierten Interfaces, die ein breites Spektrum an Anforderungen abdecken. Das ermöglicht eine große Flexibilität bei der Motoranbindung, eine wirtschaftliche Serienfertigung sowie eine hohe Verfügbarkeit mit schnellen Lieferzeiten. [www.nabtesco.de](http://www.nabtesco.de)

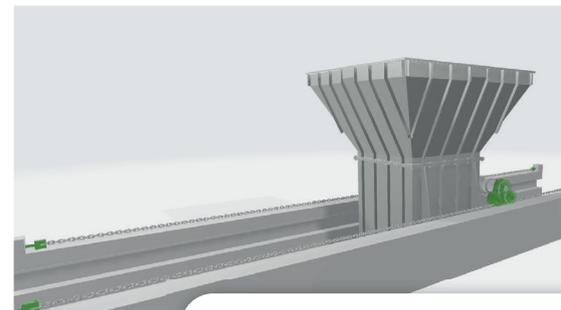
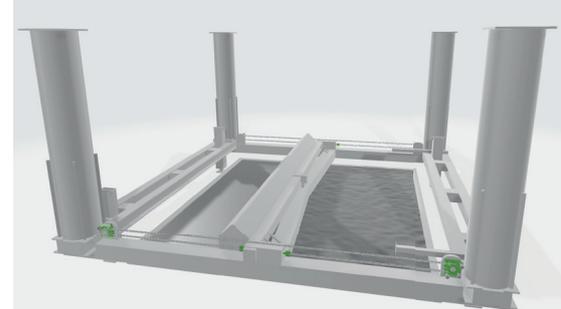
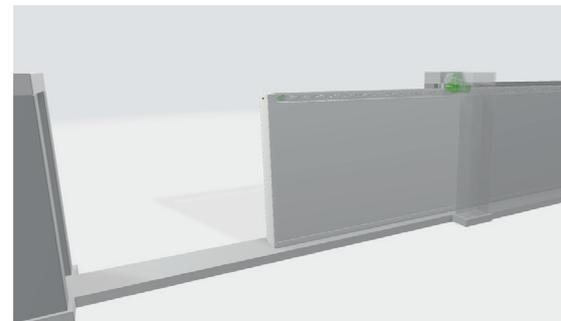
## PRÄZISE POSITIONSMESSUNG AUF ENGSTEM RAUM



Der Bauraum in Automatisierungsanwendungen wird kontinuierlich kleiner. Antriebstechnik-Hersteller stellt diese Entwicklung vor große Herausforderungen, denn die Industrie fordert immer kompaktere Motoren. Mit dem neuen Absolutwertgeber AcuroAM34 von Hengstler soll Bauraum kein Problem mehr sein:

Der hochgenaue Encoder hat eine Einbautiefe von weniger als 20 mm und ermöglicht somit die Konstruktion von Servomotoren mit sehr geringen Abmessungen. Mit einer Positioniergenauigkeit von  $\pm 120$  Winkelsekunden eignet sich der Absolutwertgeber für den Einsatz in Servoantrieben. Der Drehgeber ist darüber hinaus lagerlos und erzeugt kaum Eigenwärme. Servomotoren mit diesen Encodern können daher im höchsten Drehzahlbereich betrieben werden. Die Auflösung des AcuroAM34 beträgt 16 bis 20 Bit in der Singleturn-Ausführung und 12 Bit in der Multiturn-Variante. [www.hengstler.de](http://www.hengstler.de)

## Zuverlässige Antriebslösung für anspruchsvolle Anwendungen



Unsere Antriebstechniken setzen neue Maßstäbe in der Industrie und bieten Ihnen:

- ✓ Höchste Belastbarkeit und Langlebigkeit
- ✓ Präzise Fertigung für maximale Effizienz
- ✓ Innovative Lösungen für verschiedenste Anwendungen

☎ +49 7361 504-1457

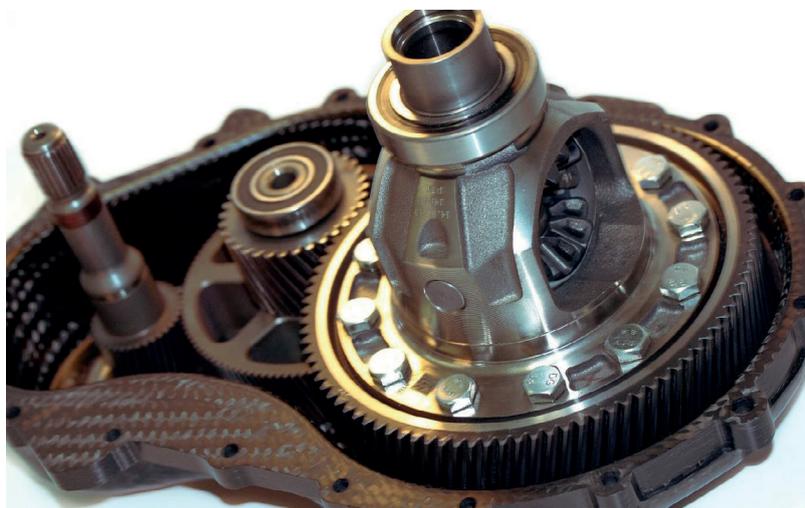
✉ [salesfa@rud.com](mailto:salesfa@rud.com)

🌐 [www.rud.com](http://www.rud.com)



## VERZÄHNUNGSTECHNIK

# FUTURE-E-DRIVE: DAS GETRIEBE DER ZUKUNFT IN DER VALIDIERUNG



Mehrere Fraunhofer-Institute arbeiten gemeinsam an einem innovativen Getriebekonzept für Elektrofahrzeuge der nächsten Generation. Im Fokus steht die Senkung der Umweltbelastung. Die vorliegende Publikation stellt das Projekt der Validierung einer schmiermittelfreien Alternativverzahnung für Hochdrehzahl-anwendungen anhand eines zweistufigen Stirnradgetriebes mit integriertem E-Motor vor. Dabei spielt die Technologie des Verzahnungswalzens eine wichtige Rolle.

## EINLEITUNG UND MOTIVATION

Die heutige Mobilität hat sich dem Ziel verschrieben, die Abhängigkeiten von weltweiten Erdöllieferungen zu minimieren und zugleich den weiteren Rohstoffeinsatz zu begrenzen. Das hier dargestellte Forschungsvorhaben leistet exakt dazu einen wichtigen Beitrag, indem ein möglichst schmiermittelfreier Betrieb von Hochdrehzahl-E-Getrieben samt dazu adaptiertem Getriebe- und Gehäuselayout aufgezeigt wird. Ergänzend zum ölfrei laufenden E-Getriebe wurden auch die Aspekte des Leichtbaus sowie der Getriebeakustik betrachtet. Neben diesen Optimierungen am „Endprodukt“ flossen auch Aspekte bezüglich ressourceneffizienter Fertigung ein. Konkret wurde der Zerspanungsprozess zur Verzahnungsherstellung durch ein Umformverfahren ersetzt. Dadurch wurde Material eingespart und die CO<sub>2</sub>-Bilanz bei der Stahlherstellung positiv beeinflusst.

Kerngedanke des Forschungsprojektes war die Erstellung eines voll funktionsfähigen Demonstrators, an welchem sich die eingangs formulierten Ansätze an den realen Herausforderungen messen können. Als Ausgangsbasis diente dazu ein e-Golf-Getriebe der zweiten Generation. Dabei handelt es sich um ein zweistufiges Stirnradgetriebe mit integriertem E-Motor.

Zum Projektstart wurde ein solches Getriebe aus der aktuellen Serienproduktion am Akustik-Getriebeprüfstand des Fraunhofer IWU hinsichtlich der Kriterien Wirkungsgrad und Akustik umfänglich analysiert. Ein wesentliches Vorhabenziel war die Gewichtsreduktion um mind. 15 %. Weiterhin sollte, bis auf eine zulässige Abweichung von ca. 5 %, die Serienvergleichswerte hinsichtlich Wirkungsgrad und Festigkeit (Dauerlaufversuche) unter gleichen Prüfstandrandbedingungen erreicht werden. Eine weitere Forderung war, dass sich die Schallabstrahlung des Getriebes trotz Trockenlaufes nicht verschlechtert.

Die Autoren: Jan Bräunig, (IIS EAS), Mike Lahl, Florian Berthold, (IWU), Frank Kaulfuß, Volker Weihnacht (IWS), Michael Wilhelm, Steffen Reuter (ICT)

Der Getriebedemonstrator wurde geometrisch so entworfen, dass dieser final in ein e-Golf eingebaut werden kann. Somit konnten auch Akustikmessungen und Testfahrten am Gesamtfahrzeug durchgeführt werden.

Die wichtigsten im Entwicklungsprozess gewonnenen Erkenntnisse samt finaler Validierungsergebnisse werden in dieser Publikation ergänzend zum Beitrag „Future E-Drive: Das E-Getriebe von morgen!“ aus der Antriebstechnik 2021/09 detailliert [1].

## NEUER ANSATZ DURCH VERKNÜPFUNG VON TECHNOLOGIEN

Die grundlegende Motivation im Projektrahmen war, das (E-)Getriebe durch den Einsatz geeigneter Technologien ohne Schmierstoff betreiben zu können. Dazu ergibt sich für die unterschiedlichen Teildisziplinen und -komponenten neues Optimierungspotenzial. Dies kann am Beispiel des einzusetzenden Verzahnungswalzens (VZ) erläutert werden. In der aktuellen Serienfertigung von PKW-Getrieben wird dieses Verfahren bislang noch nicht für Laufverzahnungen eingesetzt, da bislang die erforderlichen Zahnhöhen walztechnisch nicht zu realisieren waren. Neben der ressourceneffizienten Fertigung durch Vermeidung von Materialverlusten weisen die Oberflächen gewalzter VZ optimale Randbedingungen für den anschließenden Beschichtungsprozess auf, welche wiederum die Ausgangsbasis für den schmiermittelfreien Betrieb darstellen. Als weitere Vorteile der walzenden Herstellung sind die Steigerung der Zahnfußtragfähigkeit sowie die verkürzten Herstellungszeiten im Vergleich zu spanend gefertigten VZ zu nennen.

Ein weiterer Aspekt zur Ausnutzung der oben genannten Potentiale ist die Funktionstrennung des Getriebegehäuses in einen Rahmen zur Aufnahme der Wellenlager und einer Wandung, was ebenfalls noch nicht in der Serien- und Prototypenproduktion Einsatz findet.

Zusammenfassend ist der Schlüssel zum Erfolg die Zusammenführung bzw. Kombination neuer Technologien nach **Bild 01**, auf welche folgend im Detail eingegangen wird.

## BESCHICHTUNGS-TECHNOLOGIE

Die Reibung in technischen Systemen ist abhängig von der Materialpaarung, der Bewegungsart und der vorhandenen Schmiermittel. Dabei neigen die metallisch dominierten Bindungen im ungeschmierten Kontakt zu hohen Reibwerten aufgrund der auftretenden Kaltverschweißungen an den Rauheitsspitzen. Kovalent gebundene Materialien zeigen diesen Effekt nicht und sind potentiell ohne Schmierstoff einsetzbar [3]. Trockenschmierstoffe wie MoS<sub>2</sub> und Kunststoffe wie PTFE ermöglichen geringe Reibwerte aufgrund ihrer Eigenschaft, die Reibpartner voneinander zu trennen. Das funktioniert nur bei geringen Flächenpressungen gut.

Tetraedrisch amorphe Kohlenstoffschichten (ta-C) sind eine Variante der diamantartigen Kohlenstoffschichten (diamond-like carbon - DLC) und bereits in verschiedenen Anwendungen auf Gleitkomponenten verbreitet. Ihr Vorteil resultiert aus der einzigartigen Kombination von hoher Härte und niedriger Reibung unter ungünstigen Schmierbedingungen oder sogar ohne Schmierung (Bild 02, Bild 03). So werden auf beanspruchten Bauteilen, z. B. Einspritz- und Ventiltriebskomponenten, Kolbenringen oder Kolbenbolzen in Automobilanwendungen inzwischen lebensdauerstabile ta-C-Schichten eingesetzt. Die industrielle Herstellung von ta-C erfolgt beispielsweise mit dem Laser-Arc-Verfahren. Damit lassen sich Schichtdicken > 10 µm bei sehr hohen Schichthärten > 50 GPa prozesssicher erreichen. Voruntersuchungen bescheinigen diesen Schichten geringe Reibwerte und Verschleißkoeffizienten im ungeschmierten Zustand schon bei moderaten Luftfeuchtigkeiten. Das Wasser in der Luft passiviert dabei die Oberfläche des ta-C, was bereits als Schmierfilm ausreicht.

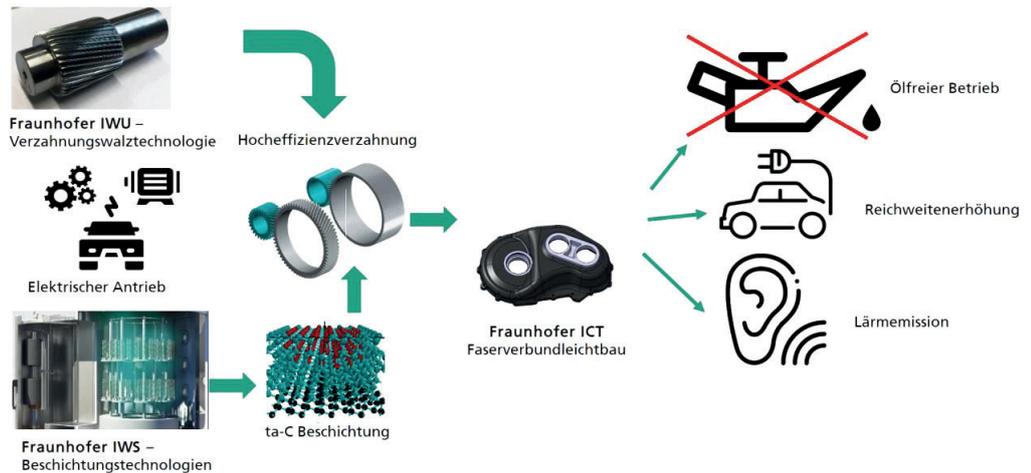
Die Zahnradkontur stellt eine besondere Herausforderung für die haftfeste, eigenschaftshomogene Beschichtung dar. Somit bieten Low-Loss-Verzahnungen die optimale Geometrie für die Erprobung ta-C-beschichteter Zahnräder im Trockenlauf.

## TECHNOLOGIE DES VERZÄHNUNGSWALZENS

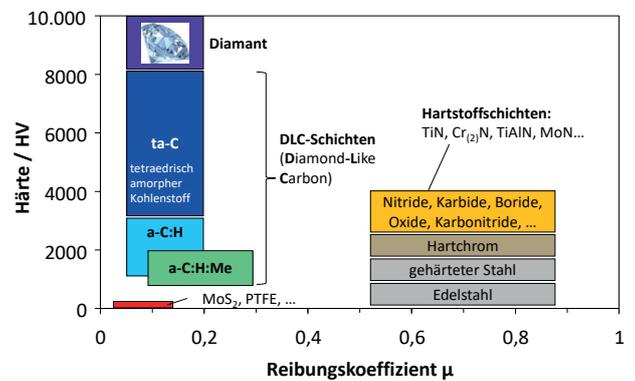
Das Verzahnungswalzen bietet eine innovative Fertigungsmöglichkeit, materialeffizient und sehr produktiv Verzahnungen umformtechnisch herzustellen. Mittels dieser Umformverfahren werden nahezu ohne Materialverlust und bei verbesserten Tragfähigkeitseigenschaften Verzahnungen walztechnisch hergestellt [7]. Das sogenannte Profil-Querwalzen ist ein inkrementelles Umformverfahren, welches verfahrensbedingt zu hohen kumulierten Umformgraden in der Randschicht der Verzahnungskontur und dabei zu einer Kornfeinung bzw. einem konturangepassten Faserverlauf des Zahnradwerkstoffes führt [9]. Die dabei erzielbaren Tragfähigkeitsverbesserungen liegen bei einer Steigerung von mindestens 10 % in der Zahnfußfestigkeit [2] und tragen unter anderem zu einer über weite Lastbereiche stabilen Verzahnungsakustik bei [8]. In der Vergangenheit konnten vielfältige Zahnradgeometrien auf Getriebewellen sowie als Losrad umformtechnisch realisiert werden. Das Verzahnungswalzen kann sowohl bei Raumtemperatur für Einsatz- und Vergütungsstähle (C < 0,6 %) als auch bei Temperaturen bis 1000 °C für höherfeste Werkstoffe angewandt werden.

Neuste Entwicklungen auf dem Gebiet des Kaltumformens von Verzahnungen haben gezeigt, dass neben Doppelschräg- auch

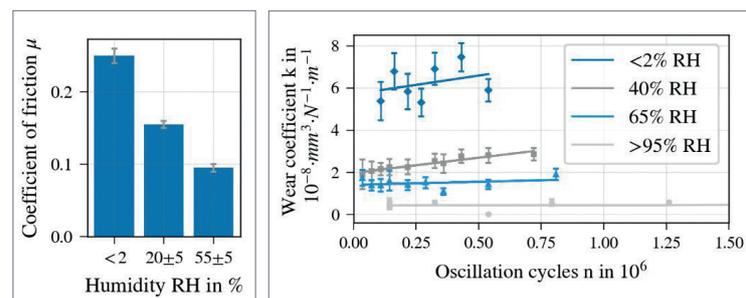
### 01 Neue Ansätze in Kombination neuester Technologien



### 02 Reibwert und Härte im ungeschmierten Zustand



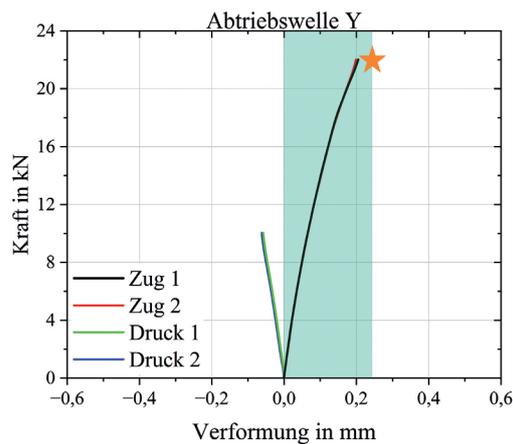
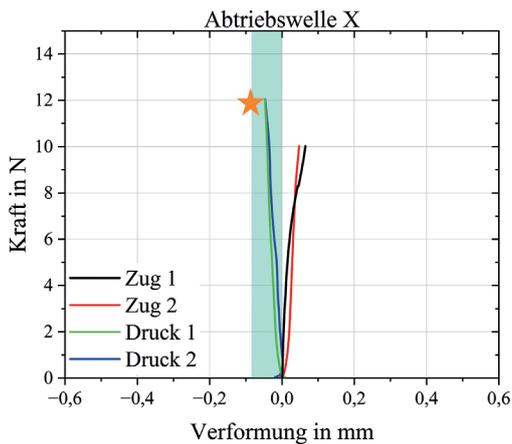
### 03 Reibwert und Verschleißkoeffizient für ta-C im ungeschmierten Zustand [4]



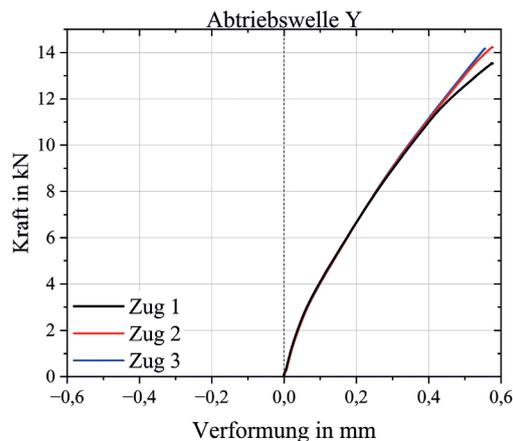
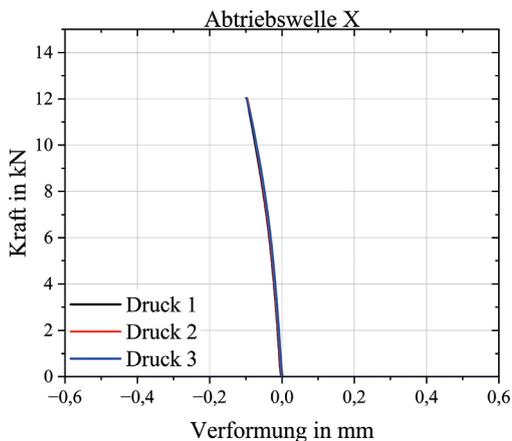
### 04 FutureDrive Demonstratoren für die Validierung im Versuchsfahrzeug

05 Ergebnisse der mechanischen Prüfung der Gehäusedemonstratoren an der Abtriebswelle

Hochsteife Variante

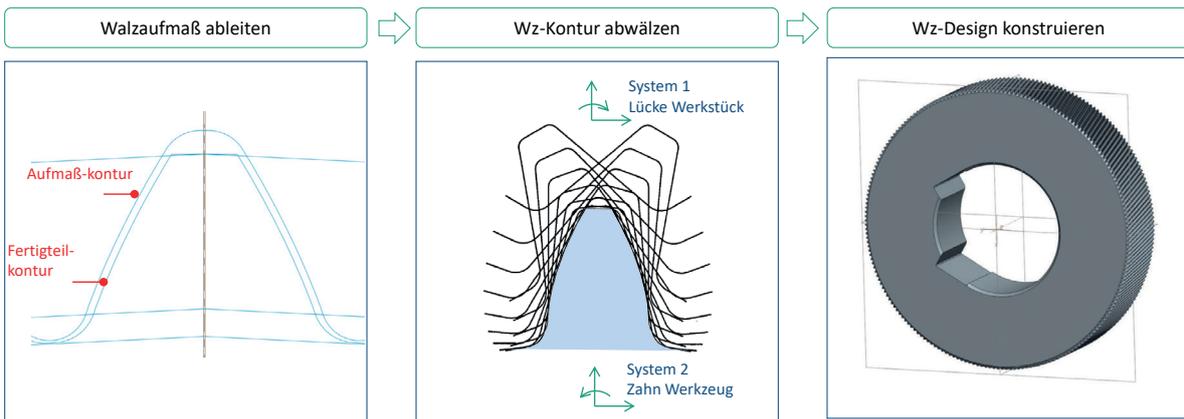


Skelett Variante



06 Verzahnungswalzen einer Getriebestufe – Auslegung der Walzwerkzeuge

- Route 1: Wz-Design für Vorbearbeitung mit Aufmaß (finales Schleifen)
- Route 2: Wz-Design für Fertigbearbeitung



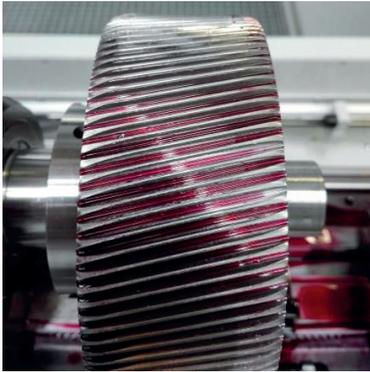
Pfeilverzahnungen kostengünstig, ressourcenschonend und produktiv herstellbar sind.

VERZAHNUNGSOPTIMIERUNG DURCH LOW-LOSS-ANSATZ

Mittels des Einsatzes sogenannter Low-Loss-Verzahnung gelingt es auf Basis dieser etwas „unüblichen“ Verzahnungsgeometrie den Gleitanteil im Kontaktbereich deutlich zu reduzieren. Zum anderen bewirkt die deutliche Verringerung der Zahnkopfhöhe eine weitaus bessere Zugänglichkeit der Zahnflanken für die Be-

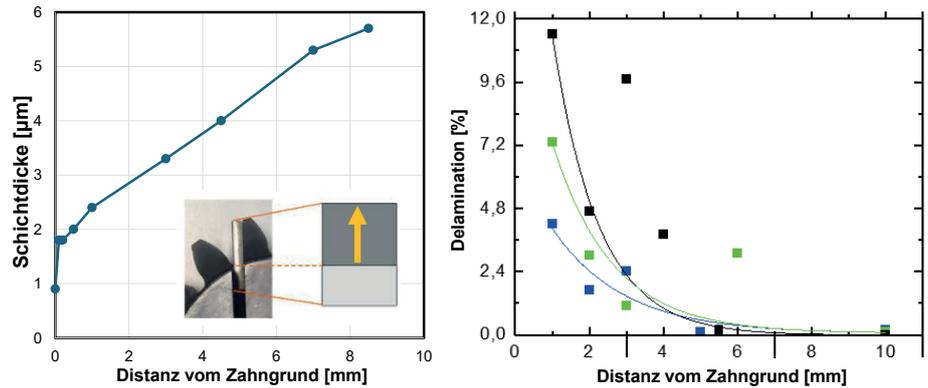
schichtung. Grundgedanke ist die Konzentration des Zahneingriffes um den Wälzkreisdurchmesser, was zugleich Gleitgeschwindigkeit und somit Reibungsverluste deutlich verringert [5]. Die Verwendung einer solchen Verzahnung hat somit mehrere entscheidende Vorteile über das Projekt ölfrei laufende Hochdrehzahl-E-Getriebe hinaus:

- Die „offene“ Geometrie ist hervorragend geeignet für das ressourceneffiziente umformende Herstellungsverfahren „Verzahnungswalzen“.
- Das Walzverfahren erzeugt wiederum „pressblanke“ Oberflächen, die ideal beschichtet werden können.



07 Walzen des Zwischenrades

08 links: Schichtdickenverteilung über die Zahnflanke; rechts: Delamination in der Ritzspur in Abhängigkeit des Abstands vom Zahngrund; Referenz (schwarz), 1. Iteration (grün), 2. Iteration (blau)



- Bzgl. Beschichtung können diese mit deutlich besserer Qualität auf den tribologisch belasteten Flächen abgeschieden werden, da nur eine geringe geometrische Verschattung im Beschichtungsprozess (Vgl. Hochverzahnung) auftritt.
- Die deutliche Zunahme der Zahnbreite verringert die Belastung eines Zahnes (Hertz'sche Pressung), was die Haltbarkeit der Beschichtung generell verlängert.
- Diese Verzahnungsgeometrie erreicht aus geometrischer Sicht den max. Wirkungsgrad auch im Trockenlauf, da sich der Zahn-eingriff möglichst nah um den Wälzkreisdurchmesser konzentriert und so die wirkungsgradmindernden Gleitanteile (vgl. Hochverzahnung) minimiert werden.

### LEICHTBAUANSATZ FÜR GETRIEBEGEHÄUSE

Um hinsichtlich des Getriebegehäuses den Leichtbau zu realisieren, wurde der konzeptionelle Fokus auf die tragende Rahmenstruktur gelegt, da die Abtragung der entstehenden Kräfte wichtiger ist als die umhüllende Funktion der Wandung. Der Grundgedanke des FutureEdrive-Gehäuses besteht somit in der Trennung der Funktionen „Kräfte aufnehmen“ und „Abdichten“ gegenüber möglichen Störeinflüssen. Auf Basis des durch den Demonstrator definierten Bauraums wurden Topologieoptimierungen durchgeführt, um die Hauptlastpfade in der Struktur zu identifizieren. Entsprechend dieser Lastpfade wurde eine lasttragende Skelettstruktur abgeleitet.

Ein Ziel des Vorhabens war eine möglichst seriennahe Fertigungsumsetzung in einem neuartigen hybriden Fertigungsprozess mit Fokus auf bestmögliche Bauteileigenschaften (mechanisch, thermisch, akustisch). Dafür wurden zunächst die Bauteilanforderungen aus Prozesssicht anhand folgender Punkte definiert: Steifigkeit, Einsatztemperatur, Toleranzen, Wärmeausdehnung, Grenzfläche zu Motorseite und Abdichtung, Korrosionsbeständigkeit, Anbindungspunkte für Peripherie, Großserientauglichkeit/Zykluszeit des Fertigungsverfahrens. Basierend darauf wurde eine Vielzahl an Fertigungsverfahren und mögliche Verfahrenskombinationen für die Herstellung der Funktionsdemonstratoren evaluiert.

Als potenziell einsetzbare Verfahren wurden das Prepreg Hand Layup [Verfahren 1] und die Verfahrenskombination aus Towpreg Skelett (vorimprägnierte Endlosfaserverstärkungen) mit Sheet Molding Compound (SMC) Substruktur für die Ausbildung von Versteifungsrippen zur Aufnahme axialer Kräfte [Verfahren 2] ausgewählt. Bei der zweistufigen Verfahrenskombination von Towpreg-Skelett mit SMC Substruktur sind die Hauptlastpfade durch eine endlosfaserverstärkte Wickelstruktur abgebil-

det, die es ermöglichen die Kräfte von den Lagerstellen über die Gehäusefläche bis in das gegenüberliegende Motor-Gegengehäuse einzuleiten. Als Substruktur wird in einem zweiten Prozessschritt SMC im Fließpressprozess zur Aufnahme axialer Lasten, der Einbettung der Wickelstruktur und zur Abdichtung nach außen eingesetzt.

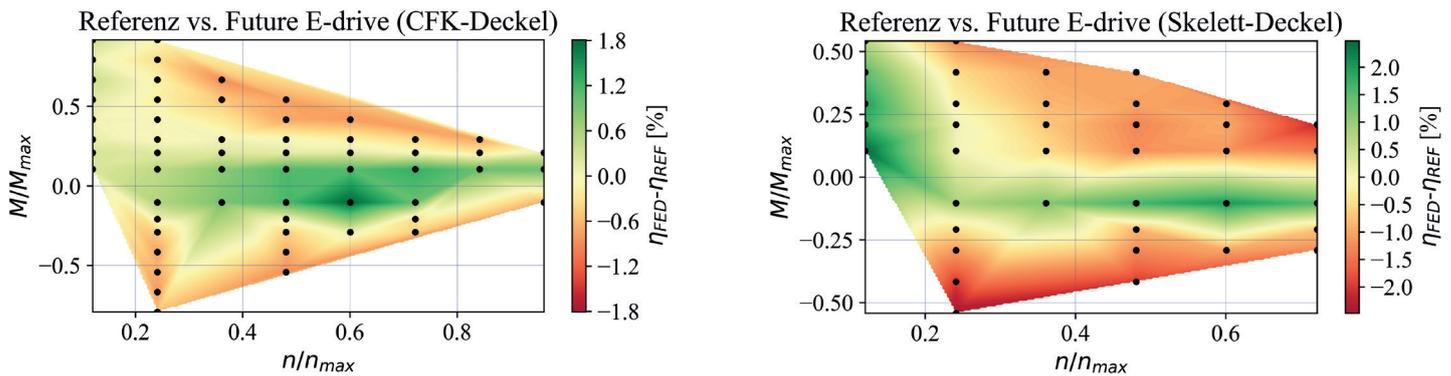
Für die Validierung des FutureEdrive auf dem Prüfstand und im Fahrzeug wurde das Prepreg Handlayup Verfahren zur Fertigung der Demonstratoren gewählt, da sich dieses besonders für eine Umsetzung von Demonstratoren mit geringen Stückzahlen und niedrigem Automatisierungsgrad eignet und durch geringe Kosten im Vergleich zur großserientauglichen Verfahrensvariante 2 (Towpreg – SMC) auszeichnet.

Bei der Detailauslegung des FutureEdrive-Gehäuses wurden die Lagerreaktionskräfte im Model an den Lagerstellen über eine Flächenkraft aufgebracht. Dies wurde sowohl für den Antriebsbetrieb, wie auch für den Schubetrieb (Rekuperation) betrachtet, da durch die Schrägverzahnung und Lagerungsgestaltung die Kräfte nicht symmetrisch wirken. Da die Referenzverzahnung im gewählten Demonstrator durch ein Ölbad stetig gekühlt wird, dies aber bei der ölfrei laufenden Low-Loss-Verzahnung nicht gegeben ist, wurde zudem eine thermische Analyse durchgeführt. Dadurch wurde die Wärmeentwicklung im Gehäuse ermittelt, um geeignete Materialien (v.a. Glasübergangstemperatur Tg bei der geplanten Verwendung von duromeren Kunststoffen) für die Matrix und die Schaumstruktur des Gehäuses auswählen zu können.

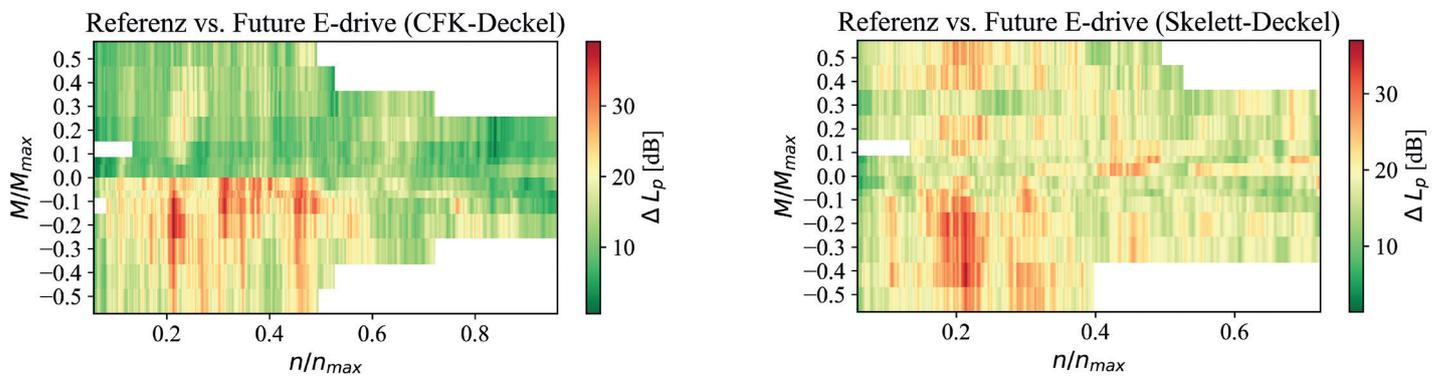
Auf Basis der Berechnungen des Originalgehäuses, der neuen Verzahnung (Low-Loss) und unter Einbeziehung des hoch anisotropen Verhaltens bei faserverstärkten Kunststoffen im Vergleich zu isotropem Verhalten beim Aluminium-Druckgusses der Referenz, sowie den thermischen Belastungen wurde eine neue Gehäusegeometrie generiert. Ziel dabei war es, die Verformung des Referenzgehäuses nicht zu übersteigen. Durch Variation von Material- und Geometriefaktoren konnte eine Lösung entwickelt werden, die ein Verformungsverhalten ähnlich dem Originalgehäuse bei möglichst großer Gewichtseinsparung aufwies.

In Hinblick auf die Projektziele wurden zwei Gehäusevarianten entwickelt, siehe Bild 04. Dabei wurde mit Variante 1 (Bild 04, links) das Ziel verfolgt, ein hochsteifes Getriebegehäuse bei gleichzeitiger Gewichtsreduktion gegenüber dem Referenzbauteil zu realisieren. Durch die hohe Steifigkeit des monolithischen CFK-Aufbaus wird sichergestellt, dass die Verschiebungen der Lagerstellen auf ein Minimum reduziert werden. Somit ergab sich eine optimale Grundlage für die Validierung der neu entwickelten Verzahnung und der Verzahnungsbeschichtung.

**09** Vergleich der betriebspunktabhängigen Wirkungsgrade als Differenzen von Referenz und Future E-Drive mit CFK- und Skelett-Deckel – die Stützstellen der Wirkungsgradbestimmung für die stationären Betriebspunkte sind mit Punkten hervorgehoben



**10** Vergleich der drehzahlabhängigen Schalldrucksummenpegel als Differenzen von Referenz und Future E-Drive mit CFK- bzw. Skelett-Deckel



Variante 2 (**Bild 04, rechts**) verfolgte darüber hinaus das Ziel, die akustischen Eigenschaften des Gehäuses zu optimieren und einen noch höheren Leichtbaugrad zu erreichen. Dies wird einerseits durch die Einbringung einer viskoelastischen Elastomerschicht aus Kraibon® in den Lagenaufbau und als Außenschicht ermöglicht. Diese Schicht nimmt Körperschallschwingungen auf und dämpft diese. Darüber hinaus wirkt das Elastomer ausgleichend bei der Wärmeausdehnung des Gehäuses. Andererseits wurde das Gehäuse der Variante 2 zusätzlich mit offenzelligem Polymerschäum (Polyurethan) innen bis auf die Bereiche der Zahnräder ausgeschäumt. Dies ermöglicht ein vollständiges Verschließen des Skelettbauweise-Gehäuses gegenüber äußeren Einflüssen (z.B. Staubpartikel) und reduziert gleichzeitig den Luftschall im und außerhalb des Gehäuses. Zusätzlicher Aluminiumschaum in den freien Bereichen des Skeletts (von außen sichtbar) sorgt für eine weitere akustische Optimierung und erhöht gleichzeitig die Wärmeleitung vom Gehäuseinneren an die Umgebungsluft.

**TECHNOLOGIETRANSFER IN DIE PRAXIS**

**PART GEHÄUSE**

**Bild 05** zeigt beispielhaft die Ergebnisse der mechanischen Prüfung mit den Verschiebungen der Abtriebswellenlagerung in x- und y-Richtung. Die grün hinterlegten Bereiche stellen die berechnete Verschiebung im Vergleich zu den aufgezeichneten Verschiebungen (Messkurven) am realen Bauteil dar. Die Sterne visualisieren dabei die maximal auftretende Kraft laut Auslegung. Die Verschiebungen an der Abtriebswelle stimmen sehr gut mit der Berechnung überein. Hier treten im gesamten Gehäuse die größten Kräfte mit bis zu 22 kN in y-Richtung auf. Eine Verfälschung der Ergebnisse durch mögliches Setzverhalten der Befestigungspunkte wurde durch Mehrfachmessung ausgeschlossen.

Die hochsteife Gehäusevariante erreicht dabei mindestens die geforderten maximal erlaubten Verschiebungen, wohingegen die Skelett-Variante in y-Richtung eine signifikant höhere Verschiebung zeigt.

**PART VERZÄHNUNGSWALZEN**

Die erste Verzahnungsstufe des FutureEdrive-Getriebedemonstrators besteht aus der Antriebswelle und dem Radkörper der Zwischenwelle. Mittels der Kaltwalztechnologie sollten beide Verzahnungskonturen als Alternativprozess zum Abwälzfräsen umformtechnisch hergestellt. Das Funktionsprinzip des Walzprozesses, besteht aus den Phasen Anwalzen zur Erzeugung der Soll-Zähnezahl, dem Eindringen zur vollständigen Ausformung der Verzahnung und dem Kalibrieren zur Gewährleistung eines konstanten Verzahnungsprofils über dem gesamten Umfang.

Um die entsprechenden Walzwerkzeuge zu entwickeln, wurde zunächst die Sollkontur der Verzahnung mit einem Aufmaß versehen, die resultierende Werkzeugkontur mittels einer Koordinatentransformation abwälzend abgeleitet und das Werkzeug als 3D-Modell konstruiert. Bei der Bestimmung des Werkzeugaußendurchmessers musste der Werkstück-Vorarbeitdurchmesser basierend auf dem Volumen der fertigen Verzahnung (Gesetz der Volumenkonstanz) bestimmt und die dazugehörige Teilung entsprechend der Soll-Zähnezahl ermittelt werden (**Bild 06**). Aus der Teilung und eines zu definierenden Übersetzungsverhältnisses zwischen Bauteil und Werkzeug wurde der Werkzeug-Außendurchmesser bestimmt. Dieser Durchmesser gewährleistet, dass sowohl beim Anwalzen auf die zylindrische Vorform als auch beim Kalibrieren der voll ausgeformten Zahngeometrie jeweils die exakten Teilungen von Werkzeug und Werkstück miteinander abwälzen und somit ein teilungsgenauer Umformprozess garantiert ist.

In **Bild 07** ist das umgeformte Zwischenrad montiert auf einem Spanndorn dargestellt. Die erforderlichen Qualitäten, um die Fertigteilkontur schleiftechnisch nach dem Härteprozess realisieren zu können, sind hinreichend genau.

Nach der umformtechnischen Herstellung der Vorverzahnung erfolgte das Einsatzhärten, das Profilschleifen zur Generierung der Mikrogeometrie und abschließend das Beschichten.

Die Verzahnungen der Getriebestufe 2 auf der Zwischenwelle und dem Antriebsrads wurden durch die Prozessfolge Abwälzfräsen anstatt Kaltwalzen, Einsatzhärten, Profilschleifen und Beschichten gefertigt.

## SCHICHTENTWICKLUNG TROCKENLAUFENDER TA-C-SCHICHTEN

Schwerpunkt der Schichtentwicklung war die Übertragung einer harten ta-C-Schicht, deren Eigenschaften auf einem flachen Referenzprüfkörper optimiert wurden, auf das Zahnrad. Zwei Aspekte standen dabei im Fokus. Einerseits die Schichtdickenverteilung und Struktur und andererseits die Schichthaftung in Abhängigkeit der Position auf der Zahnflanke. Die Untersuchungen erfolgten an einem Modellzahnrad mit Hochverzahnung, wo ein Referenzprüfkörper eine Zahnflanke darstellt. Diese gegenüber Low-Loss verschärfte Geometrie erlaubt präzise Aussagen über die avisierte Anwendung hinaus. Für eine optimale Chargierbarkeit von Zahnradern werden diese gestapelt und der Plasmaeinfall erfolgt senkrecht zum Zahn. Die Abschattung durch die Zähne führt zu einer geringeren Schichtdicke im Zahngrund (**Bild 08 links**).

Die Schichthaftung wurde mittels Ritztest in Abhängigkeit des Abstands vom Zahngrund ermittelt (**Bild 08 rechts**). Für einen direkten Vergleich der einzelnen Messungen bietet es sich aufgrund der unterschiedlichen Schichtdicken an, die delaminierte Fläche zu betrachten [6]. Hier konnte gezeigt werden, dass durch die Anpassung der Ionenvorbehandlungsstrategie (Iteration 1) und zusätzlich der Optimierung der Haftsichtherstellung (Iteration 2) eine haftfeste Beschichtung bis in den Zahngrund gewährleistet ist.

In der Übertragung der Beschichtung wurde immer ein kompletter Getriebesatz beschichtet und anschließend im Getriebe getestet.

## FINALE VALIDIERUNGSMESSUNGEN MIT PROTOTYPENGETRIEBE

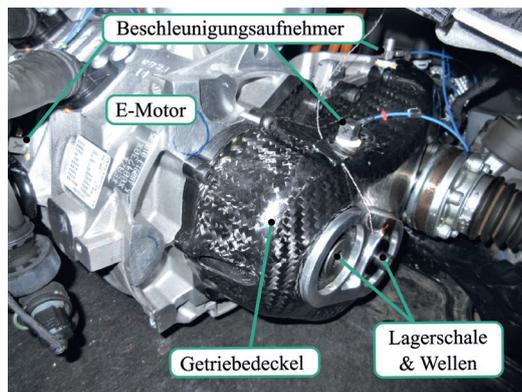
Die neu konzipierten Getriebevarianten wurden im ersten Schritt auf dem Akustik-Getriebe-Prüfstand des Fraunhofer IWU in Betrieb genommen. Die betriebspunktabhängigen Wirkungsgrade des gesamten Getriebes wurden unter stationären Bedingungen (konstante Drehzahl und Drehmoment) mit fünf Wiederholungsmessungen ermittelt. Die Berechnung des Wirkungsgrades erfolgt mittels elektrischer Leistungsmessung auf der DC-Seite und Messung mechanischer Größen an den Lastmaschinen. Die Wirkungsgraddifferenz von Referenzgetriebe zu den Getriebevarianten des FutureEdrive sind in **Bild 09** dargestellt. Dabei zeigen sich deutliche Verbesserungen im Wirkungsgrad von bis zu 1,8 % speziell im Niedriglastbereich, welche auf die Verwendung der Low-Loss-Verzahnung zurückzuführen sind. Bei höheren Drehmomenten weist das FutureEdrive eine Verschlechterung von bis zu 1,0 % auf. Die Wirkungsgrad einbußen können durch ein verformungsbedingtes Kantentragen und eine einhergehende Veränderung der Reib-

verhältnisse begründet werden. Die Einflüsse der abweichenden Lagerkonzepte und variierenden Verlustmomente durch Reibung wurden ermittelt und haben einen geringen Einfluss auf den Gesamtwirkungsgrad. Der Haupteinfluss der abweichenden Wirkungsgrade kann somit auf die unterschiedlichen Verzahnungsgeometrien inkl. Beschichtung sowie Vorhandensein des Schmierstoffs zurückgeführt werden.

Die akustische Charakteristik des Getriebes wurde in Drehzahlhochläufen bei verschiedenen Lastmomenten ermittelt. Die relevanten Größen des Luftschalls und Körperschalls wurden mit dem Akustikmesssystem MKII und Software PAK der Firma Müller-BBM VAS mit drei Wiederholungsmessungen aufgenommen. Als Referenzgröße wird im Folgenden der Schalldruckpegel des Luftschalls analysiert. Zum Vergleich der Getriebevarianten werden der drehzahlabhängige Summenpegel im Frequenzbereich bis 10 kHz sowie Campbell-Diagramme ausgewertet, dargestellt in **Bild 10**. Im Summenpegel weist das FutureEdrive-Getriebe im Zugbetrieb (ausgenommen von schmalen Drehzahlbändern) geringe bis mittlere Erhöhungen im Vergleich zur Referenzvariante auf. Im Schubbetrieb zeigt das Getriebe deutliche Überhöhungen in den Anregungen. Die auftretenden Pegelerhöhungen können aus einer Vielzahl von Effekten resultieren. Zum einen liegt im Zahnkontakt durch das Fehlen des Getriebeöls (trockenlaufendes Getriebe) eine geringere Dämpfung vor, wodurch erhöhte dynamische Zahnkräfte auftreten können. Weitere Unterschiede zum Referenzgetriebe zeigen sich in einer verringerten Überdeckung der Verzahnung, bedingt durch die Low-Loss-Verzahnung, sowie einem weicheren Getriebedeckel und können zu einer erhöhten Systemreaktion führen. Durch die Änderungen am Gesamtsystem Antriebsaggregat wurde ebenfalls die Transferpfadcharakteristik und damit auch die Wirkungskette der Körperschall- und Luftschallentstehung verändert.

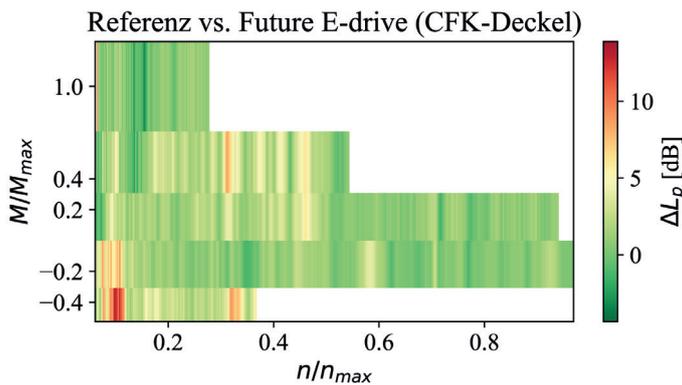
## VALIDIERUNG IM FAHRZEUG

Für die finale Validierung des Getriebekonzepts unter Realbedingungen erfolgte der Betrieb in einem Serienfahrzeug auf einem Rollenprüfstand (siehe **Bild 11**). Neben den Anregungen aus dem Getriebe kommen weitere Anteile, wie Strömungs- und Rollgeräusche hinzu. Zur Bewertung der komfortrelevanten Innenraumakustik wurde der Schalldruckpegel mithilfe eines Kunstkopfes in Drehzahlhochläufen bei fünf Laststufen gemessen, dargestellt in **Bild 12**. Für einen großen Betriebsbereich sind keine bzw. geringe Einflüsse des Getriebes auf die Innenraumakustik im Gesamtpegel vorhanden. Sowohl im Zug- als auch Schubetrieb zeigen sich Pegelerhöhungen in schmalen Drehzahlbereichen. Speziell im Schubereich fällt eine Erhöhung bei ca. 0,08-n<sub>max</sub> auf. Diese war in den zuvor durchgeführten Prüfstandsversuchen nicht charakteristisch und kann somit aus Effekten der umgebenden Strukturen resultieren. Weitere auffällige Bereiche liegen bei 0,35 und 0,48-n<sub>max</sub>. Diese Erhöhungen be-



**11** Einbau des Prototyps mit CFK-Deckel in ein Serienfahrzeug zum Betrieb auf Rollenprüfstand, Applikation der Messensorik (links) und Kunstkopf im Fahrzeuginnenraum (rechts)

**12** Vergleich der Schalldruckpegel des Kunstkopfes im Fahrzeuginnenraum als Differenzen der Summenpegel im Frequenzbereich bis 10 kHz und Mittelung über beide Mikrofone im Kunstkopf



stätigen die Prüfstandsmessungen und zeigen zudem, dass die Charakteristik der Übertragungspfade entscheidend für die akustische Wirkung im Innenraum ist. Neben den kritischen Drehzahlbereichen weist das Getriebe ebenfalls Bereiche auf, in dem der Schalldruckpegel im Fahrzeuginnenraum im Vergleich zur Referenzvariante gesenkt werden kann. Differenzen von bis zu -4 dB werden erreicht.

## ZUSAMMENFASSUNG

Der Schlüssel zum Erfolg des Verbundvorhabens ist die Zusammenführung bzw. Kombination der oben aufgeführten Technologien: walztechnische Herstellung von Verzahnungen, versehen mit einer superharten amorphen Kohlenstoffbeschichtung, die im Idealfall einen schmiermittelfreien Betrieb bei sehr hohem Wirkungsgrad erlaubt. Weiterhin wurde die Gehäusearchitektur optimiert und Akustikpotential erschlossen.

Konkret konnten folgende Meilensteine am Gehäuse erreicht werden:

- Variante 1, der hochsteife Demonstrator hielt in fast allen Lastfällen die geforderte Maximalverschiebung ein und ermöglichte eine solide Validierung der neuartigen Low-Loss Verzahnung und der Verzahnungsbeschichtung. Die Validierung dieser Projektziele konnte somit erfolgreich umgesetzt werden.

- Variante 2, mit Fokus auf maximalen Leichtbau und akustischer Optimierung, ermöglichte eine zusätzliche Gewichtseinsparung von 8 %, die allerdings mit einer signifikanten Reduktion der Steifigkeit einherging.

- Einsatztemperatur

Die ausgewählte Kunststoffmatrix erfüllte die geforderte Einsatztemperatur von > 100 °C und ermöglichte dadurch die anspruchsvollen Tests auf dem Prüfstand und im Demonstratorfahrzeug auf der Teststrecke und dem Rollenprüfstand.

- Großserientauglichkeit

Die gewählte Fertigungsmethode des Prepreg Handlayup wurde aufgrund unterschiedlicher Randbedingungen zusammen mit dem Projektträger festgelegt. Sie ist besonders geeignet für die Fertigung von Funktionsdemonstratoren mit kleiner Stückzahl.

Das Hauptziel, ein signifikanter Sprung bzgl. Leichtbau, wurde mit beiden hergestellten Varianten übertroffen. So erreichten bei einer Zielvorgabe von min. 15 % Gewichtseinsparung die Variante 1 21 % und die Variante 2 sogar 29 % Einsparung. Die Beurteilung bzgl. akustischer Eigenschaften ist diffizil, da es Betriebspunkte mit Verbesserungen, aber auch mit Verschlechterungen gibt. Insgesamt bewegt sich die Schwankung innerhalb der Projektvorgaben. Somit kann auch dieses Ziel als erreicht angesehen werden, wenn auch nicht durchwegs mit verbesserten Eigenschaften.

Weiterentwicklungen werden vor allem hinsichtlich erhöhter

Steifigkeit der Gehäuse und der Verwendung von Großserienprozessen zur Herstellung angestrebt. Hier konnte in FutureEdrive die grundsätzliche Machbarkeit nachgewiesen und validiert werden, jedoch noch nicht im Hinblick auf hohe Stückzahlen.

## AUSBLICK

Ein besonderer Vorteil, der sich in der Validierung bestätigte und in der perspektivischen Verwertung als großer Pluspunkt gilt, ist die höhere Effizienz trotz ölfreiem Lauf im Niedriglastbereich. Hier ergeben sich viele mögliche Anwendungsgebiete. Diese beziehen nicht nur PKWs sowie zwei und dreirädrige Fahrzeuge mit ein, sondern auch andere Mobilitätskonzepte inklusive den Luftfahrtbereich. Auch in Bereichen mit hohen Anforderungen an Reinheit (z. B. Lebensmittelverarbeitung) ist der FutureEdrive von besonderem Interesse. Aufgrund des hohen Potentials wurden die grundlegenden Ansätze bereits patentiert [11].

Diese hier dargestellte erste FutureEdrive-Getriebegeneration bietet trotz der eindrucksvollen Ergebnisse noch weiteres Optimierungspotential im Detail. So war es vor allem die geometrische Beschränkung des Seriengetriebes, die bspw. Verzahnungsbreite und Achsabstand in der Optimierung deutlich beschränkten.

Darüber hinaus könnte ein weiterer Ansatz im zukünftigen Hocheffizienzgetriebe sein, einen Wälzpartner je Getriebestufe generativ zu fertigen, was eine mit der E-Maschine gemeinsamen Wasser-Innenkühlung ermöglicht. Dieser Ansatz wurde für eine ähnliche Getriebestufe in [10] bereits in Grundzügen dargestellt.

Der nächste Schritt sollte möglicherweise die Umsetzung einer Kleinstserie darstellen, um die neuen Prozesse in Richtung Serienfähigkeit besser beurteilen und optimieren zu können. Entsprechend suchen die Autoren des Artikels an dieser Stelle um weitere Projektpartner für diese nächste Etappe auf dem Weg zum FutureEdrive-Seriengetriebe.

www.fraunhofer.de

### Literaturhinweis:

- [1] Bräunig, Jan, Mike Lahl, and Volker Weihnacht. "Future E-Drive: Das e-Getriebe von morgen!," -1, 2021. <https://publica.fraunhofer.de/handle/publica/269974>.
- [2] M. Lahl, T. Druwe, U. Hellfritsch: Eigenschaftsanalyse bei Verzahnungsherstellung. FVA Forschungsvorhaben Nr. 642 I, 2014.
- [3] Martens, S.: Ölfreie Industriegetriebe. Maßnahmen und Möglichkeiten zur Minimierung bzw. Eliminierung herkömmlicher Schmierstoffe. Dissertation. Dresden 2008
- [4] V. Weihnacht, S. Makowski, A. Brückner, G. Theiler, T. Gradt: Tribologie und Anwendung trockenlaufender ta-C-Schichten, Tribologie + Schmierungstechnik, 59. Jahrgang, 6 (2012) 41-44
- [5] Höhn, B.-R., Michaelis, K. u. Wimmer, A.: Low Loss Gears. Gear Technology (2007), S. 28-35
- [6] M. Zawischa, S. Makowski, N. Schwarzer, V. Weihnacht, Scratch resistance of superhard carbon coatings - A new approach to failure and adhesion evaluation, Surface and Coatings Technology, Volume 308, 2016, Pages 341-348, <https://doi.org/10.1016/j.surfcoat.2016.07.109>
- [7] Bräunig, J., Burkhardt, M., Hensel, E., Zumach, S., Drossel, W.-G. u. Hieckmann, E.: Calculation methodology for determining load-dependent transmission error taking into account material anisotropy in gears produced by forming methods. 6th International Conference on Gears 2015. Düsseldorf: VDI-Verlag 2015, S. 1461-1470
- [8] Bräunig, Jan. "Entwicklung und Verifizierung eines Berechnungsmodells zur Anregungsprognose von Verzahnungen unter Berücksichtigung des anisotropen Materialverhaltens.", Dissertation, Verlag Wissenschaftliche Scripten, -1, 2018. <https://publica.fraunhofer.de/handle/publica/281851>.
- [9] Schlecht, Berthold, Carsten Ulbrich, and Jan Bräunig. "Investigations on the Influence of Anisotropic Material Properties of Gear Teeth on Their Macroscopic Behavior," 7th International Conference on Gears, 2017. <https://publica.fraunhofer.de/handle/publica/397844>.
- [10] Fiedler, Philipp, Jan Bräunig, Sebastian Stelzer, Robert Richter, Frank Kaulfuß, Thomas Windisch, and Nikolaus Milaev. "Additive Manufacturing Technologies for next-Generation Powertrains," -1, 2020. <https://publica.fraunhofer.de/handle/publica/410089>.
- [11] DE102020210952B3 & WO2022042997A1: Patent "Verfahren zur Herstellung einer Verzahnung an rotationssymmetrischen Oberflächen metallischer Antriebs-elemente", 2021.

# WISSEN SCHAFFT IDEEN



- 11 Print-Ausgaben im Jahr**
- + Sonderausgabe antriebstechnik Marktübersicht (1x jährlich)**
- + Sonderausgabe MOBILITY (1x jährlich)**



Abo-Begrüßungsgeschenk:

## Die Konturenlehre

Das Kopieren eines Profils war noch nie so einfach!  
Mit dieser Konturenlehre können Sie die Form von unregelmäßigen Objekten messen, um eine Sofortvorlage zu erstellen, mit der präzise Schnitte markiert werden können. Messbreite 25 cm, Messtiefe 6 cm.

(Die Farbe der Konturenlehre ist variabel)

## Sichern Sie sich den lückenlosen Bezug wertvoller Informationen!

Internet: [shop.vereinigte-fachverlage.de](http://shop.vereinigte-fachverlage.de) @ E-Mail: [vertrieb@vfmz.de](mailto:vertrieb@vfmz.de) ☎ Telefon: 06131/992-148

### Ja, ich möchte die Zeitschrift „antriebstechnik“ abonnieren

Das Jahresabonnement umfasst 11 Ausgaben + 2 Sonderausgaben und kostet € 160,- (Ausland € 175,- netto) inkl. Versandkosten. Als Begrüßungsgeschenk erhalte ich die Konturenlehre. Nach Ablauf des ersten Bezugsjahres kann das Abonnement jederzeit, mit einer Frist von einem Monat, schriftlich gekündigt werden.

Unser Dienstleister, die Vertriebsunion Meynen, Eltville, erhebt Ihre Daten im Auftrag der Vereinigte Fachverlage (VFV) zum Zweck der Vertragsdurchführung, zur Erfüllung der vertraglichen und vorvertraglichen Pflichten. Die Datenerhebung und Datenverarbeitung ist für die Durchführung des Vertrags erforderlich und beruht auf Artikel 6 Abs. 1 b) DSGVO. Zudem verwenden wir Ihre Angaben zur Werbung für eigene und VFV verwandte Produkte. Falls Sie keine Werbung mehr auf dieser Grundlage erhalten wollen, können Sie jederzeit widersprechen. Weitere Infos zum Datenschutz: [ds-vfv.vfmz.de](mailto:ds-vfv.vfmz.de)

<input type="text"/>	<input type="text"/>
Name/Vorname	Position
<input type="text"/>	<input type="text"/>
Firma	Abteilung
<input type="text"/>	<input type="text"/>
Straße oder Postfach	PLZ/Ort
<input type="text"/>	<input type="text"/>
Telefon/E-Mail	Datum, Unterschrift

Vereinigte Fachverlage GmbH · Vertrieb · Postfach 10 04 65 · 55135 Mainz · Telefon: 06131/992-200  
E-Mail: [vertrieb@vfmz.de](mailto:vertrieb@vfmz.de) · Internet: [www.vereinigte-fachverlage.de](http://www.vereinigte-fachverlage.de)

„antriebstechnik“ ist eine Zeitschrift der Vereinigten Fachverlage GmbH, Lise-Meitner-Straße 2, 55129 Mainz, HRB 2270, Amtsgericht Mainz, Geschäftsführer: Dr. Olaf Theisen, Matthias Niewiem, Umsatzsteuer-ID: DE 149063659, Gerichtsstand: Mainz

# MULTIMEDIAL VERNETZT KUNDEN GEWINNEN!



Bitte kontaktieren Sie mich, ich berate Sie gerne!



**Carmen Müller-Nawrath**  
Head of Sales  
Telefon: 0049/6131/992-245  
c.nawrath@vfmz.de

Profitieren Sie von unserem  
einmaligen Mediennetzwerk!

